

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ, выпуск 3 (44), 2015

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) 314-92-32

Адрес редакции

190031, СПб., Московский пр., 9,
тел. (812) 314-92-32
e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

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

Д. И. Иванов

Верстка

А. А. Стуканова

Редактор сайта

Л. А. Стрелкова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Панычев Александр Юрьевич, канд. экон. наук,
доцент, 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 Тамара 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 09.11.2015.

Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать МФУ.

Усл. печ. л. 28,5. Уч.-изд. л. 17,1. Установочный тираж 300 экз.

Заказ 1045. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ПГУПС

190031, СПб., Московский пр., 9.

© ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015

SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT
UNIVERSITY Issue 3 (44) – 2015

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

e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

Mass media registration certificate number

П И Н Ф С 2 – 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 distributed 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

D. Ivanov

Layout

A. Stukanova

Online content editor

L. Strelkova

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Aleksander Panychev, Cand. of Economics,
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, Saarbrücken, 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, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

→ ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Акулов М. П.

- Влияние организационных изменений на систему управления пассажирским комплексом железных дорог 5

Соколов М. Ю.

- К Вопросу о применении государственно-частного партнерства в сфере транспорта 14

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

Динец Д. А., Джавршян А. Г.

- Система финансового оперативного управления как инструмент обеспечения экономической безопасности транспортного холдинга 18

Емельянов А. Л., Киселев И. Г., Кудрин М. Ю., Приймин В. П.

- Перспективы совершенствования теплонасосного режима работы железнодорожных кондиционеров 33

Ермакова А. В., Муковнина Н. А.

- Определение резерва пропускной способности элементов станции с выделением временных интервалов для обслуживания путей необщего пользования 39

Иванов И. А., Евсеев Д. Д., Овсяникова И. В., Тарапанов А. С.

- Моделирование сил резания при шлифовании профиля железнодорожных колёс 45

Илесалиев Д. И.

- Определение оптимальных значений параметров погрузочно-разгрузочного участка тарно-штучных грузов 55

Ким К. К., Мушков Е. С., Нестерцов И. А., Полунин И. С., Саенко Д. А.

- Неразрушающая диагностика степени ржавости железной арматуры опоры контактной сети 64

Кротов С. В., Кононов Д. П.

- Определение вертикальных динамических сил, действующих на колесо в контакте с рельсом 70

Марикин А. Н., Мирощенко А. В., Кузьмин С. В.

- Устройство поперечной компенсации реактивной мощности с изменяющейся индуктивностью 77

Покровская О. Д., Зачешигрова М. А.

- Роль Новосибирского мультимодального транспортного узла в транспортно-логистическом кластере России 85

Селиверстов Я. А.

- О методе анализа структуры смешанного транспортного потока на городской улично-дорожной сети 104

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Белаш Т. А.

- Исследование влияния рядом стоящих зданий с различными конструктивными схемами на их сейсмостойкость 112

Дмитриев В. В.	О двух способах взвешивания и их влиянии на свойства кодов с суммированием взвешенных переходов в системах функционального контроля логических схем	119
Доронин Ф. А.	Применение теории винтов в статике и динамике пространственных механизмов параллельной структуры	130
Иванов В. Г., Калачко А. А.	Математическое моделирование дождей малой интенсивности для расчета ливневой канализации	138
Каптелин С. Ю., Ростовых Г. Н.	Совершенствование технологии устройства фрикционных соединений	147
Покровская О. Д., Коровяковский Е. К.	Логистика терминалов: перспективное направление логистики	155
Привалов А. А., Привалов Ал. А., Скуднева Е. В., Чалов И. В.	Подход к оценке вероятности вскрытия пространственно-временной и информационной структуры СПД-ОТН	165
Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Черепанова М. Р.	Сравнение структур систем функционального контроля, организованных по классическим и модифицированным кодам Бергера	173
Сергеев Д. А.	Обеспечение сейсмостойкости зданий в районах вечной мерзлоты при использовании свайных фундаментов с высоким ростверком в качестве сейсмоизоляции	184
Соловьева Е. А., Мишуков Б. Г.	Методика определения расчетных показателей расхода и состава сточных вод	194
Талантов И. С.	Комбинированный спектрально-численный подход к решению задачи на внезапное удаление элементов на примере стального структурного покрытия. Часть 1	201
Третьяков А. А.	Использование комплексного индекса состояния пути при определении потребности в капитальных ремонтах	207

→ ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Критский С. В.	История строительства Южного полукольца петербургского железнодорожного узла	216
-----------------------	--	-----

→ ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Е. Г. Шепилова	Инновационное развитие отраслевых вузовских комплексов	223
-----------------------	--	-----



УДК 656.072

М. П. Акулов**ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ
ПАССАЖИРСКИМ КОМПЛЕКСОМ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Дата поступления: 08.07.2015

Решение о публикации: 28.09.2015

Цель: Представить результаты анализа предпосылок, причин, способов и результатов организационных изменений в пассажирском комплексе железных дорог Российской Федерации. **Методы:** Анализ базируется на выявлении закономерностей изменения системы управления пассажирским комплексом железных дорог под влиянием организационных изменений. Применены методы системного и сравнительного анализа, обобщения, а также диалектические методы изучения проблем управления и экономики на железнодорожном транспорте. Для сравнения задействован международный опыт управления организационными изменениями и формирования систем управления пассажирским комплексом железных дорог. **Результаты:** Выявлена специфика функционирования отрасли железнодорожного транспорта в Российской Федерации. Определены ее естественно-монопольный и конкурентные сегменты деятельности. Оценены пути организационных изменений для отрасли в целом и пассажирского комплекса железных дорог в частности. Выявлены и описаны факторы, определяющие оптимальный порядок функционирования пассажирского комплекса железных дорог в Российской Федерации, учитывающие специфические условия внешней и внутренней среды, систему экономических отношений, а также социальную функцию пассажирского железнодорожного транспорта в стране. **Практическая значимость:** Материалы статьи позволят оценить перспективы функционирования пассажирского комплекса железных дорог Российской Федерации на основе выбранного направления организационных изменений, целесообразность преобразований на железнодорожном транспорте различных государств, определить направления организационных изменений. Статья обобщает опыт формирования системы управления пассажирским комплексом железных дорог с целью создания эффективно функционирующей отрасли в условиях организационных изменений.

Организационные изменения, система управления, пассажирский комплекс железных дорог, естественно-монопольный сегмент отрасли, конкурентный сегмент отрасли, государственное регулирование.

Mikhail P. Akulov, vice president in charge of passenger transportation, director general of Federal Passenger Company JSC, nozpgups@gmail.com (Russian Railways JSC) INFLUENCE OF ORGANISATIONAL CHANGES ON THE MANAGEMENT SYSTEM OF THE RAILWAY PASSENGER SERVICE SYSTEM

Objective: To present results of analysis into conditions, causes, methods and results of organisational changes in the passenger system of Russian Federation's railways. **Methods:** The analysis is based on identification of regularities in changes to the management system of railway passenger service system under influence of organisational changes. Systemic and comparative analysis methods were deployed,

as were generalisation methods, and dialectic methods for study of problems of railway transport management and economy. International experience in managing organisational changes and forming management systems for railway passenger service systems was used for comparison. **Results:** Specific features of functioning of the railway transport industry in the Russian Federation were ascertained, and its activity's natural-monopoly and competitive segments were established. Ways for organisational changes for the industry as a whole and its passenger service system were evaluated. Factors that determine best possible order of functioning of passenger service system in the Russian Federation are established and described, taking into account specific conditions of external and internal environment, system of economic relations, as well as social function of the country's passenger railway transport. **Practical importance:** The paper's materials will allow to evaluate the perspectives of functioning of Russian Federation's railway passenger service system on the basis of chosen direction of organisational changes, practicability of reforms in various countries' railway transport, and to determine the directions of organisational changes. The paper sums up the experience of forming a system for managing railway passenger service system with the objective of creating an efficiently functioning industry in the conditions of organisational changes.

Organisational changes, management system, railway passenger service system, natural-monopoly segment of the industry, competitive segment of the industry, government regulation.

Развитие общества предполагает постоянное взаимодействие экономических систем и их элементов (государств, предприятий, домохозяйств), в результате которого они неизбежно подвергаются организационным изменениям. Организационные изменения выступают для элементов экономических систем как переходное неустойчивое состояние и означают смену их формы, содержания, качества посредством развития или самосохранения. Характер организационных изменений связан с особенностями функционирования и с периодами жизни элементов экономических систем. На пассажирском железнодорожном транспорте организационные изменения обуславливаются также высокой социальной значимостью пассажирских перевозок.

Теория и российская практика организационных изменений в пассажирском комплексе железных дорог

Для отрасли железнодорожного транспорта, являющейся сложной производственной и территориально-функциональной системой, организационные изменения происходят

вследствие внешних и внутренних причин, вызывают трансформации внутри нее и ориентированы на потребности множества участников транспортного рынка. Организационные изменения на железнодорожном транспорте инициируются, как правило, государственными органами ввиду высокой экономической и социальной значимости отрасли. В результате организационных изменений отрасли происходят трансформации в структуре управления отраслью, в системе внутриотраслевых связей и отношений; изменяется баланс между частным и государственным сектором в отрасли, степень государственного регулирования отрасли в целом и ее отдельных сегментах в частности, тип конкуренции в сегментах отрасли; реструктуризируется управленческая система отдельных сегментов отрасли.

Пассажирский комплекс железных дорог является неотъемлемой составляющей отрасли железнодорожного транспорта и представляет собой сложноорганизованную систему, включающую: организатора перевозок, оператора пассажирских обустройств, поставщиков подвижного состава, локомотивные и вагоноремонтные депо и другие хозяйствующие субъекты. Организационные изменения в пассажирском комплексе железных дорог

неразрывно связаны с изменениями в отрасли железнодорожного транспорта, однако производятся с учетом специфики функционирования пассажирского железнодорожного транспорта. С одной стороны, это необходимость обеспечения доступности железнодорожных перевозок для пассажиров (выполнение социально-экономических обязанностей государства), с другой – необходимость достичь прибыльности деятельности компаний – операторов пассажирских перевозок (или иных структур отрасли, ответственных за перевозки).

В Российской Федерации кардинальные преобразования в отрасли железнодорожного транспорта и его пассажирском комплексе начались в конце 1990-х годов и обусловлены комплексом причин:

1) переходом государства от командно-административной системы управления экономикой, где планирование и ценообразование было всеобъемлющим, а распределение материальных ресурсов – централизованным, к свободному рынку и, следовательно, конкуренции и функционированию всех хозяйствующих субъектов по рыночным законам;

2) необходимостью снижения народнохозяйственных затрат государства и повышения эффективности деятельности естественных монополий путем их реформирования;

3) структурными проблемами отрасли железнодорожного транспорта (высоким уровнем износа основных фондов; недостаточным объемом инвестиций в материально-техническую базу; перекрестным субсидированием убыточных видов деятельности прибыльными (покрытием убытков пассажирских перевозок доходами от грузовых и др.); государственным регулированием тарифов на перевозки; отсутствием стимулов к снижению производственных затрат; сложной системой внутреннего учета и др.);

4) сосредоточением функций государственного регулирования и хозяйственного управления железными дорогами в одном органе – Министерстве путей сообщения Российской Федерации (МПС России);

5) увеличением конкуренции на рынке транспортных услуг и усилением позиций авиационного и автомобильного транспорта.

Пути организационных изменений в железнодорожной отрасли РФ вырабатываются на основе мирового опыта с учетом важности железных дорог для обширной территории государства на протяжении всей истории их существования. При реформировании реализуются различные подходы к управлению железнодорожным транспортом (инфраструктурой, перевозками и операциями) и к сочетанию государственной и частной форм собственности. В результате выстраиваются вертикально или горизонтально диверсифицированные системы управления отраслью.

При вертикальной диверсификации отделяется инфраструктурная сфера отрасли железных дорог от деятельности, связанной с перевозками. Такой подход применяется, когда государство стремится сохранить контроль над сетью железных дорог, однако нацелено на развитие перевозочной деятельности, на активное привлечение частного бизнеса в перевозочную деятельность, на увеличение конкуренции на рынке транспортных услуг, на повышение прозрачности предоставления государственных субсидий. Существенными условиями вертикальной диверсификации в отрасли являются: протяженные железные дороги, на которых функционируют жизнеспособные транспортные операторы в условиях реальной конкуренции, развитая правоприменительная, регуляторная и административная среда. К наименее существенным условиям вертикальной диверсификации относятся малая доля компаний – операторов железнодорожных перевозок на рынке транспортных услуг, незаинтересованность частных инвесторов в перевозочной деятельности. Вертикальная диверсификация возможна как на государственных, так и на частных железных дорогах и для пассажирского комплекса железных дорог означает формирование мультиоператорских (на рынке конкурируют независимые операторы – конкуренция на рынке)

или монооператорских систем (конкуренция на уровне доступа к эксклюзивным правам – конкуренция за рынок). Почти в половине стран мира реализована вертикальная диверсификация, в том числе во всех ведущих железнодорожных державах и экономически развитых странах.

Горизонтальная диверсификация означает выделение региональных и функциональных структур. Она характерна при организации управления железнодорожной отраслью на национальном уровне, особенно в странах с большой территорией. В качестве причин горизонтальной диверсификации выделяются необходимость улучшения управляемости различных видов деятельности монопольной структуры, повышение финансовой прозрачности, специализация отдельных бизнес-единиц, передача ответственности органам региональной власти, планируемая продажа или передача по договору концессии отдельных бизнес-единиц, повышение эффективности за счет бенчмаркинга. Условиями для горизонтальной диверсификации являются возможность регионального разделения рынков пассажирских и грузовых железнодорожных перевозок и развитая сеть железных дорог. Напротив, небольшая сеть железных дорог рассматривается в качестве несущественного фактора, так как бизнес-единицы способны выступать самостоятельными центрами прибыли.

При горизонтальной диверсификации возможно как сохранение инфраструктуры железных дорог и перевозочной деятельности в рамках единого комплекса, так и разделение инфраструктуры и перевозочной деятельности. При сохранении полностью интегрированной монопольной компании, объединяющей инфраструктурную сферу и сферу перевозок, ее позиции оказываются сильными на рынке и могут быть ослаблены только посредством конкуренции локальных монополистов на сопряженных территориях.

Сфера пассажирских железнодорожных перевозок является конкурентной в отрасли железнодорожного транспорта. Формирова-

ние различных типов конкурентных отношений на рынке пассажирских железнодорожных перевозок обусловлено организационными изменениями в пассажирском комплексе железных дорог и инициировано, как правило, государственными органами. Вне зависимости от вида диверсификации отрасли железнодорожного транспорта компании-операторы пассажирских железнодорожных перевозок находятся в государственной, частной или смешанной собственности и имеют различную организационно-правовую форму.

Организационные изменения в отрасли железнодорожного транспорта Российской Федерации начались с разграничения функций государственного регулирования и хозяйственного управления железными дорогами, сосредоточенных в одном органе – МПС России. Принято решение о создании коммерческой компании, для организационной структуры которой рассматривались различные варианты:

1) единая вертикально интегрированная компания, включающая в себя естественно-монопольную составляющую (инфраструктуру) и подразделения, предоставляющие услуги на конкурентных рынках железнодорожных перевозок и сервиса;

2) холдинг, включающий в себя инфраструктурную компанию (естественную монополию), а также пассажирские, грузовые и сервисные компании, действующие на соответствующих конкурентных рынках;

3) отдельные юридические лица: инфраструктурная компания, независимые перевозчики, сервисные компании;

4) конкурирующие железнодорожные компании, владеющие инфраструктурой и осуществляющие перевозочную деятельность.

Российская организационная структура железнодорожного транспорта требовала оптимального взаимодействия всех его составляющих, поэтому наиболее рациональным представлялось создание на базе имущества МПС России единой (центральной) железнодорожной компании в виде холдинга. Разделение

естественно-монопольных и конкурентных сегментов отрасли путем передачи первых в компетенцию ОАО «РЖД», а вторых – самостоятельным хозяйствующим субъектам неизбежно привело бы к повышению железнодорожных тарифов, что противоречило целям реформирования.

На базе ОАО «РЖД» созданы профильные предприятия как структурные подразделения ОАО «РЖД». Новая компания сосредоточила в своих руках полное управление комплексом железных дорог России на первых этапах реформирования, контролировала все сферы деятельности для достижения технических, производственных, экономических, маркетинговых и других целей, действовала в интересах государства. Собственником ОАО «РЖД» стало государство, владеющее 100 %-ным пакетом акций; был установлен запрет на переход этих акций к какому-либо лицу. Организационно-правовая форма центральной компании ОАО «РЖД» позволила в дальнейшем выделить профильные предприятия в дочерние зависимые общества и передать акции этих обществ частному капиталу путем открытой продажи. В результате организационная структура российского железнодорожного транспорта стала представлять собой холдинг, где развитие конкуренции по сферам деятельности (между железнодорожными компаниями, между компаниями железнодорожного и других видов транспорта) должно приносить прибыль предприятиям.

Организационные изменения в пассажирском комплексе железных дорог неразрывно связаны с преобразованиями в отрасли железнодорожного транспорта и производились в три этапа по видам сообщения (рис. 1). Повышения эффективности работы пассажирских перевозчиков и доступности пассажирских перевозок для населения предполагалось достичь за счет создания условий для развития конкуренции внутри сегмента пассажирских перевозок и открытия доступа к нему частных капиталов. Мероприятия реформирования учитывали географические, производственные и финансовые характеристики российско-

го пассажирского железнодорожного транспорта.

К настоящему моменту пассажирские перевозки в дальнем следовании осуществляет АО «ФПК» – дочернее зависимое общество в составе холдинга «РЖД». Организационная структура АО «ФПК» включает в себя аппарат управления и 16 территориальных филиалов, в состав которых входят 40 пассажирских вагонных депо, 37 вагонных участков, 15 железнодорожных агентств, 6 дирекций по организации питания.

Включение АО «ФПК» в состав холдинга «РЖД» обеспечивает:

- 1) более высокий уровень интеграции с ключевыми предприятиями железнодорожной отрасли в собственности ОАО «РЖД»;
- 2) регулярность и безопасность перевозок, улаживание конфликтов и споров;
- 3) централизованную подготовку персонала;
- 4) балансировку ОАО «РЖД» объемов грузовых и пассажирских перевозок на участках с недостаточной мощностью инфраструктуры;
- 5) финансовую поддержку материнской компанией: обеспечение более дешевыми кредитными ресурсами, совместное осуществление закупок у машиностроительных холдингов и финансирование капитальных затрат.

На рынке пригородных пассажирских перевозок образованы 26 открытых акционерных обществ – пригородных пассажирских компаний (ППК). Структуру капитала ППК составляют акции ОАО «РЖД» и органов власти субъектов Российской Федерации, что означает перераспределение ответственности между региональными и федеральным бюджетами и ответственность за эффективное развитие рынка пригородных железнодорожных перевозок субъектами РФ.

В результате организационных изменений сформировалась структура пассажирского комплекса, представленная на рис. 2.

Сформированная структура позволила повысить управляемость комплексом, создать стимулы к результативному функционированию бизнес-единиц. Так, АО «ФПК» вы-



Рис. 1. Этапы реформирования пассажирского комплекса российских железных дорог

шло на безубыточный уровень функционирования.

Роль государства в системе управления пассажирским комплексом железных дорог в условиях организационных изменений

Государство выступает регулятором отрасли железнодорожного транспорта и ее пассажирского комплекса, влияет на состав участников рынка, условия функционирования предприятий, экологические стандарты и стандарты

безопасности, объемы финансовой поддержки, долгосрочное развитие инфраструктуры железных дорог. Главные функции государства в сфере пассажирских перевозок:

- 1) определение национальной транспортной стратегии;
- 2) обеспечение недискриминационного доступа к сети;
- 3) создание административного аппарата;
- 4) приобретение транспортных услуг;
- 5) регулирование тарифов;
- 6) организация международной железнодорожной интеграции.

Для развития конкуренции на рынке пассажирских железнодорожных перевозок ряд

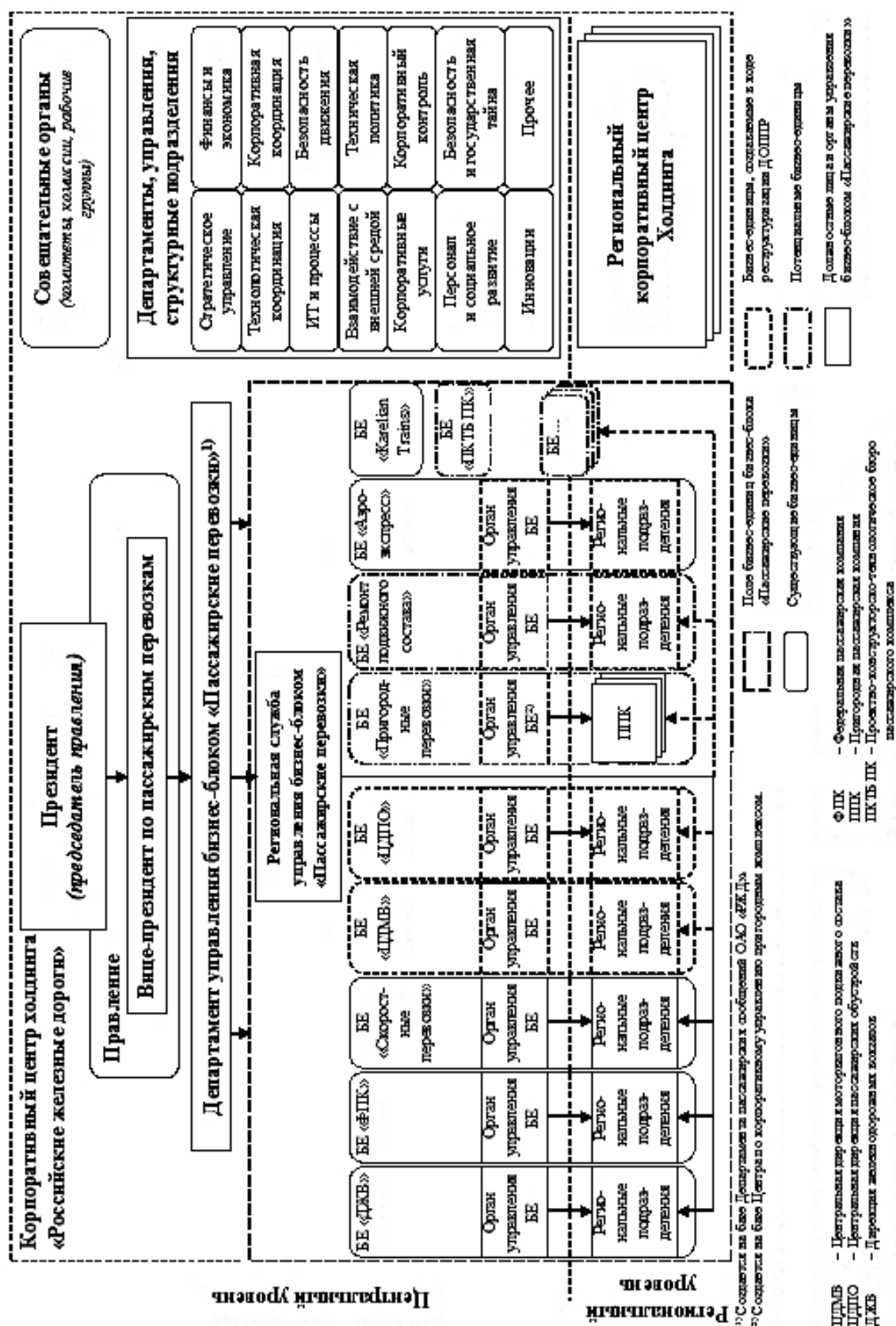


Рис. 2. Структура управления пассажирским комплексом Российской Федерации после проведения организационных изменений

стран мира создает условия для функционирования частных компаний-операторов или конкуренцию между государственными компаниями-операторами. Конкуренция на рынке пассажирских железнодорожных перевозок происходит по трем сценариям:

1) за поезда, следующие на большие расстояния, т. е. за «нитку» графика, и за местные поезда – на определенных участках, т. е. за регион обслуживания;

2) между двумя операторами на параллельных или пересекающихся линиях;

3) между операторами, осуществляющими перевозки по инфраструктуре третьих компаний.

На рынке пассажирских железнодорожных перевозок компании-операторы конкурируют между собой за получение контрактов на перевозку пассажиров и субсидий в качестве компенсации потерь от тарифного регулирования. Наиболее распространена конкуренция за рынок в рамках краткосрочных концессий.

Так как большинство правительств государств мира стремятся сохранить влияние на пассажирские железнодорожные перевозки и тарифы, вводятся так называемые контрактные обязательства предоставления общественных услуг и контракты на предоставление общественных услуг. Обязательство предоставления общественных услуг определяется как требование, закрепленное или установленное государством, согласно которому деятельность транспортного предприятия должна осуществляться с учетом коммерческого интереса предприятия. Это обязательство относится как к правительству страны, так и к региональным органам власти. Государство формирует стандарты качества обслуживания пассажиров, экологические стандарты, стандарты безопасности перевозок и др. и организует контроль за их исполнением посредством государственных органов и негосударственных комитетов.

Обязательства предоставления общественных услуг:

1) услуга или определенный уровень услуги;

2) услуги в соответствии с определенным уровнем тарифов;

3) льготы отдельным категориям пассажиров.

Контрактное обязательство предоставления общественных услуг предполагает определение состава обязательств, а также разработку механизмов компенсации потерь перевозчиков при заданном уровне тарифов (Т). В идеале размер компенсации (К) должен равняться чистой коммерческой стоимости предоставления услуг (С), включая возврат на вложенный капитал (Н):

$$K = C \cdot (1 + H) - T.$$

Контракт на предоставление общественных услуг базируется на аналогичных посылах, однако имеет концептуальные отличия. В его рамках определяется объем минимальных услуг без разделения на коммерческие и некоммерческие, уровень тарифов, сумма и схема компенсаций на срок действия контракта, основанные на величине экономически обоснованных затрат на организацию оказания услуг (ЭОЗ) и базовой норме прибыли (НБ):

$$K = \text{ЭОЗ} \cdot (1 + \text{НБ}) - T.$$

Внедрение описанных схем позволяет существенно снизить потребности в субсидиях, выделяемых на покрытие убытков транспортных компаний. Так, объем субсидий АО «ФПК» в 2014 г. составил 23,3 млрд руб. против 36 млрд руб. в 2009 и 2010 гг., при этом компания сохранила устойчивое финансовое положение.

Заключение

В результате организационных изменений система управления пассажирским комплексом железных дорог трансформируется в соответствии с комбинацией трех групп факторов:

1) организация управления (государственная корпорация, государственная компания, частная компания);

2) конкуренция (мульти- или монооператорская система);

3) диверсификация (горизонтальная, вертикальная).

Система управления пассажирским комплексом железных дорог видоизменяется в сторону усложнения в условиях диверсификации и развития конкуренции: появляются отраслевые государственные и негосударственные комитеты; увеличивается количество участников рынка, предоставляющих специализированные услуги компаниям – операторам пассажирских перевозок; выстраиваются интеграционные структуры, деятельность которых направлена на согласование действий участников рынка. Упрощение структуры пассажирского комплекса железных дорог происходит за счет сокращения непрофильных видов деятельности, повышения специализации отдельных структур, усиления рыночных механизмов их взаимодействия.

Организационные изменения в пассажирском комплексе железных дорог являются естественным историческим процессом и повышают общественную полезность железнодорожного транспорта, способствуют снижению народнохозяйственных затрат за счет рационального использования производственного потенциала отрасли железнодорожного транспорта.

Библиографический список

1. Акулов М. П. Актуальные вопросы взаимодействия пассажирской железнодорожной компании с органами власти и субъектами рынка транспортных услуг / М. П. Акулов // Транспортное дело России. – 2014. – № 5. – С. 53–55.

2. Акулов М. П. Пассажирский комплекс Российских железных дорог / М. П. Акулов. – СПб. : НП-Принт, 2014. – 464 с.

3. Гурьев А. И. Железные дорожники о себе и реформах / А. И. Гурьев. – СПб. : РЖД-Партнер, 2012. – 496 с.

4. Верховых Г. В. Железнодорожные пассажирские перевозки : моногр. / Г. В. Верховых, А. А. Зай-

цев, А. Г. Котенко и др. ; под ред. Г. В. Верховых. – СПб. : Сев.-Зап. регионал. центр «Русич» ; Паллада-медиа, 2012. – 520 с.

5. Никитин О. А. Федеральная пассажирская компания на международном рынке / О. А. Никитин // Железнодорож. транспорт. – 2013. – № 7. – С. 22–25.

6. Шнейдер М. А. Рынок пригородных пассажирских перевозок : управление и экономика : моногр. / М. А. Шнейдер, Е. А. Проскурякова. – СПб. : НП-Принт, 2012. – 288 с.

7. Economic effects of Vertical Separation in the railway sector // Community of European Railway and Infrastructure Comp., 2012. – 188 p.

8. Railway Reform : Toolkit for Improving Rail Sector Performance. – Washington, DC : The World Bank, 2011. – 410 p.

References

1. Akulov M. P. *Transportnoye delo Rossii – Russia's Transport Indus.*, 2014, no. 5, pp. 53–55.

2. Akulov M. P. *Passazhirskiy kompleks Rossiyskikh zheleznikh dorog* [Passenger System of the Russian Railways]. St. Petersburg, NP-Print, 2014. 464 p.

3. Guryev A. I. *Zheleznyye dorozhniki o sebe i reformakh* [Railway Employees on Themselves and Reforms]. St. Petersburg, RZHD-Partner, 2012. 496 p.

4. Verkhovyykh G. V., Zaytsev A. A. & Kotenko A. G. *Zheleznodorozhnyye passazhirskiy perevozki* [Passenger Transportation by Rail] ; ed. G. V. Verkhovyykh. St. Petersburg, Rusich ; Pallada-Media, 2012. 520 p.

5. Nikitin O. A. *Zheleznodorozhny transport – Railway Transp.*, 2013, no. 7, pp. 22–25.

6. Shneyder M. A. & Proskoryakova Ye. A. *Rynok prigorodnykh passazhirskikh perevozok : upravleniye i ekonomika* [Commuter Passenger Transportation Market: Management and Economy]. St. Petersburg, NP-Print, 2012. 288 p.

7. Economic effects of Vertical Separation in the railway sector. Community of European Railway and Infrastructure Comp., 2012. 188 p.

8. Railway Reform : Toolkit for Improving Rail Sector Performance. Washington, DC, The World Bank, 2011. 410 p.

АКУЛОВ Михаил Павлович – вице-президент по пассажирским перевозкам, генеральный директор АО «Федеральная пассажирская компания», nozpgups@gmail.com (ОАО «РЖД»).

УДК 334.723.2

М. Ю. Соколов**К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА**

Дата поступления: 10.09.2015

Решение о публикации: 25.09.2015

Цель: Раскрыть возможности современных механизмов государственно-частного партнерства в развитии транспорта и привлечения инвестиций в транспортную инфраструктуру. **Методы:** Используются общеэкономические и статистические методы анализа ситуации в стране и стратегии реализации государственно-частного партнерства как инструмента привлечения инвестиций в транспортную сферу. **Результаты:** Выявлены основные проблемы и направления развития механизмов государственно-частного партнерства путем использования концессионных соглашений в практике транспортных предприятий и организаций.

Транспорт, государственно-частное партнерство, концессии, инвестиции, инфраструктура.

Maksim Yu. Sokolov, Cand. Sci. (Econ.), Minister of Transport of the Russian Federation. ON USING PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN THE TRANSPORT SECTOR

Objective: To reveal insights into opportunities of contemporary mechanisms of public-private partnership in developing transport and attracting investment to the transport infrastructure. **Methods:** General economic and statistical methods were used for analysis of the situation in Russia and of the strategy for realisation of public-private partnerships as a method for attracting investment to the transport sector. **Results:** Main problems and development directions of mechanisms of public-private partnership by using concession agreements in the practice of transport enterprises and organisations were pointed out.

Transport, public-private partnership, concessions, investments, infrastructure.

В целях стабилизации экономики и развития транспортной инфраструктуры России в сложившихся геополитических условиях возникает необходимость в мобилизации внутренних ресурсов и в адресном привлечении частных инвестиций на принципах государственно-частного партнерства (ГЧП). Развитие механизмов ГЧП и их эффективная реализация на практике становятся приоритетными задачами органов государственного и регионального управления. При этом, несмотря на отсутствие в сфере ГЧП единой правовой базы, в последние годы появилась устойчивая тенденция реализовывать крупные инфраструктурные проекты на принципах ГЧП.

ГЧП сегодня – это инструмент долгосрочного взаимовыгодного сотрудничества госу-

дарства и частного сектора, направленный на строительство или реконструкцию объектов общественной инфраструктуры при условии сбалансированного распределения компетенций, ответственности и риска на различных этапах реализации инвестиционных проектов.

Одной из эффективных форм ГЧП, способствующих привлечению инвестиций в развитие инфраструктуры и обеспечению конкурентоспособности и качества товаров, работ и услуг, является концессионное соглашение. Подготовку и заключение концессионных соглашений регулируют Федеральный закон «О концессионных соглашениях» [7], а также развивающие его нормативно-правовые акты федерального и (или) регионального уровня.

По данным, опубликованным Минэкономразвития России, в 2014–2015 гг. количество заключенных концессионных соглашений увеличилось в 5 раз по сравнению с предыдущим периодом.

Предметом концессионного соглашения (от лат. *concessio* – разрешение, уступка) является передача в эксплуатацию на определенных условиях природных ресурсов, предприятий, объектов инфраструктуры.

По концессионному соглашению концессионер (частное лицо) инвестирует в строительство или реконструкцию объекта инфраструктуры, право собственности на который будет принадлежать концеденту (государству), с целью эксплуатацию объекта в течение некоторого долгосрочного периода и получения дохода от его использования.

Наиболее распространенными видами инфраструктуры при заключении концессионных соглашений в России являются социальная, коммунальная и транспортная инфраструктура. Согласно материалам исследования Минэкономразвития России, в настоящее время на территории Российской Федерации на различных этапах реализации находятся 436 концессионных соглашений, в том числе в коммунальной и энергетической сферах 329, в социальной 65, в сфере транспорта 41. К сожалению, только 7% из них считаются капиталоемкими, в которых предусматривается привлечение банковского кредитования и предоставление капитального гранта в виде государственных субсидий для реализации проекта. В большинстве случаев в таких проектах на каждый бюджетный рубль привлекаются два рубля частных инвестиций, при этом соотношение собственных и заемных средств концессионера в реализации проекта соотносится в пропорции 20 : 80.

В большей степени концессионный механизм ГЧП проработан в отношении дорожного хозяйства, в частности, автомобильных дорог. Это объясняется тем, что полномочия концедента здесь осуществляет Государственная компания «Российские автомобильные дороги», деятельность которой способствует

квалифицированному выстраиванию партнерских отношений, в том числе с иностранными инвесторами.

Среди успешных проектов дорожного хозяйства на федеральном уровне – первая российская концессия по строительству и эксплуатации на платной основе «Нового выхода на МКАД с автомобильной дороги М-1 „Беларусь“ Москва – Минск», заключенная с консорциумом ОАО «Главная дорога». Предмет данного концессионного соглашения – 18-километровый участок трассы с пропускной способностью 70–80 тысяч автомобилей в сутки. Общий объем капитальных вложений составил 25 млрд руб., из которых 11 млрд руб. были выделены Инвестиционным фондом Российской Федерации. Концессионером, отобранным для реализации проекта, стала специальная проектная компания, сформированная под управлением УК «Лидер», которая обеспечила ввод участка автомобильной дороги в эксплуатацию на платной основе с 2014 г. Концессионные соглашения были заключены также в отношении участков автомобильной дороги М-11 «Москва – Санкт-Петербург» (км 15–58 и км 543–684 по трассе), где концессионерами выступают ООО «Северо-западная концессионная компания» и ОАО «Магистраль двух столиц», соответственно. Оба консорциума образованы с участием французской компании Vinci. В ОАО «Магистраль двух столиц» участвует группа «ВТБ».

Механизм концессионных соглашений, когда кредитные организации являются основой для создания специализированных проектных организаций – будущих участников концессионных конкурсов, больше отражает российскую практику ГЧП. В зарубежной практике чаще встречается ситуация, когда лидером консорциума выступает инфраструктурная компания, как, например, испанская Sacyr. Последняя принимала участие в одном из российских концессионных конкурсов.

При реализации инвестиционных проектов в сфере транспорта и транспортной инфраструктуры в субъектах Российской Федерации ключевыми участниками инвестицион-

ной деятельности выступают банки и иные кредитные организации. К таким участникам, в частности, можно отнести УК «Лидер» при строительстве северного дублера Кутузовского проспекта в Москве, банк ВТБ при создании мостовых переходов через реки Кама и Буй в Удмуртии, Газпромбанк и ВТБ при реализации проекта «Западный скоростной диаметр» в Санкт-Петербурге.

Накопленный положительный опыт реализации концессионных проектов строительства автомобильных дорог можно распространять на другие объекты транспортной инфраструктуры, например, железные дороги, морские и речные порты, аэропорты и аэродромы. Однако на данный момент большинство инвестиционных проектов, обсуждаемых в сфере транспортной инфраструктуры, находится на начальной стадии – стадии разработки концепции и обоснования эффективности инвестиций.

Не вызывает сомнений, что концессионное соглашение может служить одним из эффективных экономических механизмов ГЧП в целях развития наземной инфраструктуры воздушного транспорта, в частности аэродромов. Вместе с тем, концессионных проектов в этом секторе экономики единицы: заключено концессионное соглашение по строительству и реконструкции объектов аэропорта «Орел-Южный», в стадии разработки проект по созданию аэродрома совместного базирования «Кречевицы» в Новгородской области, в Омской области планируется закрытие старого аэропорта и строительства нового на условиях концессии. Широкое обсуждение получил проект развития инфраструктуры московского авиационного узла, для которого выбрана модель развития по концессионному соглашению.

Гражданская авиация обладает значительным потенциалом для концессионных соглашений, который, тем не менее, остается нереализованным из-за объективных и субъективных факторов, например, несовершенства нормативно-правовой базы и тарифного регулирования данного вида транспортной инфраструктуры.

Принятие в последние годы ряда существенных изменений и дополнений в концессионное законодательство, например, расширение платы концедента в отношении всех объектов, расширение гарантий прав концессионеров, заключение концессионного соглашения в порядке частной инициативы и некоторых других, открывает новые возможности ГЧП в сфере транспорта. Так, при реализации проекта «Омск-Федоровка» уже предусмотрена плата концедента, гарантирующая минимальную доходность инвестору на весь срок действия соглашения и по его завершении [1].

Анализ показал, что концессия может стать ключевой моделью ГЧП в сфере развития транспортной инфраструктуры – автомобильных и железных дорог, морских и речных портов, аэропортов и аэродромов, логистических терминалов и объектов трубопроводного транспорта. Важнейшими преимуществами концессии являются повышение качества управления объектом транспортной инфраструктуры при сохранении права собственности у концедента, а также обоснованное и сбалансированное распределение ответственности и риска участников концессионного соглашения, позволяющее сделать проект конкурентоспособным, доступным и инвестиционно привлекательным. Применение концессионного механизма на принципах ГЧП может способствовать сокращению бюджетных расходов как на создание объектов транспортной инфраструктуры, так и на их содержание, текущий и капитальный ремонт. При реализации инвестиционного проекта в рамках концессионного соглашения открывается возможность установления обоснованного тарифа за пользование объектами государственной инфраструктуры, позволяющего помимо операционных расходов концессионера покрывать часть капитальных затрат, что вместе с установлением платы концедента является важнейшей финансовой гарантией инвестора.

Следует также отметить, что при реализации концессионных проектов развития российских аэропортов возникает ряд про-

блемных вопросов, обусловленных, прежде всего, сложившейся имущественной схемой управления. На практике это приводит к тому, что современные концессии в данной сфере ориентированы в основном на строительство новых аэропортов, так называемых greenfield-проектов.

Библиографический список

1. Аэропорт Омск-Федоровка. – URL : <http://omsk-fedorovka.ru> (дата обращения 11.09. 2015).
2. Богачев Ю. С. Государственно-частное партнерство в инновационных системах / Ю. С. Богачев, А. М. Октябрьский // *Соврем. наука : актуал. проблемы теории и практики.* – 2012. – № 2. – С. 8–13. – (Экономика и право.)
3. Козин П. А. Усовершенствованный подход к оценке инвестиционных проектов, реализуемых по схеме государственно-частного партнерства / П. А. Козин, К. В. Наумкова // *Изв. ПГУПС.* – 2012. – Вып. 1 (30). – С. 143–148.
4. Литовченко С. Е. Риски бизнеса в частно-государственном партнерстве / С. Е. Литовченко, В. А. Евсеев, А. Е. Дынин, А. Д. Нефедьев, Я. В. Семенов. – М. : Ассоциация менеджеров, 2007.
5. Наумкова К. В. Эффективность государственно-частных инвестиций в железнодорожное строительство / К. В. Наумкова, Е. В. Есипова // *Науч.-технич. ведомости СПбГПУ.* – 2011. – № 2. – С. 144–149.
6. Татаркин Д. А. Государственно-частное партнерство в системе стратегического развития территорий / Д. А. Татаркин, Е. Н. Сидорова. – Екатеринбург : Ин-т экономики РАН, 2011. – 121 с.
7. Федеральный закон от 21.07.2005 г. № 115-ФЗ «О концессионных соглашениях». – URL : <http://docs.cntd.ru/document/901941331>.
8. Холодная Н. Д. Государственно-частное партнерство – новый тип отношений в российской экономике / Н. Д. Холодная // *Вопр. гос. и муниципал. управления.* – 2009. – № 2. – С. 42–56.

References

1. Aeroport Omsk-Fedorovka (Omsk-Fedorovka Airport), available at : <http://omsk-fedorovka.ru>.
 2. Bogachev Yu. S. & Oktyabrskiy A. M. *Sovremennaya nauka: aktualnyye problemy teorii i praktiki (Seriya : ekonomika i pravo) – Mod. Sci. : Curr. Probl. of Theory and Pract. (Econ. and Law Series)*, 2012, no. 2, pp. 8-13.
 3. Kozin P.A. & Naumkova K. V. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2012, Is. 1 (30), pp. 143-48.
 4. Litovchenko S.Ye., Yevseyev V.A., Dynin A.Ye., Nefediev A. D. & Semenov Ya. V. *Riski biznesa v chastno-gosudarstvennom partnerstve [Business Risks in Public-Private Partnership]*. Moscow, Assotsiatsiya menedzherov, 2007.
 5. Naumkova K. V. & Yesipova Ye. V. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St Petersburg Polytechnic Univ.*, 2011, no. 2, pp. 144-149.
 6. Tatarkin D.A. & Sidorova Ye. N. *Gosudarstvenno-chastnoye partnerstvo v sisteme strategicheskogo razvitiya territoriy [Public-Private Partnership in the System of Strategic Development of Territories]*. Yekaterinburg, Econ. Inst. of the Rus. Acad. of Sci., 2011. 121 p.
 7. Russian Federation law No. 115-FZ dated July 21, 2005, *O kontsessiionnykh soglasheniyakh* (On Concession Agreements), available at: <http://docs.cntd.ru/document/901941331>.
 8. Kholodnaya N. D. *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipalnogo upravleniya – State and Munic. Manage. Issues*, 2009, no. 2, pp. 42-56.
- СОКОЛОВ Максим Юрьевич – канд. экон. наук, заведующий кафедрой государственного и муниципального управления Института «Высшая школа менеджмента» Санкт-Петербургского государственного университета, действительный государственный советник Российской Федерации 3-го класса, министр транспорта Российской Федерации.



УДК 330.146

Д. А. Динец, А. Г. Джавршян**СИСТЕМА ФИНАНСОВОГО ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ТРАНСПОРТНОГО ХОЛДИНГА**

Дата поступления: 04.02.2015

Решение о публикации: 12.07.2015

Цель: Развитие теории экономической безопасности железнодорожного транспорта с позиции оперативного управления дочерними и зависимыми обществами ОАО «РЖД». **Методы исследования:** Анализ (экспресс-анализ деятельности дочерних обществ, анализ мультифакторной производительности, регрессионный анализ, факторный анализ аддитивных моделей), синтез полученных данных и элементов теории оперативного управления. **Результаты:** 1) проведен анализ эффективности структурных преобразований на железнодорожном транспорте методом мультифакторной производительности. Выявлено, что рост добавленной стоимости большинства ключевых дочерних обществ ОАО «РЖД» обусловлен, главным образом, экстенсивными факторами, тогда как эффект от комбинаций факторов производства зачастую отрицателен; 2) выявлено существенное влияние политики управления оборотным капиталом на возможность приращения чистых активов дочерних обществ; 3) выявлены существенные дисбалансы в обеспеченных (по критерию устойчивости роста, по критерию Харрода) и реальных темпах роста дочерних обществ ОАО «РЖД»; 4) выявлена зависимость между динамикой оборотного капитала и экономической безопасностью транспортного железнодорожного холдинга. **Практическая значимость:** Исследования состоит в возможности применения предложенных методов анализа к оценке экономической безопасности отношений, возникающих в процессе управления холдингом ОАО «РЖД», а также в возможности устранения негативного влияния динамики оборотного капитала на реальные и обеспеченные темпы роста путем внедрения динамического процессного бюджетирования. Применение данного метода позволит сократить постоянную часть оборотного капитала, что приведет к росту интенсивности использования факторов производства дочерних структур, следовательно, к росту мультифакторной производительности, а значит, и к сокращению трансформационных издержек.

Бюджетирование, оперативное управление, экономическая безопасность.

***Darya A. Dinets**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, lfif1113@mail.ru; **Albert G. Dzhevrshtyan**, East Siberia Track Maintenance Directorate economist, postgraduate student, betoo@yandex.ru (Irkutsk State Transport University) FINANCIAL OPERATIONAL MANAGEMENT SYSTEM AS AN INSTRUMENT FOR ENSURING ECONOMIC SECURITY OF A TRANSPORT HOLDING COMPANY

Objective: Development of railway transport economic security theory from the position of operative management of subsidiaries and affiliates of Russian Railways JSC. **Methods:** Analysis (express analysis

of affiliates' activities, multifactor productivity analysis, regression analysis, factor analysis of additive models), synthesis of the obtained data and elements of operative management theory. **Results:** 1) An analysis of efficiency of structural reforms on railway transport was conducted by multifactor productivity methods. It was established that the growth in added value of most key Russian Railways JSC affiliates was caused primarily by inorganic factors, whereas the effect from combination of production factors is often negative; 2) significant influence of circulating capital management policies on possibility of increasing net assets of affiliates; 3) significant disbalances between warranted (by growth stability criterion, on Harrod model) and actual growth tempos of Russian Railways JSC affiliates were discovered; 4) a correlation between the dynamics of circulating capital and economic security of a transport holding company was discovered. **Practical importance:** Analysis methods proposed may be used to evaluate economic security of relations that occur in the process of managing the Russian Railways JSC holding company, and negative influence of circulating capital dynamics on actual and warranted growth tempos can be removed by introduction of dynamic process budgeting. Applying this method may allow to reduce permanent part of circulating capital, which will lead to an increase in intensity of use of affiliates' production factors, resulting in growth of multifactor productivity and leading to cutting transformational expenses.

Budgeting, operational management, economic security.

Развитие холдинговой структуры Российских железных дорог, формирование четкой вертикали власти, усложнение инструментов финансирования инфраструктурных проектов с участием дочерних и зависимых обществ (в том числе ОАО «Скоростные магистрали» для проектирования и строительства высокоскоростных железных дорог) – все эти факторы несут в себе дополнительные угрозы экономической безопасности компании, причем в контексте принятой дорожной карты по приватизации ОАО «РЖД» игнорирование этих угроз может привести к серьезным финансовым потерям.

Экономическая безопасность крупной системы характеризуется уровнем устойчивости связей между элементами данной системы и ее способностью к быстрой и безубыточной адаптации к изменению внешней среды. Применительно к железнодорожному транспорту РФ данное определение можно уточнить путем внесения в него поправки на постоянные реформы транспортной отрасли, вносящие внутренний дисбаланс в деятельность транспортного комплекса России. К реформам такого рода следует, на наш взгляд, относить те элементы финансовой политики государства, которые должны способствовать экономиче-

скому росту за счет использования проектов, прямо или косвенно связанных с деятельностью российских железных дорог. Используя подход, предложенный в работах А. А. Краснощека, можно интерпретировать экономическую безопасность функционирования железнодорожного транспорта как способность к наращиванию конкурентных преимуществ холдинга ОАО «РЖД» за счет внутренних ресурсов в условиях жесткого регулирования железнодорожного транспорта, с одной стороны, в качестве крупнейшего налогоплательщика, а с другой стороны, в качестве инструмента экономических и финансовых реформ государства [4, с. 78].

Иными словами, экономическая безопасность холдинга «РЖД» – это способность трансформируемой системы внутрихолдинговых экономических отношений адаптироваться к изменениям внешней среды без дополнительных убытков.

Однако при этом нельзя забывать, что система внутрикорпоративных экономических отношений ОАО «РЖД» с учетом громоздкой организационной структуры Общества зачастую представляет собой внутреннюю угрозу экономической безопасности, поскольку при ее адаптации к постоянным структурным ре-

формам неизбежны существенные трансформационные издержки. При этом под трансформационными издержками в соответствии с концепцией, предложенной О. С. Сухаревым, понимается потеря эффективности в результате изменения институциональной структуры общества (в данном случае речь идет не об общественном воспроизводстве капитала, а об эффективности железнодорожного комплекса РФ) [10]. Предполагается, что трансформационные издержки высоки в том случае, если в результате институциональных преобразований не достигается интенсивный экономический рост, т. е. изменение структуры, будучи затратным мероприятием, не сказывается на приросте интенсивности использования факторов производства. Для оценки этой интенсивности у дочерних обществ ОАО «РЖД» мы использовали метод оценки мультифакторной производительности¹ [11]. В соответствии с данным методом оценивается факторное влияние на рост добавленной стоимости уровня относительных цен², мультифакторной производительности, вклада основного капитала и фондоотдачи, а также вклада затрат на оплату труда и производительности труда. Данные анализа для дочерних обществ ОАО «РЖД» приведены на рис. 1.

Даже беглый взгляд на рис. 1 позволяет сделать однозначный вывод о недостаточном влиянии качественных параметров на рост добавленной стоимости дочерних обществ ОАО «РЖД»: положительное влияние на рост добавленной стоимости чаще всего достигается за счет изменения доли фонда оплаты труда в структуре себестоимости, тогда как качественные показатели использования факторов производства оказывают несущественное либо отрицательное влияние.

¹ Под мультифакторной производительностью понимается эффективность используемой комбинации факторов производства.

² Уровень относительных цен принят как отношение индекса цен транспорта к индексу цен производителей промышленных товаров в 2014 г. по данным Росстата.

Интересно также отметить, что для компаний, показавших наибольшее значение мультифакторной производительности, характерна либо невысокая доля ОАО «РЖД» в капитале (например, Волгоградтранспортпригород и Желдорреммаш), либо высокая степень диверсификации покупателей и заказчиков (например, Федеральная грузовая компания и Арена-2000), либо отсутствие связи с перевозочным процессом и технической работой инфраструктурных объектов (например, ВНИИЖТ и РЖД-Здоровье). Результаты расчетов подтверждают необходимость дальнейшего анализа для выявления способов повышения эффективности, сокращения трансформационных издержек и, следовательно, повышения уровня экономической безопасности сложившейся структуры отношений внутри холдинга.

На наш взгляд, для иллюстрации внутренней уязвимости экономических отношений в транспортном холдинге целесообразно рассматривать результаты хозяйственной деятельности дочерних и зависимых обществ ОАО «РЖД» (табл. 1).

В табл. 1 приведены обобщенные авторами данные публикуемой бухгалтерской отчетности дочерних и зависимых обществ ОАО «РЖД». Для анализа экономической безопасности транспортного холдинга с позиции внутрикорпоративных расчетов, на наш взгляд, необходимо оценить чистые активы как индикатор создания стоимости самостоятельных бизнес-единиц, чистую прибыль как ключевой показатель эффективности деятельности компании, а также чистый оборотный капитал как основной инструмент перераспределения финансовых ресурсов между ОАО «РЖД» и дочерними обществами (согласно внутрикорпоративной стратегии развития общества).

Степень сбалансированности перечисленных показателей позволит оценить в краткосрочном периоде уровень экономической безопасности внутрикорпоративных экономических отношений с позиции их влияния на цепочку создания стоимости.

Внимание, уделяемое нами чистому оборотному капиталу дочерних обществ, объяс-

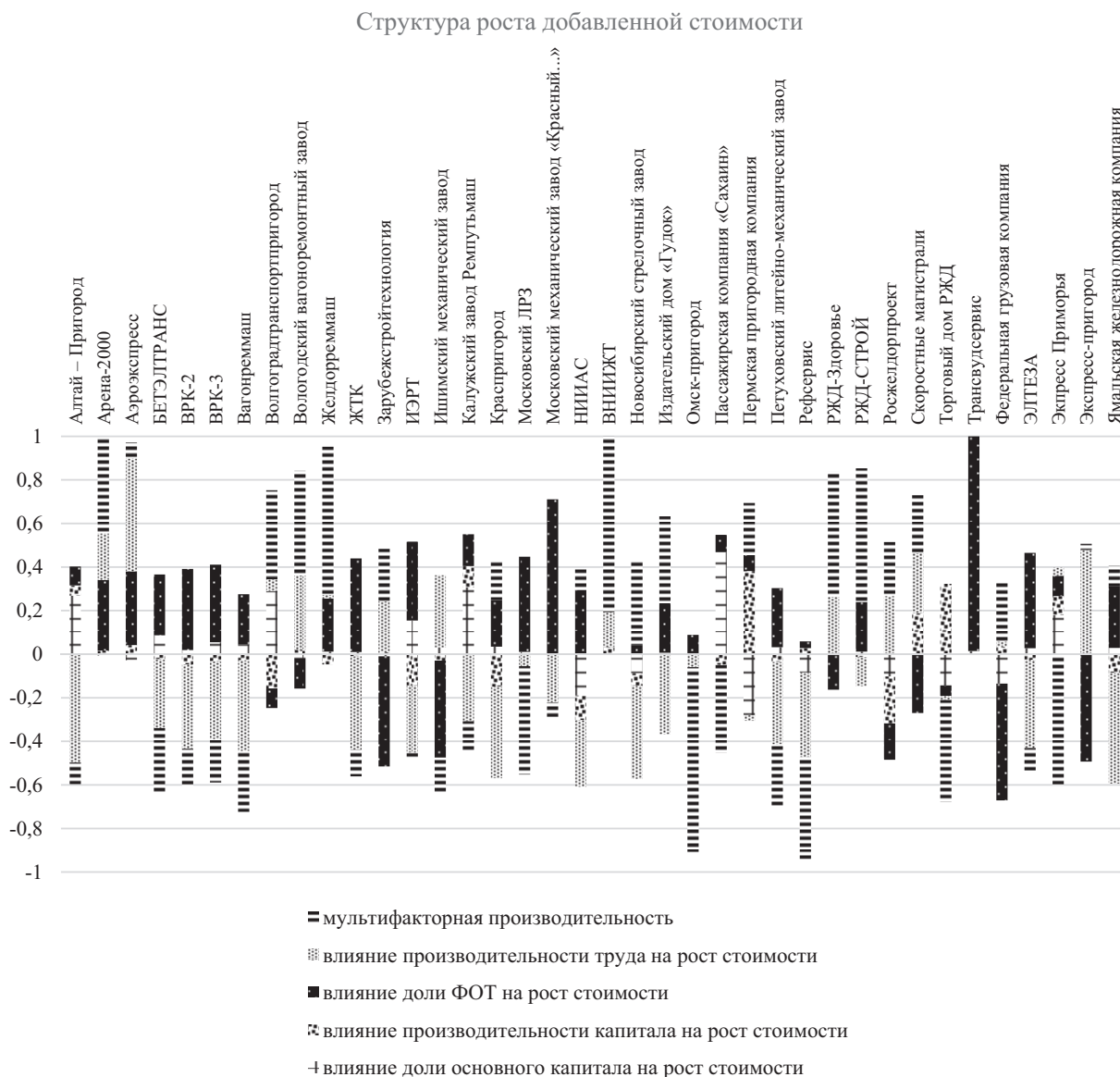


Рис. 1. Факторный анализ роста добавленной стоимости дочерних обществ ОАО «РЖД» в 2014 г.

няется тем, что основной целью последних согласно транспортной стратегии является рост стоимости бизнеса, рост прибыльности, а также возможность привлечения инвестиционных ресурсов извне. Реальная же практика показывает, что большинство дочерних обществ ОАО «РЖД» фактически постоянно испытывают дефицит оборотного капитала, в результате чего возникает замкнутый круг:

привлекаемые ресурсы расходуются не на финансирование инвестиционных программ, а на покрытие дефицита оборотного капитала, что приводит к убыткам, которые, в свою очередь, увеличивают текущие финансовые потребности. Такая динамика не позволяет компании развивать конкурентные сегменты бизнеса, негативно сказываясь на экономическом и финансовом потенциале, сокращая

ТАБЛИЦА 1. Основные показатели эффективности деятельности ДЗО ОАО «РЖД» (тыс. руб.)

Дочернее (зависимое) общество	Вид деятельности	Доля ОАО «РЖД» в уставном капитале	Устав- ный капитал	Чистые активы		Чистая прибыль		Чистый оборот- ный капитал	
				2013	2014	2013	2014	2013	2014
Алтай – Пригород	Пассажирские перевозки	0,51	100	-240 904	-255 131	1997	100	-306 292	-304 567
Арена-2000	Социальная сфера	0,9994	2101 200	1959 444	1984 550	10 583	25 107	35 178	57 054
Аэроэкспресс	Грузовые и пассажир- ские перевозки	0,25	5000	1385 800	2826 100	634 800	1599 000	732 900	1268 300
Баминвест	Банковская деятель- ность, инвестиции	0,8284	5000	6954		91		6176	нд
БЕТЭЛТРАНС	Инфраструктура	0,5	3769 701	5507 488	5332 304	661 988	437 357	1147 428	972 144
ВСМ	Инфраструктура	0,8738	310 000	-418 404	нд	-78 848		-646 863	Нд
ВРК-1	Подвижной состав: производство, ремонт, обслуживание	0,9999	11 777 162	12 930 163	нд	613 796		1138 538	Нд
ВРК-2	Подвижной состав: производство, ремонт, обслуживание	0,9999	8959 972	9501 655	9440 333	498 646	146 103	1297 527	1680 404
ВРК-3	Подвижной состав: производство, ремонт, обслуживание	0,9999	7015 888	725 579	7310 523	24 465	58 245	379 152	967 900
Вагонреммаш	Подвижной состав: производство, ремонт, обслуживание	0,25	4073 725	4514 090	4083 912	271 776	-115 450	632 698	238 763

Продолжение табл. 1

Дочернее (зависимое) общество	Вид деятельности	Доля ОАО «РЖД» в уставном капитале	Устав- ный капитал	Чистые активы		Чистая прибыль		Чистый оборот- ный капитал	
				2013	2014	2013	2014	2013	2014
Волгоградтран- спортпригород	Пассажирские перевозки	0,51	100	-136 451	-133 273	98	3 177	-136 451	-133 273
Вологодский ваго- норемонтный завод	Подвижной состав: производство, ремонт, обслуживание	0,9999	757 491	607 111	664 964	7664	57 853	-51 096	7962
Желдорипотека	Социальная сфера	0,5001	999 600	902 082		40 475		7472 274	Нд
Желдорреммаш	Инфраструктура	0,25	15 162 765	13 594 107	13 356 485	-490 104	-147 622	3235 872	408 806
ЖТК	Инфраструктура	0,9999	8077 297	8249 151	8160 804	7961	-81 182	732 451	694 837
Забайкалстальин- вест	Банковская деятель- ность, инвестиции	0,251	103	-16 326	-41 891	-23 845	-25 565	701 956	679 731
Зарубежстройтех- нология	Инфраструктура	0,9999	21 400	-1665 833	-2500 770	-39 473	-850 093	-8869 747	-9263 107
ИЭРТ	НИОКР	0,9999	17 748	21 257	276 625	88 146	84 391	225 099	225 979
Ишимский механи- ческий завод	Инфраструктура	0,9999	216 196	261 774	243 647	34 363	12 800	99 137	101 319
Калужский завод Ремпутьмаш	Инфраструктура	0,9999	4470 412	3730 290	3781 351	493 398	51 061	-9500 644	1199 993
Краспригород	Пассажирские перевозки	0,51	100	-160 454	-185 950	-32 716	-25 496	-206 429	-236 789

Продолжение табл. 1

Дочернее (зависимое) общество	Вид деятельности	Доля ОАО «РЖД» в уставном капитале	Устав- ный капитал	Чистые активы		Чистая прибыль		Чистый оборот- ный капитал	
				2013	2014	2013	2014	2013	2014
Московская коль- цевая железная дорога	Иная	0,5	5009 531	5498 638	5792 987	257 732	294 349	4591 824	4615 697
Московский ЛРЗ	Инфраструктура	0,9999	946 586	700 182	626 176	1646	-74 006	-423 217	-417 118
Московский ме- ханический завод «Красный путь»	Инфраструктура	0,9999	562 513	493 805	500 639	1168	6834	2604	6532
НИИАС	Информация и связь	0,75	748 900	933 000	961 822	12 505	41 170	479 320,5	522 103
ВНИИЖТ	НИОКР	0,9999	3678 841	3740 729	3762 096	27 338	21 367	782 151	910 455
Новосибирский стрелочный завод	Инфраструктура	0,25	1950 197	327 884	3093 341	344 447	122 013	1311 108	1143 170
Издательский дом «Гудок»	Социальная сфера	1	332 771	360 770	368 150	15 537	21 752	39 502	54 553
Омск-пригород	Пассажирские перевозки	0,51	1811	465 399	515 560	1992	714	-14 909	-21 956
Пассажирская ком- пания «Сахалин»	Пассажирские перевозки	0,99	100	-33 531	9814	14 611	43 345	-133 906	-14 592
Пермская приго- родная компания	Пассажирские перевозки	0,51	100	-38 154	-34 671			-53 277	-47 035
Петуховский литейно-механи- ческий завод	Инфраструктура	1	285 458	220 390	184 074	10 864	-36 316	79 324	43 822

Окончание табл. 1

Дочернее (зависимое) общество	Вид деятельности	Доля ОАО «РЖД» в уставном капитале	Устав- ный капитал	Чистые активы		Чистая прибыль		Чистый оборот- ный капитал	
				2013	2014	2013	2014	2013	2014
РЖД-Здоровье	Социальная сфера	1	8139960	8334695	9102243	12902	-20857	262134	48380
Рефсервис	Грузовые перевозки	1	3941493	2487194	2229676	-51880	-257518	1216119	1286668
РЖД-СТРОЙ	Инфраструктура	1	9933153	6092294	-387237	-4379542	-6479531	32160387	-11384927
РейлТрансАвто	Грузовые перевозки	0,51	3265163	2819602	2735481	279731	-12585	883030	361389
Росжелдорпроект	НИОКР	0,25	1366467	5663721	6383264	1243805	1409563	1969387	2147137
Скоростные маги- страли	Инфраструктура	0,75	1000	-181478	-149688	7627	31790	-642260	-535011
Торговый дом РЖД	Иная	0,501259	3970	2033751	2044219	393808	344586	10389891	8575583
Трансвудсервис	Инфраструктура	1	1944939	1179422	1317558	26688	138136	-85216	81819
Федеральная грузо- вая компания	Грузовые перевозки	1	59588855	8550231	81871215	2565822	-3630011	761990	-1885509
ЭЛТЕЗА	Инфраструктура	0,5	268936	3098156	3099450	1935	3035	1182234	459687
Экспресс Примо- рья	Пассажирские перевозки	0,51	100	-2124568	-2332202	-408752	-207634	-473293	80943
Экспресс-пригород	Пассажирские перевозки	0,51	849	170012	125312	43	-44700	-576862	-623989
Ямальная желез- нодорожная компа- ния	Инфраструктура	0,45	10000	35538	454396	147449	99057	73983	148928

возможности компании развиваться в изменяющейся внешней среде, т. е. фактически сокращая уровень экономической безопасности холдинга в целом.

По данным таблицы можно сделать вывод, что отрицательное значение чистого оборотного капитала присуще всем компаниям, осуществляющим пригородные пассажирские перевозки, т. е. не имеющим дебиторской задолженности по основной деятельности. Кроме того, отрицательное значение чистого оборотного капитала сохраняется у компаний, имеющих убытки (например ВСМ), либо у компаний, чистые активы которых меньше уставного капитала (например, Калужский завод Ремпутьмаш либо Московский ЛРЗ).

Иными словами, отсутствие дефицита финансирования оборотных активов либо свя-

зано с относительной независимостью указанных активов от деятельности материнской компании, либо является свидетельством низкой финансовой устойчивости. То есть система перераспределения финансовых ресурсов холдинга такова, что большинство компаний постоянно нуждается в дополнительных источниках оборотных средств, другими словами, не располагает резервами обеспечения и поддержания экономической безопасности холдинга.

Далее на основании данных отчетности мы провели косвенный анализ чистого денежного потока по основной (операционной) деятельности дочерних обществ (рис. 2).

Рисунок показывает, что изменения чистого оборотного капитала, а также амортизация являются наиболее устойчивыми источни-



Рис. 2. Структура источников чистого денежного потока по операционной деятельности дочерних обществ ОАО «РЖД»

ками формирования денежного потока, что свидетельствует о недостаточной операционной эффективности деятельности дочерних обществ.

Далее мы проанализировали зависимость стоимости чистых активов от чистого оборотного капитала. Следует отметить, что этот анализ проведен посредством оценки влияния чистого оборотного капитала на денежный поток компании как основной источник роста стоимости бизнеса. Мы исследовали зависимость стоимости чистых активов от величины чистой прибыли, скорректированной на приращение чистого оборотного капитала (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что балансовая стоимость бизнеса дочерних обществ напрямую зависит не только от финансовых результатов (которые, в свою очередь, также зависят от оборотного капитала), но и от величины текущих финансовых потребностей.

Таким образом, следует признать в корне неверной существующую политику управления оборотным капиталом материнской компании ОАО «РЖД». При сохранении наметившихся тенденций к увеличению чистого оборотного капитала дочерних обществ можно ожидать крайне негативных результатов

и, возможно, необходимости финансировать текущие потребности дочерних компаний в ущерб финансированию инвестиционной программы. Безусловно, такая ситуация говорит о невысоком уровне экономической безопасности внутрихолдинговых расчетов.

Для полноты анализа экономической безопасности в контексте парадигмы стоимостного управления бизнесом мы рассчитали реальные темпы роста выручки, активов и денежного потока дочерних фирм ОАО «РЖД», а также обеспеченный сбережениями темп роста (по Харроду) [6] и темп устойчивого роста, определяемый неизменностью операционной и финансовой политики (рис. 4).

Рис. 4 показывает относительную устойчивость темпов роста дочерних фирм по различным параметрам, однако очевидно, что обеспеченные сбережениями и устойчивые темпы роста несколько ниже фактических значений. Это означает, что у дочерних фирм недостаточно собственных ресурсов для реализации инвестиционной программы, а также для роста объемов выпуска. Такая зависимость от внешних финансовых ресурсов, в частности, от ресурсов материнской компании, не позволяет говорить о высоком уровне

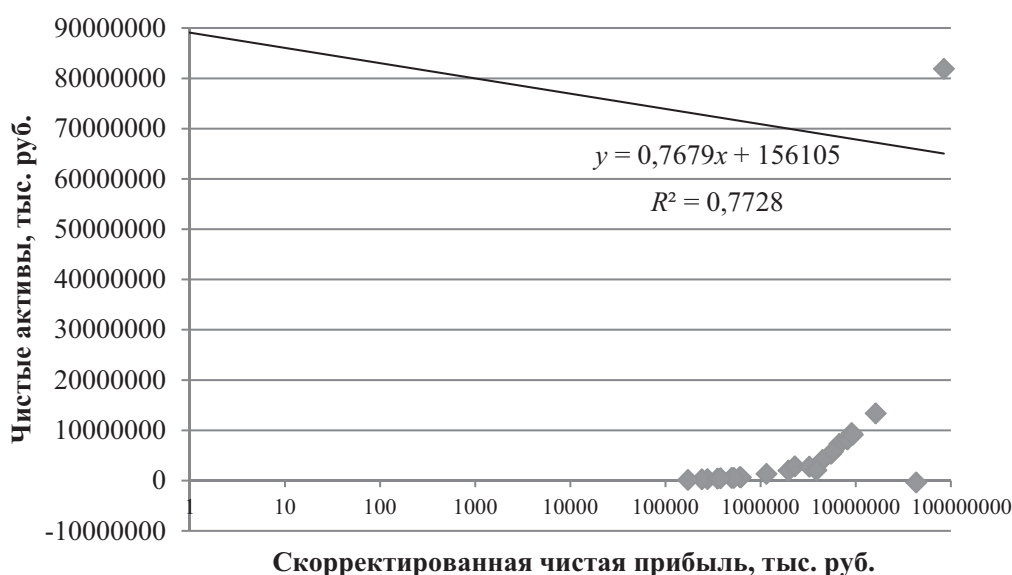


Рис. 3. Зависимость стоимости чистых активов дочерних обществ от величины чистой прибыли, скорректированной на приращение чистого оборотного капитала

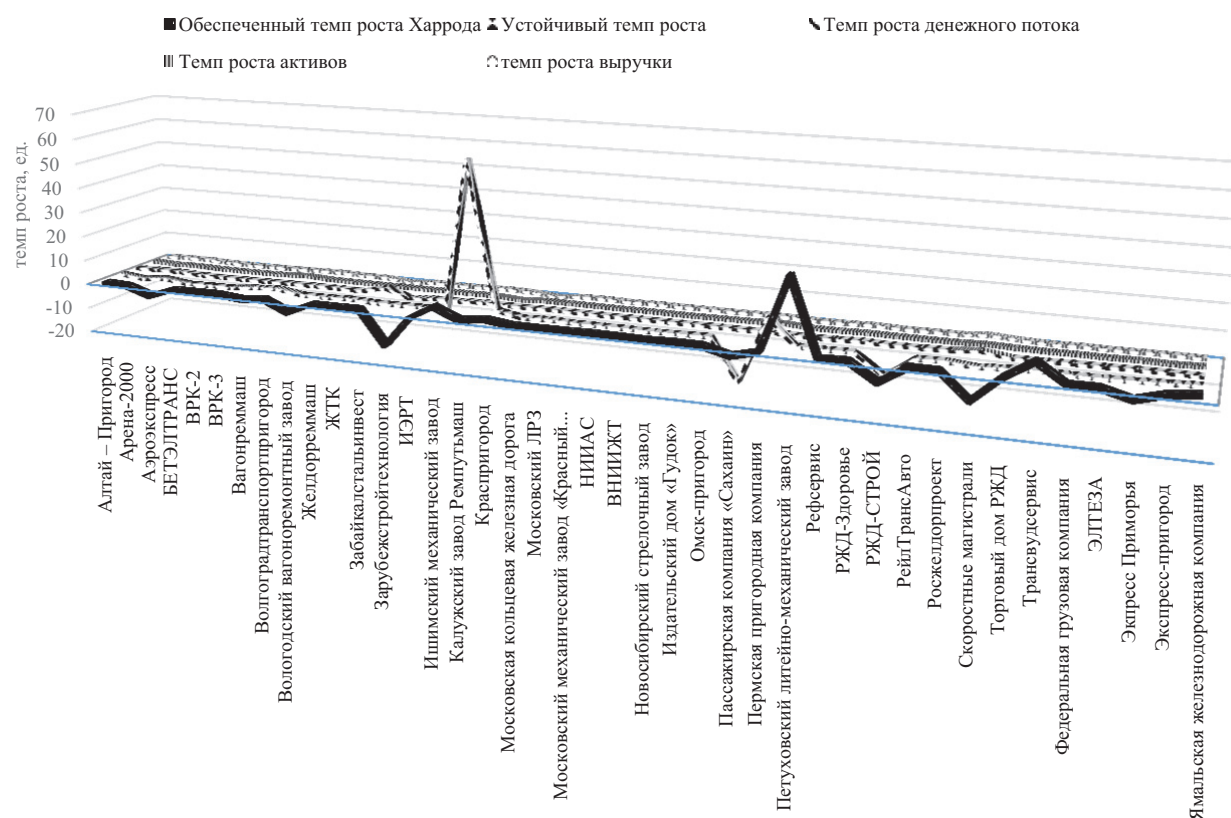


Рис. 4. Фактические и обеспеченные темпы роста дочерних фирм ОАО «РЖД»

экономической безопасности деятельности холдинга в целом.

Учитывая специфику объекта исследования, а также принимая во внимание то обстоятельство, что стратегические решения инвестиционного и финансового характера принимаются на уровне государства, единственным доступным инструментом управления экономической безопасностью ОАО «РЖД» может считаться оперативное внутрихолдинговое управление, ключевым инструментом которого является бюджетирование.

На наш взгляд, одним из инструментов решения описанных проблем может стать система динамического процессного бюджетирования, обеспечивающего формирование такого бюджета, который представляет целостную картину развития компании и ее бизнес-процессов и ориентирован на финансирование процессов, а не всей бизнес-деятельности.

Внедрение такой системы позволит фрагментировать деятельность бизнес-блока с возможностью финансирования отдельных локальных процессов деятельности.

По нашему мнению, главным недостатком сложившихся систем бюджетирования является отсутствие его связи с мотивированностью всех подразделений на успешную реализацию принятой стратегии. Этот вывод подтверждается приведенным выше анализом факторной производительности: на рост добавленной стоимости в большей степени влияет физическое сокращение затрат на оплату труда, нежели его производительность. В железнодорожном холдинге бюджет имеет пока недостаточное отношение к организационной стратегии, поскольку внимание руководителей предприятий и их действия направлены на исполнение текущих бюджетов, а не на реализацию стратегических целей

повышения эффективности и конкурентоспособности.

Структурные подразделения, линейные предприятия ОАО «РЖД» недостаточно мотивированы для исполнения и оптимизации бюджетных показателей, а мотивационные фонды в организации, по общему мнению, с такими задачами не справляются. Также плохо отлажена система взаимодействия между предприятиями в процессе выполнения общих задач.

Процессный подход предполагает бюджетирование по процессам, по объектам работы, а не по подразделениям. То есть в работе по конкретному объекту участвуют несколько предприятий или компаний, которые выполняют определенную долю работ. Для этого объекта предполагается определенная мотивационная сумма, которая будет разделена между участвующими в работе субъектами пропорционально удельному весу выполненных работ при условии, что данное предприятие выполнило работы в установленный срок и в пределах запланированных в бюдже-

те объемов затрат и не допустило серьезных нарушений. При невыполнении этих условий доля мотивационных выплат данного предприятия делится между остальными предприятиями также пропорционально удельному весу выполненных работ (рис. 5).

Таким образом будет достигнут перевод постоянных регулярных внутрикорпоративных платежей в переменные, зависящие от объема и даже качества выполненных работ. Рациональное внедрение данной системы позволит сократить текущие финансовые потребности дочерних обществ, а также оптимизировать их и подчинить ходу реального производственного процесса в его динамике. В результате предполагается увеличение производительности труда на предприятиях и снижение материальных затрат за счет снижения брака, а также сбалансирование текущих активов и обязательств и оптимизация постоянной непроизводительной части оборотного капитала.

Для обоснования необходимости применения процессного бюджетирования в про-

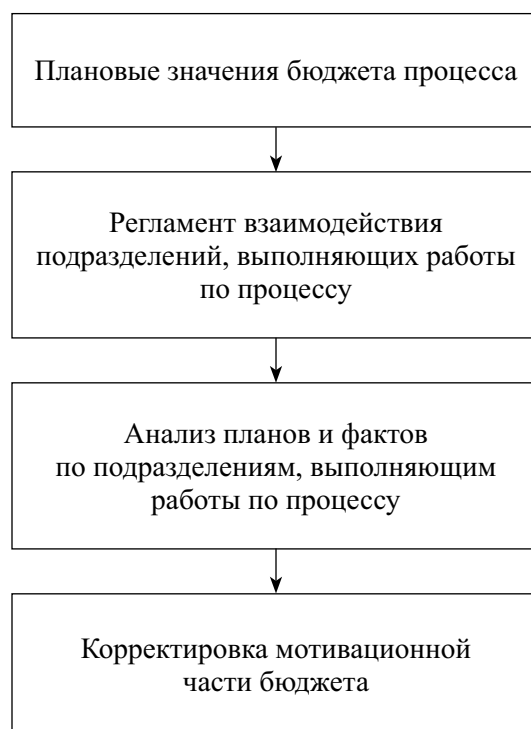


Рис. 5. Алгоритм применения процессного подхода

цессе оперативного управления холдингом сравним преимущества и недостатки различных методов построения текущих бюджетов (табл. 2).

Основной эффект, достижение которого становится возможным благодаря внедрению системы динамического бюджетирования, таким образом, состоит в том, чтобы за счет перевода части постоянных затрат в пере-

менные выделить мотивационную составляющую бюджета процесса. В итоге предлагаемая схема позволит перейти к системе прогрессивных бюджетов, за исполнение которых дополнительное вознаграждение будут получать те подразделения, которые приложили максимальные усилия для синхронности и слаженности исполнения процесса в целом.

ТАБЛИЦА 2. Сравнительная характеристика методов бюджетирования

Метод бюджетирования	Преимущества	Недостатки
Статический бюджет подразделения	Независимость подразделений в процессе исполнения бюджета	1. Большие отклонения бюджетных показателей от фактических расходов. 2. Недостаточная мотивированность подразделений для исполнения и оптимизации бюджетных показателей. 3. Возможные простои из-за недофинансирования. 4. Низкое качество планирования, нерепрезентативность данных анализа исполнения бюджетов
Динамический бюджет подразделения	1. Возможность внесения корректировки с целью максимального приближения бюджетных показателей к фактическим. 2. Сокращение непроизводительного направления финансовых ресурсов компании и недопущение избыточных запасов	1. Недостаточная мотивированность подразделений для исполнения и оптимизации бюджетных показателей. 2. Отсутствие ориентации на результат
Бюджет процесса (динамический)	1. Увеличение заинтересованности подразделений в положительном результате. Экономия за счет роста производительности труда. 2. Рост прозрачности показателей. 3. Увеличение слаженности между подразделениями-исполнителями при выполнении работ. 4. Перевод части постоянных затрат в переменные, что сокращает потребность в их финансировании	1. Увеличение взаимозависимости между подразделениями. 2. Дополнительные расходы на мотивационную составляющую бюджета

В контексте экономической безопасности такая система мер позволит обеспечить внутреннюю стабильность основных процессов, что сократит изъятия производственного потенциала, повысит производительность и слаженность элементов производственного и финансового механизма холдинга. Таким образом, потенциал экономической безопасности возрастет за счет гармонизации цепочки создания стоимости на операционном уровне.

Экономическая безопасность Российских железных дорог всецело зависит от государственной политики, однако нельзя забывать, что чем более рационально будут организованы внутренние финансовые потоки, тем меньше государственных расходов потребуются для обеспечения заданных параметров экономического роста и развития железнодорожной и всех смежных отраслей. По этой причине нельзя не говорить о необходимости постоянного совершенствования системы внутреннего оперативного управления в холдинге как ключевого и реально доступного к применению инструмента управления внутренней экономической безопасностью.

Библиографический список

1. Брегадзе И. В. Совершенствование системы бюджетного управления ОАО «РЖД» / И. В. Брегадзе // Экономика железных дорог. – 2012. – № 6. – С. 60–65.
2. Губарь О. В. Новая модель финансового управления филиалами ОАО «РЖД»: механизм бюджетирования / О. В. Губарь, М. Л. Литвиненко // Гуманитарные и социально-экономические науки. – 2005. – № 4. – С. 46.
3. Дудкевич О. А. Система бюджетного управления открытого акционерного общества «Российские железные дороги» / О. А. Дудкевич, Н. П. Чипига. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2008. – 76 с.
4. Краснощек А. А. Современные аспекты анализа и оценки экономической безопасности организаций / А. А. Краснощек, Д. А. Динец // Корпоративные финансы. – 2010. – № 4 (16). – С. 73–83.

5. Логунова Д. В. Особенности системы финансового планирования на железнодорожном транспорте / Д. В. Логунова // Управление экономическими системами. – 2012. – № 12 (48). – URL : <http://uecs.ru/marketing/item/1788-2012-12-12-06-06-52>.

6. Маневич В. Е. Кейнсианская теория и российская экономика / В. Е. Маневич. – М. : ЛЕНАНД, 2015. – 224 с.

7. Полухина И. В. Особенности организации аналитической работы по управлению внутригрупповыми расчетами в холдинге / И. В. Полухина // Новые подходы в экономике и управлении: материалы Междунар. науч.-практич. конф. – Пенза, 2011. – С. 82–92.

8. Продажа акций дочерних и зависимых обществ ОАО «РЖД». – URL : http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5130.

9. Сольская И. Ю. Трансформация инструментов финансового управления в транспортном холдинге / И. Ю. Сольская, Е. А. Ивановская // Тр. IV междунар. науч.-практич. конф. «Безопасность регионов – основа устойчивого развития», 22–26 сент. 2014, Иркутск. – Иркутск, 2014.

10. Сухарев О. С. Эволюционная экономика / О. С. Сухарев. – М. : Финансы и статистика, 2012. – 800 с.

11. Экономика России. Оксфордский сб. – М. : Изд-во ин-та Гайдара, 2015. – 776 с.

References

1. Bregadze I. V. *Ekonomika zheleznykh dorog – Econ. of Railways*, 2012, no. 6, pp. 60-65.
2. Gubar O. V. & Litvinenko M. L. *Gumanitarnyye i sotsialno-ekonomicheskiye nauki – Liberal and Socio-economic Sci.*, 2005, no. 4, pp. 46.
3. Dudkevich O. A. & Chipiga N. P. *Sistema byudzhnogo upravleniya otkrytogo aktsionernogo obshchestva “Rossiyskiye zheleznyye dorogi”* [System of Budgetary Management of the Russian Railways JSC]. Khabarovsk, Izdatelstvo DVGUPS, 2008. 76 p.
4. Krasnoshchek A. A. & Dinets D. A. *Korporativnyye finansy – Corporate Finances*, 2010, no. 4 (16), pp. 73-83.
5. Logunova D. V. *Upravleniye ekonomicheskimi sistemami – Managing Econ. Systems*, 2012, no. 12

(48), available at: <http://uecs.ru/marketing/item/1788-2012-12-12-06-06-52>.

6. Manevich V.Ye. Keynesianskaya teoriya i rossiyskaya ekonomika [Keynesian Theory and Russian Economy]. Moscow, LENAND, 2015. 224 p.

7. Polukhina I. V. Osobennosti organizatsii analiticheskoy raboty po upravleniyu vnutrigruppovymu raschetami v kholdinge [Specific Features of Organising Analytical Work for Managing Intragroup Payments in a Holding Company]. *Novyye podkhody v ekonomike i upravlenii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (New Approaches in Econ. and Manage.: proc. of int. res. and pract. conf.). Penza, 2011. Pp. 82-92.

8. Prodazha aktsiy dochernikh i zavisimyykh obshchestv OAO RZhD [Sale of Shares of Affiliates and Subsidiaries of Russian Railways JSC], available at: http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5130.

9. Solskaya I.Yu. & Ivanovskaya Ye.A. Transformatsiya instrumentov finansovogo upravleniya v trans-

portnom kholdinge [Transforming Financial Management Instruments in a Transport Holding Company]. *Trudy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Bezopasnost regionov – osnova ustoychivogo razvitiya"* (Proc. of the 4th int. res. and pract. conf. "Regions' Security Is the Basis of Sustainable Development"), Irkutsk, Sept. 22-26, 2014. Irkutsk, 2014.

10. Sukharev O.S. Evolyutsionnaya ekonomika [Evolutionary Economics]. Moscow, Finansy i statistika, 2012. 800 p.

11. Ekonomika Rossii. Oksfordskiy sbornik [Russia's Economy. The Oxford Collection]. Moscow, Izdatelstvo Instituta Gaydara, 2015. 776 p.

*ДИНЕЦ Дарья Александровна – канд. экон. наук, доцент, lf1113@mail.ru; ДЖАВРШЯН Альберт Геворгович – экономист Восточно-Сибирской дирекции по ремонту пути, аспирант, betoo@yandex.ru (Иркутский государственный университет путей сообщения).

УДК 629.4.048

А. Л. Емельянов, И. Г. Киселев, М. Ю. Кудрин, В. П. Приймин**ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ**

Дата поступления: 07.05.2015

Решение о публикации: 07.07.2015

Цель: Показать возможности дальнейшего совершенствования транспортных кондиционеров для пассажирских вагонов. Рассмотреть возможности расширения диапазона низких температур наружного воздуха, при которых допустимо использовать режим «тепловой насос» для отопления пассажирских вагонов, с помощью замены рабочего вещества транспортного кондиционера на более эффективные хладагенты R404a, R407c, R410a и технологию двухступенчатого сжатия рабочего вещества. **Метод:** Использовалось последовательное рассмотрение отдельных наиболее эффективных технических решений, основанных на теоретических выводах и последнем опыте отечественных научных школ. **Результаты:** Выявлены предварительные параметры оборудования транспортного кондиционера, использующего двухступенчатое сжатие, который сможет обеспечивать теплом пассажирские вагоны при температуре наружного воздуха -25°C с коэффициентом преобразования около 3. **Практическая значимость:** Доказана реальная возможность создания подобных кондиционеров. Результаты исследования можно использовать в качестве ориентировочных при проектных расчетах транспортных кондиционеров, использующих технологию двухступенчатого сжатия рабочего вещества.

Реверсивный кондиционер, тепловой насос, пассажирский вагон, система кондиционирования, расширение диапазона режима «тепловой насос».

Anatoliy L. Yemelyanov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, senior researcher, emelianovt@mail.ru (ITMO University), **Igor G. Kiselev**, D. Eng., professor, kiss-tatiana@yandex.ru, **Mikhail Yu. Kudrin**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, kudrin_mik@mail.ru, ***Vyacheslav P. Priymin**, postgraduate student, magistrall16.vp@gmail.com (Petersburg State Transport University) PERSPECTIVES OF IMPROVING HEAT PUMP REGIME OF RAILWAY AIR CONDITIONERS

Objective: To show possibilities for further improvements of vehicle air conditioners for passenger carriages. To consider possibilities of expanding the range of low temperatures of outer air under which it is permitted to use the heat pump regime for heating passenger carriages by replacing the working fluid of a vehicle air conditioner with more efficient cooling agents R404a, R407c, R410a and by deploying the compound compression of working fluid technology. **Methods:** Sequential examination of some of the most efficient technical solutions based on theoretical conclusions and most recent experience of Russia's research schools was used. **Results:** Preliminary equipment parameters of a vehicle air conditioner deploying compound compression that can provide heating to passenger carriages with outer air temperatures of -25 degrees Celsius with transformation ratio of about 3. **Practical importance:** Actual possibility of creating such air conditioners is proven. Study results can be used as guide values in design calculations for vehicle air conditioners deploying the technology of compound compression of working fluid.

Reversible air conditioner, heat pump, passenger carriage, air conditioning system, expanding the range of heat pump regime.

Сегодня отечественная промышленность производит транспортные кондиционеры для пассажирских вагонов с возможностью работы в режиме «тепловой насос» (ТН) [4]. Преимуществом этого режима по сравнению с электроотоплением от подвагонной магистрали является существенная (до 50%) экономия электрической энергии. Кроме того, кондиционер, ранее не использовавшийся в холодный период года, становится полноценной климатической установкой, поддерживающей комфортные условия в салоне вагона не только летом, но и в межсезонье. Полностью отказаться от электроотопления или твердотопливного котла не позволяет ограниченный диапазон температур наружного воздуха, при котором применяется режим ТН: реверсивные кондиционеры переходят в него с понижением температуры наружного воздуха до $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ и могут эффективно отапливать вагон без подключения дополнительных источников теплоснабжения до температуры наружного воздуха $t_{\text{н.в.}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4].

Известны общепромышленные системы кондиционирования воздуха (СКВ) типа «воздух – воздух» или «воздух – жидкость», способные отапливать помещения при $t_{\text{н.в.}} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ с коэффициентом трансформации $\varphi = 2-3$ [3], поэтому одним из основных направлений совершенствования теплонасосной техники на железнодорожном транспорте является расширение диапазона отрицательных температур наружного воздуха, при которых возможно отопление пассажирского вагона с сохранением требуемых комфортных параметров микроклимата. Ниже рассматриваются два перспективных способа решения поставленной задачи [3].

1 Замена рабочего вещества

Одним из наиболее легко выполнимых способов является замена рабочего вещества на хладагент, имеющий более низкую температуру кипения. Обзор хладагентов с низкой температурой испарения, которые могут ис-

пользоваться в транспортных системах кондиционирования воздуха, приведен в [6]. В настоящее время большинство реверсивных кондиционеров на железнодорожном транспорте работают на хладоне R134a. При атмосферном давлении температура его кипения составляет $-26,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это означает, что уже при $t_{\text{н.в.}} \leq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ становится нежелательной эксплуатация направленных им установок из-за возможности попадания жидкого хладона во всасывающую магистраль компрессора и его выхода из строя из-за гидроударов. Переход на смесевые хладагенты, например, R404a, R407c, R410a позволил бы с незначительными изменениями в существующих установках сдвинуть нижнюю границу диапазона эффективного применения режима ТН.

2 Многоступенчатое сжатие рабочего вещества

Другим способом расширения диапазона наружных температур является применение технологии многоступенчатого сжатия рабочего агента в теплонасосном цикле. Впервые возможность применения многоступенчатого сжатия в железнодорожных реверсивных кондиционерах рассмотрел Е. Т. Бартош [2]. Он показал, что в условиях эксплуатации пассажирских вагонов потребуется не более двух ступеней сжатия. Переход к двухступенчатому сжатию, существенно усложняющему принципиальную схему установки, происходит по нескольким причинам. При снижении $t_{\text{н.в.}}$ снижается и температура кипения t_0 , а значит, возрастает степень сжатия рабочего вещества $\pi_k = p_{\text{конд}} / p_{\text{исп}}$ компрессором. При $\pi_k \geq 8$ рекомендуется переходить к двухступенчатому сжатию [1] из-за роста температуры нагнетания, что неблагоприятно сказывается на работе компрессора, а также из-за снижения объемных и энергетических коэффициентов компрессора, что уменьшает эффективность теплонасосного цикла в целом.

Принципиальная схема установки, предложенная в [2], предусматривала двухсту-

пенчатое сжатие с неполным промежуточным охлаждением рабочего вещества между ступенями. Кроме этого, в рассматриваемой схеме применялась внутренняя регенерация, повышающая удельную теплопроизводительность цикла. Теплоота воздуха, удаляемого из вагона, для улучшения условий испарения отводилась на теплообменник наружного блока. Согласно расчетам, установка на хладагент R22 могла отапливать вагон до температуры наружного воздуха $t_{н.в.} \approx -33^\circ\text{C}$. Однако практические исследования ограничились модернизацией существовавших в то время кондиционеров для возможности их работы в режиме «тепловой насос». Двухступенчатый цикл в реверсивных кондиционерах пассажирских вагонов не был реализован.

В связи с накоплением опыта эксплуатации тепловых насосов на железных дорогах (сейчас около 2,5 % пассажирских вагонов оборудованы климатическими установками с режимом ТН [4]) и реальной экономией электроэнергии идея расширения рабочих температур для теплонасосного отопления весьма актуальна. Климатологические данные распределения наружных температур за отопительный период на европейской части России показали, что температуры ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ бывают относительно небольшой период времени. В таких условиях энергетически эффективным будет кондиционер, большую часть времени работающий как в холодильном, так и в теплонасосном режиме по одноступенчатому циклу и переходящий к двухступенчатому циклу при пиковых понижениях $t_{\text{н.б}}$. Такой кондиционер имеет два компрессора: основной и бустерный. Бустерный компрессор повышает давление хладагента для основного компрессора только при низких наружных температурах. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

Для рассматриваемого кондиционера с принципиальной схемой (рис. 1) предполагается использование спиральных компрессоров, получивших в последнее время широкое распространение в холодильной технике благодаря их высокой энергетической эффектив-

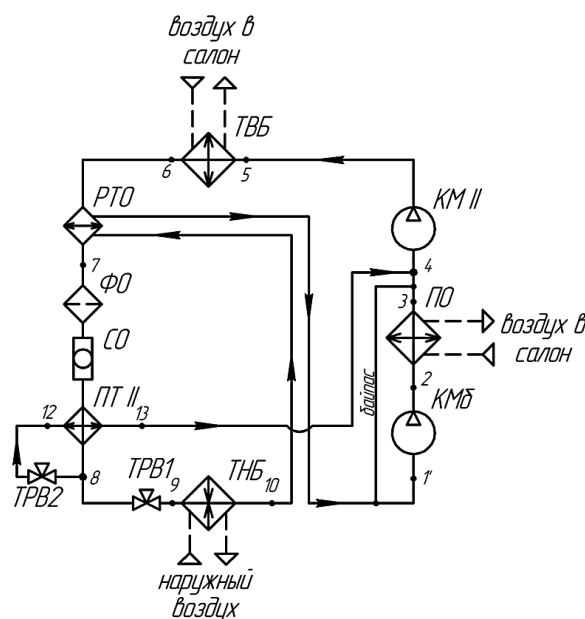


Рис. 1. Принципиальная схема теплонасосной установки с двухступенчатым сжатием для пассажирских вагонов: ТНБ – теплообменник наружного блока; ТВБ – теплообменник внутреннего блока; КМб – бустерный компрессор; КМ II – основной компрессор; ПО – промежуточный охладитель; РТО – регенеративный теплообменник; ФО – фильтр-осушитель; СО – смотровое стекло; ПТ II – промежуточный теплообменник; ТРВ1 и ТРВ2 – терморегулирующие вентили. Точки показывают агрегатирование процессов в цикле ТН (см. рис. 2)

ности, надежности и долговечности. Имеется опыт эксплуатации таких компрессоров на железнодорожном транспорте, подтверждающий их достоинства [5].

Теплонасосный цикл в координатах «давление – энтальпия», иллюстрирующий особенности перспективной установки, приведен на рис. 2. Помимо двухступенчатого сжатия особенностями установки являются внутренняя регенерация теплоты хладагента (теплообменник РТО, отрезки 10–1' и 6–7) и неполное промежуточное охлаждение с помощью теплообменника ПО, который является дополнительной поверхностью нагрева приточного воздуха. Это позволяет уменьшить площадь поверхности теплообменника внутреннего

Предварительные характеристики оборудования двухступенчатого реверсивного кондиционера

Параметр	Двухступенчатый ТН при $t_{н.в} -25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{салона} 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Требуемая теплопроизводительность системы отопления, кВт	35,7
Теоретическая объемная производительность бустерного компрессора, м ³ /ч	91,0
Теоретическая объемная производительность основного компрессора, м ³ /ч	24,3
Площадь теплообменной поверхности ТНБ*, м ²	79,2
Площадь теплообменной поверхности ТВБ, м ²	48,4
Площадь теплообменной поверхности ПО, м ²	8,7
Теоретическая изохэнтронная мощность на привод компрессоров, кВт	11,2
Холодильный коэффициент установки в режиме летнего охлаждения, ϵ_m	2,4

*Без учета явления обмерзания теплообменной поверхности.

кондиционеров¹ [7], а также ограничения на применение спиральных бустерных компрессоров, маловероятно, потому что возникнет необходимость использовать две ступени сжатия для создания комфортных условий в салоне вагона летом. По сравнению с выпускаемым реверсивным кондиционером достоинством агрегата, работающего по рассмотренной схеме, останется наличие регенеративного теплообменника, повышающего холодильный коэффициент цикла и, следовательно, сокращающего энергопотребление системы.

Заключение

Расчеты реверсивного кондиционера показали, что, используя современное оборудование, на хладоне R404a кондиционер сможет отапливать пассажирский одноэтажный вагон при температуре наружного воздуха $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ с

коэффициентом трансформации теоретического цикла $\phi_t = 3,03$. Параметры холодильных компрессоров, площади теплообменных поверхностей и другие характеристики перспективной установки приведены в таблице.

Благодаря значительному расширению диапазона рабочих отрицательных температур кондиционеры, работающие по предлагаемой схеме, несомненно будут востребованы, несмотря на более высокую стоимость установок с двухступенчатым сжатием по сравнению с традиционными реверсивными кондиционерами. Таким образом, имеются возможности повысить эффективность работы климатических установок для пассажирских вагонов. Эксплуатация опытных реверсивных кондиционеров покажет правильность тех или иных технических решений.

Библиографический список

1. Бараненко А. В. Холодильные машины : учеб. для студентов втузов / А. В. Бараненко, Н. Н. Бухарин, В. И. Пекарев, Л. С. Тимофеевский. – СПб. : Политехника, 2006. – 944 с.

¹ Тверской вагоностроительный завод в последние годы выпустил партию вагонов, оборудованных кондиционерами с холодопроизводительностью 20–22 кВт вместо прежних 28 кВт.

2. Бартош Е. Т. Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта : моногр. / Е. Т. Бартош. – М. : Транспорт, 1985. – 275 с.

3. Емельянов А. Л. Пути снижения энергопотребления в системах отопления и кондиционирования воздуха пассажирских вагонов / А. Л. Емельянов, И. Г. Киселев, А. В. Михайлов // Изв. ПГУПС. – 2011. – № 4. – С. 36–42.

4. Емельянов А. Л. Энергосберегающие системы вентиляции и кондиционирования пассажирских вагонов / А. Л. Емельянов, В. М. Козин, В. В. Царь // Транспорт РФ. – 2010. – № 4 (29). – С. 54–57.

5. Жариков В. А. Климатические системы пассажирских вагонов : моногр. / В. А. Жариков. – М. : ТРАНСИНФО, 2006. – 135 с.

6. Киселев И. Г. О выборе хладагента для климатических установок пассажирского подвижного состава / И. Г. Киселев, М. Ю. Кудрин, В. П. Приймун // Изв. ПГУПС. – 2014. – № 3. – С. 85–90.

7. Резников А. Г. Проблемы создания систем кондиционирования воздуха в пассажирских вагонах локомотивной тяги / А. Г. Резников, А. А. Шустер // Тяжелое машиностроение. – 2003. – № 1. – С. 21–23.

References

1. Baranenko A. V., Bukharin N. N., Pekarev V. I. & Timofeyevskiy L. S. Kholodilnyye mashiny: uchebnik dlya studentov vtuzov [Refrigerating Machines: Course

Manual for Technical College Students]. St. Petersburg, Politekhnik, 2006. 944 p.

2. Bartosh Ye. T. Teplovyye nasosy v energetike zheleznodorozhnogo transporta [Heat Pumps in the Railway Transport Energy Systems]. Moscow, Transport, 1985. 275 p.

3. Yemelyanov A. L., Kiselev I. G. & Mikhaylov A. V. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2011, no. 4, pp. 36–42.

4. Yemelyanov A. L., Kozin V. M. & Tsar V. V. *Transport RF – Transp. Russian Federation*, 2010, no. 4 (29), pp. 54–57.

5. Zharikov V. A. *Klimaticheskiye sistemy passazhirskikh vagonov* [Climate Systems of Passenger Carriers]. Moscow, TRANSINFO, 2006. 135 p.

6. Kiselev I. G., Kudrin M. Yu. & Priymin V. P. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2014, no. 3, pp. 85–90.

7. Reznikov A. G. & Shuster A. A. *Tyazheloye mashinostroyeniye – Heavy Eng.*, 2003, no. 1, pp. 21–23.

ЕМЕЛЬЯНОВ Анатолий Леонович – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, emelianovt@mail.ru (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики); КИСЕЛЕВ Игорь Георгиевич – д-р техн. наук, профессор, kiss-tatiana@yandex.ru; КУДРИН Михаил Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, kudrin_mik@mail.ru; *ПРИЙМИН Вячеслав Павлович – аспирант, magistral116.vp@gmail.com (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 656. 213

А. В. Ермакова, Н. А. Муковнина**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
СТАНЦИИ С ВЫДЕЛЕНИЕМ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ
ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

Дата поступления: 19.05.2015

Решение о публикации: 19.05.2015

Цель: Определить резерв пропускной способности элементов станции примыкания для выделения оптимальных временных интервалов маневрового обслуживания путей необщего пользования (ПНП). **Методы:** Применен математический аппарат динамической транспортной задачи минимизации транспортных расходов для определения оптимального периода обслуживания ПНП. **Результаты:** На основании методики определения резерва пропускной способности графически отображены результаты расчета суточного резерва пропускной способности элемента «четный парк» станции Новокуйбышевская. Выявлено, что обслуживание ПНП не только снижает резерв пропускной способности элементов, но и увеличивает суммарные затраты. Графически отображены результаты расчетов влияния маневрового обслуживания ПНП на суммарные затраты расчетного элемента «четный парк» станции Новокуйбышевская за сутки в часовой период, когда расчетный элемент занят не только выполнением технологических операций с вагонами и составами, но и обслуживанием ПНП. Установлено, что целесообразно обслуживать ПНП в часы, когда резерв пропускной способности составляет более 15 %, при этом выполняется условие минимизации транспортных расходов. **Практическая значимость:** Определение резерва пропускной способности элементов станции примыкания позволит выделить временные интервалы обслуживания ПНП в периоды, когда у станции есть техническая и технологическая возможность свести приведенные затраты к минимуму.

Станция примыкания, взаимодействие, пути необщего пользования, резерв пропускной способности, интервалы, время, обслуживание, минимизация затрат.

***Anna V. Ermakova**, senior lecturer, ermakovanyut@mail.ru, **Natalia A. Mukovnina**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, mykovnina-nata@mail.ru (Samara State Transport University) DETERMINATION OF THE THROUGHPUT CAPACITY OF STATION ELEMENTS WITH PROVISION OF TIME FOR MAINTENANCE OF HOUSE TRACKS

Objective: To determine the throughput capacity of joining station elements to allocate the best possible time intervals for shunt servicing of house tracks. **Methods:** Mathematical apparatus of dynamic transport task for minimising transport expenses was used to determine the best possible period for servicing house tracks. **Results:** Results of calculation of daily reserve of throughput capacity of downyard shunting element at Novokuybyshevskaya station were displayed in graphic form on the basis of a method for calculating the reserve of throughput capacity. It was established that servicing house tracks decreases the reserve values of elements' throughput capacity as well as increases combined costs. Results of calculations of influence of house track shunt servicing on combined costs of calculation element "downyard shunting" at Novokuybyshevskaya station in a 24 hours period, when the calculation element is tasked with servicing house tracks alongside technological operations with carriages and trains, were displayed in graphic form. It was established that servicing the house tracks is worthwhile in the hours when reserve value of throughput capacity exceeds 15 per cent, which allows to minimise transport expenses. **Practical importance:** Determining the reserve values of throughput capacity of joining station elements would allow to allocate time intervals for house track servicing in periods when a station has technical and technological capacity of minimising such expenses.

Joining station, co-operation, house tracks, throughput capacity, time interval, maintenance, minimal expenses.

Первые подъездные пути начали строиться в 1860 г., подъездной путь инженерного ведомства протяженностью около 1 км к фабрике Николаевской мануфактуры проложен на ст. Орехово (Октябрьской железной дороги). В 1928 г. утверждены общие принципы, определяющие условия эксплуатации подъездных путей на основе соглашений, заключаемых предприятиями и организациями с управлениями железных дорог. В 1933 г. Совет труда и обороны утвердил Правила эксплуатации подъездных путей необщего пользования (ПНП). Несмотря на развитие современного транспорта и технологий, проблемы обслуживания промышленных предприятий так и остаются во многом не отрегулированными как с нормативной, так и с технологической стороны.

Куйбышевская железная дорога ежегодно отправляет пятую часть всех перевозимых в стране железнодорожным транспортом нефтепродуктов: она обслуживает шесть крупнейших в России нефтеперерабатывающих заводов. Общее количество клиентов, с которыми взаимодействует дорога, превысило 4000 предприятий. Прогноз погрузки грузов Куйбышевской железной дороги до 2020 г. представлен на рис. 1.

Инфраструктура железнодорожного транспорта уже не справляется с объемом вагонопотоков, а при прогнозируемом увеличении размера погрузки потребуются совершенствование организации местной работы и развитие железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования.

Проблемам организации местной работы посвятили труды многие ученые: Ю. И. Ефименко, В. А. Кудрявцев, Е. В. Архангельский, А. П. Батурин, А. А. Абрамов, А. Н. Феофилов. Рассматривая очередность обслуживания, каждый автор выделял свой критерий для совершенствования взаимодействия, чаще всего это были затраты вагоно- и локомотиво-часов. П. А. Козлов рассматривал расчет пропускной способности линий, горловин станций, перерабатывающей способности сортировочной горки и станции в целом.

Сегодня нет методики определения резерва пропускной способности станции с учетом времени обслуживания путей необщего пользования. Сложность этой проблемы обусловлена многими факторами, в том числе высокой динамикой движения поездов. Решить задачу аналитическими методами невозможно, для этого больше подходит метод имитационного моделирования.

Определение временных интервалов для ПНП

Анализ работы ПНП за 2014 г. показал, что в целом по дороге среднее время нахождения вагонов на ответственности примыкающих предприятий составило 74,78 ч, что на 11,9 ч больше, чем за 2013 г.

Основной процент превышения времени нахождения вагонов на ответственности предприятий приходится на предприятия, осуществляющие налив нефтепродуктов. К примеру,

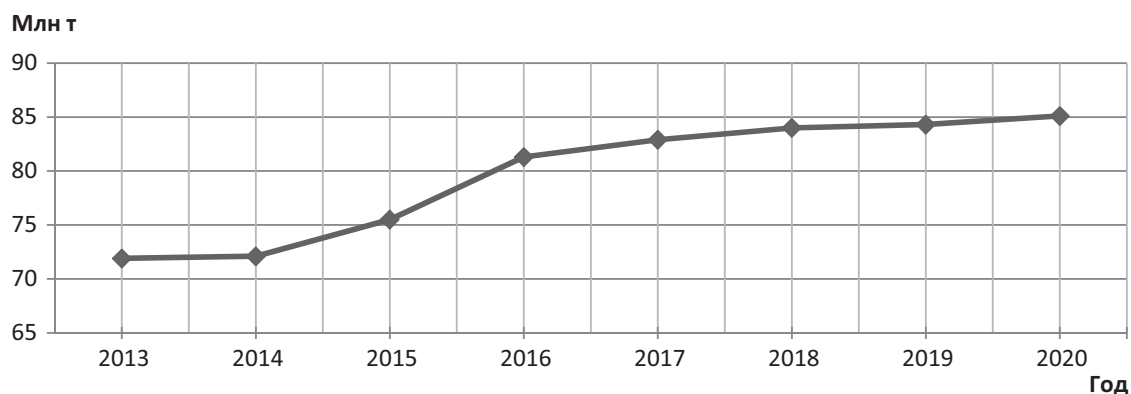


Рис. 1. Прогноз погрузки грузов Куйбышевской железной дороги до 2020 г.

на ст. Кряж длительно и без возмещения затрат за использование инфраструктуры ОАО «РЖД» вагоны простаивают в ожидании выгрузки.

В сложившихся условиях избыток парка частного подвижного состава вызывает занятость путей общего пользования невосстановленными вагонами, что приводит к снижению резерва пропускной способности станций. Для обеспечения нормальной работы элементов станции и станции в целом резерв пропускной способности должен быть не менее 15 %. Резерв – это разница между наличной и потребной пропускной способностью.

Для определения резерва пропускной способности станции необходимо знать время занятия входных и выходных горловин прибывающими и отправляющимися поездами; занятия путей поездами транзитными и поступающими в переработку; расформирования одного состава с горки; расформирования и формирования на вытяжном пути поездов различных назначений и категорий; время на маневровые передвижения.

Для решения проблемы предложена методика применения математического аппарата динамической транспортной задачи минимизации транспортных расходов для определения оптимального периода обслуживания ПНП.

Среднее количество обслуживаемых поездов во время, свободное от выполнения технологических операций с вагонами и поездами, в элементе i ($i = 1 \dots I$) в расчетный момент времени k ($k = 1 \dots K$)

$$R_i^k = \frac{Tr_i^k}{Tsr_i^k} = \frac{T \max_i (1 - g_i)}{Tsr_i^k}, \quad (1)$$

где Tr_i^k – время, свободное от выполнения технологических операций с вагонами и поездами в элементе i ($i = 1 \dots I$) в расчетный момент времени k ($k = 1 \dots K$); Tsr_i^k – среднее время на технологические операции с одним поездом по элементу инфраструктуры i ($i = 1 \dots I$) в расчетный момент времени k ($k = 1 \dots K$); $T \max_i$ – максимально возможное время занятия элемента

i ($i = 1 \dots I$); g_i – коэффициент загрузки элемента i ($i = 1 \dots I$).

Время, свободное от выполнения технологических операций с вагонами и поездами, в элементе i ($i = 1 \dots I$) в расчетный момент времени k ($k = 1 \dots K$)

$$Tr_i^k = T \max_i - Tf_i^k, \quad (2)$$

где Tf_i^k – время занятия рассчитываемого элемента i ($i = 1 \dots I$) технологическими операциями в расчетный момент времени k ($k = 1 \dots K$).

Максимально возможное время занятия элемента i ($i = 1 \dots I$)

$$T \max_i = m_i (T_{\text{пер}}^k - \chi_i), \quad (3)$$

где m_i – количество путей элемента i ($i = 1 \dots I$); $T_{\text{пер}}^k$ – расчетный период элемента инфраструктуры i ($i = 1 \dots I$) в момент времени k ($k = 1 \dots K$); χ_i – технологическое время на обслуживание инфраструктуры элемента i ($i = 1 \dots I$).

Время занятия рассчитываемого элемента i ($i = 1 \dots I$) технологическими операциями в расчетный момент времени k ($k = 1 \dots K$)

$$Tf_i^k = n_i^k \phi_i + Tnp_i^k, \quad (4)$$

где n_i^k – количество операций, выполняемых в элементе i ($i = 1 \dots I$) в момент времени k ($k = 1 \dots K$); ϕ_i – время занятия элемента i ($i = 1 \dots I$) выполнением одной технологической операцией; Tnp_i^k – время занятия станционных путей маневровыми работами по обслуживанию путей необщего пользования элемента i ($i = 1 \dots I$) в момент времени k ($k = 1 \dots K$).

Время занятия станционных путей маневровыми работами по обслуживанию путей необщего пользования элемента i ($i = 1 \dots I$) в расчетный момент времени k ($k = 1 \dots K$)

$$Tnp_i^k = q_i^k (\psi_i + \phi_i + \rho_i), \quad (5)$$

где q_i^k – количество подач/уборок на/с пути необщего пользования элемента i ($i = 1 \dots I$) в момент времени k ($k = 1 \dots K$); ψ_i – время

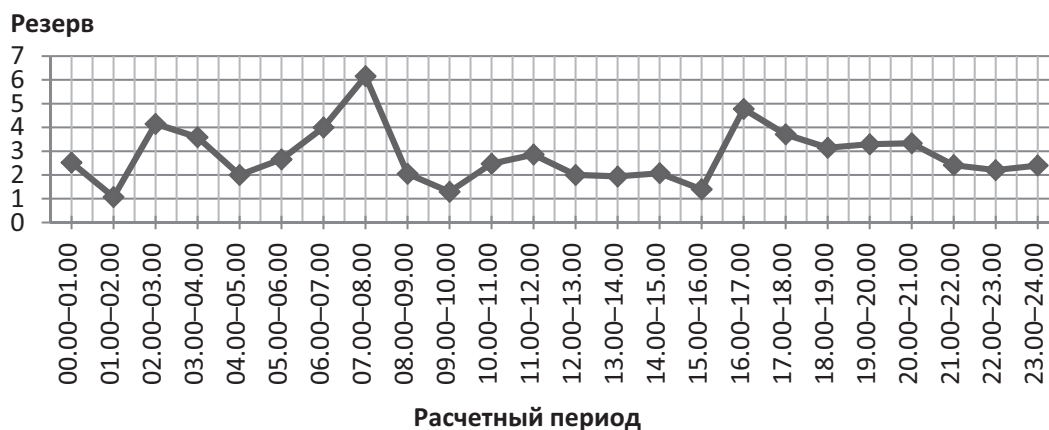


Рис. 2. График резерва пропускной способности элемента «четный парк» за сутки

проследования локомотива с выставочных путей до знака «Граница пути необщего пользования» элемента i ($i = 1 \dots I$); φ_i – время, затрачиваемое на выставочных путях операциями по прицепке либо отцепке вагонов элемента i ($i = 1 \dots I$); ρ_i – время проследования локомотива от знака «Граница пути необщего пользования» до выставочных путей элемента i ($i = 1 \dots I$).

На основании методики определения резерва пропускной способности отобразим в графическом виде результаты расчета резерва пропускной способности элемента «четный парк» станции Новокуйбышевская за сутки¹ (рис. 2). Поскольку поездная обстановка каждый час меняется, линия резерва принимает колебательный характер.

По линии резерва пропускной способности за расчетные сутки видно, что элемент «четный парк» загружен. К примеру, на начало суток в период 00.00–01.00 резерв составляет два поезда, или 33 % от максимально возможного, а в периоды 01.00–02.00 и 09.00–10.00 резерв опускается до минимальных значений 17 % – 1 поезд. В рассмотренные промежутки времени элемент не занят обслуживанием ПНП. Максимально возможный резерв данно-

го элемента составляет 6 поездов (100 %) и достигается в период 07.00–08.00. Обслуживать ПНП целесообразно в часы, когда резерв пропускной способности составляет более 15 %.

Определение экономически целесообразного времени обслуживания ПНП

Обслуживание ПНП не только снижает резерв пропускной способности элементов, но и увеличивает суммарные затраты на технологические операции с вагонами и составами, перемещение маневровых составов при подаче/уборке вагонов в адрес ветвевладельцев. Целесообразно учитывать также затраты по неприему поездов на станцию и затраты, связанные с ожиданием поезда к отправлению, из-за враждебности маршрута при подаче/уборке вагонов в адрес ПНП.

Для экономически эффективной работы станции функция суммарных затрат на выполнение технологических операций с вагонами и составами E_{sum}^k в момент времени k ($k = 1 \dots K$) должна выполнять условие минимизации:

$$E_{sum}^k \xrightarrow{j \in J, \gamma \in \Gamma, k \in K} \min.$$

Для разграничения работ по подаче и уборке вагонов на ПНП вводится бинарная переменная ε :

¹ Муковнина Н. А. Определение резерва пропускной способности станции с учетом времени обслуживания путей необщего пользования / Н. А. Муковнина, А. В. Ермакова // Вестн. транспорта Поволжья. – 2014. – № 5 (47). – С. 70–74.

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, & \text{если производится} \\ & \text{подача вагонов;} \\ 0, & \text{если производится} \\ & \text{уборка вагонов} \end{cases}$$

Суммарные затраты станции на выполнение технологических операций с вагонами и составами E_{sum}^k в момент времени k ($k = 1 \dots K$) зависят от составляющих $E_{h_e}^k$ ($h = 1 \dots J, \varepsilon = 1 \dots E$) и E_j^k ($j = 1 \dots J$), определяются по формуле

$$\begin{aligned} E_{sum}^k &= \sum_{h=1}^H E_{h_e}^k + \sum_{j=H+1}^J E_j^k + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} E_{(J+1)_{\gamma}}^k = \\ &= E_{1_e}^k + E_{2_e}^k + E_{3_e}^k + E_{4_e}^k + E_5^k + E_6^k + \\ &+ E_7^k + E_8^k + E_9^k + E_{10}^k + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} E_{11_{\gamma}}^k, \end{aligned} \quad (6)$$

где $E_{1_e}^k$ – затраты, связанные с накоплением вагонов, руб.; $E_{2_e}^k$ – затраты, связанные с формированием маневровых составов, руб.; $E_{3_e}^k$ – затраты, связанные с подготовкой к отправлению маневровых составов, руб.; $E_{4_e}^k$ – затраты, связанные с перемещением маневровых составов, руб.; E_5^k – затраты, связанные с простоем вагонов в парке приёма (приёмоотправочном парке) станции до момента их подачи на ПНП, руб.; E_6^k – затраты, связанные с простоем вагонов в системе расформирования до момента их подачи на ПНП, руб.; E_7^k – затраты, связанные с увеличением задержек поездов по неприёму станцией при обслуживании ПНП, руб.; E_8^k – затраты, связанные с увеличением простоя вагонов в системе формирования станции при обслуживании ПНП, руб.; E_9^k – затраты, связанные с повторной сортировкой вагонов на горке при обслуживании ПНП, руб.; E_{10}^k – затраты, связанные с простоем поезда в ожидании отправления при обслуживании ПНП, руб.; $\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} E_{11_{\gamma}}^k$ – затраты на перемещение в расчетном элементе «горловина», связанные с приемом и отправлением поезда категории γ ($\gamma = 1 \dots \Gamma$), руб.

На основании расчетов рассмотрим влияние маневрового обслуживания ПНП на сум-

марные затраты расчетного элемента «четный парк», который является приемо-отправочным парком ст. Новокуйбышевская, за сутки в часовой период, когда расчетный элемент занят выполнением не только технологических операций с вагонами и составами согласно технологическому процессу станции, но и операциями по обслуживанию ПНП. В графическом виде зависимость суммарных затрат от расчетного периода (00.00–24.00) элемента «четный парк» представлена на рис. 3.

Для визуальной оценки влияния местной работы на расчетный элемент «четный парк» наложим график резерва пропускной способности расчетного элемента на график зависимости суммарных затрат элемента «Четный парк» ст. Новокуйбышевская в период 00.00–24.00 ч (рис. 4).

К примеру, в расчетный период 07.00–08.00 ч приемо-отправочный парк не занят обслуживанием ПНП, резерв в данный период составляет 6 поездов, а суммарные затраты равны 3400,635 руб., в период 08.00–09.00 ч начинается накопление вагонов в адрес ПНП и резерв снижается до 2 поездов, а суммарные затраты составляют 5184,102 руб., в том числе 705,331 руб. на накопление вагонов в адрес ветевладельца, в период 09.00–10.00 резерв опускается до критического минимума и составляет 1 поезд, суммарные затраты, в свою очередь, возрастают до 7620,428 руб., из них 3007,39 руб. – на накопление и формирование вагонов для подачи на ПНП.

Стоит отметить, что обслуживание ПНП имеет как отрицательное, так и положительное влияние на работу элемента «четный парк». К примеру, в период 05.00–06.00 резерв составляет 2 поезда, а суммарные затраты 4426,207 руб., при уборке групп вагонов в адрес ПНП освобождаются станционные пути элемента «четный парк». На графике видно, как резерв начинает увеличиваться, достигая к 07.00 максимального значения 6 поездов. Так же происходит в период 15.00–16.00: при освобождении станционных путей резерв повышается с 1 поезда до 4, но несмотря на суммарные затраты, возрастающие до 6497,809 руб., убор-

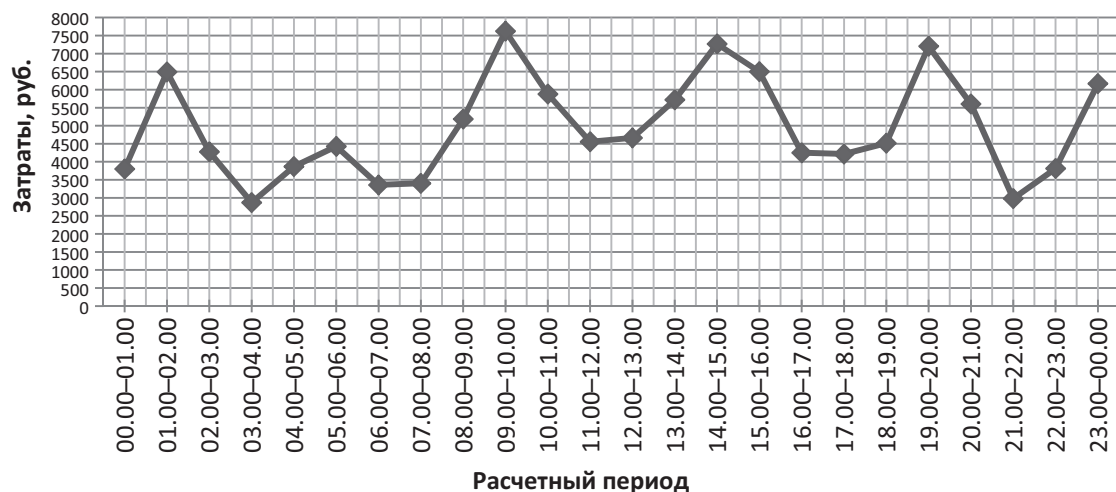


Рис. 3. График зависимости суммарных затрат от расчетного периода (00.00–24.00) элемента «четный парк»

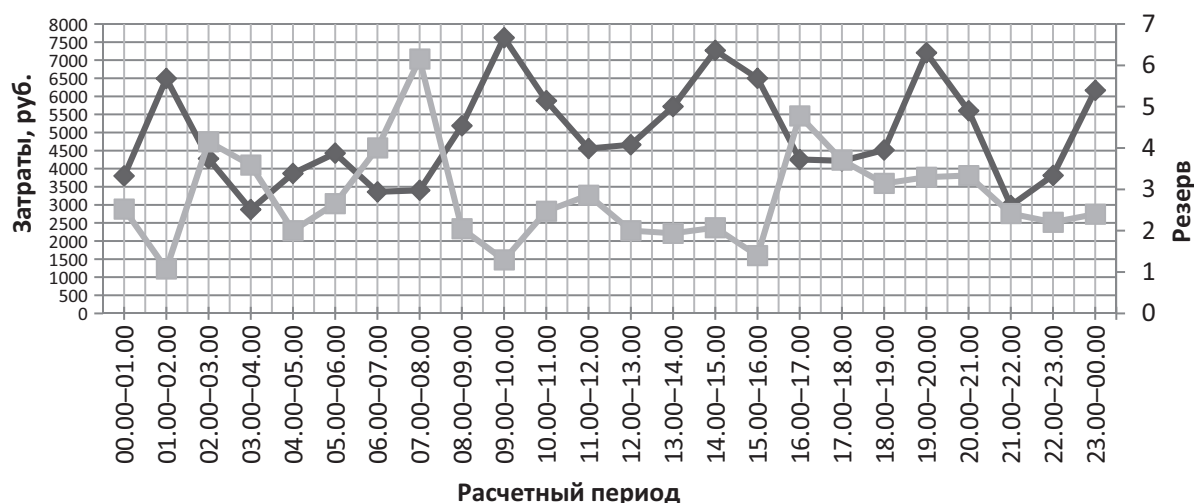


Рис. 4. График влияния местной работы на резерв пропускной способности и суммарных затрат элемента «четный парк» ст. Новокуйбышевская в период 00.00–24.00

ка вагонов со станционных путей положительно влияет не только на работу расчетного элемента «четный парк», но и на станцию в целом.

Отрицательное влияние заметно в период 02.00–03.00: на начало периода резерв составляет 4 поезда, а при подаче группы вагонов с ПНП – 2 поезда. В остальные периоды резерв изменяется незначительно.

Заключение

Для обеспечения конкурентоспособности железной дороги необходимы резервы про-

пускных способностей не только железнодорожных участков, но и железнодорожных станций. Оценка резерва позволит оптимально регламентировать порядок маневрового обслуживания ПНП, выделив временные интервалы, когда у станции есть техническая и технологическая возможность, и определить допустимое время занятия станционных устройств обслуживанием ПНП.

*ЕРМАКОВА Анна Владимировна – старший преподаватель, ermakovanyut@mail.ru; МУКОВНИНА Наталья Анатольевна – канд. техн. наук, доцент, mykovnina-nata@mail.ru (Самарский государственный университет путей сообщения).

УДК 621.91

И. А. Иванов, Д. Д. Евсеев, И. В. Овсяникова, А. С. Тарапанов**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ПРОФИЛЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЁС**

Дата поступления: 30.06.2015

Решение о публикации: 21.07.2015

Цель: Предложить методологию исследования по повышению практического применения врезного профильного высокоскоростного шлифования (ВПВШ) профиля железнодорожных колес и на первом этапе выполнить моделирование и анализ возникающих сил резания на основе принятой модели кинематики формообразования и параметров срезаемого слоя. **Методы:** Проанализированы способы механической обработки профиля поверхности катания колесных пар подвижного состава. Показаны наиболее предпочтительные из них: токарная обработка, фасонное фрезерование и ВПВШ. Названы их особенности, а также преимущества ВПВШ. Инструмент для выполнения ВПВШ (фасонный шлифовальный круг) предложено интерпретировать как фрезу, работающую по генераторной схеме резания. Моделирование процесса формообразования номинальной поверхности профиля колесных пар предложено выполнить с помощью математического отображения кинематических схем резания, включающих параметры процесса шлифования. **Результаты:** Выполнено моделирование и предложены алгоритмы, описывающие случайный характер возникновения составляющих сил резания при восстановлении профиля поверхности катания колесных пар с неоднородной структурой материала. Для выявления статистических особенностей случайным образом сформированной в процессе эксплуатации структуры металла поверхности катания использованы фрактальные размерности и метод случайных сложений. При этом выделен монофрактал, который несет в себе основные статистические свойства мультифрактала с однозначно определенной размерностью. Сформированный далее мультифрактал раскладывается на спектр монофракталов путем вейвлет-преобразования. При реализации способа ВПВШ имеет место переход в диапазон высокоскоростной обработки, при котором возможно возникновение процесса сверхрезания. Этот процесс характеризуется снижением сил резания за счет образования в зоне резания материи в сверхтекучем состоянии под действием мощного энергетического воздействия. **Практическая значимость:** Предложенная методика позволяет сформировать предпосылки для управления параметрами процесса ВПВШ и перейти к практическому исследованию условий возникновения процесса сверхрезания.

Восстановление колёсных пар, шлифование, фрактал, скоростное резание.

***Igor A. Ivanov**, D. Eng., professor, ivanov_1_7@mail.ru (Petersburg State Transport University), **Dmitriy D. Yevseev**, Cand. Sci. (Eng.), dd.evseev@gmail.com (Oryol MK JSC), **Irina V. Ovsyanikova**, Cand. Sci. (Econ.), associate professor, ovsyanikova2012@rambler.ru, **Alexandr S. Tarapanov**, D. Eng., professor, tarapanov@rambler.ru (State University – Education-Science-Production Complex) **SIMULATION OF CUTTING FORCES DURING THE GRINDING OF WHEEL SETS PROFILE**

Objective: To propose a methodology for study of increasing practical use of cut-in profile high-speed grinding of wheel sets profile, and, as the initial stage, to carry out simulation and analysis of emerging cutting forces on the basis of an assumed model of forming kinematics and parameters of a layer being cut. **Methods:** Methods of mechanical treatment of tread surface profile of wheels sets of rolling stock were analysed. Most preferable of these were identified as lathe turning, form mining and cut-in profile high-speed grinding. Their specific features were named, as were advantages offered by cut-in profile high-speed grinding. It was proposed to interpret an instrument for cut-in profile high-speed grinding

(shaped grinding wheel) as a milling cutter operating on oscillating circuit of cutting. It is proposed to simulate the process of forming the nominal surface of wheel sets profile by mathematical mapping of kinematic cutting schemes which include grinding process parameters. **Results:** Simulation was conducted, and algorithms were proposed, describing random character of occurrence of cutting force components in restoring the profile of tread surface of wheel pairs with heterogenous structure of material. Fractal dimensions and random additions method were used to determine statistical peculiarities of tread surface's metal structure, formed randomly in the process of operation. In the process, a monofractal which holds main statistical properties of a multifractal system with uniquely identified dimensionality was isolated. A multifractal system is then decomposed into a spectrum of monofractals by wavelet decomposition. During realisation of cut-in profile high-speed grinding method a transition into the high-speed machining range occurs, under which super-cutting process may appear. This process is characterised by decreasing cutting forces due to forming of substance in a superfluid state in the cutting zone under the influence of powerful energy deposition. **Practical importance:** The proposed method allows to form prerequisites for managing parameters of cut-in profile high-speed grinding process and to proceed with practical study of conditions of super-cutting process occurring.

Wheel set restoration, grinding, fractal, high-speed cutting.

В работе [1] приведена классификация способов механической обработки профиля поверхности катания колесных пар подвижного состава железных дорог. Предпочтительны токарная обработка, фасонное фрезерование, врезное профильное высокоскоростное шлифование (ВПВШ) и комбинированные способы обработки, которые включают в себя механические и физические способы (например, механическую обработку и индукционное или локальное лазерное упрочнение, рассмотренное в работах [10, 11]).

На практике в настоящее время наиболее распространены токарная обработка и фасонное фрезерование. Недостатком этих способов и их технологических схем является низкая способность инструмента адаптироваться к неоднородной (при наличии ползунов, выщербин и других дефектов) структуре обрабатываемого материала поверхности катания колеса, что приводит к так называемому технологическому износу (из-за желания сохранить инструмент обработка ведется «под корку» [11], при этом удаляется работоспособный слой металла обода). В результате снижаются производительность обработки и ресурс колеса, возрастает расход инструмента. Необходимо разработать новые и усовершенствовать имеющиеся способы восстановления

колесных пар с неоднородной структурой материала. В работах в области совершенствования фасонного фрезерования [5, 6] отмечены положительные результаты: увеличен период стойкости инструмента в 1,5–2 раза. В [12] отмечено, что значительно улучшить процесс механической обработки при восстановлении профиля катания колеса позволяет ВПВШ. Эффективность ВПВШ обусловлена отсутствием необходимости обработки «под корку», экономией металла обода, повышением ресурса колеса, обеспечением требуемой шероховатости обработанной поверхности и высокой производительностью. Однако потенциально перспективный способ механической обработки ВПВШ в настоящее время ещё не нашел широкого практического внедрения, потому что не имеет необходимой теоретической и опытно-экспериментальной проработки.

Всестороннее изучение способа ВПВШ и разработка новых технологических схем по его применению и управлению технологическими параметрами позволит повысить практическое применение данного способа механической обработки, обладающего потенциально высокой эффективностью (основные параметры режима: скорость резания 100–150 м/с, подача врезания 5–15 мм/мин).

Методология научного исследования по повышению практического применения способа ВПВШ предполагает:

- разработку математического отображения кинематической схемы резания для определения параметров срезаемого слоя и изменения кинематических углов режущих лезвий;
- моделирование и анализ возникающих сил резания на основе принятой модели кинематики формообразования и параметров срезаемого слоя;
- разработку, обоснование и использование алгоритмов, описывающих случайный характер возникновения составляющих сил резания;
- обоснование и применение феноменологических способов для описания предположительно возникающих и не в полной мере изученных процессов при ВПВШ с целью разработки технологических схем управления ими;
- разработку методики экспериментальных исследований и практических рекомендаций по мере ее реализации.

Разработка алгоритма моделирования и анализа сил, возникающих в процессе ВПВШ

Инструмент для выполнения ВПВШ (фасонный шлифовальный круг) предлагается интерпретировать как фрезу, работающую по генераторной схеме резания [1]. Такая интерпретация позволяет проанализировать кинематику формообразования поверхности катания колесной пары с применением ВПВШ на основе разработанного в [2] обобщенного математического отображения кинематических схем резания поверхности катания колесных пар и определить параметры срезаемого слоя аналогично методике, примененной в [3].

Фасонный круг для ВПВШ отличается от фасонной фрезы количеством отдельных режущих элементов (рис. 1). Количество ре-

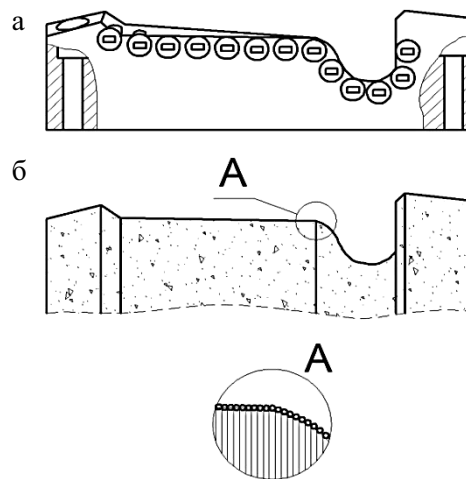


Рис. 1. Аналогия представления режущей части фасонной фрезы (а) и шлифовального круга (б)

жущих элементов для шлифовального круга можно определить как отношение длины формообразующей кромки круга к среднестатистическому размеру (диаметру) зерна шлифовального круга. Отклонением геометрических параметров зерен и их размеров от среднестатистических размеров пренебрегаем ввиду их малости по сравнению с диаметром инструмента, определяющим главное движение и скалярную величину вектора скорости резания.

Особенности описания режущего лезвия кромки инструмента для ВПВШ и кинематики процесса формообразования представляют значительную трудность при определении сил резания. Проблему решает применение геометрических фракталов [7, 13], реализованное аналогично способу фасонного фрезерования в работе [4].

Формообразующая кинематика шлифовального круга идентична кинематике при обработке фасонной фрезой. Поверхность катания формируется от воздействия всех режущих зерен круга без продольной подачи.

Процесс формообразования номинальной поверхности колесных пар целесообразно моделировать с помощью математического отображения схемы резания, включающего такие параметры резания, как главное движение разрушения припуска, движение подачи,

кинематическое изменение углов режущей части инструмента. Необходимо иметь возможность оценивать состояние отдельных участков поверхности катания, материал инструмента и их физико-химические характеристики в любой точке зоны обработки.

Для описания процесса резания материала обода колеса с неоднородной структурой сила резания раскладывается на две составляющие: детерминированную и случайную.

Детерминированная составляющая однозначно определена кинематикой формообразования и рассчитывается по методике, изложенной в [4], при обработке материала в состоянии поставки, имеющего постоянную твердость в зоне резания.

Случайная составляющая силы резания зависит от распределения твердости по поверхности катания обода колеса и, как следствие, определяется изменением структуры (наличием ползунов, выщербин и др.) материала, поэтому вид случайной нагрузки в процессе обработки колесной пары, имеющей термомеханические повреждения, несет в себе статистические свойства структуры материала. Можно принять, что случайная нагрузка фрактальна, как и распределение поверхностной твердости обода колеса.

Как следует из исследований, выполненных в [4], действительная сила резания может быть описана уравнением

$$P(t) = P_k(t) \cdot \left(\frac{HB(t)}{HB_k} \right)^n = P_k(t) \cdot (A(t))^n, \quad (1)$$

где $P(t)$ и $P_k(t)$ – сила резания при обработке поверхности с изменяющейся твердостью и сила, определенная кинематикой формообразования, соответственно; $HB(t)$ и HB_k – изменяющаяся поверхностная твердость в зоне резки и твердость материала в состоянии поставки, соответственно; $A(t)$ – коэффициент изменения относительной поверхностной твердости; n – число наблюдений.

Для интерпретации случайной силы резания необходимо рассчитать фрактальные размерности коэффициента усиления A из

формулы (1) и определить диапазон изменения. Фрактальная размерность позволяет выявить статистические особенности случайным образом сформированной структуры.

Для определения фрактальной размерности временного ряда на практике чаще применяют метод нормированного размаха, использующий зависимость фрактальной размерности от показателя Херста:

$$D = 2 - H,$$

где D – фрактальная размерность множества; H – показатель Херста.

Показатель Херста для множества может быть приближен посредством вычисления наклона линии через простую регрессию методом наименьших квадратов. В частности,

$$\ln \left(\frac{R}{S} \right) = \ln(c) + H \cdot \ln(n),$$

где R – разность максимального и минимального накопленного отклонения; S – стандартное отклонение; $\frac{R}{S}$ – нормированный размах; c – мера корреляции;

Для интерпретации силы резания необходимо численно смоделировать коэффициент усиления A из формулы (1). Для моделирования фрактальной структуры эффективен метод случайных сложений.

В основе алгоритма, который заложен в методе случайных сложений, лежит утверждение, что дисперсия приращения координаты на каждой последующей итерации должна удовлетворять равенству

$$\sigma_i^2 = r^{2(2-D)i} \sigma_0^2, \quad (2)$$

где r – коэффициент уменьшения масштаба; σ_0^2 – начальная дисперсия случайных сложений, $\sigma_0^2 = 1$; D – фрактальная размерность генерируемого множества; i – номер итерации.

Данный алгоритм подразумевает применение выборки из нормального распределения. Известно, что дисперсия суммы нормальных случайных величин равна сумме дисперсий этих величин. Следовательно, дисперсия сгенерированного после любого количества итераций множества равна сумме дисперсий всех итераций:

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^k \sigma_i^2. \quad (3)$$

Частотные характеристики моделируемой структуры и случайной составляющей нагрузки тождественны. У случайной составляющей силы резания состав частот можно ограничить значимостью вклада составляющих частотного спектра. Частотный спектр смоделированного множества также конечен и характеризуется количеством итераций. При анализе формул (2) и (3) становится очевидным, что при бесконечном количестве итераций (спектре частот) дисперсия стремится к конечному значению. Как показывают графики (рис. 2), дисперсия уже после небольшого количества итераций мало отличается от предельного значения. Соответственно, для эффективного моделирования достаточно выполнить такое количество итераций, которое обеспечит достаточно близкое приближение к предельной дисперсии. Для срединного значения $D = 1,5$ из интервала $D \in (1; 2)$, описывающего возможные фрактальные размерности, достаточное

количество итераций лежит около $k = 9$ (рис. 2), что соответствует количеству точек множества $2^k = 2^9 = 512$.

Множества, полученные методом случайных сложений, являются мультифракталами со спектром фрактальных размерностей в области, заданной при моделировании центральной фрактальной размерности.

Для выявления случайной составляющей силы резания необходимо выделить монофрактал, который будет нести в себе основные статистические свойства мультифрактала с однозначно определенной размерностью. В этом случае его размерность будет максимальной из спектра фрактальных размерностей и близка к центральной размерности мультифрактала.

Вейвлет-преобразование с его иерархическим базисом хорошо приспособлено для анализа фрактальных и мультифрактальных множеств, имеющих иерархическую природу. Результатом вейвлет-преобразования одномерного ряда является двумерный массив амплитуд вейвлет-преобразования – значений коэффициентов $W(a, b)$. Распределение этих значений в пространстве $(a, b) = (\text{временная локализация, временной масштаб})$ дает информацию об эволюции относительного вклада компонент разного масштаба во времени.

Раскладывая мультифрактал по уровням с помощью вейвлет-преобразования, необходимо определить уровень с наибольшей фрактальной размерностью и выделить соответствующее ей множество, которое будет

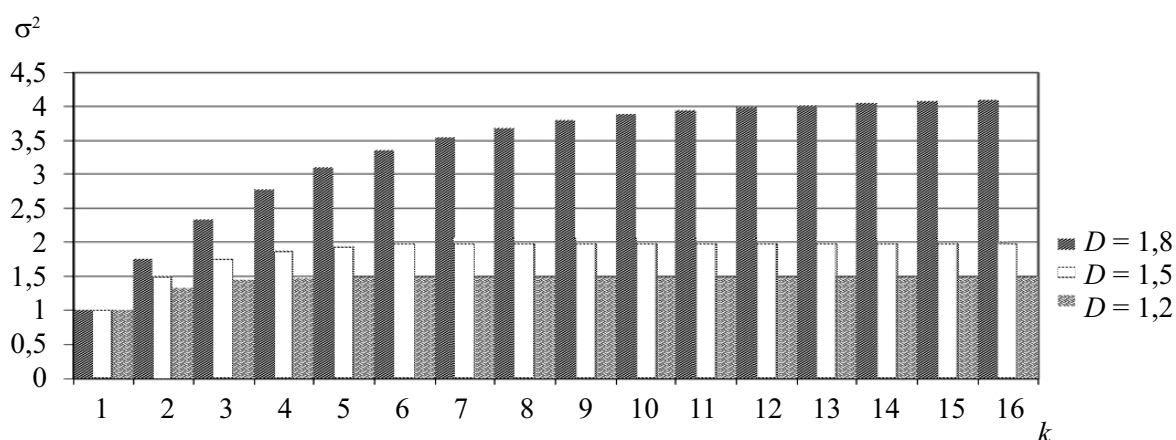


Рис. 2. Зависимость дисперсии σ^2 моделируемого множества от количества итераций k при значениях фрактальной размерности $D = 1,2; 1,5; 1,8$

с достаточной степенью точности описывать коэффициент усиления A из формулы (1) и, как следствие, статистически описанную силу резания.

При обработке фасонным инструментом одновременно формируется периметр поперечного сечения колесной пары, поэтому мерой фрактальной размерности коэффициента усиления A при расчете силы резания может служить значение, рассчитанное как среднее арифметическое фрактальных размерностей, полученных для пяти характерных участков профиля катания. В частном случае, приведенном в [4], значение фрактальной размерности составило 1,6.

Для формирования коэффициента изменения относительной твердости A фрактального вида с ограниченным спектром частот сформируем мультифрактал заданной размерности на основе метода случайных сложений (рис. 3).

Далее разложим полученный мультифрактал на спектр монофракталов путем вейвлет-преобразования (рис. 4).

Определим фрактальную размерность монофракталов (рис. 5, 6), полученных из вейвлет-спектра путем разложения на

уровни a . Для монофрактала, имеющего максимальную (центральную) размерность, определим множество формирующих его точек. Изображенный на рис. 7 монофрактал представляет собой математически смоделированное множество, описывающее изменение коэффициента относительной твердости $A(t)$ во времени.

Описанная методика позволяет формировать предпосылки для управления параметрами обработки, в частности, поперечной подачей (в данном случае продольная подача реализуется за счет генераторной схемы резания) и соотношением скоростей вращения колесной пары и шлифовального круга (скоростью резания), влияющими на толщину срезаемого слоя, а также прогнозировать изменение силы резания под действием термомеханических повреждений.

Следует отметить, что при ВПВШ наблюдается переход в диапазон высокоскоростной обработки, при котором может возникнуть процесс сверхрезания. Данный процесс характеризуется снижением сил резания за счет вероятного образования в зоне резки материи в сверхтекучем состоянии под влиянием мощного энергетического

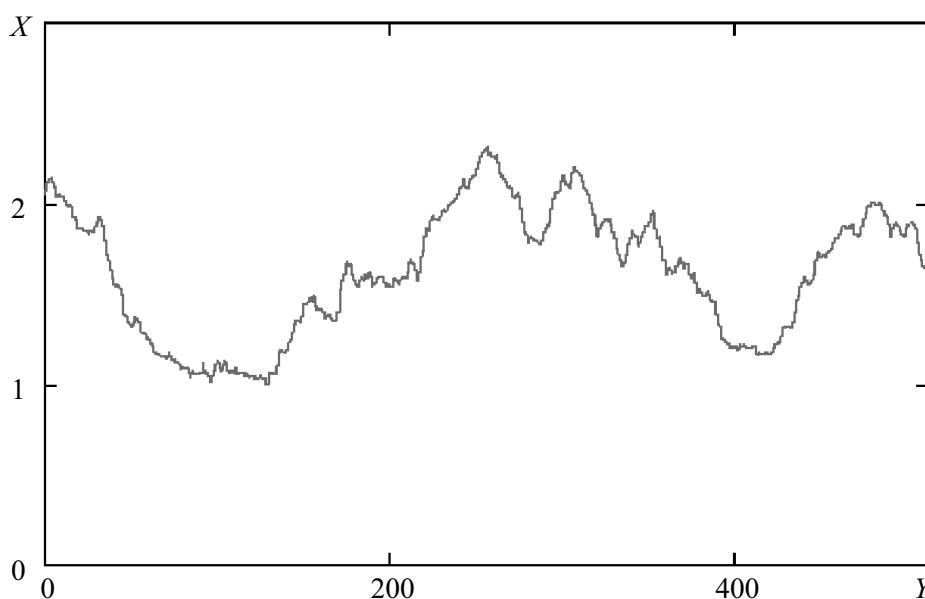


Рис. 3. Мультифрактал заданной фрактальной размерности $D = 1,6$, сформированный методом случайных сложений

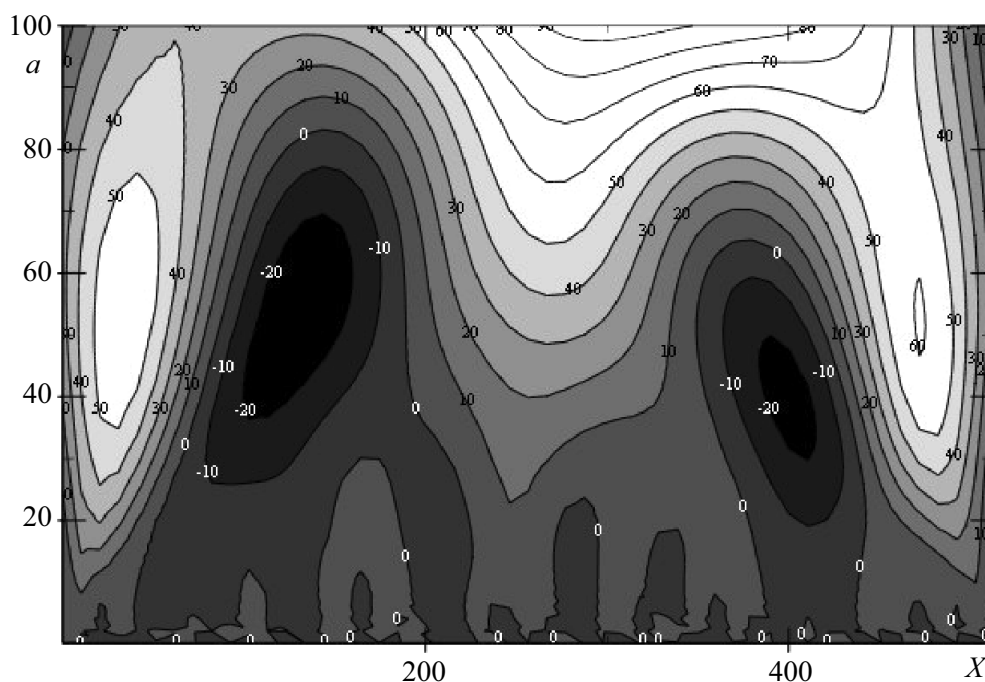
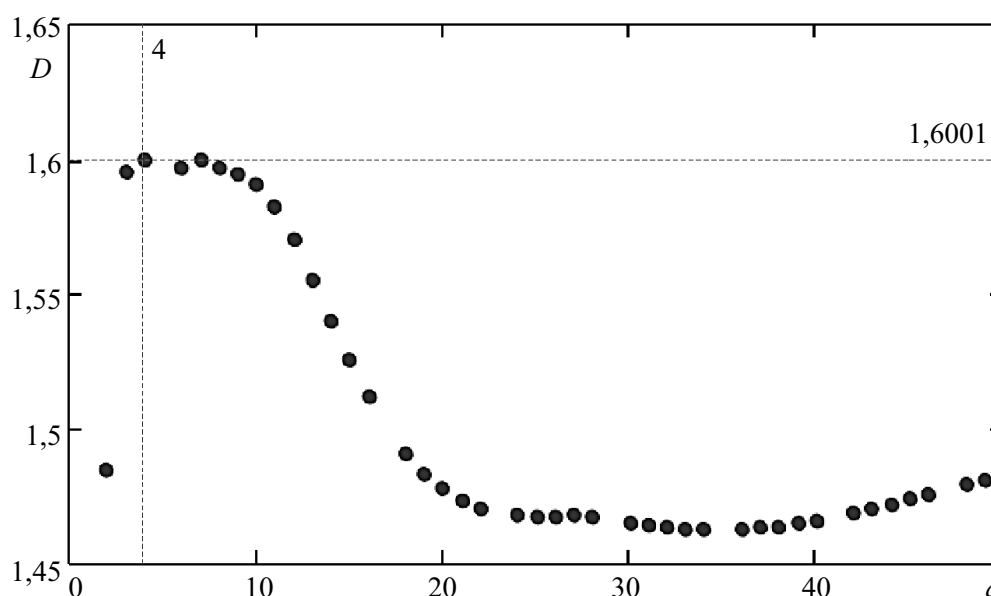


Рис. 4. Вейвлет-спектр мультифрактала, представленного на рис. 3

Рис. 5. Спектр фрактальных размерностей мультифрактала, представленного на рис. 3.
Максимальная фрактальная размерность $D = 1,6$ для уровня $a = 4$

воздействия [8]. Причем данный процесс сопровождается интенсивным отводом тепла из зоны резания. В то же время при экспериментальной высокоскоростной обработке стали с высокими показателями прочности и твёрдости на удаление части тепла из зоны

резания более интенсивно влияет подача, чем скорость резания [9]. Несмотря на то, что при увеличении скорости резания объём тепла резания постоянно увеличивается, при большой подаче часть тепла резания, поступающего в обрабатываемую деталь, умень-

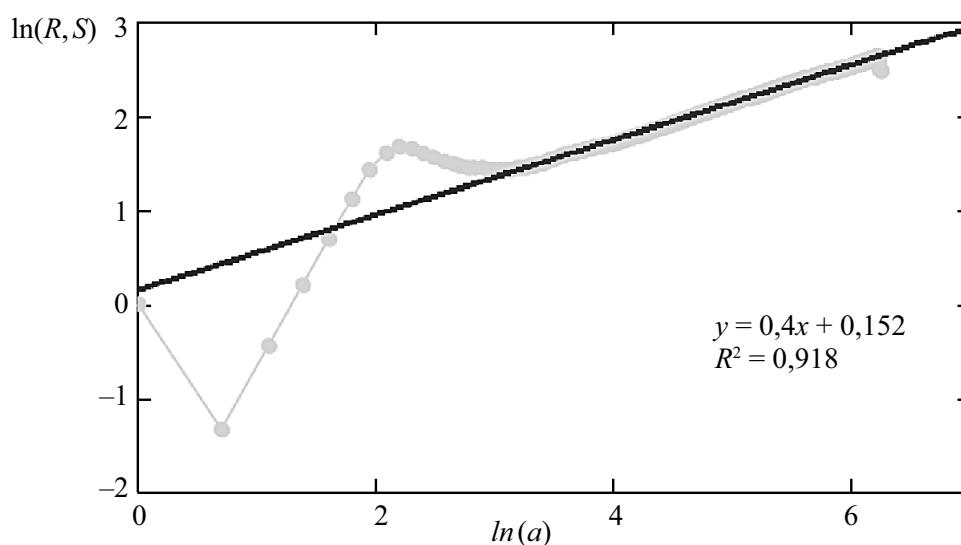


Рис. 6. График к определению фрактальной размерности монофрактала, выделенного вейвлет-спектром для уровня $a = 4$. Фрактальная размерность $D = 2 - 0,4 = 1,6$

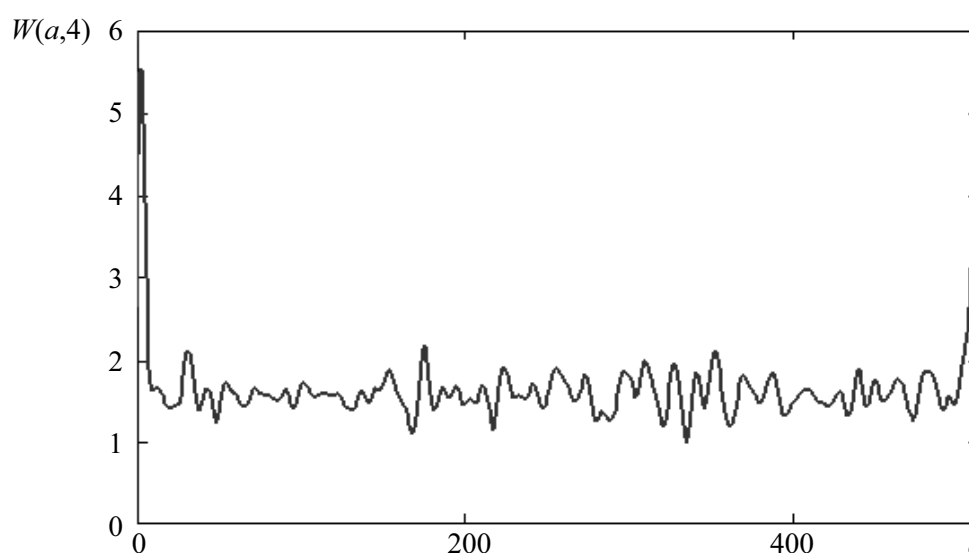


Рис. 7. Монофрактал, описывающий коэффициент изменения относительной твердости A , полученный путем выделения уровня $a = 4$ из вейвлет-спектра с наибольшей фрактальной размерностью

шается сверхпропорционально, а температура поверхности резания обрабатываемой детали понижается.

Заключение

1. Отмечены недостатки используемых методов восстановления профиля поверх-

ности катания колес и достоинства процесса ВПВШ.

2. Предложена методология исследования процесса ВПВШ для его практического применения при обработке колесных пар при ремонте.

3. Выполнено моделирование и предложены алгоритмы определения сил резания при обработке материала обода колеса с неодно-

родной структурой (с ползунами, выщербинами и другими дефектами) с использованием ВПВШ.

Библиографический список

1. Алехин С. В. Систематизация и анализ методов формообразования профиля катания колесных пар / С. В. Алехин, И. А. Иванов // Вопросы оптимизации технологических процессов и оборудования ремонтного производства. – Л. : ЛИИЖТ, 1976. – Вып. 395. – С. 41–54.

2. Евсеев Д. Д. Математическое отображение кинематических схем резания для механической обработки поверхности катания колесных пар / Д. Д. Евсеев, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов // Современные проблемы подготовки производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении : Материалы III Междунар. науч.-технич. семинара, г. Свалява. – Киев : АТМ Украины, 2003. – С. 43–46.

3. Евсеев Д. Д. Моделирование процесса обработки поверхности катания колесных пар железнодорожного транспорта с термомеханическими дефектами случайного характера / Д. Д. Евсеев // Изв. ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 3. – С. 74–79.

4. Евсеев Д. Д. Повышение периода стойкости фрез для обработки поверхности катания колесных пар : дис. ... канд. техн. наук / Д. Д. Евсеев. – Орёл : ОрелГТУ, 2010. – 193 с.

5. Пат. РФ № 2268 111, МПК В 23 С 3/02. Способ фрезерования адаптирующимся инструментом / Д. Д. Евсеев, Ю. С. Степанов, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов и др. Заявл. 2004106134/02, 02.03.2004; опубл. 20.01.2006. – Бюл. № 02.

6. Сладковский А. В. Проектирование сборных фасонных фрез для восстановительного ремонта поверхности катания колесных пар локомотивов на станках КЖ20 / А. В. Сладковский, В. М. Рубан // Транспорт Урала. – 2010. – № 4 (27). – С. 27–31.

7. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М. : Мир, 1991. – 254 с.

8. Ярославцев В. М. Новое о процессе резания / В. М. Ярославцев // Наука и образование. – 2011. – № 7.

9. Aranson R. High-speed processing / R. Aranson // Manuf. Eng. – 2001. – Vol. 127, N 4. – P. 68–74, 76–80.

10. Gubenko S. Investigation of possibility of local laser strengthening of railway wheels / S. Gubenko, Y. Proidak, A. Shramko // Transp. prob. – 2012. – Vol. 7, Is. 1. – P. 129–134.

11. Ivanov I. A. Methods of recovery of serviceability of railway wheels during the repairs / I. A. Ivanov // Transp. and Eng., Railway Transp. – 2004. – Ser. 6, sej. 17. – P. 43–54.

12. Ivanov I. Recovery tread wheel pair of machining / I. Ivanov, A. Tarapanov, D. Kononov, A. Vorobev // Transp. prob. – 2013. – Vol. 8, Is. 3. – P. 105–113.

13. Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature / B. Mandelbrot. – NY : W. H. Freeman, 1982. – 205 p.

References

1. Alekhin S. V. & Ivanov I. A. *Voprosy optimizatsii tekhnologicheskikh protsessov i oborudovaniya remontnogo proizvodstva – Issues of Optimisation of Technol. Proc. and Servicing Repairs Industry*. Leningrad, LIIZhT, 1976. Is. 395. Pp. 41–54.

2. Yevseyev D. D., Tarapanov A. S. & Kharlamov G. A. *Matematicheskoye otobrazheniye kineticheskikh skhem rezaniya dlya mekhanicheskoy obrabotki poverkhnosti kataniya kolesnykh par* [Mathematical Mapping of Kinematic Schemes of Cutting for Mechanical Processing of Tread Surface of Wheel Pairs]. *Sovremennyye problemy podgotovki proizvodstva, obrabotki i sborki v mashinostroyenii i priborostroyenii: materialy III Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara* (Modern Problems in Preparation of Production, Processing and Assembly in Machine and Instrument Engineering: proc. of the 3rd int. sci. and pract. seminar), Svaliava. Kyiv, ATM Ukrainy, 2003. Pp. 43–46.

3. Yevseyev D. D. *Izvestiya OrelGTU. Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii – Proceedings of the State Univ. Education-Science-Pro-*

duction Complex. Fundamental and Applied Probl. of Eng. and Tech., 2010, no. 3, pp. 74-79.

4. Yevseyev D.D. Povysheniye perioda stoykosti frez dlya obrabotki poverkhnosti kataniya kolesnykh par [Increasing the Period of Durability of Milling Tools for Processing Tread Surface of Wheel Pairs]. Oryol, OryolGTU, 2010. 193 p.

5. Russian Federation Patent No. 2268 111, MPK V 23 S 3/02. Sposob frezerovaniya adaptiruyushchimsya instrumentom (Milling Method Deploying Adaptable Instrument). D.D. Yevseyev, Yu. S. Stepanov, A. S. Tarapanov, G. A. Kharlamov et al. Publ. 20.01.2006. *Byulleten – Bulletin* No. 02.

6. Sladkovskoy A. V. & Ruban V. M. *Transport Urala – Urals Transp.*, 2010, no. 4 (27), pp. 27-31.

7. Feder Ye. *Fraktaly* [Fractals]. Moscow, Mir, 1991. 254 p.

8. Yaroslavtsev V. M. *Nauka i obrazovaniye – Sci. and Educ.*, 2011, no. 7.

9. Aranson R. *Manuf. Eng.*, 2001, Vol. 127, no. 4, pp. 68-74, 76-80.

10. Gubenko S., Proidak Y. & Shramko A. *Transp. prob.*, 2012, Vol. 7, Is. 1, pp. 129-134.

11. Ivanov I. A. *Transp. and Eng., Railway Transp.*, 2004, Ser. 6, sej. 17, pp. 43-54.

12. Ivanov I., Tarapanov A., Kononov D. & Vorobev A. *Transp. prob.*, 2013, Vol. 8, Is. 3, pp. 105-113.

13. Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*. NY, W. H. Freeman, 1982. 205 p.

*ИВАНОВ Игорь Александрович – д-р техн. наук, профессор, ivanov_1_7@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщений Императора Александра I); ЕВСЕЕВ Дмитрий Дмитриевич – канд. техн. наук, dd.evseev@gmail.com (ООО «Орёл МК»); ОВСЯНИКОВА Ирина Васильевна – канд. экон. наук, доцент, ovsynikova2012@rambler.ru; ТАРАПАНОВ Александр Сергеевич – д-р техн. наук, профессор, tarapanov@rambler.ru (Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс).

УДК 656.225.073.433

Д. И. Илесалиев**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНОГО УЧАСТКА ТАРНО-ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ**

Дата поступления: 09.06.2015

Решение о публикации: 24.08.2015

Цель: Определить оптимальные значения параметров погрузочно-разгрузочного участка тарно-штучных грузов. **Методы исследования:** Используются методы теории вероятностей и математической статистики, а также метод направленного перебора. **Результаты:** Выявлено, что в первую очередь на эффективность перегрузочных работ влияют условия перевозок тарно-штучных грузов. Установлено, что продолжительность обслуживания крытых вагонов подчиняется экспоненциальному закону распределения. **Практическая значимость:** Для конкретного участка использованы фактические данные, проведен их статистический анализ. Определение оптимальных значений параметров железнодорожного погрузочно-разгрузочного участка с помощью математических методов позволит улучшить эксплуатационную работу.

Тарно-штучные грузы, пакетные перевозки, поддон, транспортный пакет, погрузка, выгрузка, погрузочно-разгрузочный участок.

Daurenbek I. Ilesaliyev, post-graduate student, ilesaliyev@mail.ru (Petersburg State Transport University)
DETERMINING BEST POSSIBLE VALUES OF PARAMETERS OF HANDLING AREA FOR UNIT LOADS

Objective: To determine best possible values of parameters of handling area for unit loads. **Methods:** Probability theory, mathematical statistics and vectored direct search methods were used. **Results:** The study established that the efficiency of material handling is primarily influenced by the conditions of unit loads transportation. It was established that the length of servicing covered waggons is subject to exponential law. **Practical importance:** Actual data on a concrete spot was used and statistically analysed. Determining best possible values of parameters of railway handling area using mathematical methods will allow to improve operational work.

Unit loads, unitised loads transportation, shipping skid, unitised load, loading, unloading, handling area.

Определение оптимальных значений параметров железнодорожного погрузочно-разгрузочного участка с помощью математических методов имеет большое значение для дальнейшего улучшения и совершенствования эксплуатационной работы. На погрузочно-разгрузочных участках ежедневно появляются ситуации, когда возникает массовый спрос на обслуживание транспортных потоков. При этом характерны большая неравномерность поступления крытых вагонов к погрузочно-разгрузочным участкам складских помеще-

ний, а также продолжительность их обслуживания [1–5].

Необходимо иметь в виду, что у перегрузочных складов количество средств механизации и обслуживающего персонала ограничено, поэтому они не всегда способны справиться со всеми поступающими заявками. В связи с ростом грузопотока тарно-штучных грузов в Узбекистане сооружаются и реконструируются склады с примыканием железнодорожного транспорта, также улучшается оснащение погрузочно-разгрузочного участка.

Исследование направлено на оптимизацию параметров погрузочно-разгрузочного участка на территории общего и необщего пользования. Для этого необходимо:

- математически описать характер поступления вагонов на погрузочно-разгрузочный участок;
- рассмотреть распределение времени обслуживания транспортных потоков;
- найти оптимальные значения количества погрузочно-разгрузочных машин, количества подач на погрузочно-разгрузочный участок, времени работы склада, а также времени, на которое должно хватить запаса пустых поддонов.

Зависимость между переменными $Q_{\text{сут}}, t_{\text{обс}}, m_{\text{в}}, x_{\text{п}}, z, t_{\text{см}}, T_{\text{п}}$ позволяет выразить $Q_{\text{сут}}, t_{\text{обс}}$ и $m_{\text{в}}$ через параметры $x_{\text{п}}, z, t_{\text{см}}, T_{\text{п}}$, т.е. задача сводится к определению оптимальных значений параметров погрузочно-разгрузочного участка. Критерием для выбора значений параметров технического оснащения и эксплуатации погрузочно-разгрузочного участка служат приведенные затраты. Задача оптимизации выглядит так:

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{п}}, t_{\text{см}}, T_{\text{п}}) \rightarrow \min,$$

где $C_{\text{общ}}$ – суммарные приведенные затраты, руб.; z – количество погрузочно-разгрузочных машин; $x_{\text{п}}$ – количество подач; $t_{\text{см}}$ – рабочее время склада, ч; $T_{\text{п}}$ – время, на которое должно хватить запаса пустых поддонов, сут.

На величину параметров накладывается система ограничений, определяемых эксплуатационными и экономическими соображениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_{\text{сут}} \cdot t_{\text{э}}}{x_{\text{п}} \cdot G \cdot t_{\text{обс}}} &\leq z \leq z^{\max} \\ \frac{Q_{\text{сут}}}{q \cdot m_{\text{в}}} &\leq x_{\text{п}} \leq x_{\text{п}}^{\max} \\ \frac{Q_{\text{сут}} \cdot t_{\text{обс}}}{q \cdot m_{\text{в}}} &\leq t_{\text{см}} \leq t_{\text{см}}^{\max} \\ T_{\text{п}}^{\min} &\leq T_{\text{п}} \leq T_{\text{п}}^{\max} \end{aligned} \right\},$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный грузопоток, т/сут; G – масса транспортного пакета, т; $t_{\text{э}}$ – время цикла работы электропогрузчика при транспортировке одного пакета с погрузочно-разгрузочного участка на склад, ч; $m_{\text{в}}$ – число вагонов в подчае, ваг./п.; q – размер транспортной партии груза (нагрузка вагона), т; $T_{\text{п}}^{\min}$ зависит от $Q_{\text{сут}}$ и нормативного срока хранения грузов, для перевалочного склада равен двум суткам. Минимальные значения параметров z и $x_{\text{п}}$ определяются требованием выполнения заданного объёма работы склада, а максимальные – наличием выделенных ресурсов.

Таким образом, цель – найти оптимальные значения параметров погрузочно-разгрузочного участка, которые бы минимизировали затраты.

Математическое описание системы обслуживания крытых вагонов

Для решения этой задачи исследованы транспортные потоки Ташкентского регионального железнодорожного узла и центра логистики «Ангрен». Проанализированы статистические материалы о порядке поступления крытых вагонов с различной продолжительностью обслуживания погрузочно-разгрузочными механизмами.

Для характеристики транспортного потока требований недостаточно указать на случайный характер их поступления в систему обслуживания. Необходимо выяснить закон распределения вероятностей на основе обработки данных. При этом определяются следующие параметры системы:

- наблюдаемая частота поступления вагонов на погрузочно-разгрузочный участок h_i ;
- среднее количество вагонов, поступающих на перегрузочный склад за время t , определяется по формуле [4]:

$$m_{\text{ср}}^* = \sum_{i=1}^k \bar{m}_i p_i^*,$$

где m_i – среднее количество поступивших вагонов за рабочее время погрузочно-разгру-

зочного участка; p_i^* – частота попадания случайной величины в i -разряд; i – номер разряда ($i = 1, 2, \dots, k$).

Вероятность поступления вагонов предположительно подчиняется пуассоновскому закону:

$$P(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

где λ – интенсивность входящего потока требований; t – период времени, в течение которого поступает требование; e – основание натурального логарифма, равно 2,71; $k!$ – 1, 2, 3, ..., k .

Чтобы принять или опровергнуть теоретическое распределение, определяется величина χ^2 Пирсона, характеризующая расхождение между статистическим и теоретическим распределениями [4]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(h_i - f_i)^2}{f_i},$$

где h_i и f_i – число значений случайной величины в i -м разряде, соответственно, по статистическому и по теоретическому распределениям.

Результаты исследования поступления крытых вагонов при погрузке и выгрузке тарноштучных грузов приводятся в табл. 1.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ $\chi^2_{0,05} = 15,5$; неравенство $\chi^2_{0,05} > \chi^2$ выполнено, гипотезу можно принять.

График функции распределения входящих потоков вагонов на погрузочно-разгрузочный участок приведен на рис. 1. Графики на рис. 2 построены на основе натурных наблюдений. Анализ показывает, что входящие потоки вагонов подчиняются пуассоновскому закону, но с различными параметрами λ .

Одновременно с этим рассматривали распределение времени обслуживания транспортных потоков. Продолжительность обслуживания – случайная величина, которая зависит от статической нагрузки, грузоподъемности

ТАБЛИЦА 1. Статистическое и теоретическое распределения поступлений вагонов на погрузочно-разгрузочный участок

Количество поступающих вагонов m_i	Наблюдаемая частота h_i	Статистическая частота p_i^*	Математическое ожидание $p_i^* m_i$	Теоретическая частота p_i	χ^2
0–2	1	0,0083	0,0083	0,0071	0,0272
2–4	4	0,0333	0,1000	0,0543	0,9682
4–6	18	0,1500	0,7500	0,1625	0,1158
6–8	32	0,2667	1,8667	0,2560	0,0528
8–10	26	0,2167	1,9500	0,2475	0,4596
10–12	18	0,1500	1,6500	0,1612	0,0935
12–14	12	0,1000	1,3000	0,0755	0,9568
14–16	6	0,0500	0,7500	0,0266	2,4743
16–18	2	0,0167	0,2833	0,0073	1,4432
18–20	1	0,0083	0,1583	0,0016	3,3870
Итого	120	1	8,8167	0,9995	9,97

Примечания. $\lambda = m_{cp}^* = 9$ ваг; $R = 10 - 2 = 8$; $\chi^2 = 9,97$; $P(\chi^2) = 0,25$.

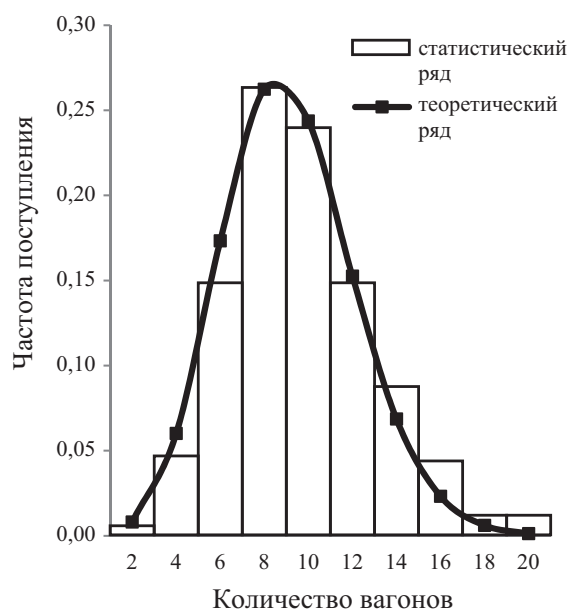


Рис. 1. График функции распределения при $\lambda = 9$ ваг./сут

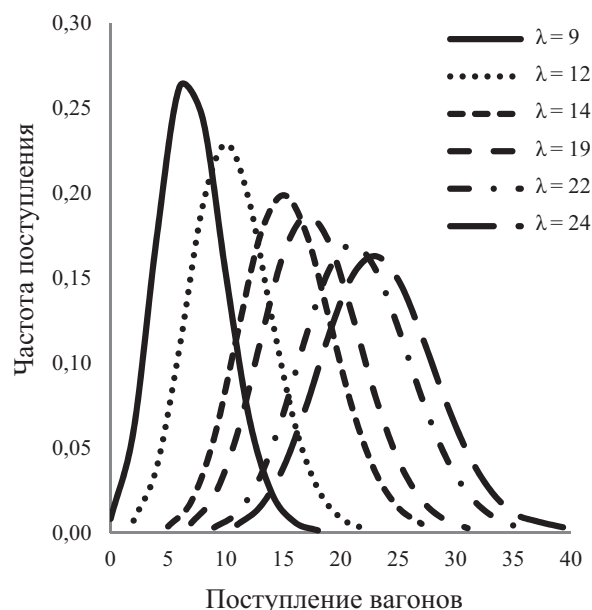


Рис. 2. График функции распределения с различными параметрами λ , ваг./сут

вагонов, а также используемых для погрузки и разгрузки средств механизации.

Для определения продолжительности обслуживания вагонов вели хронометраж погрузки и выгрузки тарно-штучных грузов. По результатам наблюдения можно предположить, что продолжительность процесса подчиняется экспоненциальному закону распределения. На основании статистических данных подсчитали следующие параметры системы обслуживания:

- среднее значение времени обслуживания одного вагона

$$t_{\text{обсл}}^* = \sum_{i=1}^k \bar{t}_i p_i^* ;$$

- интенсивность обслуживания, т. е. среднее число обслуживаний вагонов за единицу времени,

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{обс}}^*} ;$$

- теоретическую частоту при показательном распределении времени обслуживания

$$P(t) = e^{-\mu t} .$$

Результаты исследования времени обслуживания крытого вагона при погрузке и выгрузке тарно-штучных грузов приведены в табл. 2.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ $\chi^2_{0,05} = 11,1$; неравенство $\chi^2_{0,05} > \chi^2$ выполнено. На основании расчётов параметров системы обслуживания, приведенных в табл. 2, построена кривая распределения обслуживания крытого вагона электропогрузчиком при $t_{\text{обсл}} = 70,5$ мин и $\mu = 0,015$ обслуживания за одну минуту (рис. 3).

Анализ кривой, показанной на рис. 3, позволяет сделать вывод, что при выбранном уровне значимости нулевая гипотеза о соответствии статистического распределения экспоненциальному не может быть отклонена.

В итоге, зная среднее значение λ и $t_{\text{обсл}}^*$, можно определить среднее время простоя вагонов под ожиданием обслуживания, под грузовыми операциями, а также простоя погрузочно-разгрузочных машин.

Среднее время ожидания обслуживания одного вагона определяется по формуле [6]

$$t_{\text{ож}} = \frac{\rho \cdot t_{\text{обс}}}{1 - \rho} ,$$

ТАБЛИЦА 2. Статистическое и теоретическое распределения времени обслуживания вагонов

Время обслуживания t_i , мин	Наблюдаемая частота h_i	Статистическая частота p_i^*	Математическое ожидание $p_i^* \cdot t_i$	Теоретическая частота p_i	x^2
0–30	90	0,3202	4,8042	0,3465	0,1428
30–60	55	0,1957	8,8078	0,2264	0,0110
60–90	45	0,1601	12,0106	0,1479	0,0001
90–120	35	0,1245	13,0782	0,0967	0,0625
120–150	24	0,0854	11,5302	0,0631	0,9000
150–180	18	0,0640	10,5694	0,0412	1,5000
180–210	14	0,0498	9,7153	0,0269	1,0000
Итого	281	1,0000	70,5160	0,9491	3,7053

Примечания. $t_{\text{обс}}^* = 70,5$ мин; $\mu = 0,015$; $R = 7 - 2 = 5$; $x^2 = 3,70$; $P(x^2) = 0,60$.

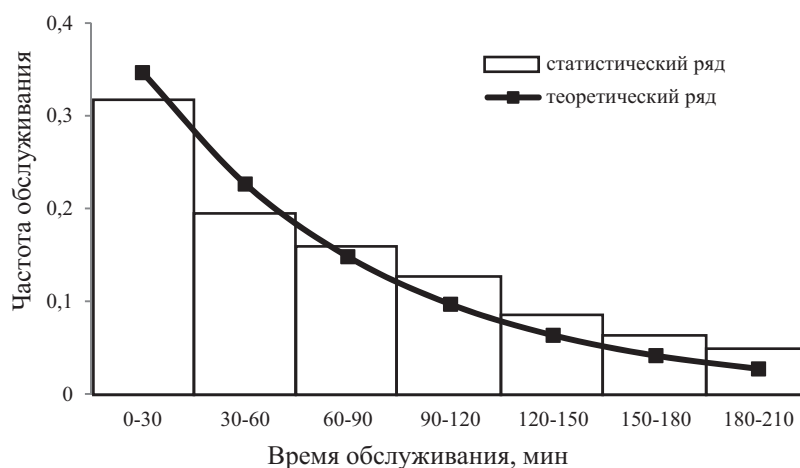


Рис. 3. График функции распределения обслуживания крытого вагона

где ρ – загрузка погрузочно-разгрузочного участка, $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

Среднее время простоя одного вагона под погрузочно-разгрузочными операциями определяется следующим образом:

$$t_{\text{пр}} = \frac{1}{t_{\text{см}}} \cdot \left(t_{\text{ож}} + t_{\text{н}} + \frac{q}{z \cdot Q_{\text{час}} \cdot x_{\text{п}}} \right),$$

где $t_{\text{н}}$ – нормированное время простоя под подготовительно-заключительными операциями для одного вагона, ч; $Q_{\text{час}}$ – произво-

дительность погрузочно-разгрузочного механизма, т/ч; q – размер транспортной партии груза (нагрузка вагона), т.

Определение оптимальных параметров погрузочно-разгрузочного участка с помощью построения модели

Функция $C_{\text{общ}}(z, x_{\text{п}}, t_{\text{см}}, T_{\text{п}})$, непрерывная при $z \geq z_{\text{мин}}; x_{\text{п}} \geq x_{\text{п}}^{\text{мин}}; t_{\text{см}} \geq t_{\text{см}}^{\text{мин}}; T_{\text{п}} \geq T_{\text{п}}^{\text{мин}}$, имеет частные производные. Приведем функционал

к минимуму, перебирая параметры, – таким образом решается поставленная задача.

Алгоритм поиска оптимальных параметров погрузочно-разгрузочного участка включает следующие этапы:

- определение минимально допустимых значений параметров;
- последовательное увеличение параметров на одну единицу, для каждого этого значения определяется величина приведенных расходов. Перебор продолжается до тех пор, пока приведенные расходы не начнут увеличиваться.
- продолжение перебора до тех пор, пока не будут найдены оптимальные параметры, соответствующие минимуму суммарных приведенных затрат.

Для случайного потока вызовов экономико-математической модели выражение приведенных затрат можно представить в виде

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{п}}, t_{\text{см}}, T_{\text{п}}) = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}.$$

C_1 – расходы на заработную плату при погрузке (или разгрузке) транспортной партии груза:

$$C_1 = \frac{q \cdot w \cdot 20000 \cdot 1,34}{21 \cdot t_{\text{обс}}},$$

где w – трудоемкость погрузки (или разгрузки) 1 т груза (принимают $w = 0,0614$ чел.-ч/т для варианта погрузки или разгрузки пакетированных грузов на поддонах электропогрузчиком; $w = 0,171$ чел.-ч/т при трудоёмкости ручной погрузки-разгрузки с использованием поддонов и электропогрузчика, чел.-ч/т; 20 000 руб./мес. – средняя заработная плата рабочего в месяц; 1,34 – коэффициент страхового взноса; 21 день/мес. – среднее число рабочих дней в месяце.

C_2 – расходы на содержание железнодорожного пути погрузочно-разгрузочного участка:

$$C_2 = \left(\frac{m \cdot l_{\text{в}}}{x_{\text{п}}} + l_{\text{л}} \right) \cdot \frac{S_{\text{ж.д}} \cdot (2 + 6 + 2, 2)}{365},$$

где m – количество вагонов, ваг.; $l_{\text{в}}$ – длина пути для установки одного вагона, м; $l_{\text{л}}$ – длина пути для установки одного локомотива, м; $S_{\text{ж.д}}$ – удельный показатель стоимости сооружения погонного метра железнодорожного пути (из расчета 33 млн руб./км), 33 000 руб./пог. м; 2 % – норма амортизационных отчислений за год на полное восстановление и капитальный ремонт строительных сооружений; 6 % – норма отчислений на текущий ремонт строительных сооружений; 2,2 % – ставка налога на имущество.

C_3 – расходы на эксплуатацию погрузочно-разгрузочных машин:

$$C_3 = z \cdot \frac{S_{\text{п.р.м}} \cdot 50 \cdot (10 + 6 + 2, 2)}{365},$$

где $S_{\text{п.р.м}}$ – стоимость погрузочно-разгрузочных машин, 35 000 долл. США; 50 руб./долл. – курс 1 долл. США по ставке Центробанка на 25.05.2015 г.; 10 % – норма амортизационных отчислений за год на полное восстановление и капитальный ремонт электропогрузчика.

C_4 – расходы на эксплуатацию крытой рампы:

$$C_4 = L_{\text{гр}} \cdot \frac{5,5 \cdot 50 \cdot 55 \cdot (2 + 6 + 2, 2) \cdot 1,1}{365},$$

где 5,5 – ширина крытой грузовой рампы, м; $L_{\text{гр}}$ – длина грузовой рампы для установки вагонов под погрузку или разгрузку, м; 55 – удельная стоимость 1 м² крытой грузовой рампы, долл./м²; 1,1 – коэффициент, учитывающий стоимость освещения грузовой рампы.

C_5 – расходы на раздвижные ворота из склада на рампу:

$$C_5 = n_{\text{вр}} \cdot \frac{S_{\text{вр}} \cdot 50 \cdot (10 + 6 + 2, 2)}{365},$$

где $n_{\text{вр}}$ – количество раздвижных ворот из склада на рампу; $S_{\text{вр}}$ – стоимость раздвижных ворот из склада на рампу, с электроприводом, долл.

C_6 – расходы, связанные с простоем вагонов под погрузочно-разгрузочными операциями:

$$C_6 = T_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}} = m \cdot \frac{1}{t_{\text{см}}} \left(t_{\text{ож}} + t_{\text{н}} + \frac{q}{z \cdot Q_{\text{час}} \cdot x_{\text{П}}} \right) \cdot S_{\text{пр}},$$

где $T_{\text{пр}}$ – общее время простоя вагонов под погрузочно-разгрузочными операциями за время $t_{\text{см}}$, ч; $S_{\text{пр}}$ – стоимость простоя вагоно-часа под погрузкой и разгрузкой, руб.

C_7 – расходы, связанные с простоем погрузочно-разгрузочных машин:

$$C_7 = T_{\text{пм}} \cdot S_{\text{пм}} = (z \cdot t_{\text{см}} - m \cdot t_{\text{обс}}) \cdot S_{\text{пм}},$$

где $T_{\text{пм}}$ – общее время простоя всех погрузочно-разгрузочных машин за рабочее время погрузочно-разгрузочного участка, ч; $S_{\text{пм}}$ – стоимость простоя погрузочно-разгрузочных машин, руб.

C_8 – расходы на содержание запаса поддонов на складе:

$$C_8 = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot T_{\text{П}}}{G} \cdot \frac{S_{\text{П}} \cdot (18,1 + 6 + 2,2)}{365},$$

где $T_{\text{П}}$ – время, на которое должен быть запас пустых поддонов, сут.; $S_{\text{П}}$ – стоимость одного стандартного плоского деревянного поддона, руб.; 18,1 – амортизационные отчисления по деревянным поддонам, %.

C_9 – расходы на перемещение транспортного пакета:

$$C_9 = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot S_{\text{сэ}} \cdot 1,1}{x_{\text{П}}} \cdot \left(\frac{t_3 \cdot t_3 \cdot N_3 \cdot \eta}{G \cdot t_{\text{обс}}} \right),$$

где $S_{\text{сэ}}$ – стоимость 1 кВт·ч силовой электроэнергии, руб./кВт·ч; t_3 – время цикла работы электропогрузчика при транспортировке одного пакета с погрузочно-разгрузочного участка на склад (принимают $t_3 = 0,05$ ч для пакетированных грузов; 0,04 ч – для ручной укладки грузов на поддон в вагоне), ч; t_3 – вре-

мя зарядки аккумуляторной батареи электропогрузчика, ч; N_3 – установленная мощность электродвигателей на электропогрузчики, кВт; η – коэффициент использования мощности для машин циклического действия.

C_{10} – расходы, связанные с подачей и уборкой вагонов с погрузочно-разгрузочного участка:

$$C_{10} = x_{\text{П}} \cdot t_{\text{м}} \cdot S_{\text{л}},$$

где $t_{\text{м}}$ – суммарная продолжительность подачи и уборки вагонов, ч; $S_{\text{л}}$ – стоимость одного локомотиво-часа при маневровых работах, руб.

С учетом изложенных соображений при перерабатывающей способности погрузочно-разгрузочного участка $Q_{\text{пер}} = 180$ т/сут, длине склада $L_{\text{скл}} = 72$ м, часовой производительности погрузчика $Q_{\text{час}} = 37,8$ т/ч, транспортной партии груза (нагрузке вагона) 20 т составим упрощенное развернутое выражение приведенных затрат, зависящих от переменных z , $x_{\text{П}}$, $t_{\text{см}}$, $T_{\text{П}}$.

Для варианта погрузки или выгрузки пакетированных грузов погрузчиком:

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{П}}, t_{\text{см}}, T_{\text{П}}) = 1588 + \frac{837}{x_{\text{П}}} + 872 \cdot z + \frac{330}{t_{\text{см}}} \cdot \left(31,9 + \frac{44}{z \cdot x_{\text{П}}} \right) + 40 \cdot t_{\text{см}} \cdot z + \frac{475}{x_{\text{П}}} + 225 \cdot x_{\text{П}}.$$

Для варианта укладки штучных грузов на поддон вручную, перемещения груженых поддонов погрузчиком:

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{П}}, t_{\text{см}}, T_{\text{П}}) = 3267 + \frac{837}{x_{\text{П}}} + 872 \cdot z + \frac{330}{t_{\text{см}}} \cdot \left(31,9 + \frac{44}{z \cdot x_{\text{П}}} \right) + 40 \cdot t_{\text{см}} \cdot z + 52 \cdot T_{\text{П}} + \frac{380}{x_{\text{П}}} + 225 \cdot x_{\text{П}}.$$

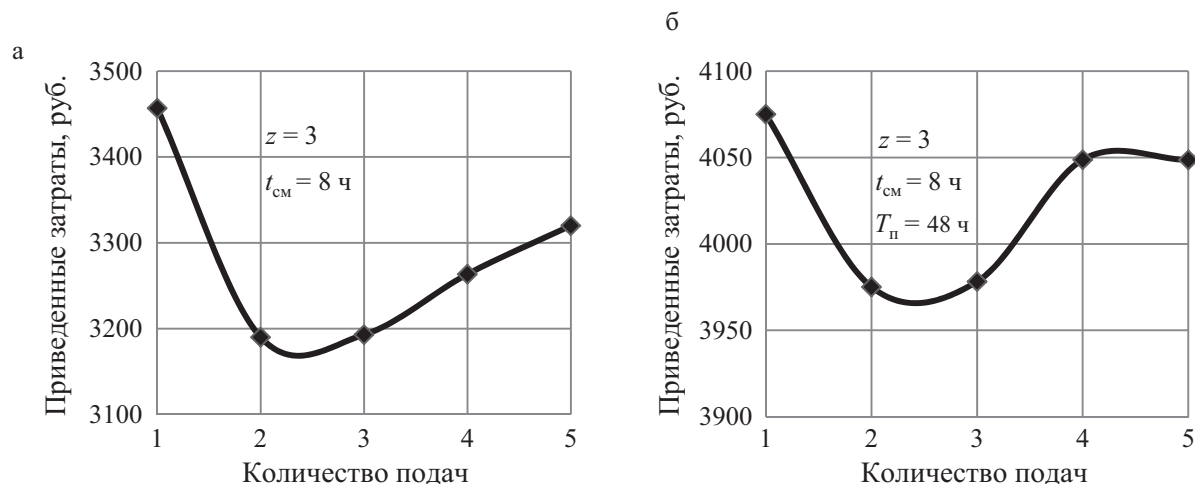


Рис. 4. Зависимость приведенных затрат погрузочно-разгрузочного участка тарно-штучных грузов:

а) в пакетах, перемещение погрузчиками; б) укладка на поддон вручную, перемещение груженых поддонов погрузчиками

На рис. 4 даны графики зависимости приведенных затрат при $Q_{\text{сут}} = 180$ т/сут, $z = 3$; $t_{cm} = 8$ ч; $T_{\pi} = 48$ ч.

Заключение

Анализ входящих потоков на погрузочно-разгрузочные участки показывает, что большинство из них являются простейшими. Оптимальные параметры на погрузочно-разгрузочные операции зависят, в первую очередь, от типа вагонов, так как с повышением грузоподъемности их количество увеличивается.

Также потребность зависит от технологии перевозки тарно-штучных грузов в крытых вагонах: при их перевозке на поддонах требуется меньшее число погрузочно-разгрузочных машин, чем навалом, так как загрузка или разгрузка происходят с высокой скоростью. Сравнение результатов расчетов параметров погрузочно-разгрузочного участка показало, что для детерминированной и недетерминированной моделей значения совпадают и при поставленной задаче оптимизации можно ограничиться детерминированной моделью.

Библиографический список

1. Болотин В. А. Техничко-экономическое обоснование вариантов складов на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / В. А. Болотин, О. Б. Ковалёнок, Е. К. Коровяковский. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2011. – 65 с.
2. Коровяковская Ю. В. Складские комплексы как элементы логистической цепи / Ю. В. Коровяковская, О. Б. Маликов // Вестн. инж.-электромехаников ж.-д. трансп. – 2003. – Вып. 1. – С. 222–224.
3. Коровяковский Е. К. Проблемы развития системы логистических центров на железнодорожном транспорте / Е. К. Коровяковский // Логистич. системы в глобальной экономике. – 2013. – № 3–1. – С. 121–125.
4. Кудрявцев В. А. Применение математических методов в эксплуатационных расчётах на железнодорожном транспорте : методич. указания. Ч. 1 / В. А. Кудрявцев, Е. М. Жуковский, Ю. И. Ефименко и др. ; под общ. ред. В. А. Кудрявцева. Л. : ЛИИЖТ, 1977. – 65 с.
5. Маликов О. Б. О комплексном проектировании складов / О. Б. Маликов // Логистика. – 2014. – № 2. – С. 20–22.
6. Смехов А. А. Математические модели процессов грузовой работы / А. А. Смехов. – М. : Транспорт, 1982. – 256 с.

References

1. Bolotin V.A., Kovalenok O.B. & Korovyakovskiy Ye. K. Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye variantov skladov na zheleznodorozhnom transporte: uchebnoye posobiye [Feasibility Study of Warehousing Options on Railway Transport: Study Guide]. St. Petersburg, Petersburg State Transport University, 2011. 65 p.
2. Korovyakovskaya Yu. V. & Malikov O. B. *Vestnik inzhenerov-elektromekhanikov zheleznodorozhnogo transporta – Bull. of the Railway Transp. Electrical Eng.*, 2003, Is. 1, pp. 222-224.
3. Korovyakovskiy Ye. K. *Logisticheskiye sistemy v globalnoy ekonomike – Logistical Syst. in Global Economy*, 2013, No. 3–1, pp. 121-125.
4. Kudryavtsev V.A., Zhukovskiy Ye. M., Yefimenko Yu. I., Romanov A. P. & Semenov V. M. *Primeneniye matematicheskikh metodov v ekspluatatsionnykh*

raschetakh na zheleznodorozhnom transporte: metodicheskiye ukazaniya [Applying Mathematical Methods to Operational Calculations in Railway Transport: Instructional Guidelines], ed. V.A. Kudryavtsev. Pt. 1. Leningrad, LIIZhT, 1977. 65 p.

5. Malikov O. B. *Logistika – Logistics*, 2014, No. 2, pp. 20-22.

6. Smekhov A. A. *Matematicheskiye modeli protsessov gruzovoy raboty* [Mathematical Simulations of Freight Operation Processes]. Moscow, Transport, 1982. 256 p.

ИЛЕСАЛИЕВ Дауренбек Ихтиярович – аспирант, ilesalev@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщений Императора Александра I)

УДК 621.317.39 (075.8)

К. К. Ким, Е. С. Мушков, И. А. Нестерцов, И. С. Полунин, Д. А. Саенко**НЕРАЗРУШАЮЩАЯ ДИАГНОСТИКА СТЕПЕНИ РЖАВОСТИ
ЖЕЛЕЗНОЙ АРМАТУРЫ ОПОРЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

Дата поступления: 29.06.2015

Решение о публикации: 16.09.2015

Цель: Доказать, что можно повысить точность диагностирования степени ржавости железной арматуры опор с помощью электрических дефектоскопов в различных сферах деятельности: в технике, промышленности, на транспорте и т. д. **Методы:** Применялись расчёты плоскопараллельного электростатического поля в специализированной программе ELCUT, проводились экспериментальные исследования. **Результаты:** Описана экспериментальная установка, а также принцип действия дефектоскопа, основанного на различии в значениях диэлектрической проницаемости ржавого и чистого «здорового» железа. Установлено, что добавление дополнительных пластин приводит к «выпрямлению» эквипотенциальных линий на краях рабочих электродов на ~ 7,8 %. **Практическая значимость:** Установлено, что данный дефектоскоп может быть использован для неразрушающего контроля состояния степени ржавости железной арматуры железобетонных шпал, железобетонных конструкций стрелочных переводов, железобетонных опор и др.

Арматура, ржавчина, контактная сеть, электрокоррозия, неразрушающая диагностика, силовые линии, электростатическое поле, дефектоскоп.

Konstantin K. Kim, D. Eng., professor, department chairman, kimkk@inbox.ru; **Yevgeniy S. Mushkov**, student, asphodel@mail.ru; **Ivan A. Nestertsov**, student; **Igor S. Polunin**, student, polunin.ig@gmail.com; **Dmitriy A. Sayenko**, student (Petersburg State Transport University) **NON-DESTRUCTIVE RUST GRADE DIAGNOSTICS OF REINFORCEMENT METAL IN CONTACT-LINE STRUCTURES**

Objective: To prove that it is possible to increase accuracy of rust grade diagnostics of reinforcement metal in structures using electric-powered fault detectors in various spheres of activity, engineering, industry, transport and so forth. **Methods:** Calculations of plane-parallel electrostatic field were conducted in the specialised ELCUT program, and experimental studies were conducted. **Results:** An experimental unit was described, as was the functional principle of a fault detector based on differences in dielectric conductivity of rusty and pure iron. It was established that adding extra wafers leads to straightening out equipotential lines on the edges of working electrodes by 7.8 per cent. **Practical importance:** The study established that this fault detector can be used for non-destructive control of rust grade of reinforcement metal of ferro-concrete sleepers, ferro-concrete elements of railroad switches, reinforced concrete support structures etc.

Reinforcement metal, rust, contact line, electrocorrosion, non-destructive diagnostics, lines of flux, electrostatic field, fault detector.

Несущие конструкции контактной сети, к числу которых относятся опоры, являются ответственными нерезервируемыми элементами системы электроснабжения электриче-

ских железных дорог. Надежность опор контактной сети определяет бесперебойность и безопасность движения поездов, поэтому вопросам прочности железобетонных опорных

конструкций на стадии как разработки и проектирования, так и изготовления и эксплуатации всегда уделяется особое внимание.

Для электрифицированных участков железных дорог наибольшей проблемой является электрокоррозия железобетонных опор контактной сети. Излом и падение опоры от воздействия электрокоррозии почти неизбежно влекут за собой обрыв проводов контактной сети, нарушение электроснабжения и режима движения поездов.

В связи с этим особое значение приобретает возможность неразрушающей диагностики состояния железной арматуры в опорах контактной сети с последующими рекомендациями по их дальнейшей эксплуатации.

Методы решения указанной задачи имеют недостатки. Наиболее приемлем метод, основанный на различии в значениях диэлектрической проницаемости ржавого и «здорового» железа [2].

Однако дефектоскоп, реализующий этот метод, имеет нелинейную измерительную характеристику, т. е. недостаточно высокую точность диагностирования, что можно объяснить искажением электростатического поля на краях электродов.

Цель работы – добиться повышения точности диагностирования степени ржавости

железной арматуры опоры за счет повышения однородности поля между рабочими электродами путем добавления дополнительных электропроводящих пластин, электрически не связанных с рабочими электродами.

Использование дополнительных электропроводящих пластин приводит к тому, что силовые линии электростатического поля на большей части площади рабочих электродов приобретают линейный характер. Другими словами, значительно ослаблен краевой эффект, так как «искривление» линий электростатического поля происходит на краях не рабочих электродов, а дополнительных пластин. В результате измерительная характеристика становится более линейной.

Расчёт в ELCUT

Для подтверждения данной гипотезы рассчитано плоскопараллельное электростатическое поле в специализированной программе ELCUT. Расчёт включал в себя несколько этапов:

1) представили геометрические параметры задачи, т. е. в натуральную величину изобразили элементы расчёта в специализированной программе ELCUT;

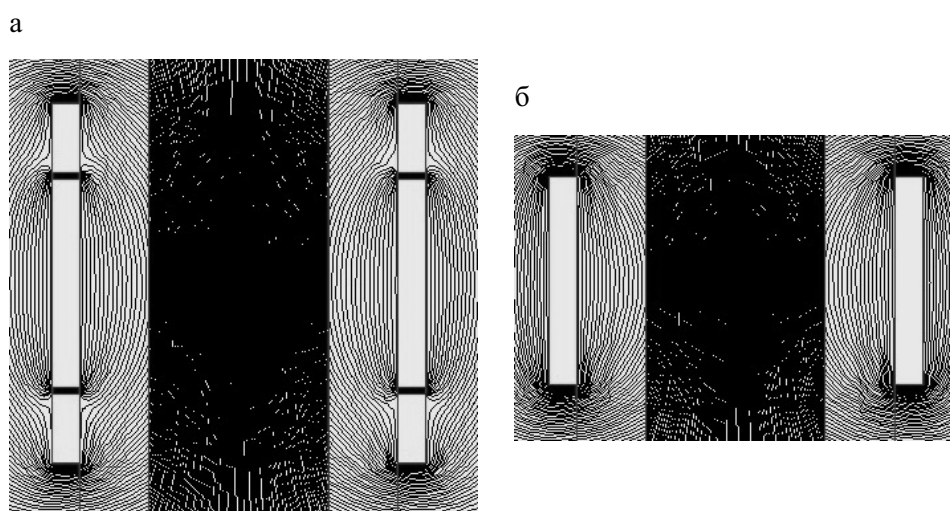


Рис. 1. Картина электростатического поля:
а) без дополнительных пластин; б) с дополнительными пластинами

II) исследуемую область разделили на блоки, однородные по физическим свойствам;

III) провели расчёты электростатического поля (рис. 1).

На рис. 1 видно, что наличие дополнительных пластин приводит к тому, что силовые линии электростатического поля под рабочими электродами приобретают линейный характер.

Экспериментальные исследования

Также для верификации описанного метода выполнено физическое моделирование электростатического поля (в плоскопараллельной постановке) в теле опоры с помощью электропроводящей бумаги (рис. 2).

«Выпрямление» эквипотенциальных линий 3 В (Δ) на краях рабочих электродов из-за введения дополнительных пластин составило ~ 7,8%:

$$\Delta = \frac{A}{B} \cdot 100\% = \frac{3}{38} \cdot 100\% \approx 7,8\%.$$

На практике рассматриваемая диагностика имеет следующую приборную реализацию (рис. 3). Силовые входы 1 электронного блока 2 с индикатором 3, который представляет собой измеритель емкости, например TESLA BM 591, подключаются к выходам источника питания 4. Измерительные входы 1 электронного блока 2 присоединяются с помощью проводов к электродам 5. Электроды 5 полые, причем боковые 6 и внутренняя стенка 7, которой электрод прижимается к опоре 8, изготовлены из эластичного материала, например из резины, наружная стенка 9 электрода 5 выполнена из электропроводящего материала, например из алюминия или меди. Электроды 5 заполнены порошком 10 из электропроводящего материала, например алюминия. К боковым стенкам электрода жестко прикреплены пластины 11 из диэлектрика, например, фторопласта или гетинакса, к которым жестко прикреплены дополнительные пластины 12 из электропроводящего материала, например меди или алюминия. Позицией 8 обозначен участок опоры, который содержит диагностируемую железную арматуру 13.

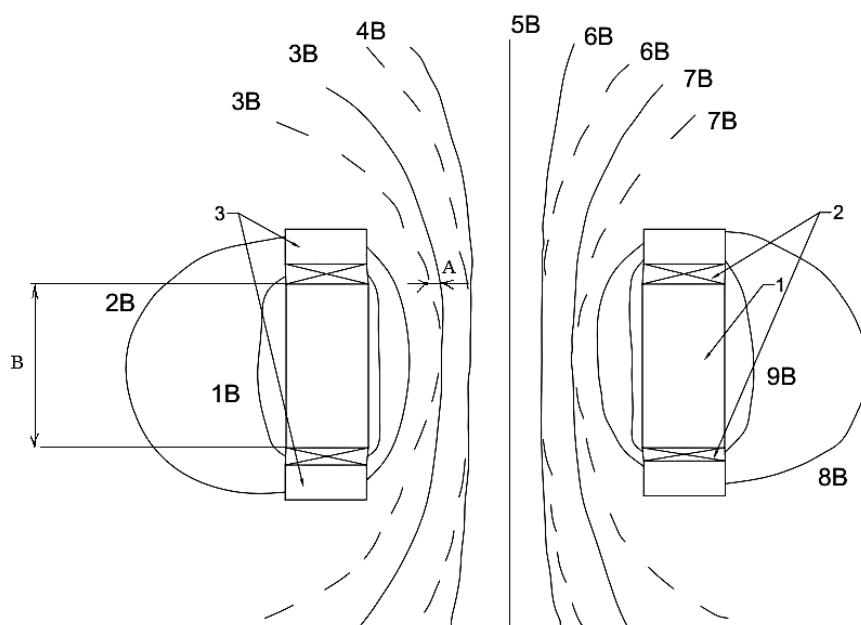


Рис. 2. Картина поля, полученная на основе экспериментальных исследований:
1) рабочие электроды; 2) диэлектрические вставки; 3) дополнительные пластины; сплошные линии – эквипотенциальные линии при дополнительных пластинах, штриховые – без них

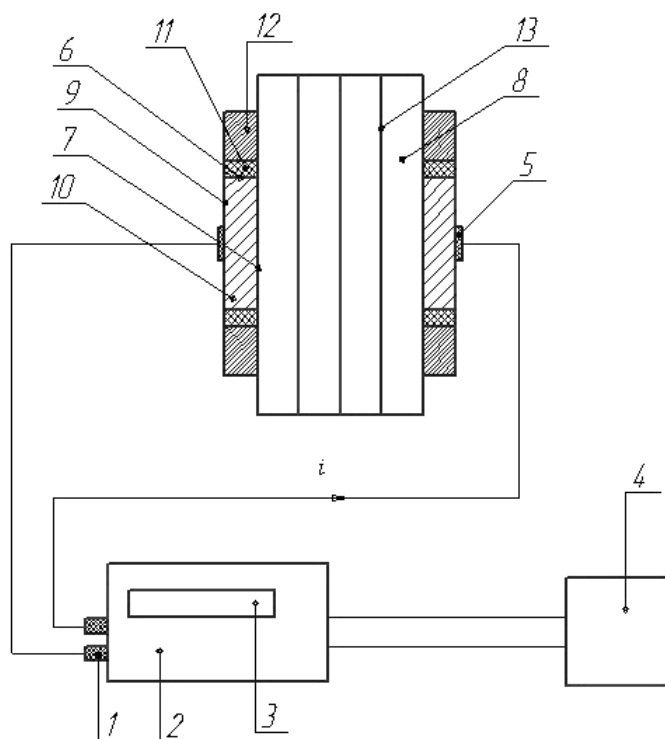


Рис. 3. Схема операции диагностики арматуры опоры:

- 1) силовые входы; 2) электронный блок; 3) индикатор; 4) блок питания; 5) рабочие электроды; 6) боковая стенка; 7) внутренняя стенка; 8) участок опоры; 9) наружная стенка; 10) порошок; 11) диэлектрик; 12) дополнительные пластины; 13) стержни металлические

Диагностика арматуры опоры осуществляется следующим образом. Обкладки, состоящие из рабочих электродов 5 и дополнительных пластин 12, прижимаются к участку опоры 8, который содержит железную арматуру 13. Наружная стенка 9, боковые стенки 6 и внутренняя стенка 7 деформируются в соответствии с рельефом поверхности участка опоры 8, и порошок 10 заполняет пустоты поверхности. Затем источник питания 4 через выходы подключается к силовым входам 1 электронного блока 2. В результате этой операции в цепи, состоящей из последовательно соединенных измерительных входов 1 электронного блока 2, электродов 5, участка опоры 8, содержащей железную арматуру 13, начинает протекать ток (i), под действием которого электронный блок 2 измеряет емкость участка опоры 8 между электродами 5. Согласно формуле

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d},$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость участка опоры 8; ϵ_0 – электрическая постоянная, данная емкость зависит от абсолютной диэлектрической проницаемости $\epsilon \epsilon_0$ участка опоры 8 между электродами 5. Если ϵ «здорового» железа составляет ~ 10 [1, с. 415], то ϵ ржавого железа ~ 3 [3, с. 368]. Таким образом, в зависимости от состояния железной арматуры 13 на индикаторе 3 электронного блока, который может иметь вид шкалы, появится показание величины емкости, зависящей от магнитной проницаемости. Шкала индикатора 3 проградуирована по степени ржавости железной арматуры. При градуировке используются образцы, содержащие арматуру с известной степенью ржавости.

Был изготовлен действующий макет дефектоскопа (рис. 4), с помощью которого диагностировали железную арматуру семи специально изготовленных кубических бетонных блоков размерами $15 \times 15 \times 15$ мм.

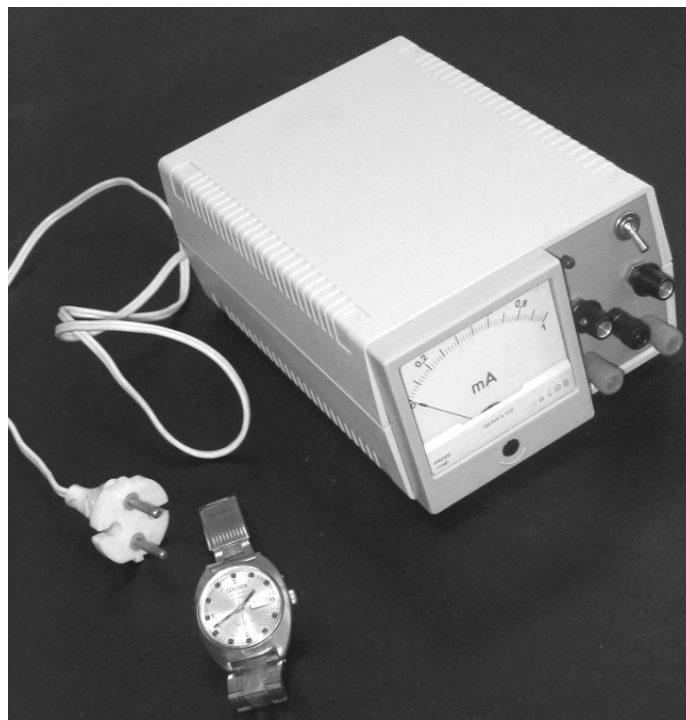


Рис. 4. Дефектоскоп

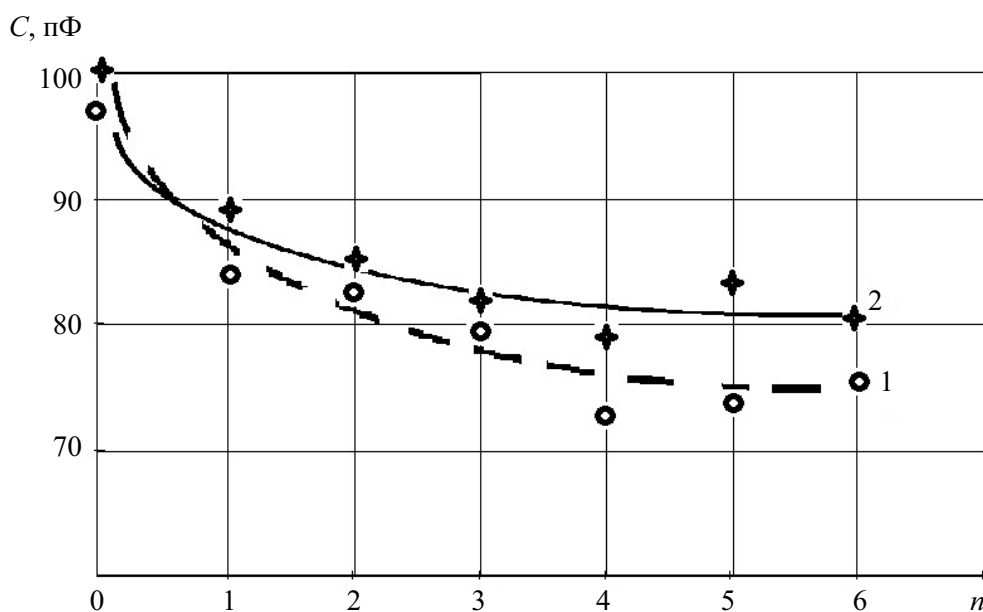


Рис. 5. Зависимости емкости блока от процентного содержания ржавчины при наличии дополнительных пластин (+) и в их отсутствие (o):
 n – номер блока; 1 – без дополнительных пластин; 2 – с дополнительными пластинами

Каждый блок содержал два ряда по 8 арматурных стержней: блок № 0 – без коррозии; № 1 – с 2% коррозии; блок № 2 – 4%; № 3 – 6%; № 4 – 8%; № 5 – 10%; № 6 – 13%.

Процентное содержание коррозии определяли по соотношению диаметров поперечных сечений «здорового» и ржавого сечения стержня. Так как металлические стержни дополнены

рёбрами жёсткости, они в поперечном сечении не круглые, что приводит к погрешности определения степени ржавости. Это основная погрешность нашего исследования, также имеется погрешность прибора, который мы градуировали по степени ржавости.

Результаты измерений емкости блоков приведены на рис. 5.

Более пологий характер кривой 2 очевидно обусловлен увеличением эффективной площади измерительных электродов 5 (см. рис. 3) за счёт дополнительных пластин 12.

Заключение

Появление ржавчины приводит к уменьшению емкости диагностируемого блока, а наличие дополнительных электропроводящих пластин позволяет выравнивать эквипотенциальные линии (демонстрирует более линейный характер зависимости) находящихся под рабочей поверхностью электродов, что в свою очередь дает более равномерную шкалу и как следствие – более точную диагностику.

Данный дефектоскоп можно использовать для неразрушающего контроля степени ржавости железной арматуры железобетонных опор, шпал.

Библиографический список

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники / Атабеков Г. И., Купальян С. Д., Тимофеев А. Б., Хухриков С. С. – 4-е изд. – Ч. 2, 3. – М. : Энергия, 1979. – 415 с.

2. Свидетельство на полезную модель № 26850. Дефектоскоп. МПК G 01 N 23/18 Б. И. № 35. 20.12.2002.

3. Скорчеллетти В. В. Теоретическая электрохимия / В. В. Скорчеллетти. – 3-е изд. – Л. : Химия, 1970. – 608 с.

References

1. Atabekov G. I., Kupalyan S. D., Timofeyev A. B. & Khukhrikov S. S. Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki [Theoretical Foundations of Electrical Engineering]. 4th Ed. Is. 2, 3. Moscow, Energiya, 1979. 415 p.

2. Defektoskop [Fault Detector]. Utility Model Certificate No. 26850. MPK G 01 N 23/18 B. I. No. 35. 20.12.2002.

3. Skorshelletti V. V. Teoreticheskaya elektrokhiimiya [Theoretical Electrochemistry]. 3rd Ed. Leningrad, Khimiya, 1970. 608 p.

Работа выполнена при поддержке гранта Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I № 14/6 от 27.11.2014 г. «Электрический дефектоскоп».

КИМ Константин Константинович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, kimkk@inbox.ru; МУШКОВ Евгений Сергеевич – студент, asphodel@mail.ru; НЕСТЕРЦОВ Иван Андреевич – студент; *ПОЛУНИН Игорь Сергеевич – студент, polunin.ig@gmail.com; САЕНКО Дмитрий Алексеевич – студент (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 629.4.015:625.1.03

С. В. Кротов, Д. П. Кононов**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ,
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОЛЕСО В КОНТАКТЕ С РЕЛЬСОМ**

Дата поступления: 30.06.2015

Решение о публикации: 16.09.2015

Цель: Найти параметры динамического взаимодействия колеса с рельсом более доступным методом, чем при использовании расчётных комплексов. **Методы:** Создание расчетной модели, в которой предполагается, что колесо движется по упругой весоной балке, лежащей на винклеровском основании с линейной диссипацией, при этом рассматривается движение одного колеса. Изучение совместных колебаний дискретной линейной динамической системы (экипажа), состоящей из двух подрессоренных масс и двигающихся по балке (пути), лежащей на упругом основании и имеющей детерминированные геометрические неровности. **Результаты:** Приведены особенности методики определения параметров взаимодействия при динамическом контакте. Рассмотрены основные положения известной теории, позволяющие без значительных расчетных усилий перейти к определению прогибов и усилий в контакте колеса и рельса, а также приведены основные этапы решения. Приведён алгоритм расчёта, который позволяет оценить влияние неровностей – дефектов колеса и рельса – на путь и экипаж, а также результаты динамического расчета вертикального взаимодействия колеса и рельса. Некоторые результаты расчетов оформлены в виде графиков. **Практическая значимость:** Изложенный метод расчета позволяет оценить влияние неровностей – дефектов колеса и рельса – на путь и экипаж. Так как данный метод реализован на ЭВМ, динамический расчет параметров взаимодействия, из которых наибольший интерес вызывают вертикальные силы, будет представлять формальную операцию по вводу исходных данных для расчета. Пользуясь полученными графиками для заданных параметров, можно выполнять расчеты для разных частот и амплитуд возмущения.

Динамическое взаимодействие, частотная характеристика, прогиб рельса, перемещение колеса, вертикальная сила.

Sergey V. Krotov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, svk-19587@yandex.ru (Rostov State Transport University); ***Dmitriy P. Kononov**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, d_kononov@mail.ru (Petersburg State Transport University) DETERMINATION OF VERTICAL DYNAMIC FORCES ACTING ON THE WHEEL IN CONTACT WITH A RAIL

Objective: To discover parameters of dynamic interaction between a wheel and a rail by a more accessible method than using calculation systems. **Methods:** Creating a calculation model in which it is assumed that a wheel is moving on an elastic beam possessing weight lying on a Winkler foundation with line dissipation, with movement of a single wheel considered. Study of coupled vibrations of a discrete linear dynamic system (vehicle) which consists of two spring weights and moves along a beam (track), lying on elastic base and possessing determined geometrical uneven surfaces. **Results:** The paper lists specific features of a method for determining interaction parameters in case of dynamic contact. It looks at basic premises of a known theory which allow to determine deflection and strain in contact between a wheel and a rail without significant calculation efforts, and provides main stages of a solution. A calculation algorithm which allows to evaluate the influence of uneven surfaces (wheel and rail defects) on track and vehicle, as well as results of dynamic calculation of vertical interaction between a wheel and a rail.

Some calculation results are presented in chart form. **Practical importance:** The calculation method described in the paper allows to evaluate the influence of uneven surfaces – wheel and rail defects – on track and vehicle. As this method is computer-based, dynamic calculation of interaction parameters, of which vertical forces are most interesting, is to be a formal operation of input of basic data for calculation. Using resulting charts for set parameters allows to conduct calculations for various frequencies and ranges of disturbance.

Dynamic interaction, frequency response, rail deflection, wheel movement, vertical force.

Численное моделирование сил, возникающих в контакте колесо – рельс, значительно развито. Лидерами в этой области являются программные продукты Vampire (Великобритания), Nucars (США). Комплекс Medyna (Германия) применялся для оценки динамических характеристик скоростного поезда «Сокол» (ПГУПС). Широко используется расчетный комплекс Adams/Rail: он обеспечивает как линейное моделирование без учета реальных профилей колес и рельсов, так и использование нелинейной теории контакта. В нашей стране успешно работают «Дионис» (МИИТ), «Универсальный механизм» (БГТУ), с помощью которых проводили исследования тепловозов, электровозов, вагонов и др. Это мощные инструменты анализа динамики механических систем, требующие высокого уровня подготовки специалистов. Они имеют высокую стоимость и предназначены для комплексных исследований, не всегда применимы для инженерных расчетов или для учебных задач. Рассмотрим возможность нахождения параметров динамического взаимодействия более доступным методом.

Основные допущения.

Постановка задачи

В расчетной модели (рис. 1) предполагается, что колесо движется по упругой весовой балке, лежащей на винклеровском основании с линейной диссипацией. При изучении динамических взаимодействий рассмотрим движение одного колеса. Поскольку рельс опирается на сплошное упругое основание, можно распространить выводы и на действие

системы грузов. Общий ход исследования покажем на примере действия на рельс системы из двух грузов.

На основе работ [1–3] рассмотрим совместные колебания дискретной линейной динамической системы (экипажа) из двух подрессоренных масс m_1 и m_0 ,двигающихся по балке (пути), лежащей на упругом основании и имеющей детерминированные геометрические неровности $\xi(x_i)$. Цель работы – получить значения динамических усилий и перемещений в контакте колеса и рельса.

Условные обозначения:

x_1 – абсцисса текущего сечения рельса, отсчитываемая от некоторого неподвижного начала координат;

$y(x_0t)$ – динамический прогиб рельса в вертикальной плоскости;

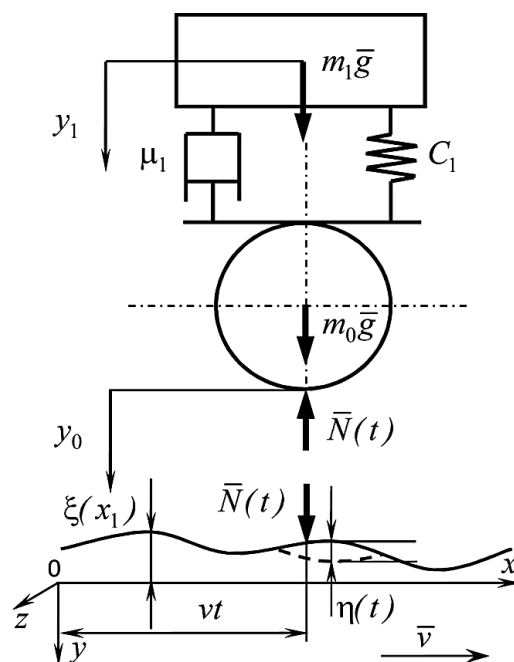


Рис. 1. Расчетная схема взаимодействия

$y_0(t)$ – вертикальное перемещение рельса;
 $y_1(t)$ – вертикальное перемещение подрессоренной массы;

EI – жесткость рельса;

C – коэффициент жесткости подрельсового основания;

C_k – коэффициент жесткости в точке контакта колеса и рельса;

C_1 – коэффициент жесткости рессорного подвешивания;

μ – распределенный коэффициент демпфирования;

μ_1 – коэффициент демпфирования рессорного подвешивания;

ρ – распределенная масса рельса (приходящаяся на единицу длины);

m_0 – приведенная неподдрессоренная масса листа;

m_1 – подрессоренная масса;

$N(t)$ – динамическая вертикальная сила в точке контакта колеса и рельса;

$\xi(x_1)$ – неровности рельса и колеса;

$\eta(t)$ – деформация в контакте, вызванная действием вектора;

v – постоянная скорость поступательного движения колеса относительно рельса (скорость вагона);

t – время.

Основные этапы решения

Динамический прогиб рельса в точке контакта связан с соответствующими смещениями колес следующим равенством:

$$y(vt, t) = y_0(t) + \xi(v, t) - \eta(t). \quad (1)$$

Деформацию в точке контакта колеса и рельса $\eta(t)$ (рис. 1) можно определить соотношением динамической вертикальной силы в точке контакта $N(t)$ и жесткости в точке контакта C_k :

$$\eta(t) = \frac{N(t)}{C_k}. \quad (2)$$

Неровность $\xi(v, t)$ представляет собой сумму неровностей пути $\xi_{\text{п}}(v, t)$, колеса $\xi_{\text{к}}(v, t)$ и вертикального перемещения колеса относительно рельса $\xi_{\text{в}}(v, t)$. Неровность пути $\xi_{\text{п}}(v, t)$ представляет собой разность неровности поверхности катания рельса $\xi_{\text{р}}(v, t)$ и неровности, обусловленной наличием люфта между рельсом и основанием $\xi_{\text{л}}(v, t)$. Таким образом, неровность равна

$$\xi(v, t) = \xi_{\text{р}}(v, t) - \xi_{\text{л}}(v, t) + \xi_{\text{к}}(v, t) + \xi_{\text{в}}(v, t).$$

Из равенств (1) и (2) выражаем динамическую вертикальную силу в точке контакта колеса с рельсом:

$$N(t) = C_k[y_0(t) - y(vt, t) + \xi(v, t)].$$

Уравнение колебаний балки, лежащей на упругом винклеровском основании с линейной диссипацией и нагруженной сосредоточенной силой $N(t)$, относительно неподвижной системы координат имеет вид

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} + \mu \frac{\partial y}{\partial t} + cy = 0 \quad (3)$$

и справедливо всюду, кроме точки $x_1 = vt$, где приложена сила $N(t)$, которая определяется с учетом движения дискретной системы:

$$m_0 \ddot{y}_0 - \mu_1 (\dot{y}_1 - \dot{y}_0) - c_1 (y_1 - y_0) + N = 0; \quad (4)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 - \mu_1 (\dot{y}_1 - \dot{y}_0) - c_1 (y_1 - y_0) = 0. \quad (5)$$

При определении условия интегрирования уравнений (4) и (5) и переходе к поступательно движущейся системе координат (x, y) , т. е. с вводом новой переменной $x = x_1 - vt$, уравнение (3) примет вид:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho \left(v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) - 2v \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + \mu \left(\frac{\partial y}{\partial t} - v \frac{\partial y}{\partial x} \right) + cy = 0. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) будем искать в виде [1–3]

$$y(x, t) = \varphi(x) e^{i\omega t}. \quad (7)$$

Подстановка этого выражения в уравнение (6) дает следующее дифференциальное уравнение, откуда определяется функция $\varphi(x)$ [4]:

$$\begin{aligned} \varphi'''' + \frac{\rho v^2}{EI} \varphi'' - \left(\frac{\mu v}{EI} + \frac{2\rho v \omega}{EI} i \right) \varphi' + \\ + \frac{c - \rho \omega^2}{EI} + \frac{\mu \omega}{EI} i = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Характеристическое уравнение дифференциального уравнения (8) имеет вид [4]

$$\begin{aligned} r^4 + \frac{\rho v^2}{EI} r^2 - \left(\frac{\mu v}{EI} + \frac{2\rho v \omega}{EI} i \right) r + \\ + \frac{c - \rho \omega^2}{EI} + \frac{\mu \omega}{EI} i = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Это уравнение имеет четыре комплексных корня $r_j = \alpha_j + i\beta_j$ ($j = 1, 2, 3, 4$), таким образом, его решение имеет вид [1, 3]

$$\varphi(x) = \sum_{j=1}^4 C_j e^{r_j x}, \quad (10)$$

где C_j – постоянные. Подставив полученное решение в уравнение (7), получим следующее выражение для функции $y(x, t)$ при частоте ω [1, 3]:

$$y(x, t) = \sum_{j=1}^4 C_j e^{r_j x + i\omega t}. \quad (11)$$

Уравнение (10) справедливо только для полубесконечных балок, простирающихся влево и вправо от движущейся силы.

Принимаем, что корни r_1 и r_3 имеют отрицательную вещественную часть, а корни r_2 и r_4 – положительную [1, 3]. Тогда решение уравнений (11) с учетом граничных условий на бесконечности будет выглядеть так:

$$y_+(x, t) = e^{i\omega t} (C_1 e^{r_1 x} + C_3 e^{r_3 x});$$

$$y_-(x, t) = e^{i\omega t} (C_2 e^{r_2 x} + C_4 e^{r_4 x}).$$

Через $y_+(x, t)$ обозначено решение задачи, удовлетворяющее физическим условиям задачи при $x > 0$, а через $y_-(x, t)$ – при $x < 0$. Величина коэффициентов C_j ($j = 1, 2, 3, 4$) подбирается, чтобы удовлетворить соответствующим граничным условиям. Предположим, что сила, действующая на рельс, описывается уравнением

$$N(t) = N_0 e^{i\omega t},$$

где N_0 – комплексная величина. Тогда система уравнений, которая получается из условия интегрирования уравнения (6) для определения коэффициентов C_j , имеет вид

$$\begin{aligned} C_1 - C_2 + C_3 - C_4 &= 0; \\ C_1 r_1 - C_2 r_2 + C_3 r_3 - C_4 r_4 &= 0; \\ C_1 r_1^2 - C_2 r_2^2 + C_3 r_3^2 - C_4 r_4^2 &= 0; \\ C_1 r_1^3 - C_2 r_2^3 + C_3 r_3^3 - C_4 r_4^3 &= 0. \end{aligned}$$

Эта система может быть записана в векторно-матричной форме $H \cdot C = F$, где H – матрица с комплексными элементами размерности 4×4 [3]. Определяя коэффициенты C_j [4], можно получить комплексные выражения для прогибов рельса слева и справа от подвижной нагрузки в виде

$$\begin{aligned} y_+(x, t) &= \frac{N(t)}{\Delta EI} [M_{41} e^{r_1 x} + M_{43} e^{r_3 x}]; \\ y_-(x, t) &= \frac{N(t)}{\Delta EI} [M_{42} e^{r_2 x} + M_{44} e^{r_4 x}], \end{aligned}$$

где Δ – определитель, составленный из элементов матрицы H , а величины r_j являются непрерывными функциями частоты ω .

После определения функции $y(x, t)$, где x – параметр, учитывая воздействие $N(t)$, частотную характеристику $W_y(x, i\omega)$ можно записать в виде

$$W_{y+}(x, i\omega) = \frac{1}{\Delta EI} [M_{41}e^{r_1x} + M_{43}e^{r_3x}];$$

$$W_{y-}(x, i\omega) = \frac{1}{\Delta EI} [M_{42}e^{r_2x} + M_{44}e^{r_4x}].$$

Решение для прогиба рельса в сечении x при воздействии на систему силы $N(t)$, изменяющейся по закону $N_0e^{i\omega t}$ и движущейся со скоростью v , теперь запишется так:

$$y_+(x, t) = W_{y+}(x, i\omega)N(t). \quad (12)$$

Применяя к уравнениям (4), (5) преобразование Лапласа и считая начальные условия нулевыми, приходим к следующим алгебраическим уравнениям:

$$(m_0S^2 + \mu_1S + C_1)\bar{y}_0 - (\mu_1S + C_1)\bar{y}_1 = -N; \quad (13)$$

$$(m_1S^2 + \mu_1S + C_1)\bar{y}_1 - (\mu_1S + C_1)\bar{y}_0 = 0, \quad (14)$$

где $\bar{y}_0 = \int_0^\infty e^{-st} y_0(t) dt$; $\bar{y}_1 = \int_0^\infty e^{-st} y_1(t) dt$;

$$\bar{N} = \int_0^\infty e^{-st} N(t) dt.$$

Исключая $\bar{y}_1$ из системы уравнений (13) и (14), решая их относительно $\bar{y}_0$, получим передаточную функцию, связывающую вертикальное перемещение колеса с динамической силой в точке колеса и рельса, которая является частотной характеристикой при замене переменной S на $i\omega$:

$$W_0(i\omega) = \frac{(m_1\omega^2 - C_1) - i\mu\omega}{[m_1m_0\omega^4 - C_1(m_1 + m_0)\omega^2] - i\mu_1(m_1 + m_0)\omega^3}.$$

Следовательно,

$$y_0(x, t) = W_0(i\omega)N(t). \quad (15)$$

Вертикальное смещение определится из равенства (1):

$$y_0(t) = y(0, t) - \xi(vt) + \frac{1}{C_k} N(t). \quad (16)$$

Принимаем синусоидальную неровность $\xi = \xi_0 e^{i\omega t}$ и, решая совместно (12), (15), (16), получаем

$$N(t) = W_N(i\omega)\xi(vt),$$

где частотная характеристика определяется выражением

$$W_N(i\omega) = \frac{1}{\frac{1}{C_k} + W_y(0, i\omega) - W_0(i\omega)}.$$

Из (12) получим

$$y_+(0, t) = W_{yN}(i\omega)\xi(vt),$$

а для прогиба в сечении $x = 0$

$$y_0(t) = W_{y_0N}(i\omega)\xi(vt).$$

После вычисления амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик можно получить решение в вещественном виде $y(0, t)$, $y_0(t)$, $N(t)$, если задать гармоническое возмущение $\xi(vt)$ в виде $\xi = \xi_0 \cos \omega t$, где ξ_0 – половина глубины неровности. Решения имеют вид:

$$y(0, t) = \xi_0 |W_{yN}(i\omega)| \cos[\omega t + \arg W_{yN}(i\omega)];$$

$$y_0(t) = \xi_0 |W_{y_0N}(i\omega)| \cos[\omega t + \arg W_{y_0N}(i\omega)];$$

$$N(t) = \xi_0 |W_N(i\omega)| \cos[\omega t + \arg W_N(i\omega)].$$

Амплитудные значения имеют вид

$$y_{\max}(0, t) = \xi_0 |W_{yN}(i\omega)|; \quad (17)$$

$$y_0^{\max}(t) = \xi_0 |W_{y_0N}(i\omega)|; \quad (18)$$

$$N_{\max}(t) = \xi_0 |W_N(i\omega)|. \quad (19)$$

Результаты решения

Таким образом, можно предложить следующий алгоритм динамического расчета вертикального взаимодействия колеса и рельса.

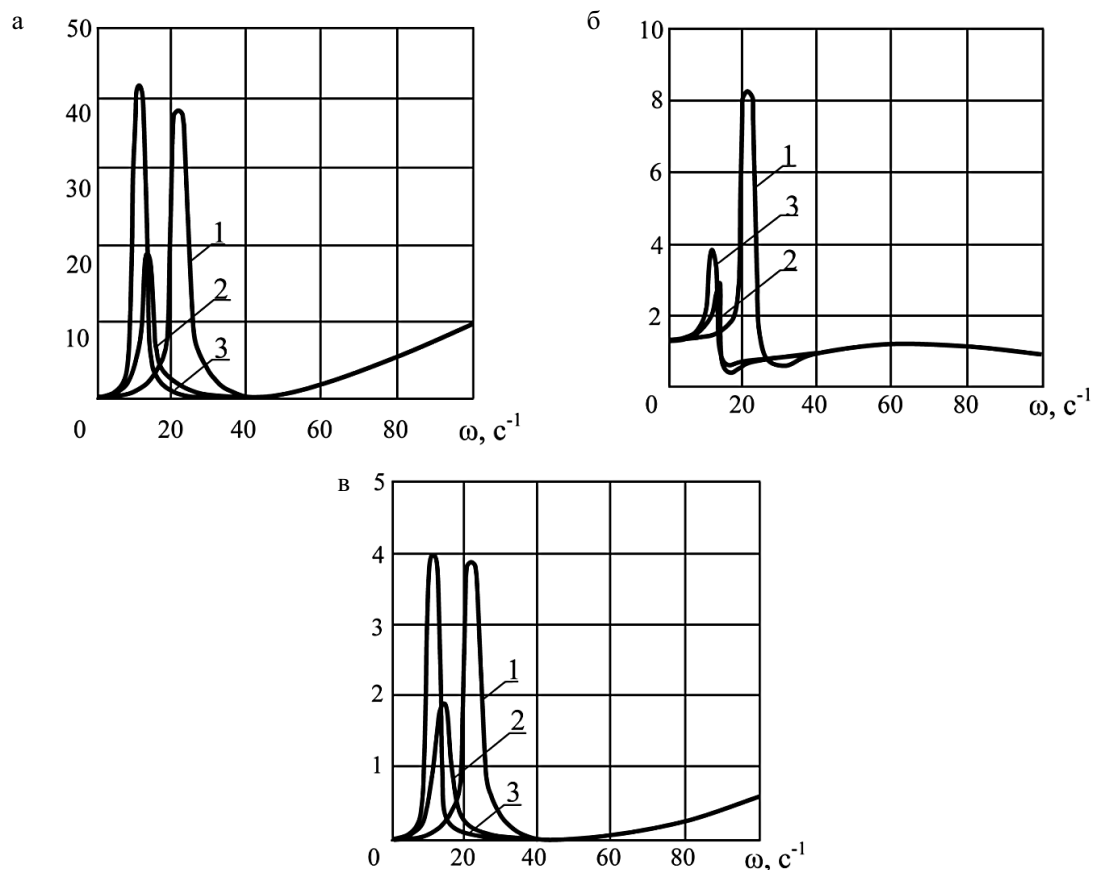


Рис. 2. Модуль частотной характеристики:
а) $W_N(i\omega)$, МН/м; б) $W_{yQ^N}(i\omega)$, МН/м; в) $W_{yN}(i\omega)$, МН/м

1) Задать значения параметров ρ , c , μ , EI , ν , ω , m_0 , m , C_K , C , μ_1 , ξ_0 .

2) Вычислить коэффициенты уравнения (9): $r^4 + pr^2 + qr + l = 0$, где

$$p = \frac{\rho v^2}{EI}; \quad q = -\frac{\mu v + 2\rho v \omega i}{EI};$$

$$l = \frac{c - \rho \omega^2 + \mu \omega i}{EI}.$$

3) Решить уравнение (9) и найти корни уравнения $r_1 - r_4$, группируя их так, чтобы r_1 и r_3 имели отрицательную действительную часть, а r_2 и r_4 – положительную.

4) Вычислить миноры определителя M_{41} , M_{42} , M_{43} , M_{44} и значение определителя Δ .

5) Вычислить передаточные функции W .

6) Вычислить амплитудно-частотные характеристики.

7) Вычислить фазово-частотные характеристики.

8) Вычислить амплитудные значения $y_{\max}$, $y_0^{\max}$, $N_{\max}$.

9) Изменить значение ω и повторить цикл вычислений.

Для этого используется язык программирования Fortran, содержащий огромное количество пакетов: для решения интегральных уравнений, перемножения матриц и другие.

Некоторые результаты расчетов оформлены в виде графиков на рис. 2 (приведены модули частотных характеристик; на всех графиках кривая 1 соответствует $m_1 = 40$ кН, 2 – $m_2 = 80$ кН, 3 – $m_3 = 120$ кН).

Пользуясь графиками для заданных параметров, можно выполнять расчеты для разных частот ω и амплитуд ξ_0 возмущения.

Пусть $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$ и $\xi_0 = 0,001 \text{ м}$. По графикам определяем

$$\begin{aligned} |W_N(i\omega)| &= 9,84 \frac{\text{МН}}{\text{М}}; \quad |W_{yN}(i\omega)| = 0,618 \frac{\text{М}}{\text{М}}; \\ |W_{y_0N}(i\omega)| &= 0,985 \frac{\text{М}}{\text{М}}. \end{aligned}$$

По формулам (17)–(19) получим амплитудные значения величин: прогиб рельса $y_{\max}$, перемещение колеса $y_0^{\max}$, вертикальную силу в точке контакта колеса и рельса $N_{\max}$:

$$\begin{aligned} y_{\max} &= 0,618 \text{ мм}; \quad y_0^{\max} = 0,985 \text{ мм}; \\ N_{\max} &= 9,84 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Заключение

Изложенный метод расчета позволяет оценить влияние неровностей – дефектов колеса и рельса – на путь и экипаж. Так как данный метод реализован на ЭВМ, динамический расчет параметров взаимодействия, из которых наибольший интерес представляют вертикальные силы, будет представлять формальную операцию по вводу исходных данных для расчета.

Библиографический список

1. Коган А. Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь / А. Я. Коган // Тр. ВНИИЖТ. – 1997. – Вып. 402. – 205 с.

2. Коган А. Я. Взаимодействие колеса и рельса при качении / А. Я. Коган // Вестн. ВНИИЖТ. – 2004. – № 5. – С. 33–40.

3. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1997. – 326 с.

4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – 4-е изд. – М. : Наука, 1977. – 832 с.

References

1. Kogan A. *Trudy VNIIZhT – Proc. of the Railway Res. Inst.*, 1997, vol. 402. 205 p.

2. Kogan A. *Vestnik VNIIZhT – Bull. of the Railway Res. Inst.*, 2004, no. 5, pp. 33–40.

3. Kogan A. *Dinamika puti i yego vzaimodeystviye s podvizhnym sostavom* [Track Dynamics and its Interaction with Rolling Stock]. Moscow, Transport, 1997. 326 p.

4. Korn G. & Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Mathematical Handbook for Scientists and Engineers]. Is. 4. Moscow, Nauka, 1977. 832 p.

КРОТОВ Сергей Викторович – канд. техн. наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения), svk-19587@yandex.ru;
*КОНОНОВ Дмитрий Павлович – канд. техн. наук, доцент, d_kononov@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I),

УДК 621.316.722.076.12

А. Н. Марикин, А. В. Мирощенко, С. В. Кузьмин**УСТРОЙСТВО ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ИНДУКТИВНОСТЬЮ**

Дата поступления: 16.06.2015

Решение о публикации: 19.10.2015

Цель: Определить целесообразность применения компенсирующего устройства в однофазных сетях переменного тока с резкопеременной нагрузкой. Особенностью компенсирующего устройства является наличие управляемого реактора, в котором изменение индуктивности осуществляется с помощью перемещения сердечника магнитопровода. Реактор подключен последовательно с батареей конденсаторов. Емкость конденсаторной батареи компенсирующего устройства при этом постоянна. **Методы:** Аналитическими методами рассчитаны требуемые электротехнические характеристики устройства. В качестве исходных данных использовались измерения с фидеров контактной сети железной дороги переменного тока. Определена конструкция реактора, массогабаритные показатели. Для расчета максимальной индукции в магнитопроводе произведено моделирование в программе ELCUT. Построены зависимости индуктивности реактора в зависимости от текущего положения подвижной части сердечника. Произведено сравнение электроприводов, подходящих для данного устройства по техническим и стоимостным показателям. **Результаты:** Рассчитаны основные массогабаритные показатели реактора. Выбран тип электропривода для механического изменения положения сердечника магнитопровода. Выбран рабочий ход подвижной части сердечника реактора. Определены минимальная и максимальная индуктивности реактора. Оценены потери энергии при его работе, основные преимущества и недостатки рассматриваемого устройства. Сформулирован вывод о целесообразности использования устройства компенсации реактивной мощности в однофазных сетях переменного тока с резкопеременной нагрузкой. **Практическая значимость:** Устройство поперечной компенсации на основе механического регулятора реактивности может рассматриваться как способ эффективной компенсации реактивной мощности на железных дорогах переменного тока.

Поперечная компенсация, реактивная мощность, однофазная сеть, переменный ток, управляемый реактор.

***Alexandr N. Marikin**, D. Eng., professor, department chairman, marikin_s@mail.ru; **Vasiliy A. Miroshchenko**, postgraduate student, vasilymir@yahoo.com; **Stanislav V. Kuzmin**, postgraduate student, stason1986@mail.ru (Petersburg State Transport University) REACTIVE POWER SHUNT COMPENSATION DEVICE WITH VARIABLE INDUCTANCE

Objective: To determine practicability of using compensation device in single-phase alternating current networks with abruptly variable load. Specific feature of the compensation device is the presence of a controlled reactor in which altering inductance is achieved by relocating the core. The reactor is looped with a series bank. Capacity of the compensation device's condenser bank is constant. **Methods:** The necessary electrotechnical characteristics of the device are calculated by analytical methods. Measurements of alternating-current railway contact network were used as basic data. Design and weight-size parameters for a reactor are determined. Simulation in ELCUT program was conducted to calculate maximum induction in magnetic core. Correlations between reactor inductance and current position of the movable part of the core are calculated. Comparison between electrical drivers that suit the device by technical and cost parameters

was conducted. **Results:** Reactor's main weight-size parameters are calculated. A type of electrical driver for mechanical alteration of the magnetic core location is chosen. Working stroke of the movable part of the reactor's core is chosen. Reactor's minimum and maximum inductance are determined. Power losses during the device's operation, chief advantages and shortcomings are estimated. The conclusion on practicability of using a device for compensation of reactive power in single-phase alternating current networks with abruptly variable load is reached. **Practical importance:** Shunt compensation device based on a mechanical reactable regulator can be viewed as a method for efficient compensation of reactive power in alternating current railways.

Reactive shunt compensation, reactive power, single-phase A. C. network, alternating current, controlled reactor.

Одним из направлений повышения энергетической эффективности устройств поперечной компенсации реактивной мощности в тяговом электроснабжении переменного тока является создание устройств, которые реагируют на изменение тяговой нагрузки. Такие устройства можно реализовать на основе управляемых реакторов. Индуктивность реактора можно менять различными способами [5]:

- переключением ступеней обмотки реактора с помощью механических контакторов;
- насыщением магнитопровода путем намагничивания;
- переключением тиристорной группы в силовой цепи реактора или в цепи управляющей обмотки;
- механическим изменением немагнитного зазора в магнитопроводе с помощью электропривода.

Переключение ступеней обмотки реактора с помощью механических контакторов не обеспечивает эффективной компенсации реактивных токов в условиях резкопеременной тяговой нагрузки.

Насыщение магнитопровода путем намагничивания позволяет плавно изменять индуктивность катушки. Основные проблемы возникают при достижении насыщения сердечника. В режиме насыщения переменное магнитное поле катушки перестает носить синусоидальный характер. Таким образом, в сеть генерируются высшие гармоники, которые требуют фильтрации.

Частыми переключениями тиристорov в силовой цепи реактора либо в цепи компенса-

ционной обмотки также достигается плавное и точное регулирование тока индуктивного характера. Но такое регулирование приводит к генерации высших гармоник в сети, что влечет за собой необходимость использования фильтров высших гармоник. Такие меры повышают стоимость установки, увеличивают её потери.

Вместе с тем механическое регулирование индуктивного сопротивления реактора способно обеспечить плавное изменение генерируемой реактивной мощности в широком диапазоне без генерации высших гармоник.

Конструкция устройства и схема подключения

Один из вариантов механического изменения индуктивности использует компания TRENCH [4]. Конструкция предполагает изменение магнитного зазора сердечника с помощью перемещения подвижных плунжерных сердечников. Вращение стержню передает червячная передача, а перемещение плунжерных сердечников обеспечивает винтовая передача. Такая конструкция отличается большими потерями на трение и невысокой надежностью.

Предлагается использовать бронестрежневой реактор компактных размеров [1]. Перемещение стержня вдоль оси катушки приводит к изменению ширины немагнитного зазора в сердечнике, что влияет на индуктивность катушки. Сердечник может перемещаться с

помощью электрического, гидравлического или пневмотического привода.

Компенсирующее устройство предполагается подключать на подстанциях переменного тока между питающим и отсасывающим фидерами (рис. 1). Устройство следует подключать через быстродействующий выключатель для отключения в аварийных режимах.

Сердечник реактора L жестко прикреплен к электроприводу M . Электропривод передает сердечнику поступательное движение, изменяя магнитный зазор в стержне реактора. Электродвигатель управляется с помощью частотного преобразователя UZ . Преобразователь оснащен микропроцессором с возможностью регулирования в зависимости от угла между током и напряжением, значение которого передается от цифрового фазометра Φ . Фазометр получает информацию от трансформатора тока TA , установленного на питающем фидере, и трансформатора напряжения TV , измеряющего напряжение между питающим и обратным проводом. В электропривод встроен датчик положения, который передает информацию в частотный электропривод. Датчик позволяет избежать механического взаимодействия подвижной части магнитопровода с неподвижной в крайних положениях.

Расчет реактора

Для расчета конструкции и массогабаритных показателей реактора необходимо определить максимальную реактивную мощность, которую должно генерировать устройство компенсации. Для определения значения реактивной мощности использовали данные измерений с северного участка Октябрьской железной дороги. Для анализа взяты значения со счетчиков реактивной энергии, установленных на питающих фидерах контактной сети. Максимальное получасовое значение реактивной энергии было зафиксировано на подстанции Свирь: $W_p = 909$ кВАр·ч. Таким образом, средняя получасовая реактивная мощность составляет

$$Q_{cp} = W_p / 0,5 = 1818 \text{ кВАр.}$$

На станции Свирь имеются статические конденсаторные установки для поперечной компенсации мощностью $Q_{ку} = 2750$ кВАр. Максимальная средняя получасовая реактивная мощность, требующая компенсации, составляет

$$Q_{срmax} = Q_{cp} + Q_{ку} = 1818 + 2750 = 4568 \text{ кВАр.}$$

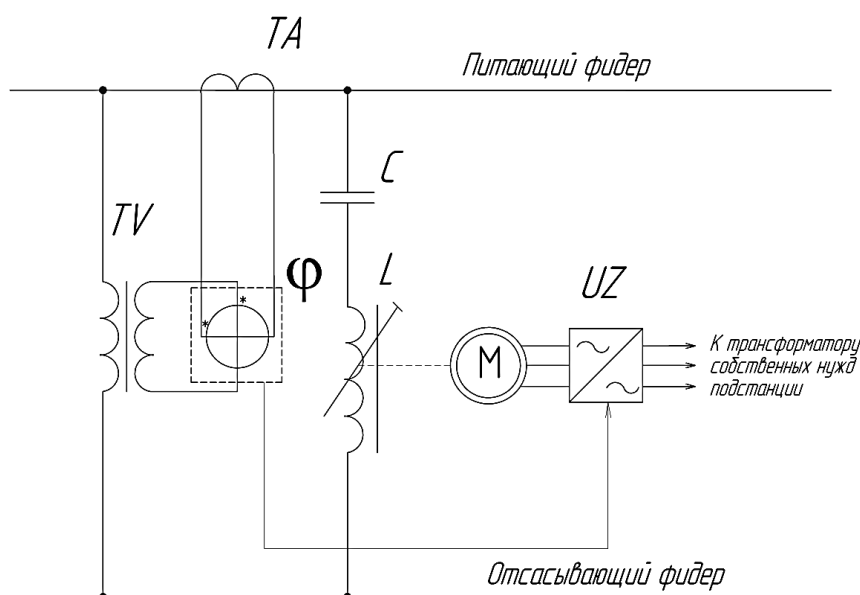


Рис. 1. Схема подключения компенсирующего устройства

Для определения массогабаритных показателей устройства принимается максимальная мощность компенсации реактивной мощности $Q_{\text{кв}} = 5$ МВАр. Известно, что номинальное напряжение $U_{\text{н}}$ устройства компенсации реактивной мощности составляет

$$U_{\text{н}} = 1,125 \cdot U_{\text{кв}},$$

где $U_{\text{кв}}$ – напряжение контактной сети, $U_{\text{кв}} = 27,5$ кВ.

$$U_{\text{н}} = 1,125 \cdot 27,5 = 30,9 \text{ кВ.}$$

Номинальный ток $I_{\text{н}}$ устройства:

$$I_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{кв}}}{U_{\text{н}}} = \frac{5000}{30,9} = 161,5 \text{ А.}$$

Емкость конденсаторной батареи можно вычислить по формуле

$$C_{\text{кв}} = \frac{Q_{\text{кв}}}{U_{\text{н}}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f},$$

где f – частота питающей сети, $f = 50$ Гц.

Тогда необходимая емкость конденсаторной батареи для компенсации 5 МВАр составит

$$C_{\text{кв}} = \frac{5000000}{30900^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,67 \cdot 10^{-5} \text{ Ф.}$$

Максимальная индуктивность реактора компенсирующей установки $L_{\text{кв}}$ должна полностью компенсировать реактивность установленной конденсаторной батареи на частоте питающей сети:

$$\omega \cdot L_{\text{кв}} = \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{кв}}},$$

где ω – угловая частота питающей сети, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

Отсюда индуктивность реактора равна

$$L = \frac{1}{314^2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-5}} = 0,6 \text{ Гн.}$$

Определим сечение проводника для реактора, исходя из номинальной плотности тока $\Delta = 2,8 \text{ А/мм}^2$:

$$S = \frac{I_{\text{н}}}{\Delta} = \frac{161,5}{2,8} = 57,62 \text{ мм}^2.$$

По технологическим соображениям сечение одного проводника не должно превышать 35 мм^2 , поэтому в данном случае необходимо взять два проводника по $28,8 \text{ мм}^2$ каждый. Были выбраны проводники прямоугольного сечения с размерами $10,6 \times 2,8 \text{ мм}$ с фактическим сечением $S_{\text{ф}} = 59,7$. Размер проводника в изоляции составит $11,1 \times 3,3 \text{ мм}$. Тогда фактическая плотность тока $\Delta_{\text{ф}}$ в проводнике составит

$$\Delta_{\text{ф}} = \frac{I_{\text{н}}}{S_{\text{ф}}} = \frac{161,5}{59,4} = 2,72 \text{ А/мм.}$$

Рассматриваемая конструкция реактора не должна позволять магнитопроводу уходить в режим насыщения при номинальном токе. Кроме этого, она должна иметь компактные размеры. Оптимальным для данных условий является бронестержневой реактор с диамагнитными вставками. После многочисленных расчетов и моделирований была получена конструкция реактора, представленная на рис. 2.

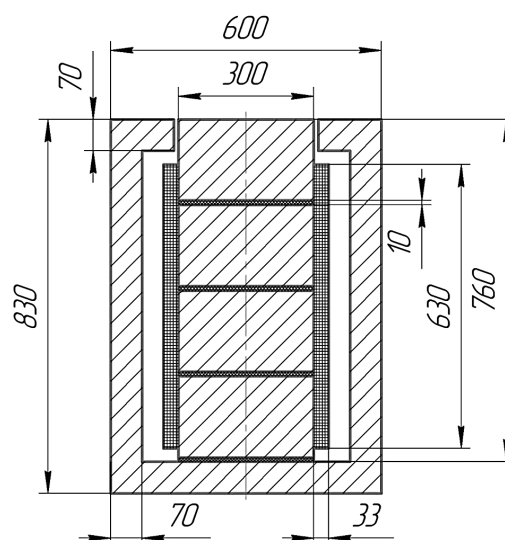


Рис. 2. Конструкция реактора

Длина реактора составляет 830 мм. Он имеет четыре диамагнитные вставки из немагнитного фарфора. Диаметр сердечника 300 мм, длина его подвижной части 750 мм. Обмотка реактора составляет 280 витков.

Расчет электротехнических параметров реактора

Разработанная конструкция была проверена в программе ELCUT на предмет насыщения сердечника при номинальном токе. По результатам моделирования максимальное мгновенное значение индукции составляет $B_{\max} = 1,22$ Тл. Точка насыщения для выбранной электротехнической стали составляет 1,7 Тл [2]. Результаты моделирования представлены на рис. 3. При такой конструкции реактора его индуктивность составит $L_{\text{ку}} = 0,64$ Гн.

Было смоделировано перемещение подвижной части стержня с шагом 10 мм (рис. 4).

Анализ зависимости показывает, что электропривод должен обеспечивать перемещение сердечника в диапазоне от 0 до 600 мм. При дальнейшем увеличении немагнитного зазора значение индуктивности изменяется незначительно. Чем меньше значение рабочей длины штока, тем компактнее и дешевле получается устройство. При немагнитном зазоре 600 мм индуктивность реактора составляет $L_{\min} = 0,05$ Гн.

При такой конфигурации реактор имеет следующие массогабаритные показатели:

- масса подвижной части реактора 404,6 кг;
- масса броневго сердечника (без подвижной части) 897 кг;
- масса меди обмотки реактора 157 кг;
- общая масса реактора 1459 кг;
- габаритные размеры реактора (без учета электропривода) $D \times Ш \times В$ 830 × 600 × 600 мм.

Суммарные потери активной мощности реактора составят 5,54 кВт.

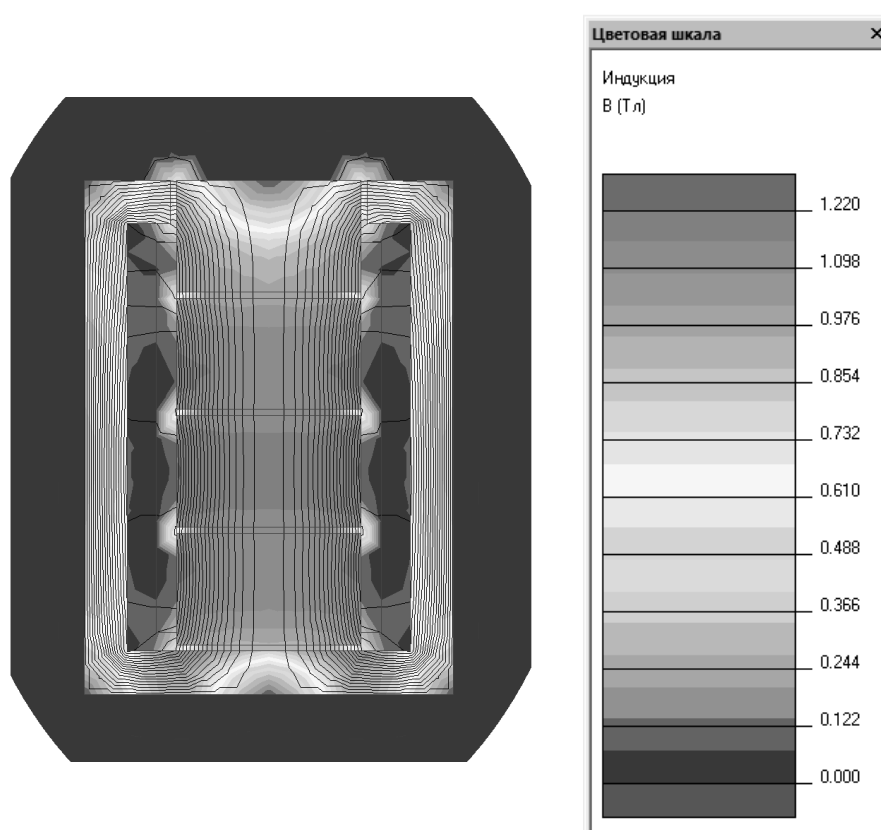


Рис. 3. Результаты моделирования

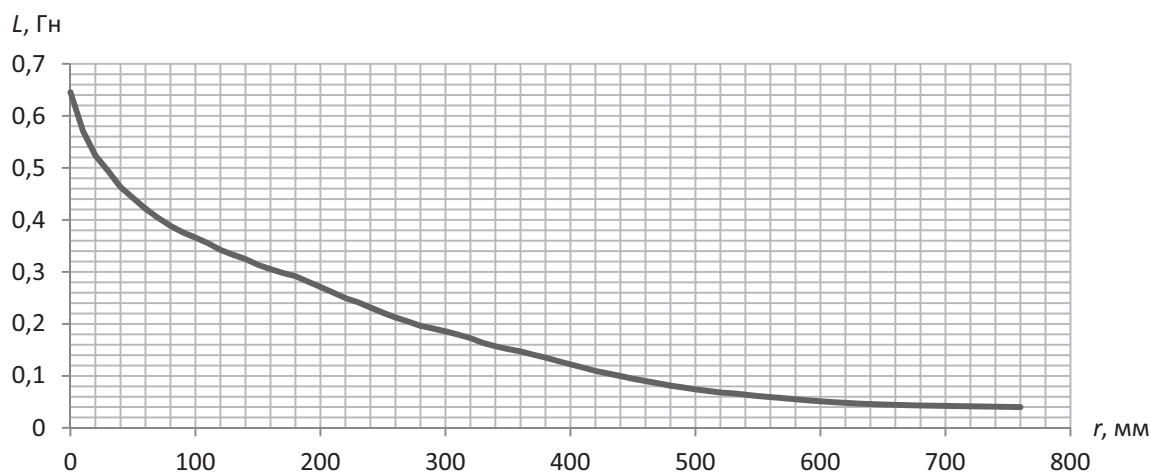


Рис. 4. Зависимость индуктивности реактора от положения сердечника

Выбор привода

По технологическим соображениям в качестве привода для перемещения сердечника был выбран электропривод.

Электропривод должен иметь высокую надежность, обеспечивать хорошее быстродействие и точность позиционирования. Кроме этого, он должен иметь минимальные потери.

При выборе рассмотрены следующие виды приводов для поступательного движения: с роliko-винтовой передачей (РВП), с шарико-винтовой передачей (ШВП), винты с трапецидальной резьбой, линейный двигатель [3, 6] (см. таблицу).

Сравнение показывает, что линейный электропривод обладает высокой скоростью, сравнительно большим КПД, минимальными

Сравнение типов электроприводов

Показатель	РВП	Винты с трапецидальной резьбой	ШВП	Линейный двигатель
Номинальная нагрузка	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Срок службы	Большой	Маленький	Средний	Очень большой
Скорость	Высокая	Низкая	Средняя	Высокая
Позиционирование	Простое	Среднее	Среднее	Простое
Жесткость	Очень высокая	Очень высокая	Средняя	Очень высокая
Ударные нагрузки	Высокие	Высокие	Средние	Высокие
Габариты	Малые	Средние	Средние	Минимальные
КПД, %	> 80	~ 40	> 70	> 90
Установка	Не требует разборки механики	Требуется разработка механики	Требуется разработка механики	Не требует разборки механики
Обслуживание	Очень простое	Сложное	Среднее	Очень простое

габаритами, простым и точным позиционированием и минимальными затратами на обслуживание.

Современные линейные двигатели способны развивать скорость порядка 5 м/с с ускорением порядка 150 м/с². С такими характеристиками полное перемещение сердечника реактора займет менее 0,2 с, что соизмеримо со скоростью изменений режима нагрузки в контактной сети. Кроме того, в системе регулирования предусматривается блок сравнения индуктивного (X_L) и емкостного (X_C) сопротивлений электрической цепи для исключения условий резонанса. При этом в процессе регулирования всегда обеспечивается соотношение

$$X_L = X_C \pm \Delta X,$$

где ΔX – допустимое отклонение.

Электропривод выполнен на базе линейного синхронного двигателя переменного тока с постоянными магнитами. Такая конструкция двигателя имеет длительную наработку на отказ и широкий модельный ряд. Электропривод используется для поступательного горизонтального движения сердечника. Вертикальное движение потребует большего момента двигателя и, как следствие, больших затрат энергии.

Следует отметить, что инерционность механической части регулятора может быть использована для повышения устойчивости регулятора при резких колебаниях нагрузки.

Заключение

Предлагаемое устройство обладает следующими свойствами: плавной регулировкой генерируемой реактивной мощности в требуемом диапазоне, наличием обратной связи, отсутствием генерации высших гармоник тока и напряжения во внешней сети, компактными габаритами, возможностью подключения к имеющемуся компенсирующему устройству, высоким быстродействием.

Основным недостатком устройства является наличие механического элемента в конструкции.

Таким образом, предлагаемое устройство поперечной компенсации на основе механического регулятора может рассматриваться как способ эффективной компенсации реактивной мощности на железных дорогах переменного тока.

Библиографический список

1. Мاستрюков Л. А. Новый высокоэкономичный шунтирующий реактор РОМБС-110000/750/110 для ЛЭП 750 кВ с компенсированной нейтралью / Л. А. Мастрюков // Электро. – 2005. – № 6. – С. 21–27.
2. Молотилова Б. В. Холоднокатаные электро-технические стали : справ. / Б. В. Молотилова. – М. : Металлургия, 1989. – 168 с.
3. Носов В. В. Сравнение поступательных приводов технологических машин / В. В. Носов // Молодежь и наука : сб. материалов IX Всерос. науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярск. – Красноярск : Сиб. федерал. ун-т, 2013.
4. Регулируемые шунтирующие реакторы для компенсации реактивной мощности. – Trench Austria GmbH, 2009. – 8 с.
5. Соколов С. Е. Управляемые реакторы. Обзор технологий / С. Е. Соколов, А. Г. Долгополов // Новости электротехники. – 2012. – № 3 (75). – С. 18–22.
6. Янгулов С. В. Проектирование передач с линейными перемещениями выходного звена : учеб. пособие / С. В. Янгулов. – Томск : Изд-во Томск. политехнич. ун-та, 2011. – 169 с.

References

1. Mastryuov L. A. *Elektro – Electro*, 2005, no. 6, pp. 21–27.
2. Molotilova B. V. *Kholodnokatanyye elektrotekhnicheskiye stali. Spravochnik* [Cold-rolled Electrical Steel. Reference Book]. Moscow, Metallurgiya, 1989. 168 p.

3. Nosov V.V. Sravneniye postupatelnykh privodov tekhnologicheskikh mashin [Comparison of Linear Drivers of Technological Machines] *Molodezh i nauka: sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* (Youth and Science: Proc. of 9th All-Russian Sci. and Pract. Conf. of Students, Postgraduate Students and Young Researchers). Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2013.
 4. Reguliruyemye shuntiruyushchiye reaktory dlya kompensatsii reaktivnoy moshchnosti [Controlled Shunt Reactors for Reactive Power Compensation]. Trench Austria GmbH, 2009. 8 p.
 5. Sokolov S.Ye. & Dolgoplov A.G. *Novosti elektrotehniki – Electrical Eng. News*, 2012, no. 3 (75), pp. 18-22.
 6. Yangulov S. V. *Proyektirovaniye peredach s lineynymi peremeshcheniyami vykhodnogo zvena. Uchebnoye posobiye* [Designing Transmission with Linear Movements of Output Element. Study Guide]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2011. 169 p.
- *МАРИКИН Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, marikin_s@mail.ru; МИРОЩЕНКО Василий Анатольевич – аспирант, vasilymir@yahoo.com; КУЗЬМИН Станислав Валерьевич – аспирант, stason1986@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 656.073:658.8

О. Д. Покровская, М. А. Зачешигрина**РОЛЬ НОВОСИБИРСКОГО МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА
В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОМ КЛАСТЕРЕ РОССИИ**

Дата поступления: 25.06.2015

Решение о публикации: 20.10.2015

Цель: Изучить кластерный подход к формированию региональных логистических систем, а также особенности работы некоторых транспортно-логистических кластеров. **Метод:** Использован аналитический метод исследования. **Результаты:** Рассмотрена роль Новосибирского транспортного узла в транспортно-логистической системе России, в том числе в привязке к транспортным коридорам с учетом пространственно-количественного размещения мультимодальных транспортно-логистических центров страны. Уделено внимание административно-финансовому механизму создания транспортно-логистических кластеров (ТЛК) Новосибирской области, в частности, государственно-частному партнерству, характеристике инвесторов и участников ТЛК. Изучен современный уровень кластерного развития в мире на основе анализа зарубежного опыта формирования кластеров в транспортной логистике. Проанализирована транспортно-логистическая инфраструктура Новосибирской области, а также актуальность и перспективы ее развития. **Практическая значимость:** Сформулированы выводы и даны рекомендации по формированию транспортно-логистического кластера и перспективы транспортно-логистического развития Новосибирского транспортно-логистического узла.

Транспортно-логистический кластер, мультимодальный транспортно-логистический центр, логистическая инфраструктура, транспортный узел.

***Oksana D. Pokrovskaya**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, insight1986@inbox.ru; **Marina A. Zacheshigriva**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor (Siberian State Transport University) **ROLE OF THE NOVOSIBIRSK MULTIMODAL TRANSPORT HUB IN RUSSIA'S TRANSPORT AND LOGISTICS CLUSTER**

Objective: To study cluster approach to forming regional logistical systems, as well as specific features of some transport and logistics clusters. **Methods:** Analytical research method was used. **Results:** The role of Novosibirsk transport hub in Russia's transport and logistics system was considered, including in connection to transport corridors, taking into account spatial and numerical distribution of multimodal transport and logistics centres of the country. Attention paid to the administrative and financial mechanism for setting up transport and logistics clusters of the Novosibirsk Oblast, including public-private partnership, and to characterisation of investors and participants in transport and logistics clusters. Modern level of cluster development across the world is studied on the basis of analysis of international experience of forming clusters in transport logistics. Novosibirsk Oblast transport and logistics infrastructure, its up-to-dateness and development perspectives are analysed. **Practical importance:** The study formulates conclusions and provides recommendations for forming a transport and logistics cluster, and sums up perspectives for transport and logistical development of the Novosibirsk transport and logistics hub.

Transport and logistics cluster, multimodal transport and logistics centre, logistical infrastructure, transport hub.

Региональные транспортно-логистические кластеры.

Актуальность вопроса

Сегодня кластерное развитие позиционируется как новый подход к формированию региональных транспортно-логистических систем и к повышению конкурентоспособности как отдельного региона или отрасли, так и государства в целом [22].

Майкл Портер, автор кластерной теории, дает такое определение: «Кластер – это географическое сосредоточение фирм, поставщиков, связанных отраслей, которые играют особую роль в отдельных нациях, странах, городах. Кластеры обуславливают новый взгляд на экономику и ее развитие, новые роли бизнеса, правительства и институтов и новые способы структурировать взаимоотношения типа бизнес – правительство или бизнес – институты. Кластер, или промышленная группа, – это группа соседствующих взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций, действующих в определенной сфере, характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга» [15].

Кластер – это территориально локализованная, обособленная в отрасли группа предприятий, сочетающая формальную самостоятельность и внутреннюю конкуренцию с кооперацией, имеющая единый центр и систему сервисных услуг. Цель функционирования этой группы – реализация наиболее эффективным способом ключевых компетенций территории присутствия и достижение синергетических эффектов от взаимосвязанного функционирования.

В наиболее общем случае под кластером в современной экономической литературе понимается также сеть поставщиков, производителей, потребителей, элементов промышленной инфраструктуры, исследовательских институтов, связанных в процессе создания добавочной стоимости.

Кластер обладает следующими признаками: совокупностью предприятий; географической локализацией; наличием между пред-

приятиями взаимных связей; инновационной направленностью [4].

Кластерные системы характеризуются общими особенностями:

- наличием предприятия-лидера, определяющего долговременную стратегию всей региональной экономической системы;
- территориальной локализацией основной массы хозяйствующих субъектов;
- устойчивостью стратегических хозяйственных связей в рамках кластерной системы, включая ее межрегиональные и международные связи;
- долговременной координацией взаимодействия участников кластерной системы;
- наличием корпоративных систем управления и контроля бизнес-процессов [2].

Кластерный подход основывается на учете положительных синергетических эффектов региональной агломерации, т. е. близости потребителя и производителя, на сетевых эффектах и диффузии знаний и умений за счет миграции персонала и выделения бизнеса.

В основе такого положительного влияния лежит значительно более сильный мультипликативный эффект, который достигается за счет тесного контакта фирм в самом кластере, а также быстрого распространения информации по каналам поставщиков или потребителей, имеющих контакты с другими кластерными образованиями.

Мультипликативный эффект кластеризации налицо: кластеры имеют свойство не замыкаться в своей отрасли, а распространяться на смежные. Яркий пример: компьютеростроение в США подтянуло за собой производство программного обеспечения, микропроцессоров и т. д. Это закономерный результат передачи по технологическим цепочкам преимуществ высокой конкурентоспособности от компании – родоначальницы кластера к ее предприятиям-смежникам [7].

В общем случае положительный эффект следующий:

- для региональных администраций – увеличивается количество налогоплательщиков и налогооблагаемая база (центры управления

малым и средним бизнесом находятся на той же территории, что и сам бизнес, в отличие от вертикальных корпораций), появляется удобный инструмент для взаимодействия с бизнесом, снижается зависимость от отдельных бизнес-групп, появляются условия для диверсификации экономического развития территории;

- для бизнеса – улучшается кадровая инфраструктура, снижаются издержки, появляются возможности для выхода на международные рынки.

Кластерный подход, предполагая горизонтальную структуру, не вступает в конфликт с задачами развития вертикальных корпораций. Наличие развитой инфраструктуры сервиса, консультационных услуг, поставщиков комплектующих снизит издержки и повысит конкурентоспособность любой крупной корпорации.

Кластерный подход широко применяется в экономике Германии, США, Японии, Финляндии, Китая и ряда других стран. Так, в Европейском Союзе на данный момент сформирована полноценная сеть из более чем 80 транспортно-логистических кластеров (ТЛК), а доля транспортно-логистических услуг, оказываемых специализированными организациями, в общем обороте достигла 40% [23].

Например, в Финляндии функционирует логистический кластер Limowa – общегосударственная сеть логистики. Наличие развитой системы сопутствующего бизнеса (сервис, консультации и т. д.) позволяет существенно снизить затраты на создание новых компаний в рамках кластера и повысить конкурентоспособность уже существующих. Кластер сформировался вокруг группы из нескольких финских компаний, расположенных в радиусе 80 км друг от друга, и объединяет логистические предприятия AlfaRoc, EP-Logistics, LogiSec, Logmaster, Logistikas, Itella; транспортно-экспедиторские фирмы Finavia, Innorail; консалтинговые Fidacom, Varova; производственные Cargotec, Huurre; научно-исследовательские и образовательные

организации; государственные и административные учреждения. Головная компания – Центр технологий TechVilla – расположена в г. Хювинкя [19].

Кластеры, таким образом, представляют собой новый тип самоорганизации экономической системы, которая остро необходима и в России [9]. Россия занимает уникальное географическое положение посреди трех мировых политических и экономических полюсов: Европой, Юго-Восточной Азией и Северной Америкой. Доля потоков грузов между этими регионами составляет около половины от общего объема международного товарооборота. Привлечение в Россию международного транзитного грузопотока является важной задачей политического, экономического и социального характера. Однако, к сожалению, уровень транзита по территории России весьма низок.

Это обусловлено различными причинами, важнейшей из которых является отсутствие современной транспортно-технологической инфраструктуры. Сегодня на большинстве магистральных направлений наземные транспортные сети перегружены, а их состояние не отвечает мировым стандартам.

По мнению зарубежных специалистов, российские перевозчики мало используют передовые логистические технологии, поэтому эксплуатационные расходы при обслуживании транзитных грузов высокие. Данное обстоятельство сдерживает международные отправки грузов транзитом через Россию [21]. Ежегодно потери российской экономики от плохого состояния дорог и недостаточного уровня их развития превышают 1,8 трлн руб. [3].

В связи с неразвитостью рынка логистических услуг Россия теряет ежегодно 50 млрд долларов и 10% транзита. При этом скорость перемещения грузов от производителя до потребителя составляет примерно 10 км/ч, что сопоставимо со скоростью гужевого транспорта. А по итогам 2012 г. скорость движения товарных поездов упала до 219 км/сут, или до 9,1 км/ч [8]. Транспортная нагрузка

на единицу ВВП в нашей стране в 4,6 раза выше, чем в США, при этом логистические издержки в цене товара составляют около 23–26 % [8].

Возрастающая конкуренция на рынке транспортных услуг требует уделять все больше внимания транспортно-логистическим проектам.

В международном рейтинге эффективности логистики LPI (Logistics Performance Index), составленном Всемирным банком, в 2014 г. Россия занимала 90-е место из 160 стран. В то время как ближайшие соседи – Польша, Латвия, Эстония, Литва, Украина – располагаются на 31-й, 36-й, 39-й, 46-й, 61-й позициях, соответственно [3].

Эксперты установили, что затраты на доставку товара российскому потребителю от производителя в 2–3 раза превышают аналогичные затраты в Европе и США. В России логистические услуги составляют почти четверть ВВП, а в европейских странах – 6–12 %. В Европе 10 % рынка занимают пять крупных логистических компаний, в то время как в России – менее 5 % [19].

В современной мировой экономике такие рейтинги логистики могут негативно сказаться на участии России в мировом внешнеторговом обороте, на ее месте и роли в организации внешнеэкономических связей, на развитии системы международных транспортных коридоров и реализации транзитного потенциала страны. Необходимо незамедлительно поставить задачу разработать и реализовать национальную стратегию комплексного развития логистики в России.

В таких условиях важнейшей задачей является формирование ТЛК как наиболее эффективной формы интеграции участников рынка транспортно-логистических услуг, обеспечивающей максимальный синергетический эффект на основе инноваций и согласования экономических интересов всех контрагентов цепи поставок.

В ОАО «РЖД» разработана методология организации функционирования международных транспортных коридоров на основе кла-

стерного подхода с применением мультимодальных транспортно-логистических центров.

Стратегия развития железнодорожного транспорта РФ до 2030 г. предусматривает:

- совершенствование технологии перевозки с целью сокращения сроков доставки грузов и повышения качества транспортных услуг, обеспечения их сохранности и безопасности перевозок;
- создание системы логистических центров на сети железных дорог;
- создание сети информационно-логистических центров и развитие инфраструктуры интермодальных перевозок;
- совершенствование тарифной политики в области внешнеторговых перевозок в направлении повышения ее гибкости и формирования сквозных тарифных ставок.

Разработка научной методологии комплексной организации транспортно-логистических кластеров в России обеспечит реализацию указанных направлений транспортной стратегии и развитие транспортно-логистического сервиса, соответствующего реалиям международного рынка.

Опыт создания кластеров в транспортной логистике: особенности российского и зарубежного опыта

Мощный транспортный, товаропроводящий, транзитный потенциал страны зависит не только от технических характеристик транспортных средств, но и от имеющейся логистической инфраструктуры, от решений по согласованию параметров транспортных потоков, их координации и интеграции.

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствуют: на базе кластеров должно быть взаимопонимание между бизнесом и региональными властями. Идея в том, что в кластере географически близко располагаются взаимосвязанные компании: поставщики оборудования, комплектующих, услуг, инфраструктуры и т. д. Быть рядом удобнее и дешевле. При

этом участники кластера – самостоятельные хозяйствующие субъекты.

В мире существуют два подхода к формированию кластеров: классический (не предполагает прямого государственного вмешательства и/или поддержки) и современный европейский (основан на партнерстве бизнеса, центральных и местных властей).

Есть примеры, когда созданные кластеры распадаются из-за того, что на рынке есть недооцененные игроки, с которыми кластер в принципе не выходит на конкурентоспособный уровень, поэтому важен детальный анализ обстановки.

Имеется несколько проблем: во-первых, многие компании, «привязавшись» к кластеру, могут заблокировать свое развитие; во-вторых, нашим компаниям, пережившим времена «дикого капитализма», пока сложно кооперироваться с другими [7].

Существует ряд условий, которые могут как способствовать, так и препятствовать развитию кластеров в России. Специалисты относят к позитивным факторам наличие технологической и научных инфраструктур, а также психологическую готовность к кооперации. К сдерживающим факторам развития кластеров относят низкое качество бизнес-климата, низкий уровень развития ассоциативных структур (торговых палат, промышленных ассоциаций), которые не справляются с задачей выработки и продвижения приоритетов и интересов регионального бизнеса, а также краткосрочный горизонт планирования (реальные выгоды от развития кластера появляются только через 5–7 лет).

Транспортно-логистическое развитие является ключевым для любой страны. В июле 2006 г. Евросоюз одобрил и принял «Манифест кластеризации в странах ЕС», а в декабре 2007 г. одобрен и представлен к утверждению «Европейский кластерный Меморандум», который окончательно утвержден 21 января 2008 г. в Стокгольме на Европейской президентской конференции по инновациям и кластерам.

Кластеры в сфере логистики есть во многих странах мира. Так, в Центральной и Вос-

точной Европе действуют около 25 основных и 60 второстепенных ТЛК.

Например, созданный в 2003 г. ТЛК в Словении насчитывает в своем составе 13 компаний и 3 учреждения, которые занимаются экспедированием и доставкой грузов, предоставляют портовые услуги, разрабатывают образовательные программы и решают вопросы, связанные с загрязнением воздуха. Конечная цель кластера состоит в обеспечении благоприятных условий, которые позволят участникам предоставлять комплексные транспортно-логистические услуги для достижения успеха на европейском рынке.

Морской кластер в Великобритании был создан в 2003 г., чтобы представлять и отстаивать интересы морской отрасли в Мерсисаиде (графстве северо-западной Англии). Цель кластера – увеличить инвестиции в отрасль и повысить ее эффективность на местном, региональном, национальном и международном уровнях. Он функционирует в интересах 500 связанных с морской деятельностью компаний региона, среди которых судовладельцы, судостроительные компании, экспедиторы, портовые и складские операторы, транспортные и страховые компании. Годовой оборот кластера достигает 1,3 млрд фунтов стерлингов [22].

Пример еще одного крупного британского проекта – город Milton Keynes (Великобритания), на территории которого расположен Magna Park. Девелопером проекта совместно с Land Securities является Gazeley. Комплекс включает в себя огромное количество распределительных центров, предлагающих арендаторам различные логистические операции, в том числе возможность обслуживания несколькими видами транспорта. Magna Park – один из самых масштабных проектов в мире и яркий пример хаба [14].

Есть и другие примеры. Функционирует ТЛК в немецком городе Франкфурт-на-Майне. В состав этого кластера входят Люфтганза, группа Дойче Банк, множество компаний, занятых в сфере малого и среднего бизнеса. Компании реализуют и предлагают полный

диапазон логистических услуг – от планирования и строительства логистических объектов и систем до консультативного обслуживания процессов управления движением потока материалов/грузов и менеджмента цепочки поставок (supply chain management). Превосходная инфраструктура местных компаний информационных технологий помогает предприятиям логистики устанавливать системы электронной обработки данных достаточной мощности, учитывать потоки товаров с указанием времени и принимать необходимые меры безопасности.

Примером кластерной формы организации транспортно-логистических услуг в Европе является также пограничный ТЛК в Дании в городе Падборг, сформированный на основе транспортных узлов на пересечениях крупных международных транспортных коридоров с государственными границами. Основные характеристики: площадь кластера 5 км², число транспортных, логистических и терминальных операторов составляет порядка 150 ед., сервисных компаний – около 50, общее число занятых – более 3000 чел. [24].

Структура рассмотренных кластеров концентрирует в себе таких рыночных субъектов, как производители, потребители, транспортные и экспедиторские компании, складские комплексы, распределительные центры, терминалы, коммерческие посредники, институциональные органы, финансовые организации, страховые компании, исследовательские организации, учебные центры подготовки и переподготовки персонала, консалтингово-аналитические организации, маркетинговые организации и др. В свою очередь, это приводит к повышению логистического потенциала территории.

Близкое расположение и неофициальные локальные связи участников, таким образом, обуславливают большую гибкость и эффективность функционирования кластерных образований. Это заключается в повышении производительности входящих в кластер фирм и отраслей, в стимулировании новых

видов бизнеса, расширяющих границы кластера [14].

Развитие логистических мегаобъектов – новая тенденция в транспортно-логистическом и торговом бизнесе, представляющая собой скопление логистических объектов разных собственников, которые появлялись и развивались благодаря росту товаропотоков в данном месте.

Идея логистической кластеризации в России связана с решением властей централизовать обработку грузовых потоков. В нашей стране, отличающейся особенно крупными территориями, логистические кластеры могут оказаться очень удобным форматом для развития бизнеса, в особенности это касается городов и областных центров, расположенных на пересечении или рядом с крупными транспортными узлами, где проходят грузовые потоки.

По мнению экспертов Knight Frank, появление логистических кластеров в России – закономерная тенденция быстро развивающегося рынка. Концепция таких проектов привлекательна для крупных инвесторов, девелоперов и арендаторов. Однако, по оценке специалистов, для реализации таких проектов требуется не только профессионализм, знание специфики и особенностей эксплуатации ТЛК, но и всесторонняя государственная поддержка. Российские компании только начинают приобщаться к этому процессу, ориентируясь на успешный опыт западных коллег [14].

Как показывает практика, кластеры значительно отличаются друг от друга. Это объясняется национальными особенностями экономики стран и регионов, поскольку каждый регион уникален, следовательно, имеет специализацию. Данные различия связаны как с территориальным расположением региональных кластеров, так и с комбинацией детерминант «конкурентного ромба» Портера, составляющих основу конкурентоспособности кластеров.

Таким образом, формирование транспортно-логистических кластеров может стать эффективным инструментом повышения конку-

рентоспособности национальной экономики за счет минимизации расходов в сфере логистики.

Характеристика транспортно-логистической инфраструктуры г. Новосибирска

В основе ТЛК находятся мультимодальные транспортные узлы, которые являются центральными опорными точками его функционирования в составе региональной транспортно-логистической системы.

Региональная транспортно-логистическая система – это компонент глобальной макрологистической системы, имеющий самодостаточную логистическую инфраструктуру – мультимодальные узлы. Представляет собой совокупность функциональных и обеспечивающих подсистем, благодаря которым снижаются совокупные логистические издержки, связанные с продвижением товароматериальных и сопутствующих потоков при удовлетворении запросов клиентов в количестве и качестве товаров и услуг и при достижении максимального синергетического эффекта [17, 18].

Есть две группы мультимодальных узлов:

1) крупные узлы международного, федерального уровня. Зона их влияния распространяется на крупные экономические районы – Сибирь, Дальний Восток, Урал, Поволжье, Центральную Россию, Юг России, Северо-Запад России. Данные узлы соответствуют семи федеральным округам: Северо-Западному, Центральному, Южному, Поволжскому, Уральскому, Сибирскому, Дальневосточному.

Однако их нельзя жестко привязывать к федеральным округам, так как зона их влияния не всегда совпадает с их границей. Так, Новосибирский мультимодальный транспортный узел включает в зону своего влияния Тюменскую область, обслуживает ее нефтегазовые регионы, при этом Тюменская область входит в состав Уральского, а не Сибирского

федерального округа, частью которого является Новосибирская область;

2) узлы регионального (межрегионального) значения, зона их влияния – несколько субъектов Российской Федерации. В зависимости от территории, объема пассажиро- и грузопотоков региональный (межрегиональный) мультимодальный транспортный узел охватывает от одного до трех регионов. Если это один регион, узел будет называться региональным, если два или три – межрегиональным [16].

В настоящее время на территории Российской Федерации развиваются несколько мультимодальных транспортных узлов федерального уровня: Москва, Санкт-Петербург, Калининград, Ростов-на-Дону, Нижний Новгород, Самара, Екатеринбург, Новосибирск, Владивосток [6, 12]. И если по объемам выручки лидируют Приволжский и Северо-Западный округа, то по количеству кластеров лидером является Сибирский федеральный округ.

В России практика применения кластерного подхода находится в стадии зарождения. Безусловно, имеются все предпосылки для создания и функционирования в нашей стране ТЛК. Так, в отдельных регионах, например в Новосибирской области, уже сформирован фундамент для кластеризации транспортно-логистических услуг в виде транспортно-логистических центров и систем.

Сегодня во многих субъектах федерации актуализируется вопрос о создании ТЛК. Некоторые из них основывают свою транспортную стратегию на кластерном подходе, имеют четко сформулированные цели функционирования, план основных проектов и сроки их реализации, как, например, г. Новосибирск.

В Сибирском регионе сформировались объективные предпосылки создания опорной сети МТЛЦ и формирования интегрированной транспортно-логистической системы региона как составной части единого экономического пространства страны [16–18].

Рассмотрим подробнее Новосибирский мультимодальный транспортный узел – основу ТЛК Сибирского федерального округа.

Новосибирский ТЛК: вопросы организации и перспективы. Новосибирск. Транспортная характеристика

В Стратегии социально-экономического развития Новосибирской области провозглашено формирование ряда территориально-отраслевых кластеров, одним из приоритетных является ТЛК, основу формирования которого составляют транспортно-логистические центры (кластеры), построенные на иерархических принципах.

Новосибирск – крупнейший транспортный узел Западной Сибири, расположенный на пересечении Западно-Сибирской железной дороги, автомобильных дорог федерального значения Челябинск – Иркутск («Байкал») и Новосибирск – Ташанта (Чуйский тракт), воздушных трасс международного, федерального и регионального значения, судоходной реки Обь. Это обусловило его статус скрепляющего звена Евразии – между Европой и странами Азиатско-Тихоокеанского региона, т.е. благоприятного географического плацдарма для развития отношений со всем миром.

С 2001 г. Новосибирск, единственный из российских городов, – полноправный член Всемирной ассоциации технополисов (WAT). В 2011 г. по оценке «Интегральный рейтинг 100 крупнейших городов России» (соотношению показателей стоимости и качества жизни горожан) Новосибирск поднялся с 8-го (в 2010 г.) на 6-е место, опередив Москву, Санкт-Петербург, Красноярск (18-е место) и Омск (24-е) [8].

Новосибирский транспортный узел исторически сформировался на стратегическом пересечении транспортных коммуникаций Российской Азии в направлении север – юг (р. Обь) и запад – восток (Транссиб). Несмотря на то, что Транссиб пересекает также Иртыш в Омске и Енисей в Красноярске, Новосибирск оказался наиболее мощным мульти-модальным транспортным узлом, ставшим городом-миллионером за небывало короткий срок [8].

Площадь Новосибирской области – 178 000 м², что превышает площадь Дании, Нидерландов, Швейцарии и Бельгии, вместе взятых [8].

Инвестиционная привлекательность Новосибирска обусловлена географическим положением населённого пункта на пересечении важнейших транспортных коммуникаций, торгово-транспортным потенциалом, близостью важнейших сырьевых баз Сибири.

Существенная часть грузов, поступающих в Санкт-Петербургский и Калининградский портовые комплексы, формируется или проходит через Новосибирск. В частности, Усть-Лужский порт ориентирован на перевалку кузбасского угля. Железнодорожно-автомобильная паромная переправа Киль – Калининград – Санкт-Петербург – звено коридора «Восток – Запад», включающего в себя и Транссибирскую магистраль, т.е. грузы (железнодорожные вагоны), перевозимые паромной переправой, будут проходить через Новосибирск.

Ведущее место по грузообороту занимает железнодорожный транспорт, его доля в общем грузообороте Новосибирской области составила 98% [10].

Контейнерные грузы имеют особое значение для Новосибирской области: это наиболее технологичный вид перевозок, особенно в международном сообщении. В 2013 г. объем перевозок контейнерных грузов в регионе вырос на 9,9%, общее количество контейнеров, переработанных на трех терминалах Новосибирска, составило более 200 тыс. шт.

Данные показатели в очередной раз характеризуют Новосибирск как важный транспортный узел. В целом объемы перевозок на всех видах транспорта составили 38,7 млн т. На рис. 1 показан объем перевозок по Новосибирской области за 2013 г. [10].

Спрос на услуги складских комплексов, особенно высокочассных складов, не снижается. Их востребованность определяет оборот организаций оптовой и розничной торговли, сбытовых и ритейлерских компаний. В 2013 г. оборот оптовой торговли вырос на 14% по сравнению с уровнем 2012 г. [1].

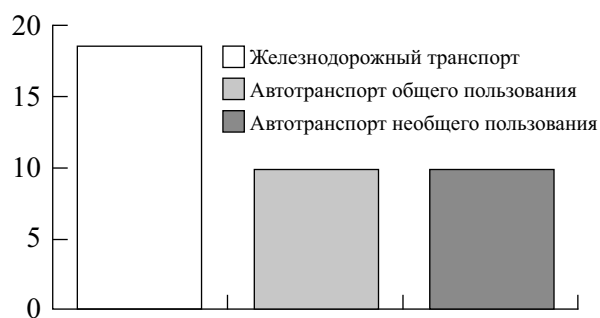


Рис. 1. Объем грузовых перевозок по Новосибирской области всеми видами транспорта за 2013 г., млн т

Актуальность развития транспортно-логистической инфраструктуры Новосибирска

Новосибирская область реализует себя как крупнейший транспортно-распределительный и транзитный комплекс Восточной части России. Формирование и развитие Новосибирского ТЛК остается актуальным направлением дальнейшего развития области.

Современные рыночные требования по доставке грузов не ограничиваются спросом на перевозки, а в большей степени диктуют условия по предоставлению комплексного транспортного продукта высокого качества и уровня сервисного обслуживания от лица одной компании – логистического оператора.

В Новосибирске четко выделяются 12 хабов – локальных центров накопления, обработки и распределения грузо- и пассажиропотоков в рамках транспортных коридоров, ориентированных на четыре направления, или зоны.

Объективная потребность в создании комплекса современных транспортно-логистических центров связана с развитием крупных торговых сетей на территории как Новосибирска, так и ближайших регионов, а также большим потоком транзитных грузов.

На территории области расположен один из крупнейших в России контейнерных терминалов – Клещиха, находящийся в ведении филиала ОАО «ТрансКонтейнер» на Западно-Сибирской железной дороге. По объему пе-

рерабатываемых контейнеров он занимает 4-е место по сети железных дорог России, включая в себя площадки для переработки 40-, 20-футовых контейнеров, а также площадку для переработки среднетоннажных контейнеров.

В связи с высокими темпами роста переработки контейнеров разработан проект модернизации и развития контейнерного терминала Клещиха, предусматривающий развитие как погрузочно-разгрузочных мощностей терминала, так и прилегающей к нему инженерной инфраструктуры, в том числе автодорожных подходов.

Помимо этого намечено постепенное повышение производственного потенциала терминала путем постоянного насыщения производства необходимой техникой и механизмами.

Развитие транспортно-логистической инфраструктуры Новосибирского транспортного узла позволит обеспечить увеличивающиеся потребности товаропроводящей системы Западной Сибири, улучшит сервис, повысит скорость переработки и доставки грузов, снизив совокупные транспортные издержки компаний [13].

На рис. 2 показано местоположение транспортно-логистической инфраструктуры Новосибирска в системе магистрального транспорта.

Средние запрашиваемые ставки аренды на складские помещения класса А в России находятся на уровне \$90–115 м²/год (без НДС, операционных расходов и коммунальных платежей). При этом самый высокий уровень запрашиваемых ставок аренды на складские помещения класса А зафиксирован в Новосибирске – \$100–115 м²/год [5].

Создание в Сибири мультимодальных транспортных узлов, на статус которых претендуют Красноярск, Иркутск, Омск и Новосибирск, началось в 1998 г., когда местной администрацией был зарегистрирован Новосибирский мультимодальный транспортный узел. В 2001 г. в Новосибирске разработан первый в России проект создания принци-

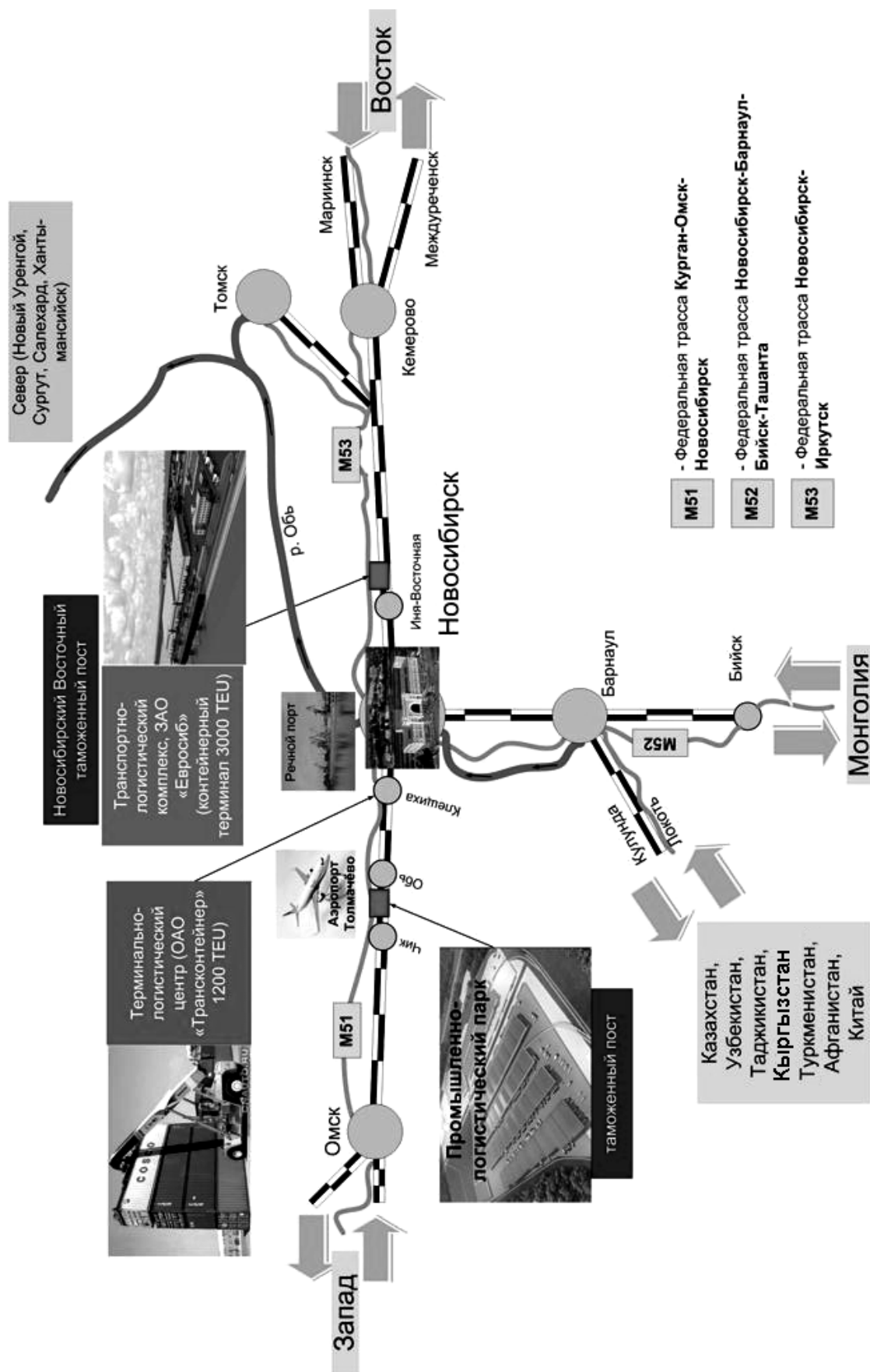


Рис. 2. Транспортно-логистическая инфраструктура Новосибирска в системе магистральных железных и автомобильных дорог

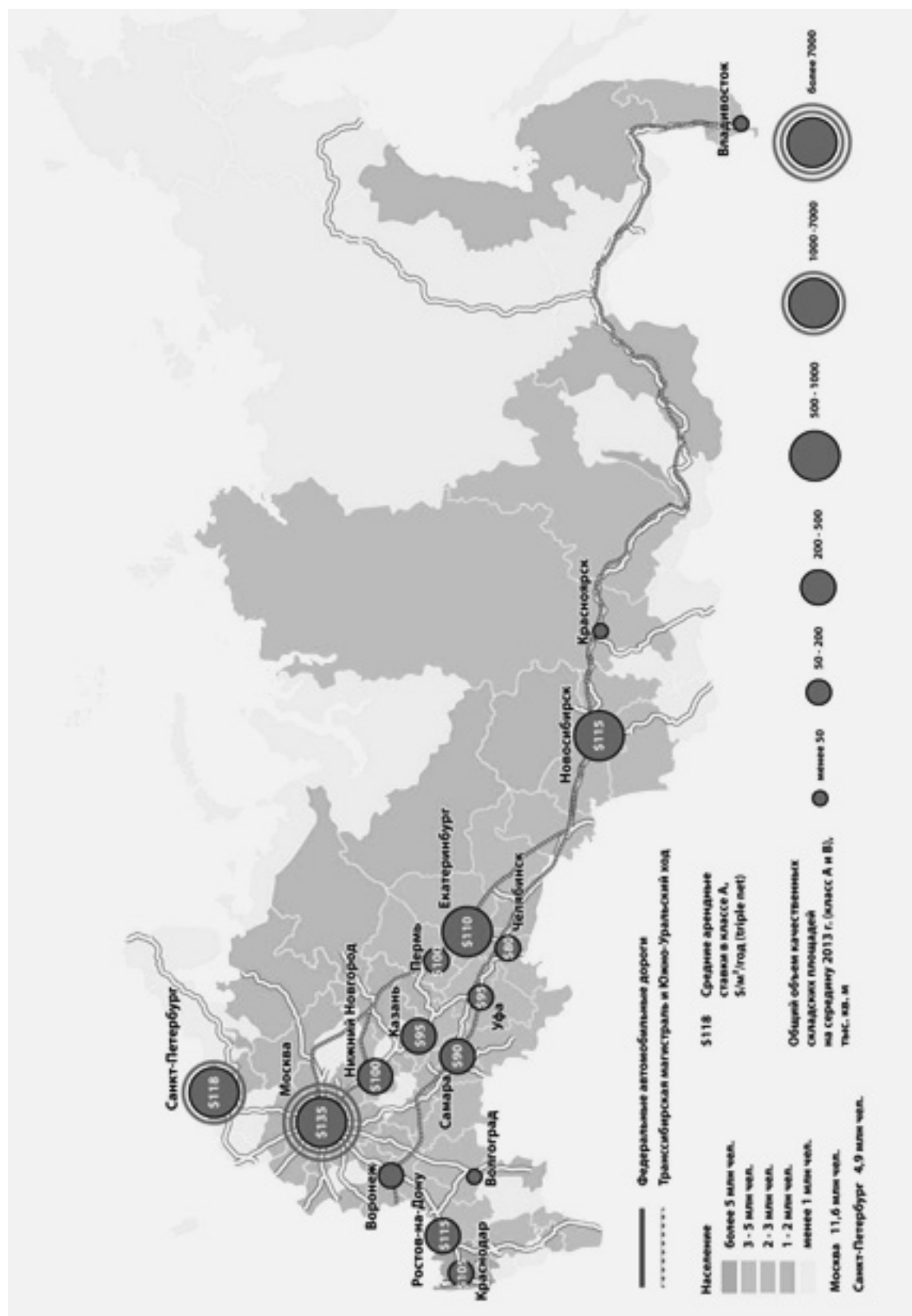


Рис. 3. Карта крупнейших мультимодальных транспортно-логистических узлов современной России [5]

пиально новой структуры «Новосибирский мультимодальный транспортный узел» [12] (рис. 3).

Финансирование проекта могут взять на себя операторы транспортного рынка, которые в условиях географических особенностей Сибири вынуждены выполнять комплексные перевозки различными видами транспорта и заинтересованы в их согласованном функционировании.

Формирование в Новосибирске и вокруг него ТЛК, в частности, терминально-логистического центра ОАО «РЖД», представляет собой перспективную бизнес-стратегию, позволяющую ускорить товародвижение, сократить потребность в подвижном составе и в целом увеличить доходность бизнеса как в Новосибирске, так и в стране.

Транспортно-логистическая инфраструктура Новосибирска

На рис. 4 представлено примерное деление Новосибирской области по транспортно-логистическим зонам.

В настоящее время в Новосибирской области развиваются три основных логистических направления.

Одно из них – западная транспортно-логистическая зона, где находится аэропорт Толмачево, промышленно-логистический парк (ПЛП), складские терминалы Толмачевского шоссе. На 2013 г. с точки зрения логистики была наиболее развита именно Западная зона – ПЛП, Толмачево, Ключиха. ПЛП является собой положительный пример регулирования логистики со стороны правительства.



Рис. 4. Транспортно-логистическое зонирование Новосибирской области.
Цифрами 1–6 обозначены крупнейшие логистические центры

Агентство инвестиционного развития Новосибирской области совместно с компанией «ПЭК» и ПЛП подписали соглашение о строительстве распределительно-логистического парка. Площадь застройки его первой очереди должна составить около 4–5 тыс. км².

В дальнейшем это направление будет усилено проектом развития транспортно-логистического авиаузла на базе международного аэропорта Толмачёво, предусмотренного стратегией и генеральным планом развития аэропорта до 2025 г. Планируется, что этот проект будет реализован на основе государственно-частного партнерства (ГЧП). В перспективе – активное развитие южного направления, которое обеспечит деятельность Биотехнопарка и Академпарка, строительство Восточного обхода Новосибирска.

Второе направление – это Восточная зона, которая приобретает все большее значение для Новосибирского транспортного узла. Это направление выгодно для концентрации грузопотоков с Востока: из Забайкалья, Китая, с Дальнего Востока, включая дальневосточные порты. Создание логистических комплексов на этом направлении позволит разгрузить дорожную сеть Новосибирска. Развиваются инженерная и транспортная инфраструктура, энергосети, автодорожные подходы и железнодорожная станция Иня-Восточная.

Инвесторы проявляют интерес к созданию и развитию логистических комплексов именно в Восточной зоне. В настоящее время здесь реализует свой проект компания «Евросиб». Рядом со станцией Иня-Восточная она построила логистический комплекс общей площадью 20 тыс. м² и контейнерную площадку для крупнотоннажных контейнеров площадью 3,6 га.

Очевидно, что обеспечить развитие железнодорожных станций только за счет владельцев логистических объектов невозможно. Необходимо задействовать механизмы ГЧП и обеспечить пропорциональное финансирование со стороны как логистических компаний (пула компаний), так и собственника станций – ОАО «РЖД».

Еще один инвестор на этом направлении – группа компаний «Байт-Транзит», которая в 2012 г. заявила о старте проекта «Логопарк „Сервер“». К 2016 г. в районе Пашинского переулка на 63 га земли компания планирует возвести более 200 тыс. м² складских и инфраструктурных помещений различного типа.

Третье перспективное направление – Южная зона. Она формируется в течение 10 лет. Ее развитие в районе Академгородка и Кольцова будет связано со строительством Восточного обхода, с развитием «Технопарка» и «Биотехнопарка», с жилищным строительством и созданием торговых комплексов.

Таким образом, требуется государственное регулирование развития логистических зон города в части ГЧП, обеспечивающего комплексное развитие всей территории [1, 10].

В планах правительства Новосибирской области – размещение крупных логистических комплексов (ПЛП, терминал ООО «Сибирь», карго-терминал в г. Обь, терминал «ЕвроСиб», складской комплекс в Кольцово), а также вынесение речного порта из центра города в п. Ташара (север Новосибирска, р. Обь).

ОАО «РЖД» намерено сформировать 46 опорных терминально-логистических центров, и Новосибирск включен в первую очередь из 10 таких центров, которым будет обеспечена федеральная поддержка.

Таким образом, центр агломерации – Новосибирск – окажется равномерно окруженным по периметру шестью логистическими комплексами [8].

В 2011 г. в Новосибирске основан Союз транспортников, экспедиторов и логистов Сибири (СТЭЛС). В него входят ОАО «Аэропорт Толмачево», ООО «Байт-Транзит-Экспедиция», ООО «Группа компаний „Сибирь Транс“», ООО «Евросиб-Терминал-Новосибирск», ООО «ЖелдорЭкспедиция-Н», ООО «ЗапСибКонтейнер», ООО «РАТЭК», ООО «Транспортные Технологии Сибири», Поволжская логистическая ассоциация и ряд других. В таблице дана информация о наиболее крупных компаниях объединения [1, 10].

Стратегия формирования транспортно-логистического кластера Новосибирской области была разработана как часть Стратегии социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 г.

В указанном документе уточнено определение ТЛК: «Кластеры – сообщества фирм, тесно связанных отраслей, взаимно способствующих росту конкурентоспособности друг друга, выполняют роль локомотива ин-

новаций, точек роста внутреннего рынка. Региональные кластеры являются эффективной формой сетевой организации производства и управления им».

Ряд системных связей, реализуемых при функционировании ТЛК, представлен на рис. 5 [12].

Создание ТЛК с опорным узлом в г. Новосибирске обеспечит интенсификацию товарообмена с Китаем и Казахстаном, что решит

Крупнейшие логистические компании Новосибирска

Название	Размер парка, ед. техники	Среднемесячный грузооборот, тонно-километры
ООО «Сибирский Экспедитор»	28	11 850
ООО «ТЛК „Континент“»	36	11 880
ООО «Лонгран-Логистик»	120	46 700

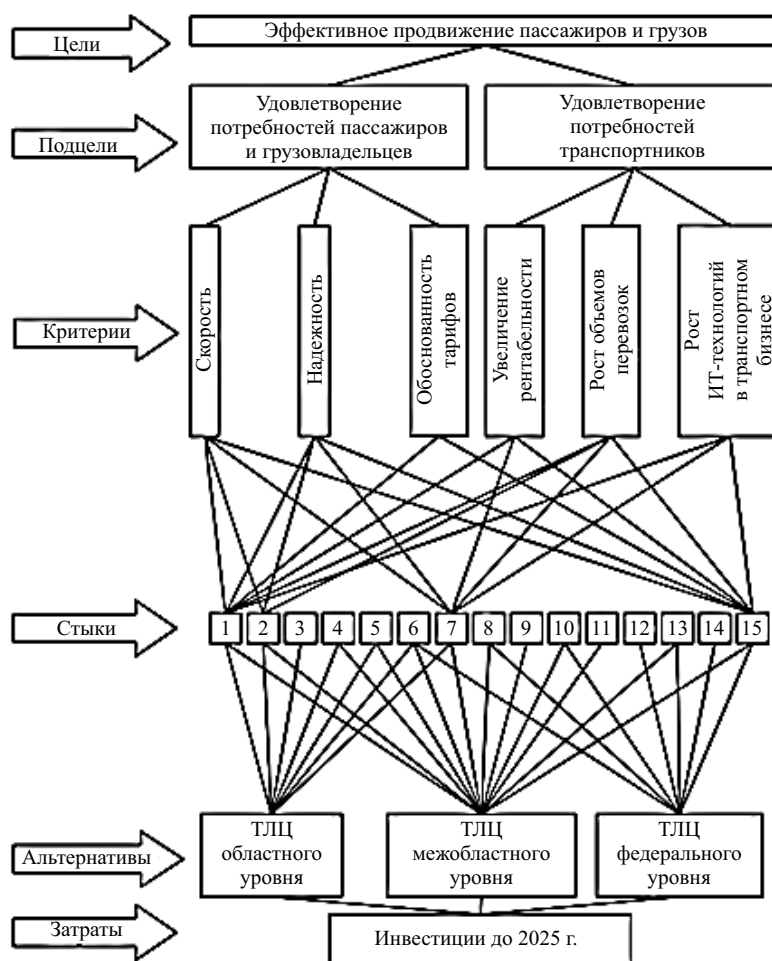


Рис. 5. Системные связи ТЛК



Рис. 6. Расположение Новосибирского мультимодального транспортного узла в системе транспортных коридоров России [20]

сразу несколько проблем: откроет транспортную сеть России зарубежной клиентуре и привлечет иностранных инвесторов к созданию пилотных кластеров.

ТЛК, таким образом, будет представлять собой региональную точку роста, способную формировать внешний имидж региона.

К основным функциям Новосибирского транспортно-логистического узла отнесены: стык товародвижения в кластере, организация работы терминальной сети, таможенных и страховых компаний.

Новосибирск естественно вписывается в систему международных транспортных коридоров, действующих и перспективных [10, 11].

На рис. 6 показано пространственное положение Новосибирского мультимодального транспортного узла в системе сложившихся и развивающихся транспортных коридоров страны.

Таким образом, положение Новосибирского транспортного узла можно сравнить с опорой моста, соединяющей восточную и западную части страны. В системе сложившейся терминальной сети России мультимодальный транспортный узел Новосибирска как основа ТЛК Сибирского региона может и должен занять главенствующее положение.

Выводы

Очевидно, что российский рынок логистических услуг требует реструктуризации в сторону создания крупных логистических кластеров. На территории России достаточно большое количество территориально-отраслевых кластеров, многие из которых доказали свою эффективность. К сожалению, формированию и развитию ТЛК не уделяется должного внимания, адекватного их значению для экономики.

Внедрение ТЛК позволит повысить конкурентоспособность отечественной региональной логистики за счет модернизации и ускоренного внедрения инноваций, активизировать конкурентные преимущества территорий за счет совместного использования ресурсов, сократить логистические издержки за счет эффекта масштаба и территориальной локализации и близкого расположения участников.

Основные результаты исследования:

1. Параллельно процессам глобализации внутри государств развивается концепция кластерной организации региональной экономики. Национальные и региональные границы все больше утрачивают роль экономических барьеров. В современной экономике высокая конкурентоспособность территории держится на сильных позициях отдельных кластеров, которые представляют собой сообщество сконцентрированных по географическому принципу фирм, тесно связанных отраслей, взаимно способствующих росту конкурентоспособности друг друга;

2. Для российских условий кластеризации характерны: 1) наличие вертикально интегрированных групп, в которых территориальная локализация отходит на второй план; 2) формирование горизонтальных сетей, где территориальная локализация играет важную роль; 3) создание стратегических альянсов, обеспечивающих взаимодействие между разными производственными структурами; 4) наличие межотраслевых комплексов; фактически такие комплексы представляют собой прототип кластера, но они не ориентированы на развитие региона;

3. Значительный территориальный охват, дифференциация регионов не только по территории, но и по уровню социально-экономического развития существенно усложняют решение задач формирования ТЛК в России;

4. К основным проблемам развития транспортно-логистических кластеров в России относятся: 1) недостаточное развитие транспортно-технологической инфраструктуры, отвечающей международным стандартам, в

частности, по уровню оказываемого транспортно-экспедиционного сервиса и по соответствию терминально-складских и перегрузочных мощностей объективным потребностям транспортных систем, что увеличивает срок доставки; 2) высокий уровень эксплуатационных расходов при обслуживании транзитных грузов, что приводит к сокращению транзитных грузопотоков направления Европа – Азия; 3) низкое качество бизнес-климата, недостаточное развитие ассоциативных структур, краткосрочный горизонт планирования, которые снижают инвестиционную привлекательность отечественных участников транспортно-логистического рынка; 4) наличие административных барьеров, снять которые сможет только мощная и всесторонняя государственная поддержка; 5) отсутствие в подавляющем большинстве регионов детальной программы формирования и развития кластеров и транспортной стратегии, основанной на кластерном подходе, а также четких задач функционирования кластера и поэтапного планирования его развития, что не способствует развитию региональных ТЛК;

5. Имеющиеся кластеры значительно отличаются друг от друга, что объясняется национальными особенностями экономики стран и регионов, ее специализацией, территориальным расположением региональных кластеров, различной комбинацией детерминант ромба Портера;

6. Близкое расположение и неофициальные локальные связи участников в совокупности с острым соперничеством фирм обуславливают большую гибкость и эффективность функционирования ТЛК. Мультипликативный эффект ТЛК заключается в повышении производительности входящих в кластер фирм и отраслей, в стимулировании новых видов бизнеса, расширяющих границы кластера, в высокой экономической устойчивости и управляемости развития, в росте инвестиционной привлекательности, в понимании правительством как партнером кластера проблем транспортно-логистического и социально-экономического развития региона;

7. Новосибирский ТЛК решит следующие задачи: 1) реализует широкий набор складских, таможенных и сопровождающих услуг; 2) повысит конкурентоспособность транспортных коридоров; 3) снизит долю транспортных затрат в валовом внутреннем продукте; 4) обеспечит кооперацию и интеграцию малых и средних логистических организаций (транспортных, экспедиторских, предоставляющих услуги хранения и т.д.) в общую логистическую концепцию;

8. Формирование в Новосибирске ТЛК, включающего терминально-логистический центр ОАО «РЖД», позволит: 1) ускорить товародвижение, сократить потребность в подвижном составе и увеличить доходность бизнеса как в Новосибирске, так и в стране в целом; 2) обеспечить интенсификацию товарообмена с Китаем и Казахстаном, что открывает транспортную сеть России зарубежной клиентуре и повысит инвестиционную привлекательность отечественной транспортной отрасли; 3) предоставлять комплексный сквозной транспортно-логистический сервис российской и зарубежной клиентуре; 4) реализовать сбалансированное развитие территории агломерации и синергетическую эффективность.

Библиографический список

1. АТИ-Медиа : Информационный портал о грузоперевозках и логистике. – URL : <http://www.ati.su/Media/PrintArticle.aspx?ID=3199> (дата обращения 24.08.2014).
2. Батуева Т. Развитие экономики региона на основе кластерного подхода / Т. Батуева. – URL : <http://www.center-inno.ru/materials/library/07-2> (дата обращения 12.11.2014).
3. Всемирный банк понизил логистический рейтинг России. – URL : <http://www.logistdv.ru/node/9480> (дата обращения 18.06.2014).
4. Заркович А. В. Кластерный подход к формированию региональных инновационных систем (на примере Белгородской области) / А. В. Заркович // Экономика, предпринимательство и право. – 2012. – № 6 (17). – С. 9–22. – URL : <http://www.creativeconomy.ru/articles/26916> (дата обращения 18.06.2014).
5. Карта логистических узлов России. – URL : http://www.logistics.ru/warehousing/news/s-nachala-2012-goda-v-shesti-rossiyskih-logisticheskikh-habab-ylo-vvedeno-1408-tys?sv_list_box_delta=os_news_latest&pager_id=0&page=1 (дата обращения 18.06.2014).
6. Кибалов Е. Б. Транспортно-логистический кластер Новосибирской области : модель формирования и оценки эффективности / Е. Б. Кибалов, К. Л. Комаров, К. А. Пахомов // Регион: экономика и социология. – 2007. – № 3. – С. 42–54
7. Киселева М. Аналитика / М. Киселева. – URL : <http://www.vedom.ru/news/2013/09/11/10906-klasternyyu> (дата обращения 18.06.2014).
8. Комаров К. Л. Системный подход к формированию и продвижению имиджа города Новосибирска / К. Л. Комаров. – Новосибирск : СГУПС, 2014. – 136 с.
9. Коновалова М. Е. Кластерный подход и его роль в структурной сбалансированности общественного воспроизводства / М. Е. Коновалова // Успехи соврем. естествознания. – 2011. – № 12. – С. 93–96. – URL : www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=7981604 (дата обращения 18.06.2014).
10. Континент Сибирь : аналитический обзор. – URL : <http://www.ksonline.ru/stats/-/id/3162> (дата обращения 18.06.2014).
11. Литвинов Б. Новосибирск как мультимодальный узел (хаб) / Б. Литвинов. – URL : <http://l-boris.livejournal.com/63184.html> (дата обращения 18.06.2014).
12. Новосибирский мультимодальный транспортный узел / под ред. К. Л. Комарова. – Новосибирск : СГУПС, 2001.
13. Новосибирский мультимодальный транспортный узел. – URL : <http://www.intransport.ru/lets-1065-3.html> (дата обращения 18.06.2014).
14. Покровская О. Д. Формирование терминальной сети региона для организации перевозок грузов / О. Д. Покровская. – М. : ТрансЛит, 2012. – 192 с.
15. Портер М. Э. Конкуренция / пер. с англ. О. Л. Пелевского и др. ; под ред. Я. В. Заболоцкого и др. – М. : Вильямс, 2005.

16. Прокопьев Ю. Транспортная стратегия пошла в народ // Рос. бизнес-газета. – URL : http://www.rg.ru/bussines/financ_2/1.shtm (дата обращения 18.06.2014).
17. Прокофьева Т. А. Логистические центры в транспортной системе России / Т. А. Прокофьева, В. И. Сергеев. – М. : Экономическая газ., 2012. – 522 с.
18. Прокофьева Т. А. Стратегия развития логистической инфраструктуры в транспортном комплексе России / Т. А. Прокофьева, Н. А. Адамова. – М. : Экономическая газ., 2011. – 302 с.
19. Савенкова Т. Кластеризация транспортно-логистических услуг в регионе Балтийского моря / Т. Савенкова. – URL : http://ktr-online.ru/wp-content/uploads/2014/10/KTR-2014-2_SCR.pdf (дата обращения 18.06.2014).
20. Складские игры. – URL : http://honda.epcm.ru/analytic/analytic_69.html?nid=69 (дата обращения 18.06.2014).
21. Транспортное дело России. – 2009. – № 2. – С. 7.
22. Филоsoфова К. В. // Соврем. наука : Актуальные проблемы теории и практики. Экономика и Право. – 2012. – № 4. – URL : <http://www.vipstd.ru/nauteh/index.php/---ep12-04/476-a> (дата обращения 18.06.2014).
23. Rebitzer D. W. The European Logistics Market / D. W. Rebitzer. – Europe Real Estate Yearbook, 2007.
24. Sorensen S. Y. EMCC case studies / S. Y. Sorensen // Transp. and Logistics Sector : Padborg cluster. – Denmark, Danish Technol. Inst., 2008.
4. Zarkovich A. V. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo – Economy, Entrepreneurship and Law*, 2012, no. 6 (17), pp. 9–22, available at: <http://www.creative-economy.ru/articles/26916>.
5. Karta logisticheskikh uzlov Rossii [A Map of Russia's Logistical Hubs], available at: http://www.logistics.ru/warehousing/news/s-nachala-2012-goda-v-shesti-rossiyskih-logisticheskikh-habab-bylo-vvedeno-1408-tys?sv_list_box_delta=os_news_latest&pager_id=0&page=1.
6. Kibalov Ye. B., Komarov K. L. & Pakhomov K. A. *Region: ekonomika i sotsiologiya – Region: Econ. Soc.*, 2007, no. 3, pp. 42–54.
7. Kiseleva M. Analitika [Analytics], available at: <http://www.vedom.ru/news/2013/09/11/10906-klaste rnyy>.
8. Komarov K. L. Sistemnyy podkhod k formirovaniyu i prodvizheniyu imidzha goroda Novosibirsk [Systemic Approach to Forming and Promoting the Image of the City of Novosibirsk]. Novosibirsk, SGUPS, 2014. 136 p.
9. Kononova M. Ye. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya – Advances in Modern Natural Science*, 2011, no. 12, pp. 93–96, available at: www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=7981604.
10. Kontinent Sibir: analiticheskiy obzor [Continent of Siberia: Analytical Report], available at: <http://www.ksonline.ru/stats/-/id/3162>.
11. Litvinov B. Novosibirsk kak multimodalnyy uzel (khab) [Novosibirsk as a Multimodal Hub], available at: <http://l-boris.livejournal.com/63184.html>.
12. Novosibirskiy multimodalnyy transportnyy uzel [The Novosibirsk Multimodal Transport Hub], ed. K. L. Komarov. Novosibirsk, SGUPS, 2001.
13. Novosibirskiy multimodalnyy transportnyy uzel [The Novosibirsk Multimodal Transport Hub], available at: <http://www.intransport.ru/lets-1065-3.html>.
14. Pokrovskaya O. D. Formirovaniye terminalnoy seti regiona dlya organizatsii perevozok грузов [Forming a Region's Terminal Network for Organisation of Freight Transportation]. Moscow, TransLit, 2012. 192 p.
15. Porter M. E. Konkurentsia [Competition], ed. Ya. V. Zabolotskiy et al. Moscow, Vilyams, 2005.
16. Prokopyev Yu. *Rossiyskaya biznes-gazeta – Russ. Bus. Newspaper*, available at: http://www.rg.ru/bussines/financ_2/1.shtm.

References

1. *ATI-Media – ATI Media*, available at: <http://www.ati.su/Media/PrintArticle.aspx?ID=3199>
2. Batuyeva T. Razvitiye ekonomii regiona na osnove klaster'nogo podkhoda [Development of Regional Economy on the Basis of Cluster Approach], available at: <http://www.center-inno.ru/materials/library/07-2>.
3. Vsemirnyy bank ponizil logisticheskiy reyting Rossii [World Bank Has Downgraded Russia's Logistical Rating], available at: <http://www.logistdv.ru/node/9480>.

17. Prokofyeva T.A. & Sergeev V.I. Logisticheskiye tsentry v transportnoy sisteme Rossii [Logistical Centres in Russia's Transport System]. Moscow, Ekonomicheskaya gazeta, 2012. 522 p.
18. Prokofyeva T.A. & Adamova N.A. Strategiya razvitiya logisticheskoy infrastruktury v transportnom komplekse Rossii [A Strategy for Development of Logistical Infrastructure in Russia's Transport System]. Moscow, Ekonomicheskaya gazeta, 2011. 302 p.
19. Savenkova T. Klasterizatsiya transportno-logisticheskikh uslug v regione Baltiyskogo morya [Clustering of Transport and Logistical Services in the Baltic Sea region], available at: http://ktr-online.ru/wp-content/uploads/2014/10/KTR-2014-2_SCR.pdf.
20. Skladskiye igry [Warehouse Games], available at: http://honda.epcm.ru/analytic/analytic_69.html?nid=69.
21. *Transportnoye delo Rossii – Russia's Transport Indus.*, 2009, no. 2, p. 7.
22. Filosofova K. V. *Sovremennaya nauka: aktualnyye problemy teorii i praktiki (Seriya: ekonomika i pravo) – Mod. Sci.: Current Probl. of Theory and Pract. (Econ. and Law Series)*, 2012, no. 4, available at: <http://www.vipstd.ru/nauteh/index.php/—ep12-04/476-a>
23. Rebitzer D. W. The European Logistics Market. Europe Real Estate Yearbook, 2007.
24. Sorensen S. Y. EMCC case studies (Transp. and Logistics Sector: Padborg cluster). Denmark, Danish Technol. Inst., 2008.
- *ПОКРОВСКАЯ Оксана Дмитриевна – канд. техн. наук, доцент, insight1986@inbox.ru; ЗАЧЕШИГРИВА Марина Александровна – канд. техн. наук, доцент (Сибирский государственный университет путей сообщения).

УДК 656.078, 656.001, 621.39, 629, 654, 004.89, 510.67

Я. А. Селиверстов

О МЕТОДЕ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ СМЕШАННОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Дата поступления: 08.04.2015

Решение о публикации: 09.07.2015

Цель: Провести обзор существующих моделей и методов анализа транспортных потоков, выявить их достоинства и недостатки, разработать метод анализа структуры смешанного транспортного потока в городских улично-дорожных сетях, пригодный для использования в системах городского транспортного мониторинга. **Методы:** Использованы графо-аналитический способ представления модели городской улично-дорожной сети; теоретико-множественный и алгебраический способ разбиения смешанного транспортного потока на классы; реляционный способ разметки графа модели улично-дорожной сети. **Результаты:** Разработан метод анализа структуры смешанного транспортного потока в городских улично-дорожных сетях, проверена его адекватность на практическом примере. **Практическая значимость:** Разработанный метод позволяет автоматизировать анализ структуры смешанного транспортного потока путем выявления и группировки однородных по классам и свойствам транспортных объектов на улично-дорожной сети города, стимулировать совершенствование систем городского транспортного мониторинга и расширение функциональных возможностей элементов интеллектуальных транспортных систем в части автоматической классификации и учета подвижных транспортных объектов.

Метод анализа, транспортный поток, классификация, матрица корреспонденций, интеллектуальные транспортные системы, модели управления, городская транспортная система, городской транспортный мониторинг.

Yaroslav A. Seliverstov, researcher, postgraduate student, maxwell_8-8@mail.ru (Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences) **ON THE METHOD OF ANALYSIS OF COMBINED TRAFFIC STREAM STRUCTURE IN URBAN STREET AND ROAD NETWORK**

Objective: To provide an overview of existing models and methods of analysis of transport streams, to point out their benefits and drawbacks, to develop a method of analysing the combined traffic stream structure in urban street and road networks that can be used in urban transport monitoring systems. **Methods:** The study deployed graphic-analytical method for representing the model of urban street and road network, set-theoretical and algebraical method for breaking up the combined traffic stream into classes, and relational method for graph labelling of the street and road network model. **Results:** A method for analysing the combined traffic stream structure in urban street and road networks was developed, and its applicability was tested on a practical example. **Practical importance:** The method allows to computerise analysis of combined traffic stream structure through determining and grouping transport objects, homogenous in their classes and qualities, on the urban street and road network, to stimulate improvements to the urban transport monitoring systems and increasing functional capabilities of elements of intelligent transport systems in automated classification and registration of mobile transport objects.

Analysis method, transport stream, classification, mobility plan, intelligent transport systems, management models, urban transport system, urban transport monitoring.

Устойчивая работа городской транспортной системы (ГТС) имеет принципиальное значение для нормального функционирования экономики любого региона. Перегруженность городских дорожных сетей, несчастные случаи и аварии, дорожные заторы, загрязнение воздуха и ухудшение городской экологии являются следствием неэффективного управления городской транспортной мобильностью.

Проблемами управления дорожным движением в крупных городах занимаются ведущие отраслевые научно-исследовательские коллективы. Большинство из них разрабатывают новые теоретические и практические решения, которые улучшили бы транспортную мобильность, сократили время транспортных простоев на улично-дорожной сети, улучшили организацию и управляемость городской транспортной системы. Современные методы и подходы затрагивают вопросы организации ГТС [1, 6], ее структурно-функциональные характеристики [4], особенности систем управления [3, 12] и распределения городских транспортных потоков (ТП) [5, 10] улично-дорожной сети.

Анализ предметной области

Методы интеллектуального анализа организации транспортной системы городов на основе кластеризации данных рассмотрены в [4, 7], при этом вопрос мобильности затронут незначительно. Более подробно проблемы развития городской мобильности исследованы в [3] по пяти основным направлениям: гибкое движение в городах, зеленые города, «умный» городской транспорт, доступный городской транспорт, безопасный городской транспорт. Позже в [17] предложена модель, позволяющая определить коэффициенты, влияющие на выбор пассажиром вида транспорта, установить причины, которые препятствуют пассажирам использовать городской общественный транспорт.

Общая генеалогия развития моделей ТП по четырем направлениям (фундаментальные связи, микро-, мезо- и макроскопическое ис-

следована в [14]. Предложенный подход позволяет выявлять основные тенденции в моделировании ТП: сходимость многих ветвей (областей) к обобщенным моделям; адаптация модели LWR к реальным явлениям и ее расширение; формирование мультиклассовых версий многих моделей; развитие гибридных моделей, сочетающих в себе преимущества моделей разных типов. Однако без рассмотрения остались вопросы свойств и структуры ТП, его поведения в условиях внешней информационной среды. Позже модель управления городскими ТП в условиях неопределенности внешней информационной среды предложена в [12]. Построена модель классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения в системах управления ТП мегаполиса, впервые позволяющая перейти к изучению его структурных свойств [8]. В [11] установлена связь с системами управления транспортно-логистического мониторинга, рассмотрены подсистемы идентификации, аутентификации, местоопределения и распознавания состояний подвижных и стационарных объектов ГТС. Проблемы их внедрения с учетом принципов самоорганизации предложены в [9]. В [15, 18] раскрыты аналитические подходы построения интеллектуальных транспортных планировщиков.

Постановка задачи

Анализ предметной области свидетельствует о значительных успехах в развитии аппаратно-программных систем управления ТП мегаполиса. Представленные модели систем управления дорожным движением вырабатывают регулирующие воздействия без учета структуры потока. ТП рассматривается ими как однородный, хотя в действительности состоит из разнородных подвижных транспортных объектов с отчетливо выраженным индивидуальным поведением и свойствами. Понимание структуры потока и принципов его формирования откроет новые возможно-

сти в управлении процессами транспортной мобильности. Разработке подобного метода анализа структуры ТП с использованием графо-аналитической модели и посвящена настоящая работа. Изложение уместно начать с построения формальной модели исследуемого процесса.

Основная часть

Городская транспортная сеть (TI) задается графом $\Gamma^{TI}(V; E)$ с множеством вершин $V = \{v\}$ и множеством дуг сети $E = \{e\}$, где $TI = (To \cup Ts \cup O)$ – транспортная сеть; To – объекты транспортной инфраструктуры; Ts – улично-дорожные транспортные сети; O – инфраструктурные объекты жизнедеятельности.

Дуга соответствует реальному участку автодорожного, пешеходного или иного улично-дорожного перегона без перекрестков. Вершина представляет узел, в котором перераспределяются ТП или изменяются характеристики некоторых элементов ГТС.

Для формального представления процессов городской транспортной мобильности из множества вершин $V = \{v\}$ выделим два подмножества: зарождения ТП ($S \subseteq V$) и ТП ($D \subseteq V$), удовлетворяющих выражению

$$D, S \subseteq [To \cup Ts \cup O] \subset TS. \quad (1)$$

Подмножество $S \subseteq V$ содержит элементы ГТС, порождающие ТП; подмножество $D \subseteq V$ содержит элементы ГТС, поглощающие ТП.

Множество потокообразующих пар отправления-прибытия задается декартовым произведением в виде

$$W = \{w = (\partial; \alpha) : \partial \in S, \alpha \in D\}. \quad (2)$$

Тогда матрица транспортных корреспонденций будет задаваться массивом $\{\rho_w : w \in W\}$, в котором каждой паре отправление-прибытие $w = (\partial; \alpha) \in W$ будет поставлен в соответствие определенный объем ρ_w пользователей (пас-

сажиров, транспортных средств), которые из пункта ∂ (отправления) должны прибыть в пункт α (прибытие). Объем пользователей ρ_w между пунктами отправления и прибытия регистрируется системой управления ГТС [11].

Маршрут на графе транспортной сети, соединяющий вершины ∂ и α , задается последовательностью дуг вида $e_1 = (\partial = \pi_0 \rightarrow \pi_1)$, $e_2 = (\pi_1 \rightarrow \pi_2)$, ..., $e_{L-1} = (\pi_{L-2} \rightarrow \pi_{L-1})$, $e_L = (\pi_{L-1} \rightarrow \pi_L = \alpha)$, где $e_\gamma \in E$ при всех $\gamma = 1, \dots, L+1$.

Множество альтернативных маршрутов, следуя которым, для каждой пары $w = (\partial; \alpha) \in W$ выходящий из пункта отправления ∂ поток достигает пункта прибытия α определяется следующим образом:

$$P_w = \bigcup_{i=1}^N p_i = \bigcup_{i=1}^N \bigcup_{l=1}^L e_{il}. \quad (3)$$

Совокупность всех путей в графе транспортной сети обозначим через $P = \bigcup_{w \in W} P_w$.

Графическое представление маршрута представлено на рис. 1.

Введем такую величину потока x_p , следующего по пути $p \in P$, чтобы для каждой пары w потоки x_p удовлетворяли условию

$$X_w = \left\{ x_p \geq 0 : p \in P_w, \sum_{p \in P_w} x_p = \rho_w \right\}. \quad (4)$$

Определить поток по пути x_p через поток по дуге y_e в момент времени $t \in T$ можно следующим образом:

$$x_p = \sum_{e \in P} \Theta_{ep} y_e, \quad \Theta_{ep} = \begin{cases} 1 & \text{если дуга } e \text{ проходит} \\ & \text{через путь } p; \\ 0 & \text{(в противном случае),} \end{cases} \quad (5)$$

где $\Theta = (\Theta_{ep} : e \in E, p \in P)$ – матрица инцидентности дуг и путей; $y = (y_e : e \in E)$ – вектор, описывающий загрузку дуг сети.

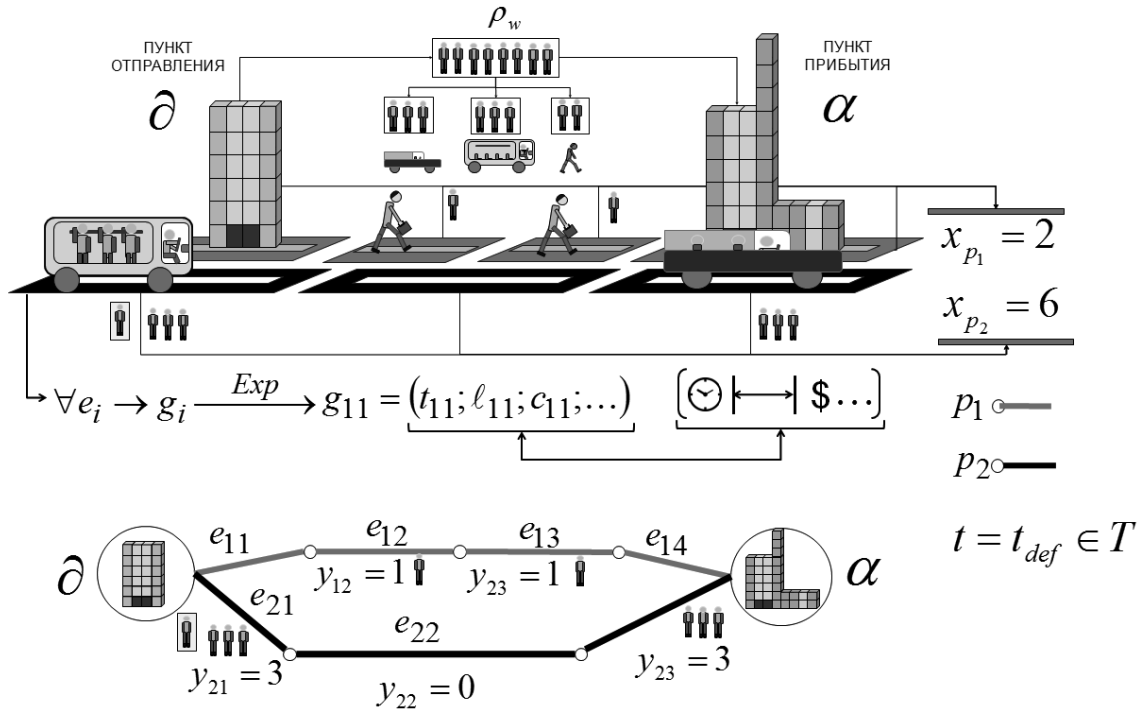


Рис. 1. Процесс городской транспортной мобильности

Процедуру разбиения f_r^{CH} потока на элементы запишем в теоретико-множественной и алгебраической интерпретациях:

$$Y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def}^{f_r^{CH}} = \left(\bigcup_{CH_r^r} Tr_{CH_r^r} \cup \dots \cup \bigcup_{CH_r^h} H_{CH_r^h} \right) \Big|_{t=def}; \quad (6)$$

$$\forall Tr_{CH_i^r}, Tr_{CH_j^r} : Tr_{CH_i^r} \cap Tr_{CH_j^r} = \emptyset;$$

$$\forall H_{CH_i^h}, H_{CH_j^h} : H_{CH_i^h} \cap H_{CH_j^h} = \emptyset$$

$$y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def} = \left(\sum_{k=1}^{\hat{K}} \sum_{i=1}^N tr_{ki} + \sum_{\lambda=1}^{\hat{\Lambda}} \sum_{i=1}^N h_i \right) \Big|_{t=def}, \quad (7)$$

$$\text{где } Y_{e_\Sigma} = \left\{ \mathfrak{A}_q \mid \mathfrak{A}_q \in Tr \cup H \cup Tg \cup Gr, \right. \\ \left. q = 1, \dots, Q \right\} - \text{по-}$$

токовое множество подвижных объектов $\mathfrak{A}_q$ на дуге «е»; $y_{e_\Sigma} = |Y_{e_\Sigma}|$ – мощность потокового

множества на дуге «е»; $Tr_{CH_r^r}$ – подмножество транспортных средств Tr вида $CH_r^h \sim k \dots \hat{K}$ (классы или виды транспортных средств); $H_{CH_r^h}$ – подмножество пользователей H вида $CH_r^h \sim \lambda \dots \hat{\Lambda}$ (классы пользователей); $\sum_{k=1}^{\hat{K}} \sum_{i=1}^N tr_{ki}$ – общее количество транспортных средств на дуге, классифицированных по классам k ; $\sum_{\lambda=1}^{\hat{\Lambda}} \sum_{i=1}^N h_i$ – общее количество пользователей на дуге, классифицированных по классам λ .

Разбиения (6), (7) позволяют изучать структуру и свойства элементов ТП. Принадлежность элементов потокового множества к определенной корреспонденции запишем в теоретико-множественном и алгебраическом виде:

$$Y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def} = (Y_e^w \cup \bar{Y}_e^w) \Big|_{t=def}; \quad (8)$$

$$y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def} = (y_e^w + \bar{y}_e^w) \Big|_{t=def}, \quad (9)$$

где y_e^w – количество пользователей, находящихся на дуге $e \in E$ в момент времени $t = def$, принадлежащих корреспонденции $w \in W$, т.е. $y_e^w = y_e$; $\bar{y}_e^w$ – количество пользователей, находящихся на дуге $e \in E$ в момент времени $t = def$, не принадлежащих корреспонденции $w \in W$.

Преодоление любого участка пути сопровождается количественными затратами g_{e_i} в виде

$$\forall e_i \quad \exists g_{e_i} = g_{e_i}^\nabla \cup g_{e_i}^\Delta; \quad (10)$$

$$g_{e_i}^\nabla \cup g_{e_i}^\Delta = \left\{ \begin{array}{l} ch_{\nabla}^{g_{e_i}} \cup ch_{\Delta}^{g_{e_i}} \mid ch_{\nabla}^{g_{e_i}} = \text{const}, \\ ch_{\Delta}^{g_{e_i}} = f(e_i; y_{e_i}), \hat{r} = 1, \dots, C, \\ \Delta = 1, \dots, \Lambda \end{array} \right\}. \quad (11)$$

Совокупные затраты g_{e_i} (10) включают постоянную $g_{e_i}^\nabla$ и переменную $g_{e_i}^\Delta$ составляющие. Рассмотрим структуру совокупных затрат (11). Постоянная составляющая затрат $g_{e_i}^\nabla$ представляет собой характеристики ($ch_{\nabla}^{g_{e_i}}$) участка пути, не изменяющиеся во времени, например, протяженность пути или стоимость проезда. Переменная составляющая совокупных затрат $g_{e_i}^\Delta$ представляет собой характеристики пути ($ch_{\Delta}^{g_{e_i}}$), изменяющиеся во времени и, как правило, зависящие от ТП на пути, например, время прохождения пути.

В реляционной модели затраты g_{e_i} задаются отношением в виде

$$g_{e_i} : \left\{ \begin{array}{l} \frac{\langle name, \{value\} \rangle, \langle name, \{value\} \rangle \dots}{g_{e_i}^\nabla} \\ \frac{\langle name, \{value\} \rangle, \langle name, \{value\} \rangle \dots}{g_{e_i}^\Delta} \end{array} \right\}, \quad (12)$$

где name – имя ∇, Δ -й характеристики; {value} – значение или область допустимых значений. Область допустимых значений задается перечислением этих значений, интервалом или функционально с помощью правил вычисления (измерения) и оценки.

Обозначим через $G_p = \{g_p\}$ удельные затраты пользователей на проезд по пути p , тогда в алгебраической и реляционной интерпретациях последние представимы в виде

$$G_p = G_p^\nabla + G_p^\Delta = \sum_{e_i \in p} (g_{e_i}^\nabla + g_{e_i}^\Delta), \quad (13)$$

$$G_p : \left\{ \begin{array}{l} \frac{\langle name, \{\Sigma value\} \rangle, \langle name, \{\Sigma value\} \rangle \dots}{G_p^\nabla} \\ \frac{\langle name, \{\Sigma value\} \rangle, \langle name, \{\Sigma value\} \rangle \dots}{G_p^\Delta} \end{array} \right\}. \quad (14)$$

Поскольку на затраты по одному маршруту может влиять загрузка других путей, то последние G_p представляют собой функции от загрузки всей сети, т.е. $G_p = G_p(X)$.

Тогда в матричной форме взаимосвязь потоков по путям и дугам в обобщенном виде может описываться уравнением $X = \Theta Y$ [2].

Формальная интерпретация затрат (10)–(14) широко используется при построении автоматических систем оплаты проезда [16].

Пример

Рассчитаем поток по дугам и путям для транспортного процесса, исходные данные для которого представлены на рис. 1.

Решение

Структура маршрута в соответствии с (3) примет вид

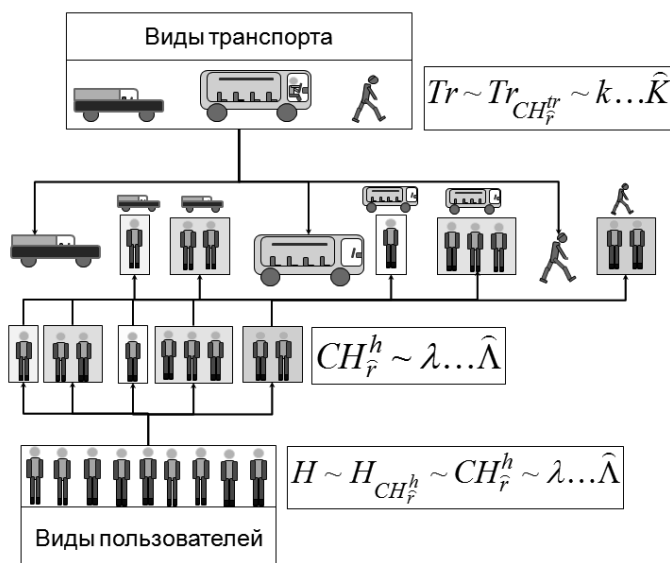


Рис. 2. Структура транспортного потока

$$P_{w=(\partial;\alpha)} = \bigcup_{i=1}^N p_i = \bigcup_i^N \bigcup_l^L e_{il} =$$

$$= (e_{11} \cup e_{12} \cup e_{13} \cup e_{14}) \cup$$

$$\cup (e_{21} \cup e_{22} \cup e_{23}) = p_1 \cup p_2.$$

Структура потока по дугам в соответствии с (4)–(9) примет вид

$$y_{11} \Big|_{t=def} = y_{14} \Big|_{t=def} = 0;$$

$$y_{12} \Big|_{t=def} = 1_{(\lambda=1)}$$

$$y_{13} \Big|_{t=def} = 1_{(\lambda=1)}$$

$$y_{21} \Big|_{t=def} = (1_{(k=1)})_K + (3_{(\lambda=1)} + 1_{(\lambda=2)})_{\hat{\Lambda}};$$

$$y_{22} \Big|_{t=def} = 0$$

$$y_{23} \Big|_{t=def} = (1_{(k=2)})_K + (3_{(\lambda=1)})_{\hat{\Lambda}}$$

$$y_{12}^w = 1; y_{13}^w = 1; y_{13}^w = 1; y_{21}^w = 3; y_{23}^w = 3;$$

$$x_1 = y_{12}^w + y_{13}^w = 1 + 1 = 2;$$

$$x_2 = y_{21}^w + y_{23}^w = 3 + 3 = 6;$$

$$X_w = x_1 + x_2 = 2 + 6 = 8.$$

Аналитическое решение представлено на рис. 2.

Данная модель может получать информационное наполнение от системы городского транспортно-логистического мониторинга [11].

Заключение

Предложенный метод позволяет автоматизировать анализ структуры транспортного потока путем выявления и группировки однородных по классам транспортных объектов на улично-дорожной сети.

Практическое применение рассмотренного подхода к модели классификации межобъектных отношений открывает возможность построения городских интеллектуальных анализаторов транспортно-логистической и социально-экономической мобильности. Сращивание последних с программно-аппаратными элементами интеллектуальных транспортных систем может лечь в основу конструирования распределенных интеллек-

туальных городских логистических управляющих систем.

Развитие транспортных систем на принципах интеллектуализации с учетом предложенного метода способно рационализировать и функционально расширить способы управления транспортными потоками мегаполиса.

Библиографический список

1. Белый О. В. Архитектура и методология транспортных систем / О. В. Белый, О. Г. Кокаев, С. А. Попов. – СПб. : Элмор, 2002. – 256 с.
2. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / под ред. А. В. Гасникова. – М. : Изд-во МФТИ, 2010. – 360 с.
3. Каримов Т. Н. Интеллектуальная система поддержки принятия решения для оперативного управления транспортными потоками / Т. Н. Каримов, Л. А. Симонова // Науч.-технич. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – № 1 (115). – С. 37–41.
4. Селиверстов С. А. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы / С. А. Селиверстов // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. Адм. С. О. Макарова. – 2014. – № 2 (24). – С. 92–100.
5. Селиверстов С. А. Моделирование транспортных потоков мегаполиса с вводом новых видов водного внутригородского пассажирского транспорта / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. Адм. С. О. Макарова. – 2015. – № 2 (30). – С. 69–80.
6. Селиверстов С. А. О методе оценки эффективности организации процесса дорожного движения мегаполиса / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Вестн. транспорта Поволжья. – 2015. – № 2 (50). – С. 91–96.
7. Селиверстов С. А. О построении интеллектуальной системы организации и развития транспортной системы мегаполиса / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Науч.-технич. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 2/3 (217/222). – С. 139–161.
8. Селиверстов Я. А. О построении модели классификации межагентных отношений социально-

экономического поведения городского населения в системах управления транспортными потоками мегаполиса / Я. А. Селиверстов // Науковедение. – 2014. – № 5. – С. 188.

9. Селиверстов Я. А. Основы теории субъективных функциональных возможностей рационального выбора / Я. А. Селиверстов // Науковедение. – 2014. – № 4. – С. 90.

10. Селиверстов Я. А. Применение метода имитационного моделирования для оценки эффективности новых видов городского пассажирского транспорта / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. Адм. С. О. Макарова. – 2015. – № 3 (31). – С. 83–92.

11. Стариченков А. Л. Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга / А. Л. Стариченков // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – Т. 1. – С. 29–36.

12. Стариченков А. Л. Построение моделей управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды / А. Л. Стариченков // Науч.-технич. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – № 6 (210). – С. 81–94.

13. European Commission Green Paper : Towards a new culture for urban mobility. – 551 final. – Brussels : Publ. European Commission, 2007.

14. Lint H. van. Multi-Class First Order Traffic Flow Modeling / H. van Lint, S. P. Hoogendoorn, M. Schreude // Traffic and Granular Flow. 07.2009. – P. 421–426.

15. Nowacki G. Development and Standardization of Intelligent Transport Systems // TransNav, the Int. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2012. – Vol. 6, N 3. – P. 403–411.

16. Sadeghi A. R. User Privacy in Transport Systems Based on RFID E-Tickets / A. R. Sadeghi, I. Visconti, C. Wachsmann ; ed. C. Bettini, S. Jajodia, P. Samarati, X. S. Wang. – PiLBA. CEUR Workshop Proc., 2008. – Vol. 397.

17. Train K. Discrete choice models with simulation / K. Train. Univ. of California, Berkeley, Cambridge Univ. Press, 2002. – 388 p.

18. Yokota T. ITS Technical Note For Developing Countries / T. Yokota, R. J. Weiland. – World Bank, 2014. – 16 p.

References

1. Bely O.V., Kokayev O.G. & Popov S.A. *Arkhitektura i metodologiya transportnykh sistem* [Architecture and Methodology of Transport Systems]. St. Petersburg, Elmor, 2002. 256 p.
 2. Vvedeniye v matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov [An Introduction to Mathematical Simulation of Transport Streams], ed. A. V. Gasnikov. Moscow, Izdatelstvo MFTI, 2010. 360 p.
 3. Karimov T.N. & Simonova L.A. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St Petersburg Polytechnic Univ. Informatics. Telecommunications. Management*, 2011, no. 1 (115), pp. 37–41.
 4. Seliverstov S.A. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni Admirala S. O. Makarova – Bull. of the Admiral Makarov State Univ. of Maritime and Inland Shipping*, 2014, no. 2 (24), pp. 92–100.
 5. Seliverstov S.A. & Seliverstov Ya.A. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni Admirala S. O. Makarova – Bull. of the Admiral Makarov State Univ. of Maritime and Inland Shipping*, 2015, no. 2 (30), pp. 69–80.
 6. Seliverstov S.A. & Seliverstov Ya.A. *Vestnik transporta Povolzhya – Volga Region Transp. Bull.*, 2015, no. 2 (50), pp. 91–96.
 7. Seliverstov S.A. & Seliverstov Ya.A. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St Petersburg Polytechnic Univ. Informatics. Telecommunications. Management*, 2015, no. 2/3 (217/222), pp. 139–161.
 8. Seliverstov Ya.A. *Naukovedeniye – Sci. Studies*, 2014, no. 5, pp. 188.
 9. Seliverstov Ya.A. *Naukovedeniye – Sci. Studies*, 2014, no. 4, p. 90.
 10. Seliverstov Ya.A. & Seliverstov S.A. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni Admirala S. O. Makarova – Bull. of the Admiral Makarov State Univ. of Maritime and Inland Shipping*, 2015, no. 3 (31), pp. 83–92.
 11. Starichenkov A.L. *Izvestiya SPbGETU “LETI” – Bull. of the Saint Petersburg Electrotechnical Univ. “LETI”*, 2015, Vol. 1, pp. 29–36.
 12. Starichenkov A.L. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St Petersburg Polytechnic Univ. Informatics. Telecommunications. Management*, 2014, no. 6 (210), pp. 81–94.
 13. European Commission Green Paper: Towards a new culture for urban mobility. 551 final. Brussels, Publ. European Commission, 2007.
 14. Lint H. van, Hoogendoorn S. P. & Schreude M. Multi-Class First Order Traffic Flow Modeling (Traffic and Granular Flow), 07.2009, pp. 421–426.
 15. Nowacki G. Development and Standardization of Intelligent Transport Systems. *TransNav, the Int. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2012, Vol. 6, no. 3, pp. 403–411.
 16. Sadeghi A.R., Visconti I. & Wachsmann C. User Privacy in Transport Systems Based on RFID E-Tickets, ed. C. Bettini, S. Jajodia, P. Samarati, X. S. Wang. PiLBA. *CEUR Workshop Proc.*, 2008, Vol. 397.
 17. Train K. Discrete choice models with simulation. Univ. of California, Berkeley, Cambridge Univ. Press, 2002. 388 p.
 18. Yokota T. & Weiland R.J. ITS Technical Note For Developing. World Bank, 2014. 16 p.
- СЕЛИВЕРСТОВ Ярослав Александрович – научный сотрудник, аспирант, maxwell_8-8@mail.ru (Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук).



УДК 656:658.2.016

Т. А. Белаш

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЯДОМ СТОЯЩИХ ЗДАНИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ КОНСТРУКТИВНЫМИ СХЕМАМИ НА ИХ СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

Дата поступления: 14.07.2015

Решение о публикации: 08.09.2015

Цель: Обеспечить сейсмостойкость зданий с различными конструктивными решениями в системе городской застройки. **Методы:** Использовался расчетный аппарат теории колебаний. Рассматривалась группа пространственных моделей зданий, различающихся конструктивными решениями. Учитывался волновой характер взаимодействия зданий с основанием. В исследовании варьировались жесткостные характеристики зданий, расстояние между зданиями, различные грунтовые условия. **Результаты:** Установлено, что при определенных расстояниях между зданиями во время землетрясений становится существенным влияние одного типа здания на другое, это влияние зависит от динамических характеристик зданий и их взаимного расположения. Если между зданиями меньше 10 м, то сейсмическая нагрузка увеличивается. Это влияние особенно заметно на песчаных грунтах. Установлено, что наиболее уязвимы здания условно «гибкой» конструкции, находящиеся в системе городской застройки, состоящей из условно «жестких» зданий, если при этом расстояние между объектами менее 9 м. По мере увеличения расстояния между зданиями независимо от конструктивных решений взаимное влияние уменьшается. **Практическая значимость:** На основании расчетно-теоретических исследований разработаны практические рекомендации по обеспечению сейсмостойкости зданий, находящихся в системе городской застройки. Предлагается повышать сейсмостойкость с помощью специальных демпфирующих элементов, например, в виде демпферов сухого трения. Эти устройства устанавливаются между зданиями относительно «гибких» конструктивных решений и относительно «жестких» либо между «гибким» зданием и жестким склоном. На предложенные конструктивные решения получены патенты. Введение демпфирующих элементов между зданиями повысит их надежность при сейсмических воздействиях.

Сейсмостойкость, городская застройка, стоящие рядом друг с другом здания, демпферы сухого трения.

Tatyana A. Belash, D. Eng., professor, Belashta@mail.ru (Petersburg State Transport University)
STUDY OF INFLUENCE OF SEVERAL BUILDINGS WITH DIFFERENT STRUCTURAL SCHEMES
STANDING SIDE BY SIDE ON THEIR SEISMIC STABILITY

Objective: To ensure seismic stability of buildings with different structure schemes in the urban development system. **Methods:** The study deployed calculation mechanism of vibration theory. A group of spatial models of buildings with varying structural schemes was considered. Wave-like properties of buildings' interaction with foundations was taken into account. The study varied buildings' spring characteristics, distances between buildings, different soil conditions. **Results:** It was established that at certain distances between buildings influence of one type of a building on another becomes significant during earthquakes. This influence depends on buildings' dynamic properties and their relative positions. If the distance between buildings is less than 10 metres, seismic load increases. This influence is particularly

noticeable on sandy soils. It was established that most vulnerable are buildings of conditionally “flexible” structure located in the urban development system that consists of conditionally “stiff” buildings, if distances between separate objects is less than nine metres. Mutual influence decreases as distances between buildings increase, without regard for structural schemes. **Practical importance:** Practical recommendations for ensuring seismic stability of buildings that form a part of urban developments are developed on the basis of calculations and theoretical studies. The study proposes to increase seismic stability by using specialised damping elements, such as dry friction dampers. These devices are installed between buildings of relatively “flexible” and relatively “stiff” structural schemes, or between a “flexible” building and a stiff slope. Patents were issued for construction solutions proposed. Introducing damping elements between buildings would increase their indestructibility in cases of seismic impact.

Seismic stability, urban development, buildings located in close proximity, dry friction dampers.

Планировочная структура многих городов, расположенных в сейсмических районах, весьма многообразна, что связано с историческими, национальными, природно-климатическими особенностями, а также с другими факторами.

Структуру многих городов формирует застройка зданий, различных по функциональному назначению, по времени возведения, по этажности, конструктивным и планировочным решениям. Во многих случаях городская застройка ведется в стесненных условиях, обусловленных высокой плотностью жилых кварталов, сложным рельефом, гидрогеологическими и другими условиями строительства. Ситуация осложняется, если приходится переоценивать сейсмичность территории в сторону ее увеличения. В результате в части старой застройки не предусмотрены антисейсмические меры, а в части зданий новой застройки они есть. В таких условиях сложно обеспечить сейсмическую безопасность поведения как отдельных зданий, так и группы объектов в одном комплексе городской стесненной застройки во время сильных землетрясений, о чем свидетельствуют разрушительные землетрясения в нашей стране и за рубежом. Эти землетрясения привели к большому количеству жертв и практически полностью разрушили городские кварталы (рис. 1 [7, 8]).

Одним из подходов к решению этой сложной задачи является использование специальных методов сейсмозащиты. Наиболее эффек-

тивны здесь конструкции с высокими диссипативными свойствами, например, демпферы вязкого или сухого трения, вводимые не только непосредственно внутри или снаружи здания, но и между зданиями. В этом случае одно из зданий, обладающих большей сейсмостойкостью, выступает опорным объектом. Кроме того, таким объектом может служить и недеформируемый скалистый склон или другое массивное сооружение. Приведем результаты исследования сейсмостойкости рядом стоящих зданий с различными конструктивными решениями и представим энергопоглотители в виде демпферов сухого трения.

Методология исследования

Для оценки эффективности применения элементов демпфирования и повышения сейсмостойкости зданий в условиях стесненной городской застройки проведены комплексные исследования.

На первом этапе предварительно оценили влияние стесненных условий на сейсмостойкость зданий городской застройки и проверили необходимость повышения их сейсмостойкости. Исследование выполняли на плоской упругой конечно-элементной модели (рис. 2). Периоды собственных колебаний зданий, с помощью которых варьировали конструктивные решения, изменяли в пределах 0,1–1 с. В качестве фрагмента застройки рассматрива-



Рис. 1. Примеры разрушений зданий разных конструктивных схем:
 а) Кобе (Япония, 1995 г.); б) жилой дом с первым «гибким» этажом в Измите (Турция, 1999 г.);
 в) жилой дом в Измите (Турция, 1999 г.); г) соударение 4-этажных зданий
 (Турция, провинция Ван, 2011 г.)

ли три здания, расположенные друг от друга на расстоянии 0,3–15 м.

В исследовании учитывали взаимодействие зданий с грунтовым основанием, мощность которого была принята около 100 м. Рассматривали волновой характер взаимодействия сейсмических волн со зданиями. Расчеты выполнены под руководством автора статьи совместно с аспиранткой кафедры «Здания» К. В. Блинковой [3].

Результаты и обсуждение

Установлено, что здания, находящиеся в стесненных условиях городской застройки,

при сейсмических воздействиях могут взаимно влиять друг на друга. Характер этого влияния зависит от динамических характеристик зданий, от их взаимного расположения, а также от расстояния между ними. Наиболее существенно это влияние проявляется при расстоянии между зданиями менее 9 м. При этом в наиболее неблагоприятных условиях оказываются здания с периодом собственных колебаний, близким к 1 с, в системе застройки соседних зданий – с периодами колебаний, близкими к 0,2 с. По мере увеличения расстояния между зданиями независимо от их конструктивных решений взаимное влияние снижается. Взаимное влияние зависит также

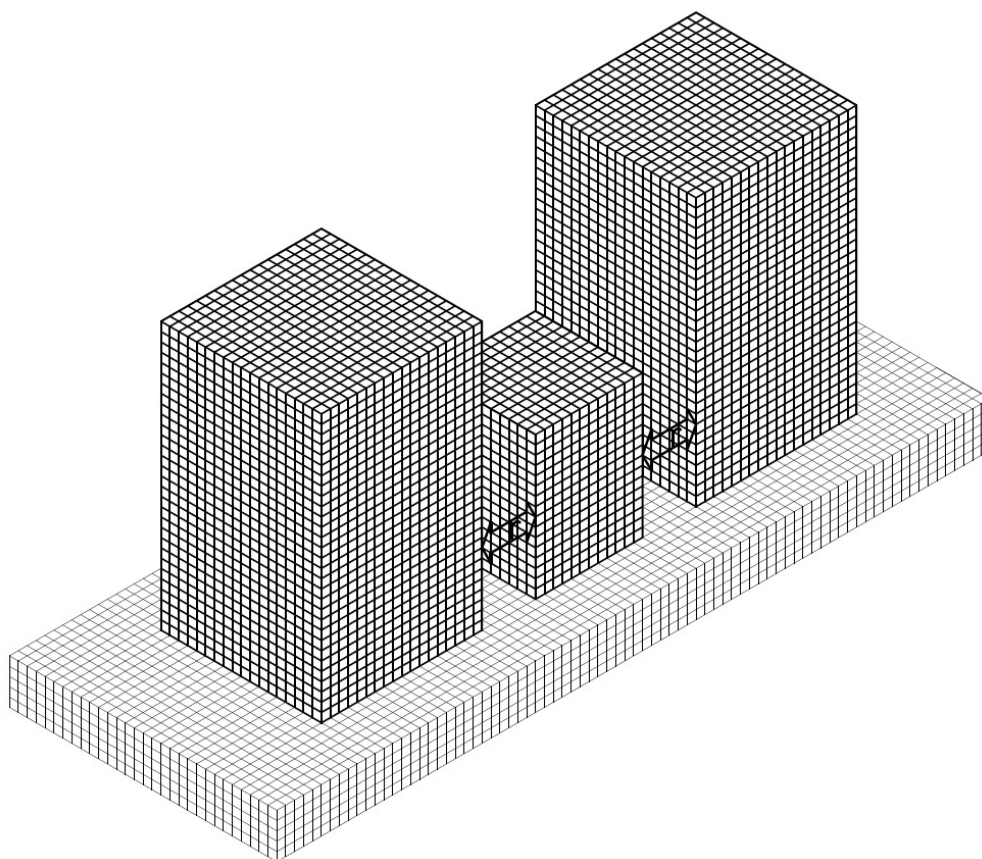


Рис. 2. Расчётная схема, принимаемая в исследовании:
 r – расстояние между зданиями

от грунтовых условий строительной площадки. В ходе исследований установлено, что степень влияния существенно повышается при наличии слабых, водонасыщенных грунтов, например, песков.

Предлагается ограничить негативное влияние грунта на сейсмическую безопасность путем введения между зданиями энергопоглощающих элементов, например, демпферов сухого трения.

На рис. 3 показаны два здания в системе городской застройки, отличающиеся друг от друга конструктивными решениями (1 и 2). Одно из зданий является абсолютно жестким, другое имеет значительную податливость. На уровне перекрытий объекты связаны горизонтальными связями 3 в виде опор конечной жесткости. Одним концом опоры жестко соединены с одним объектом в зоне наибольших динамических перемещений, а

другим – с другим объектом через демпферы сухого трения 4 [2].

Непосредственно ландшафт также может быть включен в систему сейсмозащиты. На рис. 4 показана конструкция здания, которое соединено с рядом стоящим недеформируемым склоном с помощью горизонтальных галерей.

В фундаментную часть горизонтальных пешеходных галерей вводятся демпфирующие элементы в виде демпферов сухого трения, которые представляют собой трущуюся пару, выполненную из железобетонной плиты на сыпучем основании. Фундамент галерей – монолитный железобетонный короб, заполненный прокаленным песком средней крупности. На поверхность песчаного слоя устанавливается монолитная железобетонная плита, на которую через опорную пластину опирается галерея. Предлагаемая

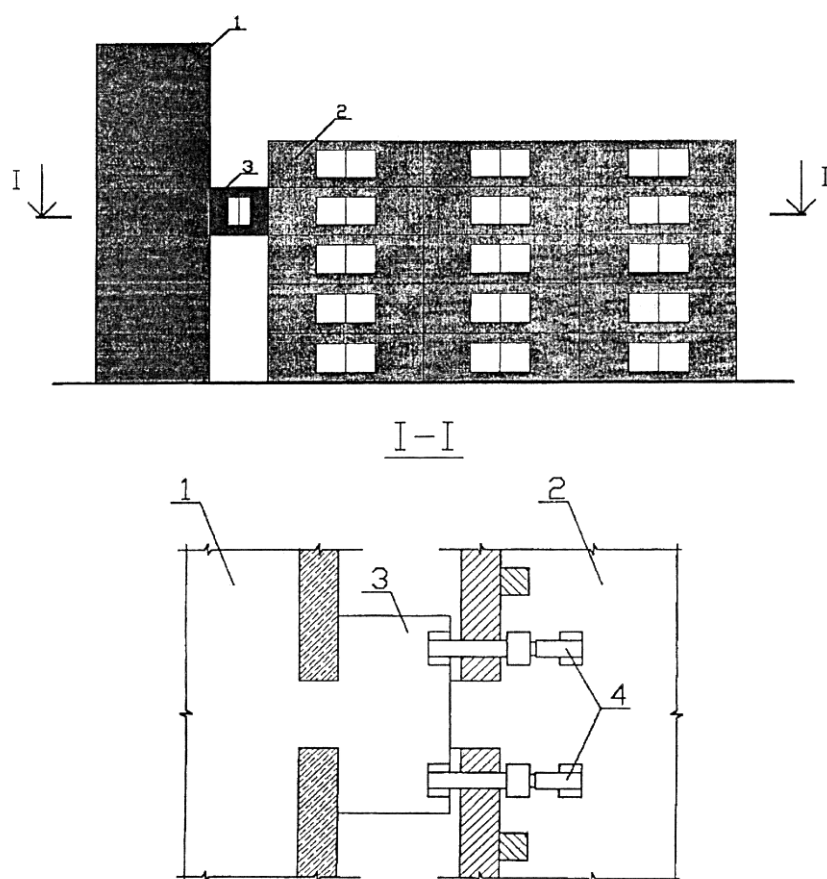


Рис. 3. Пример демпфера сухого трения между зданиями с разными конструктивными схемами

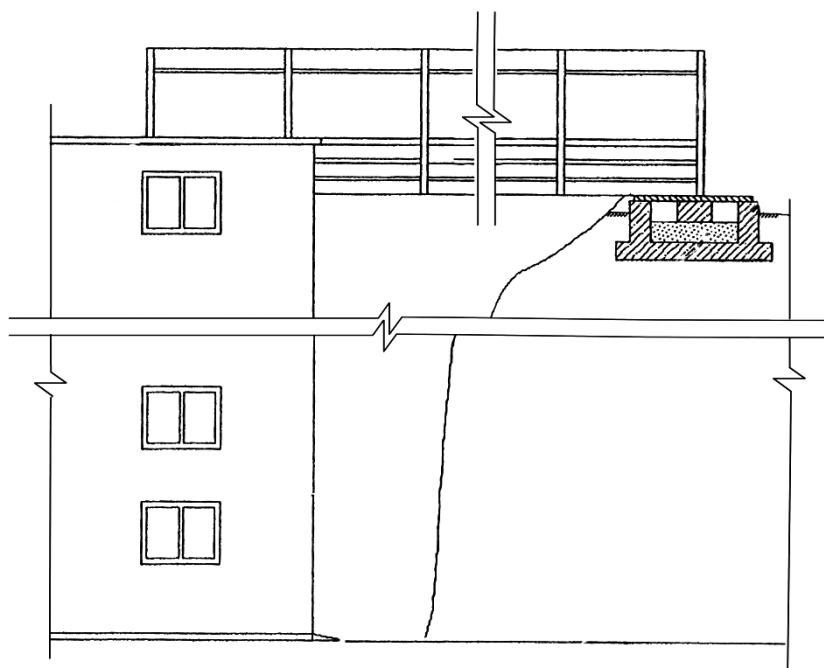


Рис. 4. Пример демпфера сухого трения между зданием и примыкающим к нему склоном

конструкция разработана на кафедре «Здания» ПГУПС [5]. Предварительные расчетные исследования предлагаемых решений подтвердили их положительный эффект [1, 4, 6].

Заключение

Исследования показали необходимость оценивать степень влияния рядом стоящих зданий разных конструктивных решений на их сейсмостойкость. Это влияние наиболее ощутимо при расстояниях между зданиями менее 9 м. При этом в наиболее неблагоприятных условиях находятся объекты, период собственных колебаний которых 0,5 и более с в системе застройки соседних зданий с периодами колебаний, близкими к 0,2 с. Влияние грунтовых условий на сейсмостойкость рядом стоящих зданий существенно на площадках с обводненными песчаными грунтами. Однако учитывая, что грунтовые основания городской застройки весьма разнообразны, степень их влияния на сейсмостойкость зданий, находящихся в стесненных условиях, требует дополнительных исследований.

Комплекс предлагаемых конструктивных решений по реализации энергопоглотителей в виде демпферов сухого трения дает возможность существенно снизить влияние сейсмических воздействий не только в рамках одного здания, но и системы зданий, находящихся в городской застройке. Причем, учитывая разный архитектурный облик зданий, ландшафт местности, можно не только решать задачи сейсмостойкости застройки, но и повышать архитектурно-эстетические возможности сложившихся городских кварталов.

Библиографический список

1. Белаш Т. А. Исследования систем сейсмогашения в конструкциях сейсмозащиты зданий и сооружений / Т. А. Белаш // Вестн. ПГУПС. – 2003. – Вып. 1. – С. 97–101.

2. Белаш Т. А., Блинкова К. В. Многоэтажное сейсмостойкое здание. Пат. на полезную модель RUS 104602, 20.12.2010. МПК E04 H 9/02.

3. Белаш Т. А. Оценка степени влияния рядом стоящих зданий различных конструктивных решений при сейсмических воздействиях / Т. А. Белаш, К. В. Блинкова, С. М. Капустянский // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – № 6.

4. Белаш Т. А. Оценка эффективности сейсмоизолирующего фундамента многоэтажного здания с гибким каркасом и системой поэтажного демпфирования / Т. А. Белаш, И. У. Альберт, Мсалам Маджед // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1999. – Т. 234. – С. 158–164.

5. Белаш Т. А., Блинкова К. В. Устройство для повышения сейсмостойкости сооружения. Пат. на полезную модель RUS 95010, 09.03.2010. МПК E04G 23/04.

6. Белаш Т. А. Эффективность сейсмозащиты здания на сейсмоизолированном фундаменте при опирании поэтажно расположенных энергопоглотителей на невращающийся массив / Т. А. Белаш, И. У. Альберт, Мсалам Маджед // Сейсмостойкое строительство. – 1999. – № 3.

7. Немчинов Ю. И. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / Ю. И. Немчинов, Н. Г. Марьенков, А. К. Хавкин, К. Н. Бабик ; под ред. Ю. И. Немчинова. – Киев : Гудименко С. В., 2012. – 384 с.

8. Немчинов Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений : в 2-х ч. / Ю. И. Немчинов. – Киев, 2008. – 480 с.

References

1. Belash T. A. *Vestnik PGUPS – Bull. of Petersburg Transp. Univ.*, 2003, Is. 1, pp. 97-101.

2. Belash T. A., Blinkova K. V. *Mnogoetazhnoye seysmostoykoye zdaniye* [Multi-storey Aseismic Building]. Utility Model Certificate RUS 104602, 20.12.2010. MPK E04H 9/02.

3. Belash T. A., Blinkova K. V. & Kapustyanskiy S. M. *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy – Aseismic Construction. Structure Safety.*, 2011, no. 6.

4. Belash T.A., Albert I.U. & Msalom Madzhed. *Izvestiya VNIIG im. B. Ye. Vedeneyeva – Proceedings of the B. E. Vedenev All Russia Institute of Hydraulic Engineering*, 1999, T. 234, pp. 158-164.
 5. Belash T.A., Blinkova K. V. *Ustroystvo dlya povysheniya seysmostoykosti sooruzheniya* [Device for Increasing Structure's Seismic Stability]. Utility Model Certificate RUS 95010, 09.03.2010. MPK E04G 23/04.
 6. Belash T.A., Albert I.U. & Msalom Madzhed. *Seysmostoykoye stroitelstvo – Aseismic Constr.*, 1999, no 3.
 7. Nemchinov Yu. I., Maryenkov N. G., Khavkin A. K. & Babik K. N. *Proyektirovaniye zdaniy s zadannym urovnem obespecheniya seysmostoykosti* [Designing Buildings with Specified Level of Ensuring Seismic Stability]; ed. Yu. I. Nemchinov. Kyiv, Gudimenko S. V., 2012. 384 p.
 8. Nemchinov Yu. I. *Seysmostoykost zdaniy i sooruzheniy* [Seismic Stability of Buildings and Structures]; two parts. Kyiv, 2008. 480 p.
- БЕЛАШ Татьяна Александровна – докт. техн. наук, профессор, Belashta@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 681.518.5:004.052.32

В. В. Дмитриев**О ДВУХ СПОСОБАХ ВЗВЕШИВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИИ НА СВОЙСТВА КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ ВЗВЕШЕННЫХ ПЕРЕХОДОВ В СИСТЕМАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ**

Дата поступления: 08.07.2015

Решение о публикации: 22.09.2015

Цель: Исследовать свойства *WT*-кода при двух вариантах взвешивания: весами в виде натуральной последовательности чисел и в виде степеней двойки. В качестве критериев для сравнения выбраны сложность контрольного оборудования и обнаруживающая способность кода. **Методы:** Для изучения свойств обнаружения ошибок в *WT*-кодах при двух вариантах взвешивания моделировали одиночные константные неисправности комбинационных логических устройств с помощью специально разработанного программного обеспечения. Анализ сложности контрольного оборудования производили с помощью программы SIS (A System for Sequential Circuit Synthesis), разработанной в калифорнийском университете Berkeley. В качестве контрольных выбраны шесть тестовых схем из базы LGSynth'89. **Результаты:** Получены формулы зависимости количества контрольных разрядов от количества информационных *WT*-кодов при двух вариантах взвешивания. Установлена связь между рефлексивным кодом Грея и *WT*-кодом с весами в виде степеней двойки. Для двух рассматриваемых взвешенных кодов с параметрами (4,3) приводятся структуры генераторов. На основании моделирования получены сравнительный результат свойств *WT*-кодов по обнаружению неисправностей, а также сравнение сложности контрольного оборудования. **Практическая значимость:** Очевидна возможность применения данных способов кодирования в системах функционального контроля. Но эффективность применения того или иного способа кодирования определяется исключительно топологией и элементами логической схемы.

Техническая диагностика, функциональный контроль, взвешенный код с суммированием, информационный вектор, необнаруживаемая ошибка.

Vyacheslav V. Dmitriyev, teaching assistant, webus@pisem.net, (Petersburg State Transport University)
ON THE TWO WEIGHING METHODS AND THEIR INFLUENCE ON PROPERTIES OF SUM CODES OF WEIGHTED TRANSITIONS IN FUNCTIONAL LOGICAL SCHEME CONTROL SYSTEMS

Objective: To study properties of WT-code in two weighing methods: by scales as a true sequence of numbers and as powers of two. Complexity of control equipment and detection capacity of code were chosen as comparison criteria. **Methods:** Single-stuck faults of combination logical units were simulated by custom-designed software to study the qualities of error detection in WT-codes under the two weighing methods. SIS (A System for Sequential Circuit Synthesis) program, developed at University of California Berkeley, was deployed for analysis of complexity of control equipment. Six test sets from LGSynth'89 database were chosen as control materials. **Results:** Formulae for dependency between the number of control digits and the number of information WT-codes under two weighing options were produced. Correlation between reflexive Gray code and WT-code with scales of powers of two was established. Allocator structures are provided for two of the weighted codes with parameters (4.3). Comparative result of qualities of WT-codes in fault detection and comparison of complexity of control equipment is obtained through simulation. **Practical importance:** These coding methods can obviously be used in functional control systems, however, efficiency of deploying either of the two coding methods is determined exclusively by topology and logical scheme elements.

Technical diagnostics, functional control, weighted code with addition, data vector, undetectable error.

Структура функционального контроля (рис. 1) широко применяется для диагностирования логических схем [10, 14, 15, 19]. Комбинационное логическое устройство, подлежащее контролю, имеет i входов и m выходов. Выходной вектор $\langle f_1 f_2 \dots f_m \rangle$, формируемый данным логическим устройством, является информационным вектором для некоторого систематического кода. Контрольная же часть $\langle g'_1 g'_2 \dots g'_k \rangle$ вычисляется с помощью блока контрольной логики. Для осуществления контроля выходы контролируемой схемы соединяются со входами генератора, форми-

рующего вектор $\langle g_1 g_2 \dots g_k \rangle$, эквивалентный контрольному вектору $\langle g'_1 g'_2 \dots g'_k \rangle$. Значения первого предварительно инвертируются, что позволяет контролировать одноименные парафазные сигналы с использованием самопроверяемого компаратора. В случае обнаружения неисправности нарушается парафазность на выходах $\langle z_1 z_2 \rangle$ компаратора.

Кодирование для диагностирования комбинационных схем существенно отличается от кодирования, используемого при передаче сигналов. Первое различие связано с целью кодирования: при функциональном контроле

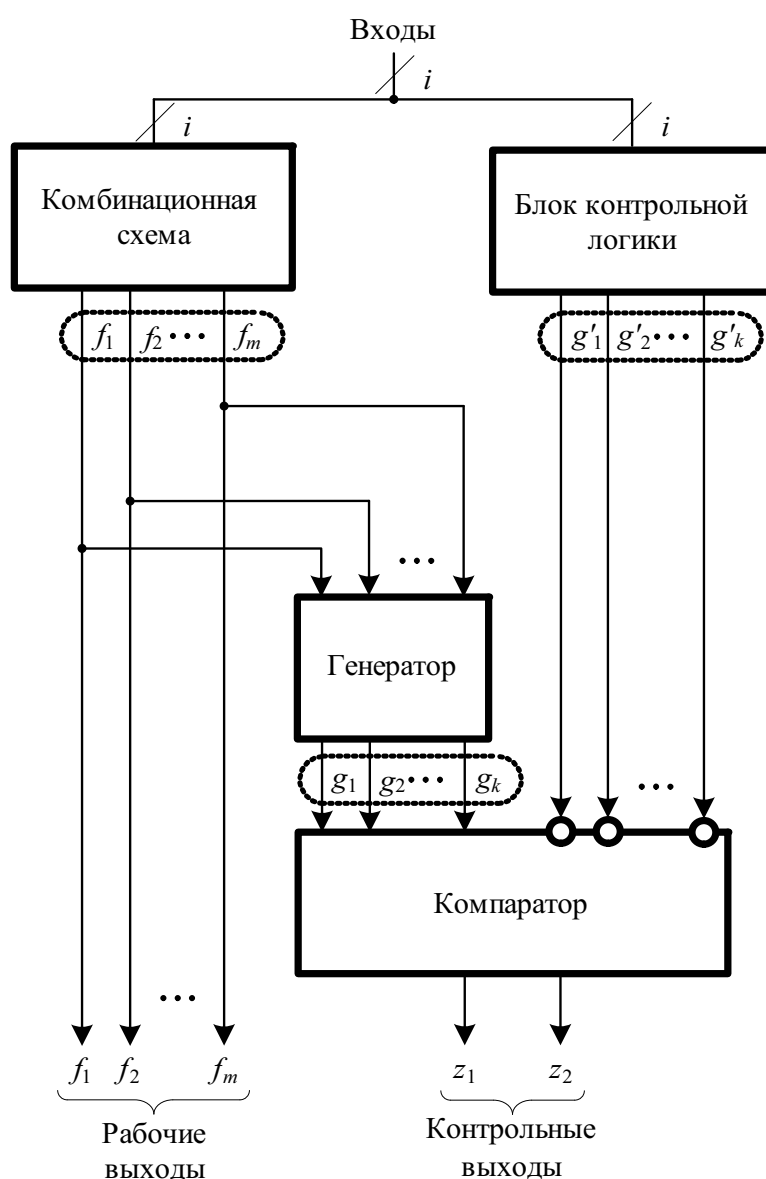


Рис. 1. Структура функционального контроля

достаточно установить факт возникновения неисправности, что аналогично определению факта искажения информационных разрядов в передаваемом сообщении. При этом само сообщение исправлять не требуется. Второе различие связано с формированием на выходе комбинационной схемы не всех возможных наборов. Аналогом в теории связи было бы сокращение множества возможных входных слов. Третье различие заключается в проявлении неисправностей на выходе комбинационной схемы. В зависимости от топологии и элементов схемы одиночная неисправность может искажать разное количество выходов. Таким образом, коды, обнаруживающие ошибки первой и даже второй кратности, в общем случае не гарантируют обнаружения одиночных неисправностей в комбинационной схеме.

При организации системы функционального контроля (рис. 1) часто применяют коды с суммированием [4, 8, 9, 16, 17]. В данной работе описывается перспективный метод построения кода с суммированием, основанный на взвешивании переходов между соседними информационными разрядами [3, 18], позволяющий построить структуры функционального контроля с улучшенными показателями.

Код с суммированием взвешенных переходов

Один из самых известных кодов с суммированием – классический код с суммированием, или код Бергера (обозначим его как $S(m,k)$ -код, где m – длина информационного, а k – контрольного векторов), который строится следующим образом [13]. В контрольный вектор записывается двоичное число, равное количеству единичных информационных разрядов (равное весу r информационного вектора). Правила построения $S(m,k)$ -кода однозначно определяют и его свойства обнаруживать ошибки в информационных векторах, что аналогично ошибкам в значениях разрядов вектора $\langle f_1 f_2 \dots f_m \rangle$ (рис. 1). Кодом Бергера не обнаруживается

любая разнонаправленная ошибка четной кратностью, содержащая одинаковое количество искажений нулей и единиц (любая симметричная ошибка [6]). $S(m,k)$ -кодами не обнаруживается $N_m = C_{2m}^m - 2^m$ ошибок в информационных векторах [11].

Число необнаруживаемых ошибок в $S(m,k)$ -коде достаточно велико, например, любой код Бергера не обнаруживает 50 % двукратных и 37,5 % четырехкратных ошибок в информационных векторах [2]. По данному критерию $S(m,k)$ -код можно сравнить с некоторым оптимальным кодом, для которого достигается минимум количества необнаруживаемых ошибок в информационных векторах при заданных параметрах m и k . Оптимальным является код с равномерным распределением информационных векторов между всеми возможными контрольными векторами. Впервые абстрактный оптимальный код и критерий оптимальности рассмотрены в работе [1]. Примеры оптимальных кодов можно найти в [5, 7].

Кроме сравнительно большого количества необнаруживаемых ошибок в информационных векторах $S(m,k)$ -кодов следует отметить, что сложность технической реализации системы функционального контроля зачастую бывает велика. Это показывают эксперименты с контрольными комбинационными схемами LGSynth'89, разработанными в Университете Калифорнии (Беркли) специально для оценки эффективности вновь разрабатываемых методов технической диагностики [12].

Рассмотрим новый способ модификации кода с суммированием, позволяющий повысить эффективность обнаружения ошибок в информационных векторах при сравнительно небольших аппаратных затратах на реализацию системы функционального контроля. Он основан на идее приписывания весовых коэффициентов из специальной последовательности переходам между разрядами в информационном векторе [21]. Переходом называют два соседних разряда информационного вектора. Если сумма по модулю «два» разрядов, входящих в данный переход, равна единице, то

переход считается активным. Каждому переходу присваивается весовой коэффициент w_i .

Контрольный вектор кода с суммированием взвешенных переходов образуется следующим путем:

$$\langle g_k g_{k-1} \dots g_1 \rangle = \sum_{i=1}^{m-1} (x_i \oplus x_{i+1}) w_i. \quad (1)$$

Очевидно, что особенностью данного подхода к кодированию будет равенство контрольных разрядов для противоположных информационных векторов. В табл. 1 в общем виде записаны выражения для вычисления контрольных разрядов $\langle g_k g_{k-1} \dots g_1 \rangle$, для этого требуется только задать весовые коэффициенты и представить полученное число в двоичном виде. Три столбца в правой части таблицы показывают участие весовых коэф-

фициентов в подсчете контрольного вектора. Примечательно, что полученные значения являются векторами рефлексивного кода Грея [20]. О связи нового кода – обозначим его как $WT(m,k)$ – с рефлексивным кодом Грея написано ниже.

Количество контрольных разрядов зависит от значений весовых коэффициентов и определяется по формуле

$$k = \log_2 \left(\sum_{i=1}^{m-1} w_i \right). \quad (2)$$

С увеличением длины информационной части растет и число контрольных разрядов. Для ограничения количества контрольных разрядов можно применять модульный код с суммированием взвешенных переходов [3, 18].

ТАБЛИЦА 1. Контрольный вектор для $WT(4,3)$

x_4	x_3	x_2	x_1	$\langle g_k g_{k-1} \dots g_1 \rangle$	w_3	w_2	w_1
	w_3	w_2	w_1	В общем виде	Участие весового коэффициента		
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	w_1	0	0	1
0	0	1	0	$w_1 + w_2$	0	1	1
0	0	1	1	w_2	0	1	0
0	1	0	0	$w_2 + w_3$	1	1	0
0	1	0	1	$w_1 + w_2 + w_3$	1	1	1
0	1	1	0	$w_1 + w_3$	1	0	1
0	1	1	1	w_3	1	0	0
1	0	0	0	w_3	1	0	0
1	0	0	1	$w_1 + w_3$	1	0	1
1	0	1	0	$w_1 + w_2 + w_3$	1	1	1
1	0	1	1	$w_2 + w_3$	1	1	0
1	1	0	0	w_2	0	1	0
1	1	0	1	$w_1 + w_2$	0	1	1
1	1	1	0	w_1	0	0	1
1	1	1	1	0	0	0	0

Подробнее свойства кода можно изучить, рассматривая различные способы взвешивания.

***WT(m,k)*-код с весовыми коэффициентами в виде натуральной последовательности чисел**

Вычислим *WT(m,k)*-код с четырьмя информационными разрядами и весовыми коэффициентами в виде натуральной последовательности чисел (табл. 2). Введем обозначение для подобного взвешивания *WTnat(m,k)* для дальнейшего использования.

Количество контрольных разрядов для *WT(m,k)*-кода с весовыми коэффициентами в виде натуральной последовательности чисел:

$$k = \log_2 \left(\frac{m(m-1)}{2} \right). \quad (3)$$

Представим схему генератора для *WTnat(4,3)*-кода (рис. 2). Каскад элементов сложения по модулю «два» вычисляет «активность» переходов. Дальнейшая задача – суммировать активные переходы. Для этого применяют сумматор и полусумматор [9].

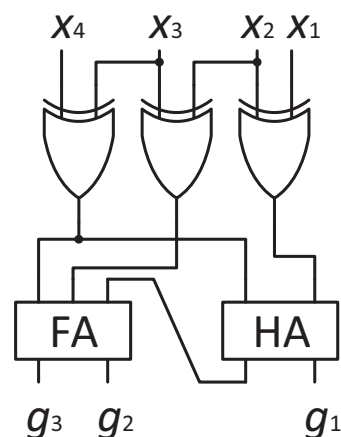


Рис. 2. Структура генератора *WTnat(4,3)*-кода

ТАБЛИЦА 2. Контрольный вектор для *WTnat(4,3)*

x_4	x_3	x_2	x_1	$\langle g_3 g_2 g_1 \rangle$
	w_3	w_2	w_1	$w_i = i, i = 1, 2, \dots, \mathbb{N}$
0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$
0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$
0	0	1	0	$\langle 011 \rangle$
0	0	1	1	$\langle 010 \rangle$
0	1	0	0	$\langle 101 \rangle$
0	1	0	1	$\langle 110 \rangle$
0	1	1	0	$\langle 100 \rangle$
0	1	1	1	$\langle 011 \rangle$
1	0	0	0	$\langle 011 \rangle$
1	0	0	1	$\langle 100 \rangle$
1	0	1	0	$\langle 110 \rangle$
1	0	1	1	$\langle 101 \rangle$
1	1	0	0	$\langle 010 \rangle$
1	1	0	1	$\langle 011 \rangle$
1	1	1	0	$\langle 001 \rangle$
1	1	1	1	$\langle 000 \rangle$

Для анализа свойств кода удобно разбить информационные векторы по соответствующим им контрольным векторам в десятичном представлении [2].

$WTnat(4,3)$ -код не оптимален, информационные векторы не расположены равномерно между контрольными группами (см. табл. 3) [1].

Единственным оптимальным кодом при данном способе взвешивания является $WTnat(3,2)$ -код. $WTnat(4,3)$ -код обнаруживает 8 ошибок второй кратности и 16 ошибок четвертой кратности.

Что повлияло на свойства кода? Распределение векторов между контрольными группами. Оно, в свою очередь, напрямую зависит от значений весовых коэффициентов. Рассмотрим другую последовательность весов, представляющих собой степени 2 ($w_i = 2^{i-1}$).

$WT(m,k)$ -код с весовыми коэффициентами в виде степеней 2

Обозначим $WT(m,k)$ -код с взвешиванием коэффициентами в виде степеней 2 как

ТАБЛИЦА 3. Распределение информационных векторов между контрольными группами

0	1	2	3	4	5	6
0000 1111	0001 1110	0011 1100	0010 0111 1000 1101	0110 1001	0100 1011	0101 1010

ТАБЛИЦА 4. Контрольный вектор для $WTrow(4,3)$ -кода

x_4	x_3	x_2	x_1	$\langle g_3 g_2 g_1 \rangle$
	w_3	w_2	w_1	$w_i = 2^{i-1}, i = 1, 2, \dots, \mathbb{N}$
0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$
0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$
0	0	1	0	$\langle 011 \rangle$
0	0	1	1	$\langle 010 \rangle$
0	1	0	0	$\langle 110 \rangle$
0	1	0	1	$\langle 111 \rangle$
0	1	1	0	$\langle 101 \rangle$
0	1	1	1	$\langle 100 \rangle$
1	0	0	0	$\langle 100 \rangle$
1	0	0	1	$\langle 101 \rangle$
1	0	1	0	$\langle 111 \rangle$
1	0	1	1	$\langle 110 \rangle$
1	1	0	0	$\langle 010 \rangle$
1	1	0	1	$\langle 011 \rangle$
1	1	1	0	$\langle 001 \rangle$
1	1	1	1	$\langle 000 \rangle$

$WTron(m,k)$ -код. Как в предыдущем пункте, построим таблицу истинности для выходов генератора, формирующих контрольный вектор кода $WTron(4,3)$ (табл. 4). В этот раз $w_1 = 1$, $w_2 = 2$, $w_3 = 4$.

Код при таком взвешивании получается оптимальным (табл. 5). Длина контрольного вектора $k = m - 1$, так как максимальное значение контрольного вектора

$$\sum_{i=1}^{m-1} 2^{i-1} = 2^{m-1} - 1, \quad (4)$$

следовательно,

$$k = \log_2(2^{m-1} - 1) = m - 1. \quad (5)$$

Количество контрольных групп всегда будет в два раза меньше количества информационных векторов. В каждой группе будет содержаться по два информационных вектора с максимальным расстоянием Хэмминга, равным m . Общее количество необнаруживаемых ошибок

$$2 \cdot 2^{m-1} = 2^m. \quad (6)$$

Для $WTron(4,3)$ -кода общее количество необнаруживаемых ошибок $2^4 = 16$ с максимальной кратностью, равной четырем.

Если мы посмотрим на контрольные векторы для $WTron(4,3)$ -кода в табл. 4, то увидим,

что каждый следующий контрольный вектор отличается от предыдущего только в одном разряде. Для объяснения данного явления посмотрим на табл. 6, в которой в общем виде для кода $WTron(4,3)$ записаны правила получения разрядов контрольного вектора. Данные правила аналогичны правилам получения разрядов кода Грея [20].

Фрэнк Грей (13.09.1887–23.05.1969) – физик и инженер лаборатории «Bell Labs». Известен своими изобретениями в области телевидения, в том числе кодом, опубликованном в патенте 1953 г. [20]. Рефлексивный код Грея получается из двоичных чисел путем сложения по модулю «два» с тем же числом, сдвинутым вправо на один бит:

$$G_i = x_i \oplus (x_i \gg 1). \quad (7)$$

Очевидно, что при использовании данного кода генератор контрольных векторов будет содержать $(m - 1)$ элемент сложения по модулю «два» с двумя входами. На рис. 3 представлена схема генератора для $WTron(4,3)$ -кода.

Структура генератора на рис. 3 упрощена по сравнению с аналогичной на рис. 2 за счет того, что каждый активный переход влияет только на один контрольный разряд. Следовательно, схема суммирования становится лишней.

ТАБЛИЦА 5. Распределение информационных векторов между контрольными группами

0	1	2	3	4	5	6	7
0000	0001	0011	0010	0111	0110	0100	0111
1111	1110	1100	1101	1000	1001	1011	1000

ТАБЛИЦА 6. Зависимость выходов генератора от входов для $WTron(4,3)$ -кода

Переход	i	$w_i = 2^{i-1}$	g_i
$x_1 - x_2$	1	1	$(x_1 \oplus x_2)$
$x_2 - x_3$	2	2	$(x_2 \oplus x_3)$
$x_3 - x_4$	3	4	$(x_3 \oplus x_4)$

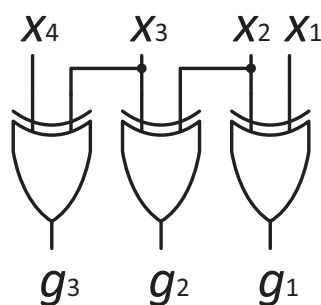


Рис. 3. Структура генератора $WTrow(4,3)$ -кода

примере контрольных схем LGSynth'89 [19]. В качестве параметров для сравнения выберем сложность контрольного оборудования, выраженную в условных единицах, показывающих занимаемую площадь на кристалле и количество необнаруживаемых ошибок.

Контрольное оборудование (см. рис. 1) состоит из генератора, компаратора и дополнительного блока [9]. Сложность контрольного оборудования равна сумме сложностей трех составляющих (табл. 7):

$$L_{\Sigma} = L_{\text{ген}} + L_{\text{доп. б}} + L_{\text{комп.}} \quad (8)$$

Сравнение свойств $WT(m,k)$ -кода для двух типов взвешивания

Сравним свойства $WT(m,k)$ -кода для двух типов взвешивания, описанных выше, на

Результат анализа сложности представлен на рис. 4. Обозначим через $L_{\text{прот}}$ сложность контрольного оборудования для $WT(m,k)$ -кода

ТАБЛИЦА 7. Сравнение сложности контрольного оборудования

Схема	m	Сложности систем функционального контроля									
		$w_i = i, i = 1, 2, \dots, N$					$w_i = 2^{i-1}, i = 1, 2, \dots, N$				
		k	$L_{\text{ген}}$	$L_{\text{доп. б}}$	$L_{\text{комп}}$	L_{Σ}	k	$L_{\text{ген}}$	$L_{\text{доп. б}}$	$L_{\text{комп}}$	L_{Σ}
b1	4	3	472	224	576	1272	3	120	240	576	936
cm42a	10	6	12424	312	1152	13888	9	360	528	2016	2904
cm138a	8	5	5328	296	864	6488	7	280	560	1440	2280
cu	11	6	28864	2144	1152	32160	10	400	1280	2304	3984
x2	7	5	2200	976	864	4040	6	240	928	1152	2320
z4ml	4	3	472	3272	576	4320	3	120	1160	576	1856

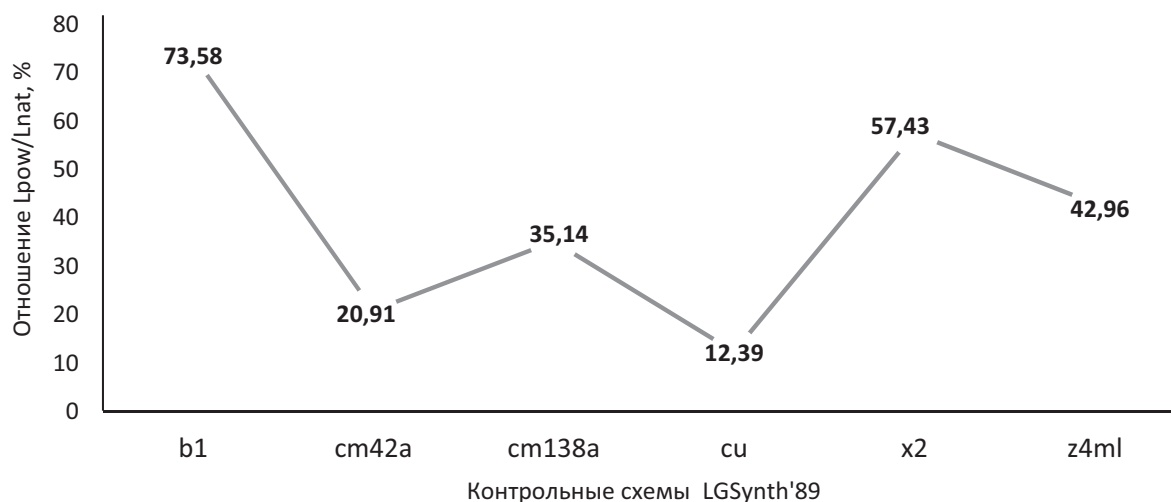


Рис. 4. Отношение сложностей контрольного оборудования, %

ТАБЛИЦА 8. Сравнение количества необнаруживаемых ошибок

Схема	Необнаруживаемые ошибки на выходах контрольных схем			
	$w_i = i, i = 1, 2..N$		$w_i = 2^{i-1}, i = 1, 2..N$	
	Кратность	Количество	Кратность	Количество
b1	1–4	0	1–4	0
cm42a	1–10	0	1–10	0
cm138a	1–8	0	1–8	0
cu	2	96	1–11	0
x2	2	10	1–7	0
	3	24		
z4ml	2	8	1–4	0

при взвешивании степенями 2. $Lnat$ – аналогичная величина только при взвешивании числами, представляющими собой натуральную последовательность. На оси ординат рис. 4 отложим отношение $\frac{Lpow}{Lnat} \cdot 100\%$, на оси абсцисс – контрольные примеры, для которых выполняется сравнение.

Смоделируем все возможные одиночные неисправности в контрольных примерах и занесем количество наборов, на которых эти неисправности не обнаруживаются, в табл. 8.

Заключение

Способы взвешивания существенным образом влияют как на сложность контрольного оборудования, так и на обнаруживающую способность кода с суммированием взвешенных переходов. В общем случае количество контрольных разрядов у кода $WTpow(m,k)$ больше, чем у кода $WTnat(m,k)$, это объясняет преимущества первого кода с точки зрения обнаруживающей способности (см. табл. 3, 5, 8). Результат сравнения двух этих кодов с точки зрения сложности контрольного оборудования оказался не столь очевиден. Суммарная сложность контрольного оборудования для кода $WTpow(m,k)$ оказалась меньше, чем для кода $WTnat(m,k)$ (см. рис. 4).

Данный результат можно обобщить следующим образом. При диагностировании комбинационных схем количество контрольных разрядов не может являться критерием для сравнения кодов между собой. На примере двух вариантов взвешивания WT -кода мы увидели, что количество контрольных разрядов не определяет сложность контрольного оборудования.

Библиографический список

1. Блюдов А. А. Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34, № 6. – С. 17–29.
2. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
3. Мехов В. Б. Контроль комбинационных схем на основе модифицированных кодов с суммированием / В. Б. Мехов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 8. – С. 153–165.
4. Сапожников В. В. Взвешенные коды с суммированием для организации контроля логических

устройств / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // *Электронное моделирование*. – 2014. – Т. 36, № 1. – С. 59–80.

5. Сапожников В. В. Исследование свойств кодов Хэмминга и их модификаций в системах функционального контроля / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // *Автоматика на транспорте*. – 2015. – Т. 1, № 3. – С. 311–337.

6. Сапожников В. В. Классификация ошибок в информационных векторах систематических кодов / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 2015. – Т. 58, № 5. – С. 333–343.

7. Сапожников В. В. О способах построения кодов с суммированием с минимальным общим числом обнаруживаемых искажений в информационных векторах / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // *Изв. ПГУПС*. – 2014. – Вып. 1. – С. 82–91.

8. Сапожников В. В. Обнаружение опасных ошибок на рабочих выходах комбинационных логических схем / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // *Автоматика на транспорте*. – 2015. – Т. 1, № 2. – С. 195–211.

9. Сапожников В. В. Самопроверяемые дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.

10. Слабаков Е. В. Самопроверяемые вычислительные устройства и системы (обзор) / Е. В. Слабаков, Е. С. Согомонян // *Автоматика и телемеханика*. – 1981. – № 11. – С. 147–167.

11. Черкасова Т. Х. Обнаружение ошибок в системах автоматики и вычислительной техники с помощью кодов Бергера и его модификаций / Т. Х. Черкасова // *Сб. трудов науч.-практич. конф. «Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов»* / под ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. (в печати).

12. Benchmarks : LGSynth89. – URL : <http://www.cbl.ncsu.edu:16080/benchmarks/LGSynth89/mlexamples>.

13. Berger J. M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // *Inf. and Control*. – 1961. – Vol. 4, N 1. – P. 68–73.

14. Das D. Synthesis of Circuits with Low-Cost Concurrent Error Detection Based on Bose-Lin

Codes / D. Das, N.A. Touba // *J. Electron. Test. : Theory Appl.* – 1999. – Vol. 15, Is. 1-2 (Aug. – Oct.). – P. 145–155.

15. Das D. Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits / D. Das, N. A. Touba // *Proc. of the 17th IEEE VLSI Test Symp.*, Apr. 25-29, 1999, Dana Point. – USA CA : Dana Point, 1999. – P. 370–376.

16. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems : Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.

17. Matrosova A. Yu. Self-Checking Synchronous FSM Network Design with Low Overhead / A. Yu. Matrosova, I. Levin, S. A. Ostanin // *VLSI Design*. – 2000. – Vol. 11, Is. 1. – P. 47–58.

18. Mehov V. Concurrent Error Detection Based on New Code with Modulo Weighted Transitions between Information Bits / V. Mehov, V. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Urganskov // *Proc. of 7th IEEE East-West Design&Test Workshop (EWDWTW'2007)*, Sept. 25-30, 2007, Erevan. – Armenia, Erevan, 2007. – P. 21–26.

19. Nicolaidis M. On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches / M. Nicolaidis, Y. Zorian // *J. Electron. Test. : Theory Appl.* – 1998. – N 12. – P. 7–20.

20. Pat. 2,632,058 U.S. Pulse code communication / F. Gray. March 17, 1953 (filed Nov. 1947).

21. Sapozhnikov V. V. New Code for Fault Detection in Logic Circuits / V. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov // *Proc. 4th Int. Conf. on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems*, St. Petersburg, Russia, June 21-24, 1999. – St. Petersburg, 1999. – P. 693–696.

References

1. Blyudov A.A., Yefanov D.V., Sapozhnikov V.V. & Sapozhnikov V.V. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic Simulation*, 2012, Vol. 34, no. 6, pp. 17-29.

2. Yefanov D.V., Sapozhnikov V.V. & Sapozhnikov V.V. *Avtomatika i telemekhanika – Automatics and Telemechanics*, 2010, no. 6, pp. 155-162.

3. Mekhov V.B., Sapozhnikov V.V. & Sapozhnikov V.V. *Avtomatika i telemekhanika – Automatics and Telemechanics*, 2008, no. 8, pp. 153-165.

4. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V. & Yefanov D. V. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic Simulation*, 2014, Vol. 36, no. 1, pp. 59-80.
 5. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V. & Yefanov D. V. *Avtomatika na transporte – Automatics in Transport*, 2015, Vol. 1, no. 3, pp. 311-37.
 6. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V. & Yefanov D. V. *Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye – Proc. Univ. Instrument Eng.*, 2015, Vol. 58, no. 5, pp. 333-343.
 7. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V., Yefanov D. V. & Nikitin D. A. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2014, Is. 1, pp. 82-91.
 8. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V. & Yefanov D. V. *Avtomatika na transporte – Automatics in Transport*, 2015, Vol. 1, no. 2, pp. 195-211.
 9. Sapozhnikov V. V. & Sapozhnikov V. V. *Samo-proveryayemye diskretnyye ustroystva [Self-checking Discrete Devices]*. St. Petersburg, Energoatomizdat, 1992. 224 p.
 10. Slabakov Ye. V. & Sogomonyan Ye. S. *Avtomatika i telemekhanika – Automatics and Telemechanics*, 1981, no. 11, pp. 147-167.
 11. Cherkasova T. Kh. *Obnaruzheniye oshibok s sistemakh avtomatiki i vychislitelnoy tekhniki s pomoshchyu kodov Bergera i yego modificatsiy [Detecting Errors in Automatics and Computer Systems by Application of Berger Code or Its Modifications]* *Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy bezopasnosti i nadezhnosti mikroprotsessornykh kompleksov"* (Proc. of Sci. and Practical Conf. "Problems of Security and Reliability of Microprocessor Systems"), ed. V. V. Sapozhnikov. St. Petersburg, Petersburg State Transport University, 2015. Pp. 167-172.
 12. Benchmarks: LGSynth89, available at: <http://www.cbl.ncsu.edu:16080/benchmarks/LG-Synth89/mlexamples>.
 13. Berger J. M. *Inf. and Control*, 1961, Vol. 4, no. 1, pp. 68-73.
 14. Das D. & Touba N. A. *J. Electron. Test. Theory Appl.*, 1999, Vol. 15, Is. 1-2 (Aug. – Oct.), pp. 145-155.
 15. Das D. & Touba N. A. *Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits (Proc. of the 17th IEEE VLSI Test Symp., Apr. 25-29, 1999, Dana Point)*. USA, CA, Dana Point, 1999. Pp. 370-376.
 16. Fujiwara E. *Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications*. John Wiley & Sons, 2006. 720 p.
 17. Matrosova A. Yu., Levin I., Ostanin S. A. *VLSI Design*, 2000, Vol. 11, Is. 1, pp. 47-58.
 18. Mehov V., Saposhnikov V., Sapozhnikov V. I. & Urganskov D. *Concurrent Error Detection Based on New Code with Modulo Weighted Transitions between Information Bits (Proc. of 7th IEEE East-West Design&Test Workshop (EWDWTW'2007), Sept. 25-30, 2007, Erevan)*. Armenia, Erevan, 2007. Pp. 21-26.
 19. Nicolaidis M. & Zorian Y. J. *Electron. Test.: Theory Appl.*, 1998, no. 12, pp. 7-20.
 20. Pat. 2,632,058 U. S. *Pulse code communication*. F. Gray. March 17, 1953 (filed Nov. 1947).
 21. Saposhnikov V. V. & Saposhnikov V. I. *New Code for Fault Detection in Logic Circuits (Proc. 4th Int. Conf. on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems, St. Petersburg, Russia, June 21-24, 1999)*. St. Petersburg, 1999. Pp. 693-696.
- ДМИТРИЕВ ВЯЧЕСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ – ассистент, webus@pisem.net (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 621.01

Ф. А. Доронин**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВИНТОВ В СТАТИКЕ И ДИНАМИКЕ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

Дата поступления: 12.05.2015

Решение о публикации: 09.07.2015

Цель: Продемонстрировать возможности применения винтового исчисления при статических и динамических расчетах пространственных механизмов, содержащих замкнутые кинематические цепи и часто называемых. Отмечена значительная роль отечественных ученых в создании, развитии и применении винтового исчисления в различных задачах теории машин и механизмов.

Методы: Решение некоторых задач механики механизмов параллельной структуры основано на использовании принципа возможных скоростей и свойств силовых и кинематических винтов, характеризующих нагруженное состояние механизма. Применение математической среды Mathcad позволяет значительно облегчить численные расчеты.

Результаты: Продемонстрированы способы определения положения мгновенной оси вращения выходного звена (платформы) механизмов параллельной структуры. Показан простой способ построения матрицы жесткости системы, позволяющей определить не только матрицу инерции, но и основные характеристики малых свободных колебаний платформы механизмов параллельной структуры (собственные частоты и формы колебаний) с учетом упругости опорных звеньев. **Практическая значимость:** Продемонстрированы способы определения положения мгновенной оси вращения выходного звена механизма при наличии различных комбинаций связей, наложенных на систему. Предложенная методика позволяет существенно уменьшить трудоемкость расчетов, связанных с определением основных параметров, характеризующих свободные колебания механизмов параллельной структуры.

Винтовое исчисление, силовой винт, кинематический винт, механизм параллельной структуры, мгновенная винтовая ось, относительный момент, плюккеровы координаты.

Feliks A. Doronin, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, doroninfa@hotmail.ru (Petersburg State Transport University) APPLICATION OF THE THEORY OF SCREWS IN THE STATICS AND DYNAMICS OF SPATIAL MECHANISMS OF PARALLEL STRUCTURE

Objective: To demonstrate possibilities of using screw calculus in static and dynamic calculations for spatial mechanisms that contain closed kinematic chains and are frequently designated. The significant role of Russia's researchers in creating, development and application of screw calculus to different tasks of theory of machines and mechanisms is noted. **Methods:** Solution of some tasks of mechanics of parallel structure mechanisms is based on deployment of the principle of virtual velocities and qualities of screws of forces and kinematic screws that characterise a mechanism's loaded condition. Using Mathcad mathematical environment allows for significant easing of numerical calculations. **Results:** Methods for determination of position of instantaneous axis of rotation of output component (platform) of parallel structure mechanisms are shown. A simple method for construction of matrix of system rigidity which allows to establish not only inertia matrix but also primary characteristics of small-size autonomous oscillations of parallel structure mechanisms' structure (proper frequencies and oscillation modes) that takes into account elasticity of support links. **Practical importance:** The study demonstrated methods of determination of position of instantaneous axis of rotation of a mechanism's output component when different combinations of connections applied to the system are provided. The method proposed allows for significant decrease in complexity of calculations related to determining primary parameters that characterise autonomous oscillations of parallel structure mechanisms.

Screw calculus, screws of forces, kinematic screw, mechanisms of parallel structure, instantaneous screw axis, relative moments, Pluckers coordinates.

Ирландский астроном сэр Роберт Стоелл Болл (1840–1913 гг.) в 1867 г. стал профессором прикладной математики в Королевском Колледже науки в Дублине. Там он читал лекции и писал работы по механике, в которых излагал теорию винтов. За трактат «Теория винтов» [7] Болл в 1879 г. был награжден Королевской ирландской Академией медалью Каннингема, вручаемой раз в три года за выдающиеся результаты в науке. В этом трактате он, опираясь на работы предшественников (в том числе французского математика и механика Луи Пуансо (1777–1859 гг.), французского геометра Мишеля Шаля (1793–1880 гг.), немецких математиков Августа Фердинанда Мёбиуса (1790–1868 гг.), Юлиуса Плюккера (1801–1868 гг.) и Феликса Клейна (1849–1925 гг.)), ввел в механику твердого тела понятие о силовом винте и описал основные операции с силовыми винтами.

Экстраординарный профессор кафедры механики физико-математического факультета Новороссийского университета (с 1905 г. – демократически избранный ректор этого университета) Иван Михайлович Занчевский (1861–1928 гг.) опубликовал работу [4], в которой изложил теорию векторов, линейных комплексов, винтов и их групп, а также приложения теории винтов к механике.

В 1895 г. появился замечательный труд русского математика и механика Александра Петровича Котельникова (1865–1944 гг.) [6], в котором было последовательно изложено винтовое исчисление и впервые сформулирован «принцип перенесения» для векторной алгебры. Принцип перенесения позволяет изучать геометрию одного пространства, используя геометрию другого, более изученного (например, в кинематике этот принцип позволяет установить соответствие между сферическим и свободным движениями твердого тела). Котельникову удалось истолковать все формулы теории кватернионов как «неразвернутые» формулы теории бикватернионов, т. е. установить полную аналогию тех и других формул.

Профессор Боннского университета Эдвард Штуди (1862–1930 гг.) в работе [13] ука-

зывал на связь параболического бикватерниона с группой движений евклидова пространства, а в 1901 г. в фундаментальном труде [12] сформулировал принцип перенесения, постулирующий аналогию между векторными и винтовыми операциями.

Идеи теории винтов были развиты учеником Штуди немецким математиком и механиком Ричардом Эдлером фон Мизесом (1883–1953 гг.). В 1924 г. вышли в свет его работы [9, 10], в которых изложено несколько иное направление теории винтов – моторное исчисление. Достоинством моторного исчисления является то, что оно приспособлено к решению задач динамики, правда, за счет утраты полной аналогии с векторным исчислением, которая характерна для винтового исчисления. Принцип перенесения в этом случае не работает. Мизес рассмотрел ряд приложений, в том числе в механике стержневых систем.

На основе созданного в 1895 г. А.П. Котельниковым винтового исчисления советский математик Д. Н. Зейлигер развил теорию линейчатых поверхностей и конгруэнций [5].

Винтовое исчисление в теории механизмов применил Ф.М. Диментберг. В трудах [1, 2] помимо подробного обзора литературы обстоятельно изложены основы теории винтов и моторного исчисления и приведено множество приложений этих теорий к решению различных задач анализа и синтеза пространственных механизмов.

В 1956 г. появилась статья В. Е. Гью (В. Е. Гауфа) [8], а в 1965 г. – статья Д. Стюарта [11], в которых были описаны принципиально похожие устройства, представляющие собой неподвижное основание, к которому шестью стержневыми опорами прикреплена подвижная платформа. При изменении длины опорных стержней платформа изменяет свое положение в пространстве. Впоследствии эти устройства в научной литературе стали называться платформами Гауфа – Стюарта (гексаподами), а также механизмами параллельной структуры (параллельными механизмами). Механизмы параллельной структуры благодаря своим свойствам (относительно малому

весу, повышенной грузоподъемности, жесткости и высокой точности) применяются в различных областях современного машиностроения. Одним из важных преимуществ механизмов параллельной структуры является то, что они в отличие от традиционных манипуляторов содержат замкнутые кинематические цепи, поэтому воспринимают нагрузку подобно пространственным фермам.

Впоследствии появилось значительное число работ, в которых было показано, что во многих случаях винтовое исчисление оказывается весьма эффективным при исследовании статики, кинематики и динамики механизмов параллельной структуры.

Применение теории групп винтов к определению усилий в абсолютно твердых опорных стержнях платформы

Однородная прямоугольная горизонтальная платформа весом $G = 2500$ Н, находящаяся в покое под действием заданных сил $P = 1000$ Н и $Q = 600$ Н, прикреплена к неподвижному основанию шестью стержневыми опорами 1–6 (рис. 1). Поставим задачу определить усилия S_1 – S_6 в опорных стержнях 1–6 платформы, если известны размеры $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 4$ м.

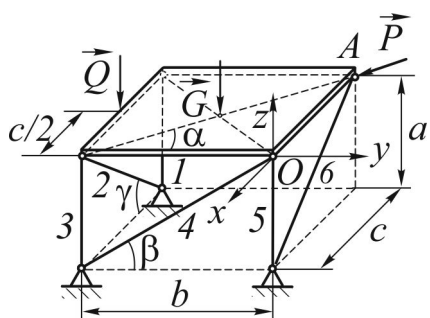


Рис. 1. Схема платформы

Применим принцип возможных скоростей. Согласно принципу освобожденности от связей, мысленно удалим опорный стержень 1 (рис. 2). Платформа получит одну степень свободы, совершая в общем случае

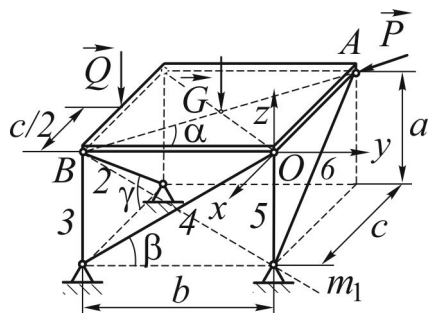


Рис. 2. Схема платформы с удаленным стержнем

винтовое движение, описываемое пока неизвестным кинематическим винтом V_1 . Сохранившиеся стержневые опоры накладывают на винт V_1 следующее условие: скорости шарниров O , A и B должны лежать в плоскостях, перпендикулярных осям опорных стержней. Это означает, что единичные винты нулевого параметра e_2 – e_6 , оси которых совпадают с осями оставшихся стержней 2–6, после приведения к центру O являются взаимными с винтом V_1 и образуют линейный комплекс, определяемый этим винтом.

Будем считать, что все опорные стержни растянуты и единичные векторы e_2 – e_6 направлены от шарниров O , A и B , соответственно. Запишем плюккеровы координаты единичных винтов e_2 – e_6 , приведенных к началу O выбранной системы координат $Oxyz$ (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_2 &= \\ &= (-\cos \gamma \quad 0 \quad -\sin \gamma \quad b \sin \gamma \quad 0 \quad -b \cos \gamma); \\ \mathbf{e}_3 &= (0 \quad 0 \quad -1 \quad b \quad 0 \quad 0); \\ \mathbf{e}_4 &= (0 \quad -\cos \beta \quad -\sin \beta \quad 0 \quad 0 \quad 0); \\ \mathbf{e}_5 &= (0 \quad 0 \quad -1 \quad 0 \quad 0 \quad 0); \\ \mathbf{e}_6 &= (\cos \gamma \quad 0 \quad -\sin \gamma \quad 0 \quad -c \sin \gamma \quad 0). \end{aligned}$$

Перемещения шарниров O , A и B происходят в полярных плоскостях этих стержней. Иными словами, относительные моменты винтов, соответствующих стержням 2–6, с винтом V_1 равны нулю.

Это позволяет составить шесть уравнений с шестью неизвестными, которыми являются плюккеровы координаты единичного винта V_1 (x, y, z, Mx, My, Mz). Пять из этих уравнений представляют собой равенства нулю относительных моментов $V_1 * e_2 = 0$; $V_1 * e_3 = 0$; $V_1 * e_4 = 0$; $V_1 * e_5 = 0$; $V_1 * e_6 = 0$, а шестое уравнение нормирует модуль единичного винта V_1 : $x^2 + y^2 + z^2 = 1$. В рассматриваемом примере эти уравнения принимают вид:

$$V_1 * e_2 = x \cdot b \sin \gamma + y \cdot 0 + z \cdot (-b \cos \gamma) + \\ + Mx \cdot (-\cos \gamma) + My \cdot 0 + Mz \cdot (-\sin \gamma) = 0;$$

$$V_1 * e_3 = x \cdot b + y \cdot 0 + z \cdot 0 + \\ + Mx \cdot 0 + My \cdot 0 + Mz \cdot (-1) = 0;$$

$$V_1 * e_4 = x \cdot 0 + y \cdot 0 + z \cdot 0 + Mx \cdot 0 + \\ + My \cdot (-\cos \beta) + Mz \cdot (-\sin \beta) = 0;$$

$$V_1 * e_5 = x \cdot 0 + y \cdot 0 + z \cdot 0 + \\ + Mx \cdot 0 + My \cdot 0 + Mz \cdot (-1) = 0;$$

$$V_1 * e_6 = x \cdot 0 + y \cdot (-c \sin \gamma) + \\ + z \cdot 0 + Mx \cdot \cos \gamma + My \cdot 0 + \\ + Mz \cdot (-\sin \gamma) = 0;$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1.$$

В данных уравнениях значком «*» обозначена операция вычисления относительного момента двух винтов.

Решая полученную систему уравнений, находим плюккеровы координаты искомого кинематического винта:

$$V_1 = (0 \quad -\cos \beta \quad \sin \beta \quad -a \cos \beta \quad 0 \quad 0).$$

Для определения усилия S_1 по принципу возможных скоростей составим выражение для суммы возможных мощностей сил, действующих на систему, на кинематическом винте V_1 , т. е. найдем относительный момент

силового винта заданных сил P вместе с неизвестным усилием S_1 :

$$P = \begin{pmatrix} P \sin \alpha & -P \cos \alpha \\ -Q - G - S_1 & G \frac{b}{2} + Qb + S_1 b \\ -G \frac{c}{2} - Q \frac{c}{2} - S_1 c & P \cos \alpha c \end{pmatrix}$$

и кинематического винта V_1 :

$$-a \cos \beta \cdot P \sin \alpha + \cos \beta \times \\ \times \left(G \frac{c}{2} + Q \frac{c}{2} + S_1 c \right) + \sin \beta \times \\ \times P \cos \alpha \cdot c = 0; \\ \Rightarrow S_1 = -1550 \text{ Н.}$$

Заметим, что ось кинематического винта V_1 направлена вдоль пунктирной прямой m_1 (рис. 2), которая совпадает с осью Риттера для стержня 1 (сумма моментов всех усилий S_2-S_6 относительно этой оси тождественно равна нулю). Нужно отметить, что в данном случае положение прямой m_1 даже без расчетов легко определяется из геометрических соображений.

Пользуясь аналогичным алгоритмом, находим плюккеровы координаты кинематических винтов V_2 и V_3 , характеризующих возможные движения платформы при удалении опорных стержней 2 и 3:

$$V_2 = (0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0); \quad (1)$$

$$V_3 = \begin{pmatrix} -\sin \alpha & -\cos \alpha & 0 \\ -a \cos \alpha & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Положение мгновенной винтовой оси m_2 платформы в момент удаления стержня 2, определяемое координатами (1), представлено на рис. 3. Как и в первом случае, его легко можно определить геометрическим способом. Для этого необходимо найти прямую линию, которая параллельна стержням 1, 3 и 5 и одновременно пересекает стержни 4 и 6.

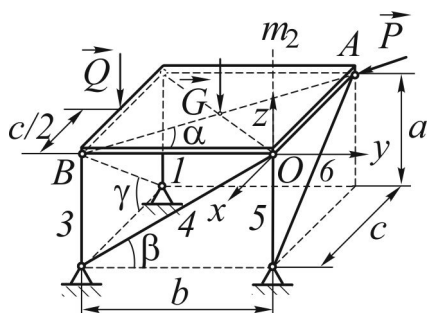


Рис. 3. Положение мгновенной винтовой оси m_1

Плюккерovy координаты (2) определяют мотор мгновенной оси вращения платформы в момент удаления стержня 3 (расстояние между мгновенной осью вращения и мгновенной винтовой осью m_3 определяется по формуле $d = ab^2/(b^2 + c^2)$ [3]). При этом возможность найти геометрическим способом положение мгновенной винтовой оси m_3 платформы (рис. 4) представляется не столь очевидной, как в двух предыдущих случаях.

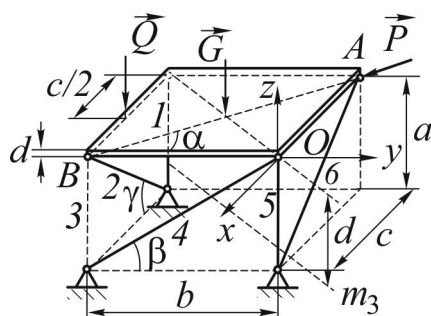


Рис. 4. Положение мгновенной винтовой оси m_2

Пользуясь изложенным алгоритмом, последовательно находим усилия во всех оставшихся опорных стержнях: $S_2 = 894,43$ Н; $S_3 = -700$ Н; $S_4 = -721,11$ Н; $S_5 = -850$ Н; $S_6 = 0$ Н.

Применение винтового исчисления к определению частот малых свободных колебаний платформы

Рассмотрим случай, когда однородная прямоугольная платформа (рис. 5), рассмотренная

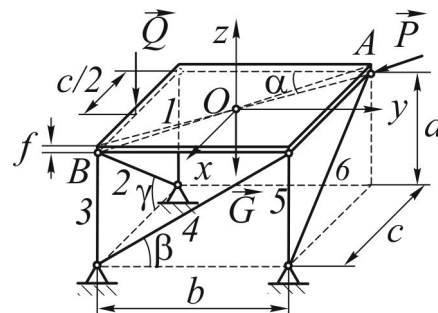


Рис. 5. Схема платформы, опирающейся на упругие стержни

в предыдущем примере, опирается на упругие в продольном направлении стержни S_1 – S_6 с коэффициентами жесткости $c_1 = 10^5$ Н/м, $c_2 = 2 \cdot 10^4$ Н/м, $c_3 = 3 \cdot 10^4$ Н/м, $c_4 = 4 \cdot 10^4$ Н/м, $c_5 = 5 \cdot 10^4$ Н/м и $c_6 = 6 \cdot 10^4$ Н/м, соответственно. На рис. 5 система изображена в положении покоя. В первом приближении пренебрежем сопротивлением движению звеньев механизма.

Выберем систему координат $Oxyz$, начало которой совместим с центром масс O платформы, а оси x , y и z – с ее главными центральными осями инерции. За обобщенные координаты системы примем смещения x , y и z центра масс платформы и углы φ_x , φ_y и φ_z ее поворотов вокруг осей x , y и z , соответственно.

Пренебрежем кинетической энергией стержневых опор 1–6, сообщим системе обобщенные скорости $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$, $\dot{\varphi}_x$, $\dot{\varphi}_y$ и $\dot{\varphi}_z$ и запишем выражение кинетической энергии системы:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^T \mathbf{A} \dot{\mathbf{q}},$$

где $\dot{\mathbf{q}} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{\varphi}_x \\ \dot{\varphi}_y \\ \dot{\varphi}_z \end{pmatrix}$ – вектор-столбец обобщенных скоростей;

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_z \end{pmatrix} - \text{матрица}$$

инерции; m – масса платформы;

$$J_x = \frac{m(f^2 + b^2)}{12}, \quad J_y = \frac{m(f^2 + c^2)}{12},$$

$J_z = \frac{m(c^2 + b^2)}{12}$ – моменты инерции платформы относительно ее главных центральных осей инерции.

Потенциальную энергию системы можно представить в матричной форме:

$$\Pi = \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{C} \mathbf{q},$$

где $\mathbf{C}$ – матрица инерции системы.

Запишем плюккеровы координаты единичных винтов $e_1 - e_6$, приведенных к началу O выбранной системы координат $Oxuz$ (рис. 5):

$$\mathbf{e}_1 = (0 \quad 0 \quad -1 \quad 0,5b \quad -0,5c \quad 0);$$

$$\mathbf{e}_2 = \begin{pmatrix} -\cos \gamma & 0 \\ 0,5b \sin \gamma & -\sin \gamma \\ 0,5c \sin \gamma + 0,5f \cos \gamma & -0,5b \cos \gamma \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{e}_3 = (0 \quad 0 \quad -1 \quad 0,5b \quad 0,5c \quad 0);$$

$$\mathbf{e}_4 = \begin{pmatrix} 0 & -\cos \beta \\ -\sin \beta & -0,5b \sin \beta - 0,5f \cos \beta \\ 0,5c \sin \beta & -0,5c \cos \beta \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{e}_5 = (0 \quad 0 \quad -1 \quad -0,5b \quad 0,5c \quad 0);$$

$$\mathbf{e}_6 = \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & -0,5b \sin \gamma \\ -0,5c \sin \gamma - 0,5f \cos \gamma & -0,5b \cos \gamma \end{pmatrix}.$$

Из этих строк сформируем вспомогательную матрицу Pluck:

$$\mathbf{Pluck} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -\cos \gamma & 0 & -\sin \gamma \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -\cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & 0 & -1 \\ \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma \\ 0,5b \\ 0,5b \sin \gamma \\ 0,5b \\ -0,5b \sin \beta - 0,5f \cos \beta \\ -0,5b \\ -0,5b \sin \gamma \\ -0,5c \\ 0,5c \sin \gamma + 0,5f \cos \gamma \\ 0,5c \\ 0,5c \sin \beta \\ 0,5c \\ -0,5c \sin \gamma - 0,5f \cos \gamma \\ 0 \\ -0,5b \cos \gamma \\ 0 \\ -0,5c \cos \beta \\ 0 \\ -0,5b \cos \gamma \end{pmatrix}.$$

Введем в рассмотрение диагональную матрицу $\mathbf{C}_1$ коэффициентов жесткости упругих стержней

$$\mathbf{C}_1 = \begin{pmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_6 \end{pmatrix}.$$

Искомая матрица жесткости системы определяется формулой

$$\mathbf{C} = (\mathbf{C}_1 \mathbf{Pluck})^T \mathbf{Pluck}.$$

Подстановка выражений для T и Π в уравнения Лагранжа II рода приводит к известному дифференциальному уравнению свободных колебаний системы с n степенями свободы в матричной форме:

$$\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{A}^{-1} \mathbf{C} \mathbf{q} = \mathbf{0}.$$

Для численного решения задачи воспользуемся стандартным пакетом математических программ Mathcad. Вычисления проведем при следующих исходных данных: $m = 254,84$ кг, $J_x = 191,34$ кг·м², $J_y = 340$ кг·м², $J_z = 530,92$ кг·м², $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 4$ м, $f = 0,1$ м.

Собственные частоты системы можно найти с привлечением стандартной процедуры определения собственных чисел матрицы $\mathbf{A}^{-1} \mathbf{C}$:

$$\mathbf{k} = \sqrt{\text{eigenvals}(\mathbf{A}^{-1} \mathbf{C})}.$$

Получаем следующие значения частот свободных колебаний платформы:

$$\mathbf{k}^T = (6,54; 11,35; 16,49; 31,06; 35,84; 62,44) \text{ с}^{-1}.$$

Матрица собственных форм колебаний системы может быть записана в виде:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 75,734 & 0,001 & -0,856 \\ -174,373 & 0,898 & -3,986 \\ 1297,895 & -2,497 & -0,479 \\ -944,475 & -2,084 & -0,091 \\ 73,128 & -0,370 & -1,853 \\ 1 & 1 & 1 \\ -3,222 & 0,296 & 2,095 \\ 0,065 & 0,207 & -3,255 \\ 0,157 & 0,318 & -1,800 \\ 0,026 & 0,228 & -0,401 \\ 0,891 & -0,057 & 3,336 \end{pmatrix}.$$

Заключение

Приведенные в статье примеры применения винтового исчисления к решению задач статики и динамики пространственного механизма параллельной структуры (МПС) иллюстрируют некоторые особенности использования элементов теории винтов при решении подобных задач, а также показывают, что подобная методика позволяет существенно уменьшить трудоемкость расчетов, связанных с определением основных параметров, характеризующих свободные колебания МПС.

Библиографический список

1. Диментберг Ф. М. Теория винтов и ее приложения / Ф. М. Диментберг. – М. : Наука, 1978. – 327 с.
2. Диментберг Ф. М. Теория пространственных шарнирных механизмов / Ф. М. Диментберг. – М. : Наука, 1982. – 336 с.
3. Доронин Ф. А. К вопросу об определении положения мгновенной оси вращения / Ф. А. Доронин // Бюл. результатов научных исследований. – 2013. – Вып. 3 (8). – С. 23–35.
4. Занчевский И. М. Теория винтов и приложения ее к механике / И. М. Занчевский. – Одесса, 1889. – 157 с.
5. Зейлигер Д. Н. Комплексная линейчатая геометрия / Д. Н. Зейлигер. – М. : Гостехиздат, 1934. – 196 с.
6. Котельников А. П. Винтовое счисление и некоторые приложения его к геометрии и механике / А. П. Котельников. – Казань, 1895. – 216 с.
7. Ball R. S. The Theory of Screws : A study in the dynamics of a rigid body / R. S. Ball. – Ireland, Dublin : Hodges, Foster and Co., 1876. – 194 p.
8. Gough V. E. Contribution to discussion of papers on research in Automobile Stability, Control and Tyre performance / V. E. Gough. – Proc. Auto Div. Inst. Mech. Eng., 1956–1957. – P. 392–394.
9. Mises R. Anwendungen der Motorrechnung / R. Mises // Zeitschr. fur angew. Math. und Mech. – 1924. – B. 4, H. 3. – S. 193–213.

10. Mises R. Motorrechnung, ein neues Hilfsmittel der Mechanik / R. Mises // Zeitschr. fur angew. Math. und Mech. – 1942. – B. 4, H. 2. – S. 155–181.

11. Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom / D. Stewart. – Proc. Inst. Mech. Eng., 1965. – P. 1–15.

12. Study E. Von Bewegungen und Umlegungen / E. Study. – M.A. XXXIX Band., 1891.

13. Study E. Geometrie der Dynamen / E. Study. – Lpz., 1901.

References

1. Dimentberg F. M. Teoriya vintov i yeye prilozheniya [Screw Theory and Its Applications]. Moscow, Nauka, 1978. 327 p.

2. Dimentberg F. M. Teoriya prostranstvennykh sharnirnykh mekhanizmov [Theory of Spatial Jointed Mechanisms]. Moscow, Nauka, 1982. 336 p.

3. Doronin F. A. *Byulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy* – Bull. Res. Results, 2013, no. 3 (8), pp. 23-35.

4. Zanchevskiy I. M. Teoriya vintov i prilozheniya yeye k mekhanike [Screw Theory and Its Applications in Mechanics]. Odessa, 1889. 157 p.

5. Zeylinger D. N. Kompleksnaya lineychataya geometriya [Complex Ruled Geometry]. Moscow, Gostekhizdat, 1934. 196 p.

6. Kotelnikov A. P. Vintovoye schisleniye i nekotoryye prilozheniya yego k geometrii i mekhanike [Screw Calculus and Some of Its Applications in Geometry and Mechanics]. Kazan, 1895. 216 p.

7. Ball R. S. The Theory of Screws: A study in the dynamics of a rigid body. Ireland, Dublin, Hodges, Foster and Co., 1876. 194 p.

8. Gough V. E. Contribution to discussion of papers on research in Automobile Stability, Control and Tyre performance. *Proc. Auto Div. Inst. Mech. Eng.*, 1956–1957, pp. 392-394.

9. Mises R. Anwendungen der Motorrechnung. *Zeitschr. fur angew. Math. und Mech.*, 1924, B. 4, H. 3, ss. 193-213.

10. Mises R. Motorrechnung, ein neues Hilfsmittel der Mechanik. *Zeitschr. fur angew. Math. und Mech.*, 1942, B. 4, H. 2, ss. 155-181.

11. Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom. *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 1965, pp. 1-15.

12. Study E. Von Bewegungen und Umlegungen. M.A. XXXIX Band., 1891.

13. Study E. Geometrie der Dynamen. Lpz., 1901.

ДОРОНИН Феликс Александрович – канд. техн. наук, доцент, doroninfa@hotmail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 628.3

В. Г. Иванов, А. А. Калачко**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЖДЕЙ МАЛОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ**

Дата поступления: 06.07.2015

Решение о публикации: 08.09.2015

Цель: Получить надежные и доступные для проектных организаций значения интенсивности малых дождей на территории РФ, используемых при расчете систем ливневой канализации без сложной и трудоемкой обработки многолетних данных метеостанции и обоснованного определения объемов дождевого стока, направляемого на очистку. **Методы:** Используются методы экстраполяционной аппроксимации имеющихся данных по дождям средней и большой интенсивности в диапазоне изменения периода однократного превышения расчетной интенсивности дождя 0,5–5 лет и математического моделирования процесса выпадения дождей с графической интерпретацией полученных результатов в виде карт изолиний. **Результаты:** Впервые составлены аппроксимирующие зависимости по расчетным дождям малой интенсивности более чем для 70 городов РФ. На основании анализа имеющихся данных из пяти возможных трендов, предлагаемых системой Microsoft Excel, выбраны наиболее точно описывающие характер распределения экстраполируемых значений интенсивности средних дождей, степенная и полиномиальная линии тренда. Выполнены расчеты и проведена оценка достоверности аппроксимации. Отклонения не превышают 1 %. Рассчитаны осредненные значения интенсивности малых дождей при $p = 0,05$ и 0,1 года, рекомендуемых строительными правилами для определения объемов дождевого стока, направляемого на очистку. По расчетным данным составлены карты изолиний для Европейской части территории РФ. **Практическая значимость:** Уточняются объемы дождевого стока, направляемого на очистку, с учетом географического положения объекта проектирования. Анализ полученных результатов показывает, что для территории Европейской части РФ интенсивность расчетных дождей составляет от 2,5 до 31 мм в зависимости от местоположения объекта, а в сложившейся практике принимается произвольно в диапазоне 5–10 мм, что приводит к значительным погрешностям. Составленные карты изолиний позволяют с минимальными затратами времени и средств получить надежные данные по интенсивности расчетных дождей и обоснованно определить расчетные расходы и объемы дождевого стока при проектировании ливневой канализации населенных мест, промышленных предприятий и транспорта без обработки данных метеостанций. Более точное определение объема дождевого стока, подлежащего очистке, дает истинную картину соотношения производственных и ливневых стоков предприятий, что может существенно повлиять на выбор метода и схемы очистки сточных вод, а также позволит более рационально использовать имеющиеся финансовые ресурсы, обеспечивая гарантированное выполнение экологических требований.

Расчетная интенсивность дождя, объем дождевого стока, математическая экстраполяционная модель, карты изолиний.

***Victor G. Ivanov**, D. Eng., professor, department chairman; **Anastasiya A. Kalachko**, graduate (Petersburg State Transport University) MATHEMATICAL SIMULATION OF LOW-INTENSITY RAINS FOR DRAIN SYSTEM CALCULATION

Objective: To obtain reliable and accessible for design organisations values of intensity of lesser rains in the territory of the Russian Federation, which can be used to calculate the drain systems without complicated and labour-intensive processing of many years of weather station data, and proved determination of volumes of stormwater drainage that is forwarded for sewage treatment. **Methods:**

Extrapolational approximation method is used for the existing data on mid- and higher-intensity rains in variation range of period of non-recurrent exceeding of predicted rain intensity of between six months and five years, as is mathematical simulation of process of rainfall with graphical interpretation of obtained results as isoline maps. **Results:** Approximating dependencies for predicted low-intensity rain rates were compiled for the first time for over 70 cities in the Russian Federation. After analysis of available data, out of five possible trends proposed by Microsoft Excel system the ones that describe distribution character of extrapolated values of mid-intensity rain most precisely are chosen, as well as power and polynomial lines of trend. Calculations are conducted, and approximation dependability is evaluated. Deviations do not exceed 1 per cent. Averaged values of intensity of lesser rains at $p = 0.05$ and 0.1 of year, recommended by construction rules for estimation of volumes of stormwater drainage that is forwarded for sewage treatment, are calculated. Calculation data is used to compile isoline maps for European part of Russian Federation's territory. **Practical importance:** Volumes of stormwater drainage that is forwarded for sewage treatment are estimated more precisely depending on geographical location of a design object. Analysis of obtained results shows that intensity of predicted rains in the territory of European part of the Russian Federation is between 2.5 and 31 mm depending on the location, whereas in common practice it is set randomly at between 5 and 10 mm, which leads to significant errors. Compiled isoline maps allow to obtain reliable data on intensity of predicted rains with minimum time and monetary expenditure, and to reasonably estimate design consumption and volumes of stormwater drainage in designing drain systems in populated locations, factories and transport without processing weather stations' data. More precise estimation of the volume of stormwater drainage that is to be sewage treated provides a true picture of balance between enterprises' industrial and stormwater drainage, which can have significant influence on the choice of a method and a scheme for sewage treatment, and allow to use available financial resources more rationally, permitting guaranteed fulfillment of environmental demands.

Predicted rain intensity, rainfall volume, mathematical extrapolational simulation, isoline maps.

Одна из важнейших экологических задач для предприятий железнодорожного транспорта – очистка загрязненного поверхностного стока (дождевого, талого и поливочного) с их территории. Его объемы в несколько раз превышают объемы производственных сточных вод. Запланированное повышение экологических платежей за сброс в окружающую среду неочищенных или недостаточно очищенных поверхностных стоков и связанная с этим необходимость строительства новых или реконструкции существующих очистных сооружений требуют особого внимания к обоснованному определению расчетных расходов дождевого стока, направляемого на очистку.

отводиться наиболее загрязненная часть поверхностного стока, которая образуется в периоды выпадения дождей, таяния снега и от мойки дорожных покрытий, в количестве не менее 70% годового объема стока. Для территории Российской Федерации это условие выполняется при расчете очистных сооружений на прием стока от малоинтенсивных, часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности дождя $p = 0,05-0,1$ года [3].

Объем дождевого стока от расчетного дождя $W_{\text{оч}}, \text{ м}^3$, отводимого на очистные сооружения с жилых территорий и площадок предприятий, определяется по формуле

$$W_{\text{оч}} = 10 h_a \varphi_{\text{mid}} F, \quad (1)$$

Математическая модель и результаты расчета

В соответствии с нормативными требованиями [2] на очистные сооружения должна

где F – площадь стока, га; h_a – максимальный слой осадков за дождь, сток от которого подвергается очистке в полном объеме, мм; φ_{mid} –

средний коэффициент стока для расчетного дождя [2].

При проектировании очистных сооружений необходимо знать величину h_a при $p = 0,05$ – $0,1$ года. Однако для часто повторяющихся дождей малой интенсивности ($p \leq 0,1$) такие сведения, как правило, отсутствуют, поэтому при проектировании допускается принимать h_a в диапазоне 5–10 мм без привязки этих данных к конкретной расчетной интенсивности дождя p и местоположению объекта канализирования, что вносит значительные погрешности и неопределенность в расчетах мощности проектируемых очистных сооружений в сторону как завышения, так и занижения.

Для решения поставленной задачи (получение расчетных значений h_a при $p = 0,05$ и $p = 0,1$) предложены метод экстраполяции и соответствующая методика, получены аппроксимирующие зависимости. Использованы имеющиеся для территории РФ данные по дождям при $p \geq 0,2$ [1]. Установлено, что наиболее точно имеющиеся данные аппроксимируются степенной зависимостью и полиномом третьей степени:

$$y = ax^b, \quad (2)$$

$$y = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3, \quad (3)$$

где x – период однократного превышения расчетной интенсивности дождя p , год; y – количество суточных осадков, $h_a = H_{\text{сут}}$, мм; a , b – коэффициенты, являющиеся константами, определяющимися в ходе построения зависимости по формуле (2); c_0 , c_1 , c_2 , c_3 – коэффициенты, являющиеся константами, значения которых определяются в ходе построения зависимости по формуле (3).

Для 71 точки территории РФ по уравнениям (2) и (3) получены аппроксимирующие зависимости и методом экстраполяции определены значения $y = H_{\text{сут}}$ для дождей с периодом однократного превышения $p = 0,05$ и $p = 0,1$. Погрешность аппроксимации не превышает 1%.

На основании полученных значений по осредненным данным составлены карты изолиний расчетных величин $h_a = H_{\text{сут}}$ для $p = 0,05$ и $p = 0,1$ для территории РФ (рис. 1–6).

Карты изолиний для территории РФ

Из рис. 1 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для европейской части России при $p = 0,1$ находится в г. Оренбурге (7,1 мм), наибольшее – в г. Йошкар-Оле (16,7 мм).

Из рис. 2 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для европейской части России при $p = 0,05$ находится в г. Оренбурге (5,7 мм), наибольшее – в г. Йошкар-Оле (15,5 мм).

Из рис. 3 видно, что изолинии проведены с интервалом 2 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для Северного Кавказа и приближенных к нему территорий при $p = 0,1$ находится в г. Астрахани (3,7 мм), наибольшее – в г. Сочи (31,1 мм).

Из рис. 4 видно, что изолинии проведены с интервалом 2 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для Северного Кавказа и приближенных к нему территорий при $p = 0,05$ находится в г. Астрахани (2,5 мм), наибольшее – в г. Кисловодске (27,8 мм).

Из рис. 5 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для территории Крыма при $p = 0,1$ находится в г. Алуште (6,5 мм), наибольшее – в г. Джанкое (14,5 мм).

Из рис. 6 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для территории Крыма при $p = 0,05$ находится в г. Алуште (4,7 мм), наибольшее – в городе Джанкое (12,4 мм).

Необходимо отметить, что в целом величина суточного слоя осадков для $p = 0,05$ – $0,1$ года находится в пределах 2,5–31,1 мм для различных регионов европейской части России, Северного Кавказа и Крыма. Из это-

Рис. 1. Карта изолиний Европейской части России для $p = 0,1$

Рис. 2. Карта изолиний Европейской части России для $p = 0,05$

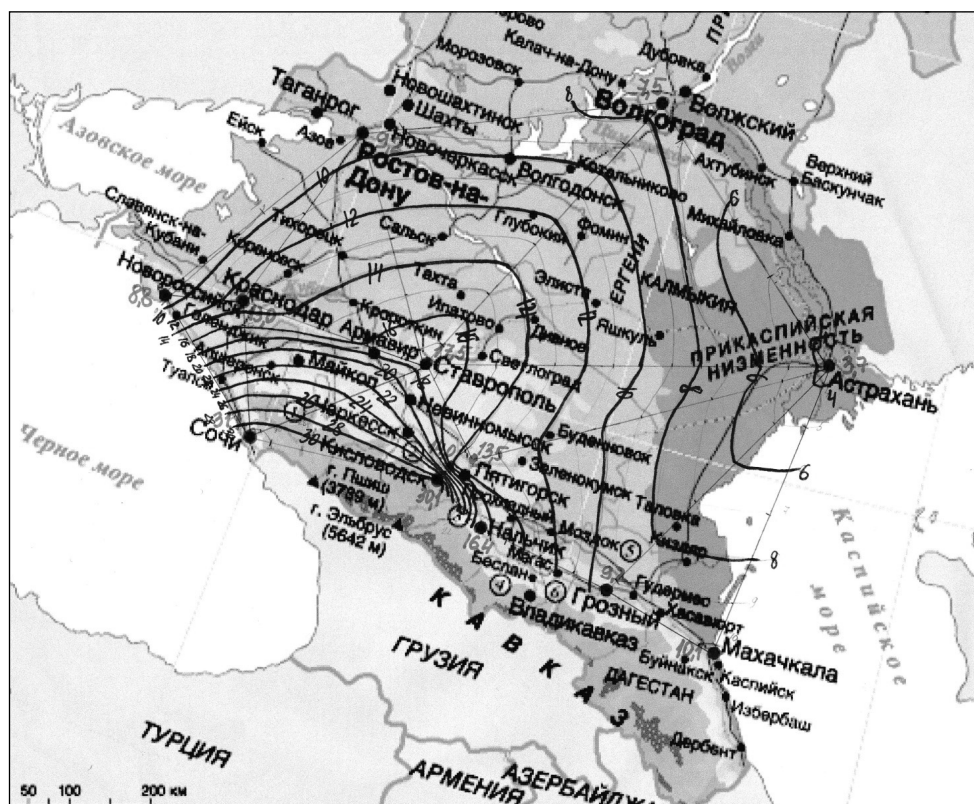


Рис. 3. Карта изолиний Северного Кавказа и приближенной к нему территории для $p = 0,1$

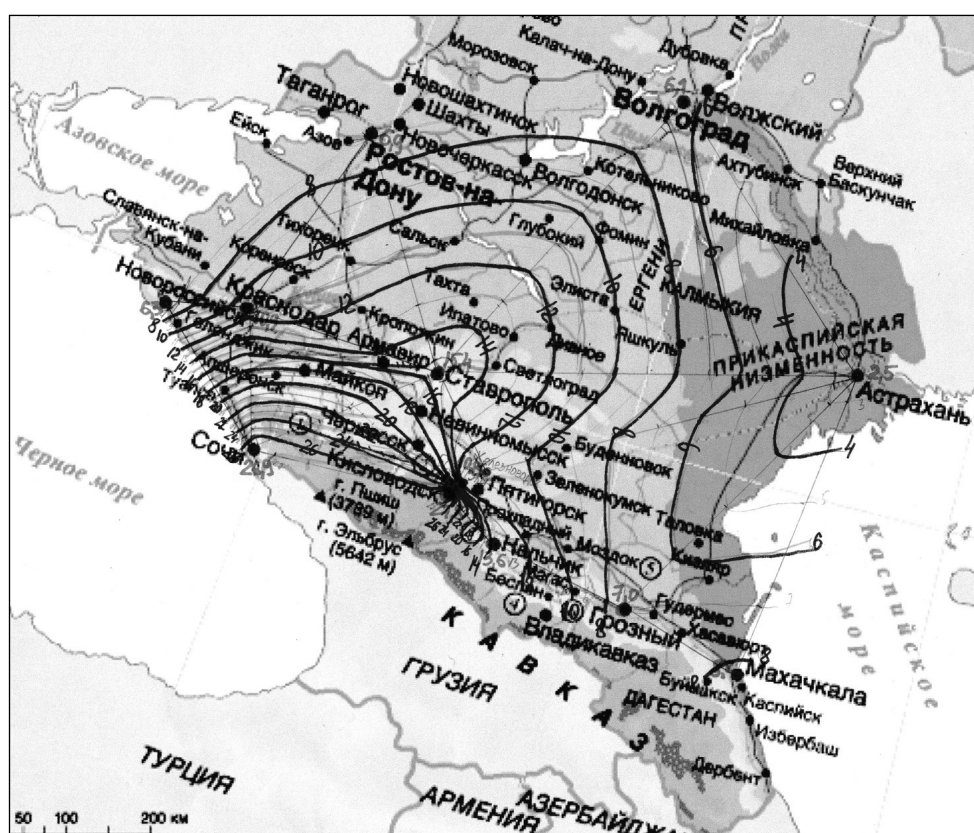


Рис. 4. Карта изолиний Северного Кавказа и приближенной к нему территории для $p = 0,05$

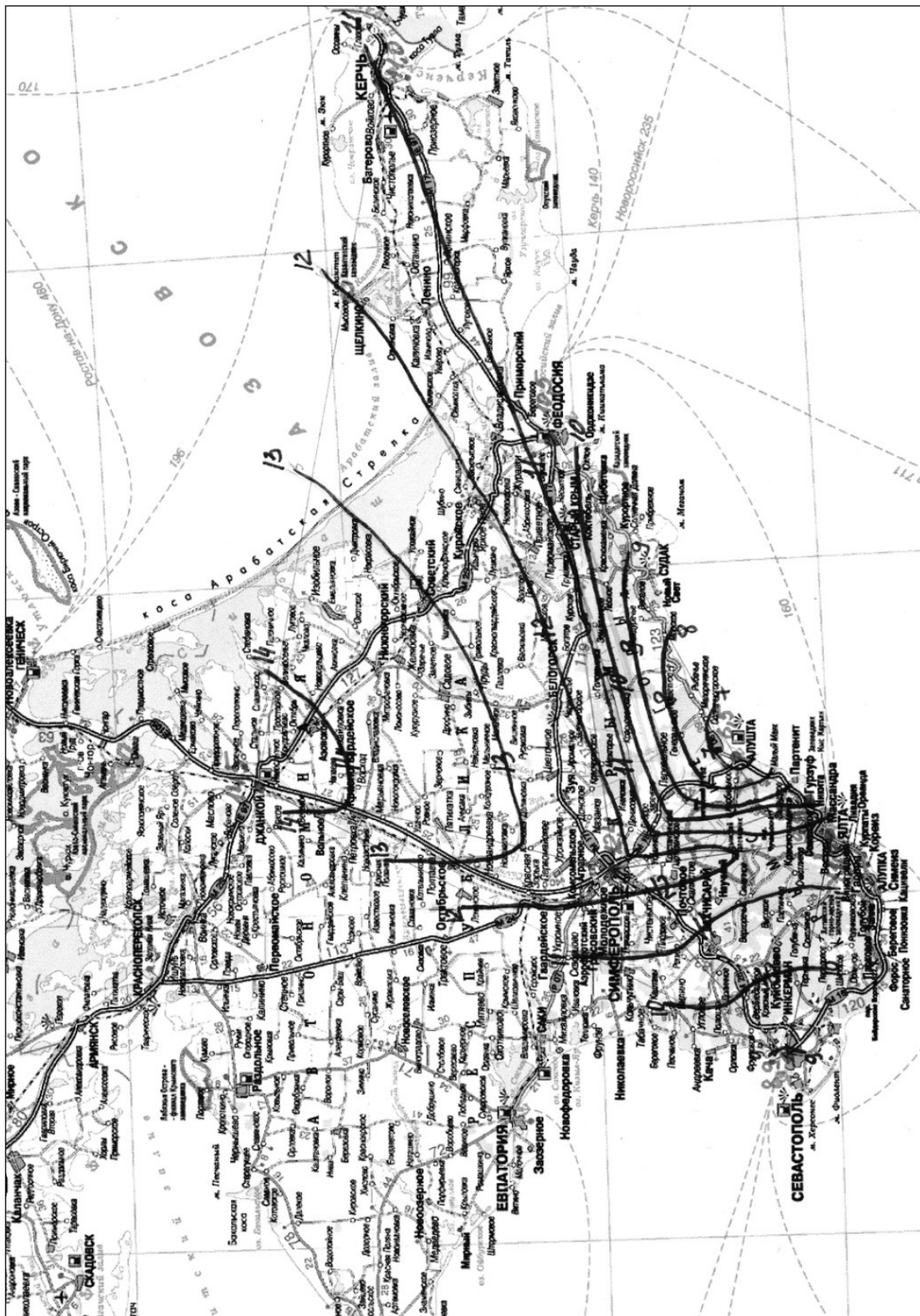
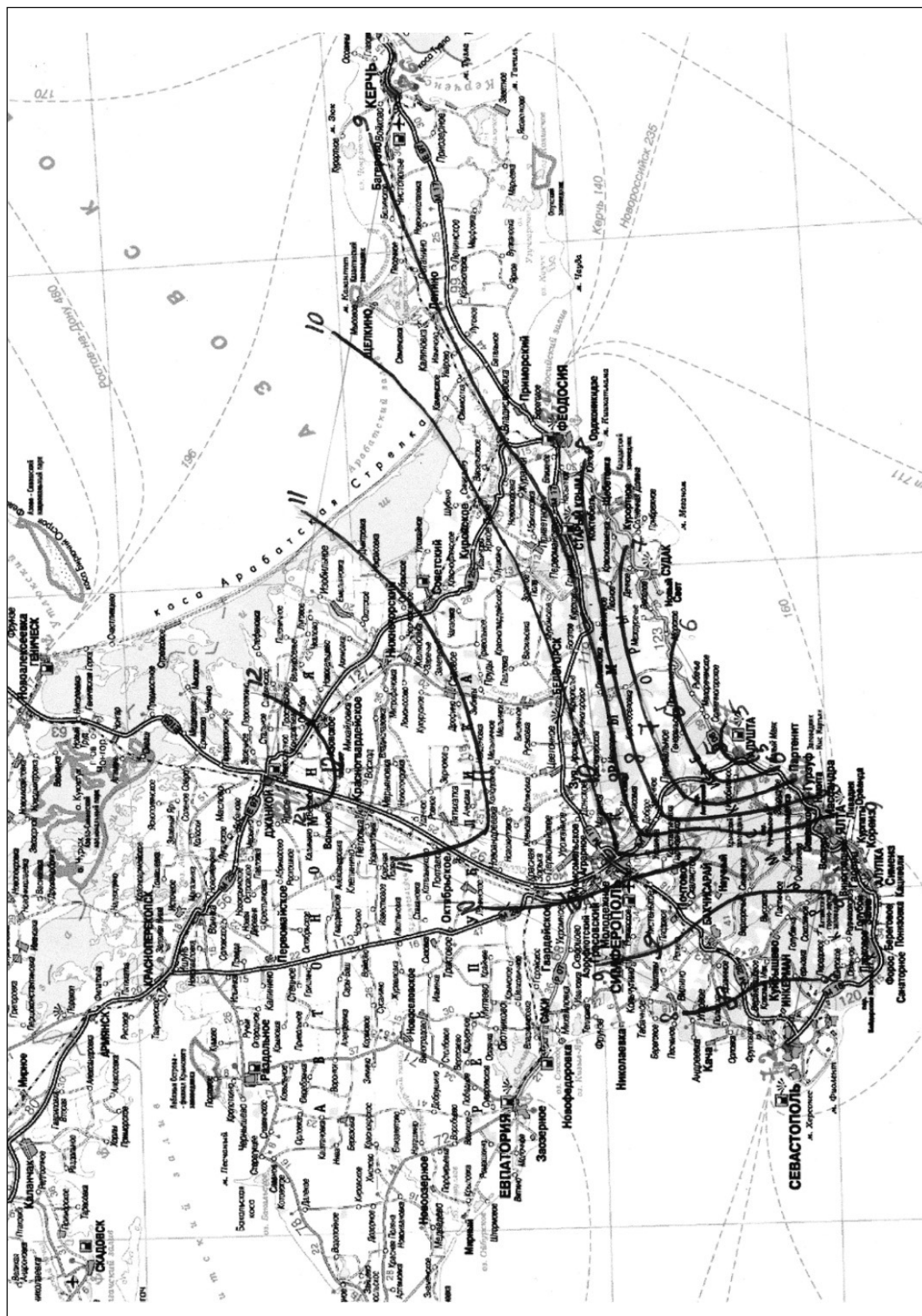


Рис. 5. Карта изолиний Крыма для $p = 0,1$

Рис. 6. Карта изолиний Крыма для $p = 0,05$

го следует, что реальные значения величины слоя осадков в несколько раз отличаются от рекомендованных СНиП 2.04.03-85.

Выводы

Полученные карты изолиний позволяют определить величину слоя осадков в конкретной местности без обработки данных метеонаблюдений, что значительно упрощает и уточняет расчеты при проектировании очистных сооружений. Карты могут быть рекомендованы к внедрению в проектную и учебную практику.

Библиографический список

1. Иванов В. Г. Временные указания по применению, подбору и оценке эффективности работы локальных очистных сооружений «Flotenk» для очистки поверхностных сточных вод / В. Г. Иванов, Н. А. Черников, А. В. Петров и др. – СПб. : Флотенк, 2012. – 102 с.
2. СП 32.13330.2012. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. – М. : Минрегион России, 2012. – 100 с.
3. Швецов В. Н. Рекомендации по расчету систем сброса, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / В. Н. Швецов, М. Г. Журба, В. Г. По-

номарев. – СПб. : Росстрой ФГУП «НИИВОДГЕО», 2005. – 54 с.

References

1. Ivanov V. G., Chernikov N. A., Petrov A. V., Kotlygin A. Ye. & Kobzyev D. V. Vremennyye ukazaniya po primeneniyu, podboru i otsenke effektivnosti raboty lokalnykh ochistnykh sooruzheniy “Flotenk” dlya ochistki poverkhnostnykh stochnykh vod [Temporary Directions for Application, Selections and Efficiency Evaluation of the Operation of Flotenk Local Wastewater Treatment Facilities for Treatment of Surface Water. St. Petersburg, Flotenk, 2012. 102 p.
 2. Svod pravil. Kanalizatsiya. Naruzhnyye seti i sooruzheniya [Code of Practices. Sewerage. Pipelines and Wastewater Treatment Plants]. SP 32.13330.2012. Updated edition of SNiP 2.04.03-85. Moscow, Regional Development Ministry of Russia, 2012. 100 p.
 3. Shvetsov V. N., Zhurba M. G. & Ponomarev V. G. Rekomendatsii po raschetu sistem sbrosa, otvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territoriy, ploshchadok predpriyatiy i opredeleniyu usloviy vypuska yego v vodnyye obyekty [Recommendations for Calculation of Systems for Discharge, Disposal and Treatment of Surface Flow from Residential Areas and Industrial Sites, and for Determining the Conditions of Releasing It into Water Bodies]. St. Petersburg, Rosstroy FGUP “NIIVODGEO”, 2005. 54 p.
- ИВАНОВ Виктор Григорьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой; КАЛАЧКО Анастасия Александровна – выпускник (Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I).

УДК 624.27.8.002

С. Ю. Каптелин, Г. Н. Ростовых

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА
ФРИКЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Дата поступления: 01.07.2015

Решение о публикации: 16.09.2015

Цель: Обеспечить технологичность и надёжность фрикционных соединений. **Методы:** Совершенствование способов контроля усилия при натяжении высокопрочных болтов. В отечественной практике применялись два способа контроля натяжения: закручиванием гайки с обеспечением требуемого крутящего момента (натяжение по крутящему моменту) и поворотом гайки на заданный угол от фиксированного начального положения гайки (натяжение по углу поворота). Второй способ обладает очень низкой точностью и в настоящее время не применяется. Контроль по первому способу предполагает использование динамометрических ключей, требующих регулярной тарировки и работы специально обученного персонала, а использование динамометрических ключей типа ММК, КТР и КМШ с индикатором часового типа ИЧ10 весьма трудоёмко, при этом оценка результата применения субъективна. Трудоемкость работ по устройству фрикционных соединений в значительной мере снижается при использовании гидравлических динамометрических ключей. Однако при их использовании сохраняется проблема прокручивания болтов при вращении гайки. **Результаты:** Недостатки применяемых в настоящее время технологий устройства фрикционных соединений полностью устраняются при использовании высокопрочных болтов с контролем натяжения по срезу торцевого элемента. **Практическая значимость:** Применение таких болтов стабилизирует усилия в болтовых соединениях, упрощает монтажные операции, делает их более производительными и сокращает сроки монтажа.

Фрикционное соединение, высокопрочный метиз, шероховатость контактной поверхности, профилометр, усилие натяжения высокопрочного болта, динамометрический ключ, динамометрическая установка, коэффициент закручивания, высокопрочный болт с контролируемым напряжением.

*Sergey Yu. Kaptelin, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, laboratory head, kaps1962@yandex.ru (Petersburg State Transport University); Grigoriy N. Rostovkykh, senior researcher, _gregg@rambler.ru (Research Institute for Bridges and Defectoscopy) IMPROVING TECHNOLOGIES FOR FRICTION JOINT DEVICES

Objective: To ensure ease of manufacture and reliability of friction joints. **Methods:** Improving methods for force control in stretch of high-strength bolts. In common domestic practice, two stretch control methods were used, by tightening the screw with ensuring required rotational moment (rotational moment stretch) and by turning the screw at a set angle from a specified starting position (turning angle stretch). The latter method is very inaccurate and is no longer in use. The former method requires the use of tension-indicating wrenches that need regular calibration tests and work of specially trained personnel, and using tension-indicating wrenches of MMK, KTR and KMSh types with ICh-10 dial indicator is quite labour-intensive, and evaluation of use result is subjective. Labour intensity of works in friction joint devices is significantly reduced if hydraulic torque wrenches are used but the problem of bolt spinning when screw is being rotated remains. **Results:** Shortcomings of friction joint devices that are in use now are quite eliminated if high-strength bolts with stretch control by end-wall truncation are used. **Practical importance:** The use of such bolts stabilises strain in bolted connections, simplifies assembly operations, makes them more productive, and cuts amount of time required for assembly.

Frictional connection, high-strength hardware, roughness of a contact surface, roughness-measuring instrument, effort of tension of a high-strength bolt, force measurement wrench, force measurement installation, factor of twisting, high-strength bolt with controllable pressure.

Фрикционные соединения на высокопрочных болтах в настоящее время применяются во многих отраслях промышленности, тяжёлого машиностроения, энергетики, строительства зданий и сооружений. Такие соединения надёжны в самых сложных условиях работы конструкции под воздействием различного рода знакопеременных нагрузок: вибрационных, динамических, сейсмических. Высокопрочные болты устанавливаются в конструкциях подъёмных кранов, реакторов, сосудов высокого давления, высокотемпературных резервуаров, насосов, компрессоров, трубопроводов, высотных зданий и мостовых сооружений. Они незаменимы в креплениях подшипников гребных валов судов, корпусов двигателей, ветряных турбин, на подвижном составе железнодорожного транспорта, поэтому в настоящее время интенсивно ведётся поиск новых конструктивных и технологических решений выполнения фрикционных соединений на высокопрочных болтах.

Теоретические основы устройства фрикционных соединений на высокопрочных болтах

Важнейшим достоинством соединений на высокопрочных болтах является их эффективное сопротивление сдвигу соприкасающихся поверхностей соединяемых конструкций. За счёт этого значительно уменьшаются остаточ-

ные перемещения конструкций и увеличивается их несущая способность.

Во фрикционных соединениях, согласно СП 35.13330.2011 [3], расчётное усилие – Q_{bh} , которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, т.е. несущая способность одного болтоконтакта зависит от усилия натяжения высокопрочного болта P и коэффициента трения между контактными поверхностями μ :

$$Q_{bh} = P \mu / \gamma_{bh}, \quad (1)$$

где γ_{bh} – коэффициент надёжности, принимаемый по табл. 8.12 СП 35.13330.2011 или по табл. 42 СП 16.13330.2011 в зависимости от величины μ и количества болтов в соединении.

В соответствии с выражением (1) основными параметрами, обеспечивающими надёжность работы соединений на высокопрочных болтах, являются усилие сжатия контактных поверхностей, создаваемое высокопрочным болтом, и качество подготовки фрикционных поверхностей соединяемых элементов, характеризующееся шероховатостью и коэффициентом трения.

Чем больше шероховатость контактных поверхностей, тем больше коэффициент трения и выше несущая способность фрикционного соединения (рис. 1).

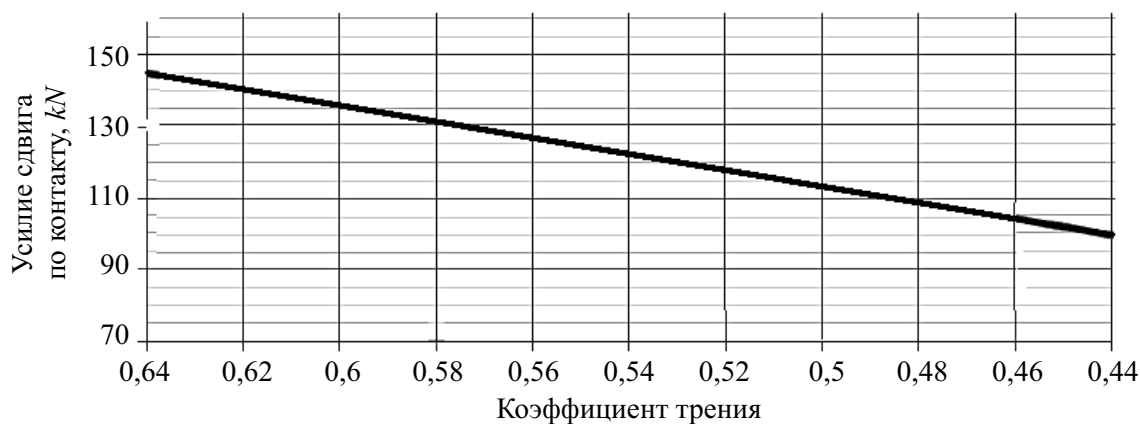


Рис. 1. Зависимость усилия сдвига по контакту от коэффициента трения для фрикционного соединения на болтах диаметром 22 мм

Требуемая шероховатость поверхностей не менее $Rz40$ обеспечивается пескоструйным, дробеструйным, дробеметным и другими способами обработки при изготовлении конструкций.

Шероховатость контролируется механическими, оптическими или цифровыми портативными профилометрами и профилемерами моделей Elcometer 224, TR100, TR200, SurfTest SJ-210, TIME 3220, PosiTector SPG, TQC SP1562, Surtronic 25 и др.

Важнейшей технологической задачей при устройстве фрикционных соединений является обеспечение требуемого усилия сжатия между контактными поверхностями соединяемых элементов конструкции натяжением высокопрочного болта на усилие P , величина которого определяется согласно п. 8.100 СП 35.13330.2011 [3]:

$$P = R_{bh} \cdot A_{bn} \cdot m_{bh}. \quad (2)$$

Расчётное сопротивление высокопрочного болта растяжению R_{bh} зависит от механических свойств, химического состава и способа термообработки стали, используемой для изготовления метизов. Предельно допустимая величина R_{bh} в соответствии с п. 6.7 СП 16.13330.2011 и п. 8.14 СП 35.13330.2011 принимается не более 70% от минимального временного сопротивления высокопрочных болтов разрыву R_{bun} по ГОСТ Р 52627-2006, т.е.

$$R_{bh} = 0,7R_{bun}.$$

Такой уровень предварительного напряжения болтов обеспечивает их надёжную работу на динамические нагрузки, предотвращая возможную потерю выносливости и усталостное разрушение соединений.

Номинальная площадь поперечного сечения болта A_{bn} в формуле (2) зависит от геометрических параметров его резьбовой поверхности и принимается по ГОСТ Р ИСО 898-1-2011.

Коэффициент надёжности m_{bh} в формуле (2) связан со способом контроля натяжения

высокопрочных болтов, принимается равным 0,95 при используемом в настоящее время способе контроля по крутящему моменту.

Значения нормативных усилий натяжения высокопрочных болтов приведены в табл. Е.1 ГОСТ Р 52643-2006. Их необходимо точно соблюдать при сборке фрикционных соединений.

Контроль усилия натяжения высокопрочных болтов при современном строительстве мостов

Наиболее широко распространён метод контроля натяжения болта по крутящему моменту. Для создания проектного усилия натяжения высокопрочного болта P , кН, необходимо приложить крутящий момент, величина которого в Н·м пропорциональна диаметру болта d , мм, и определяется согласно СП 006-97 [4] по эмпирической формуле

$$M_{кр} = kPd.$$

Коэффициент k , называемый коэффициентом закручивания, отражает влияние многочисленных технологических факторов.

На соотношение между крутящим моментом и усилием в болте влияют несколько основных факторов. Во-первых, шероховатость резьбовых поверхностей гайки и болта, определяющая величину сил трения в резьбе при закручивании. Во-вторых, геометрические параметры резьбы, её шаг и угол профиля. В-третьих, чистота соприкасающихся поверхностей шайбы и головки болта или гайки в зависимости от того, какой элемент вращается при натяжении соединения.

Схема расположения контактных поверхностей, влияющих на величину коэффициента закручивания, приведена на рис. 2.

Существенное значение имеют механические свойства и химический состав стали, из которой изготовлены болты, гайки и шайбы, наличие антикоррозионного покрытия, а также

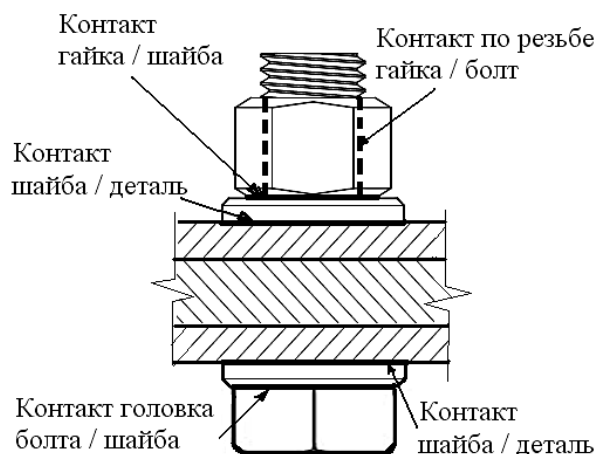


Рис. 2. Схема расположения контактных поверхностей, влияющих на величину коэффициента закручивания

вид смазки резьбовых и контактных поверхностей.

На коэффициент закручивания влияет и то, вращением какого элемента натягивается болт-контакт. СТП 006-97 установлено, что при закручивании соединения вращением болта значение крутящего момента должно приниматься на 5 % больше, чем при натяжении вращением гайки [4].

Воздействие этих многочисленных факторов невозможно определить теоретически, и общей оценочной характеристикой их влияния является устанавливаемый экспериментально коэффициент закручивания.

Для высокопрочных болтов, выпускаемых Воронежским, Улан-Удэнским и Курганским мостовыми заводами по ГОСТ Р 52643... 52646-2006 значения P и $M_{кр}$ для болтов различного диаметра приведены в табл. 2 СТП 006-97 [4]. При этом коэффициент закручивания k принят равным 0,175.

В настоящее время для фрикционных соединений применяются метизы, изготовленные в разных странах, на разных заводах, по разным технологиям и стандартам. Допущены к использованию высокопрочные метизы с антикоррозионным покрытием: кадмированием, цинкованием, омеднением и другим. В этих условиях фактическое значение коэффициента закручивания может существенно отличаться

от нормативных значений, и его необходимо контролировать для каждой партии комплектующих высокопрочных метизов при входном контроле на строительной площадке по методике, приведенной в приложении Е ГОСТ Р 52643 и в приложении А СТП 006-97. Допустимые значения коэффициента закручивания в соответствии с требованиями п. 3.11 ГОСТ Р 52643 должны быть в пределах 0,14–0,2 для метизов без защитного покрытия и 0,11–0,2 – для метизов с покрытием. Погрешность оценки коэффициента закручивания не должна превышать 0,01.

Для определения коэффициента закручивания используют испытательное оборудование, позволяющее одновременно измерять приложенный к гайке крутящий момент и возникающее в теле болта усилие натяжения с погрешностью, не превышающей 1 %. При этом применяются измерительные приборы, основанные на различных принципах регистрации контролируемых характеристик. В качестве такого оборудования в настоящее время используют динамометрические установки типа ДКП-1, УТБ-40, GVK-14m и другие.

Для натяжения болтов на проектное усилие СТП 006-97 рекомендует использовать гидравлические динамометрические ключи типа КЛЦ, автоматически обеспечивающие требуемый крутящий момент с погрешностью, не превышающей 4 %, посредством цепной передачи, приводимой в движение гидроцилиндром.

Однако в настоящее время при строительстве транспортных инженерных сооружений для натяжения высокопрочных болтов, как правило, применяют ручные динамометрические ключи рычажного типа КТР Курганского завода ММК с индикатором часового типа ИЧ 10. Их использование приводит к значительным трудозатратам и физическим перегрузкам рабочих в связи с необходимостью приложения силы от 500 до 800 Н к рукоятке ключа при создании проектной величины крутящего момента в процессе сборки фрикционных соединений на болтах диаметром 16–27 мм. Кроме того, процесс установки

высокопрочных болтов ключами КТР значительно удлиняется из-за необходимости постоянно каждые 4 ч непрерывной работы и не менее двух раз за смену контролировать исправность ключей их тарировкой способом подвески контрольного груза.

Тарирование ключей КЛЦ проводится реже: непосредственно перед их первым применением, после натяжения 1000 и 2000 болтов и затем каждый раз после натяжения 5000 болтов либо в случае замены таких составных элементов ключа, как гидроцилиндр или цепной барабан.

При использовании гидравлических ключей упрощается контроль величины крутящего момента, который осуществляется по манометрам, а специальный механизм в конструкции ключа или насосной станции предотвращает чрезмерное натяжение болта.

Стоит отметить, что затяжка болтов должна происходить плавно, без рывков. Это практически невозможно обеспечить, используя ручные динамометрические ключи с длинной рукояткой, осложняющей затяжку болтов при сборке металлоконструкций в стеснённых условиях. Гидравлические ключи типа КЛЦ обеспечивают плавную затяжку высокопрочных болтов в ограниченном пространстве благодаря меньшим размерам и противомоментным упорам.

В настоящее время в мире разработаны различные модификации гидравлических динамометрических ключей: серии SDW (2 SDW), SDU (05SDU, 10SDU, 20SDU), TS (TS-07, TS-1), TWH-N (TWH27N) и других (рис. 3).

Все модели имеют малогабаритное исполнение, предназначены для работы в труднодоступных местах с ограниченным доступом и обеспечивают снижение трудоёмкости работ по устройству фрикционных соединений.

Для обеспечения требуемой точности измерений необходимо выполнять тарировку оборудования.

Тарировку силоизмерительных устройств контроля натяжения болта в динамометрических установках выполняют на разрывной испытательной машине с построением тарировочного графика в координатах: усилие натяжения болта в кН (тс) – показание динамометра.

Тарировку механических динамометрических ключей типа КМШ-1400 и КПТР-150 производят с помощью грузов, подвешиваемых на свободном конце рукоятки горизонтально закреплённого ключа. По результатам тарировки строится тарировочный график в координатах: крутящий момент в Нм – показания регистрирующего измерительного прибора ключа.

Тарировать гидравлические динамометрические ключи типа КЛЦ-110, КЛЦ-160 и других можно с использованием тарировочного устройства типа УТ-1, конструкция и принцип работы которого описаны в СТП 006-97, приложение К [4].

При использовании динамометрических ключей возникает проблема прокручивания болтов при затяжке гаек, особенно обостряющаяся при применении высокопрочного крепежа, изготовленного по ГОСТ Р 52643–52646.



Рис. 3. Гидравлические динамометрические ключи

По данным «НИИ Мостов и дефектоскопии» установлено, что закрученные гайковёртом болты при дотягивании их динамометрическими ключами до расчётного усилия прокручиваются в 50 % случаев [2]. Причина прокручивания заключается в недостаточной шероховатости контактных поверхностей головки болта и шайбы, подкладываемой под неё.

Новая технология контроля натяжения высокопрочных болтов при устройстве фрикционных соединений

Инновационным решением проблемы контроля крутящего момента для обеспечения нормативного усилия натяжения болтоконтакта является новая конструкция высокопрочного болта с торцевым срезаемым элементом (рис. 4). Геометрическая форма таких болтов отличается наличием полукруглой головки и

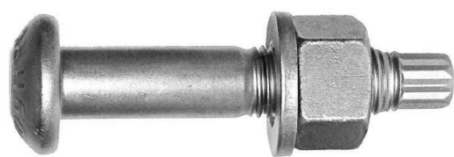


Рис. 4. Комплект метизов с контролем натяжения по срезу торцевого элемента

торцевого элемента с зубчатой поверхностью, сопряжённого со стержнем болта кольцевой выточкой, глубина которой калибрует площадь среза. Диаметр дна выточки составляет 70 % номинального диаметра резьбы.

Высокопрочные болты с контролируемым напряжением Tension Control Bolts (TCB) широко применяются в мире. Их производят в соответствии с техническими требованиями EN 14399-1, с полем допуска резьбы для болтов 6g и для гаек 6 Н по стандартам ISO 261, ISO 965-2, с классом прочности 10.9 и механическими свойствами по стандарту EN ISO 898-1 и с предельными отклонениями размеров по стандарту EN 14399-10.

В нашей стране в ЦНИИПСК им. Мельникова пока разработаны только ТУ 1282-162-02494680-2007 [1, 5]. Метизы новой конструкции не производятся и не применяются.

Конструкция болта с гарантированным моментом затяжки резьбовых соединений основана на связи механических свойств стали при растяжении и срезе. Расчётное сопротивление стали при срезе составляет 58 % от расчётного сопротивления при растяжении, определённого по пределу текучести.

При вращении болта за торцевой элемент муфтой внутреннего захвата ключа происходит закручивание гайки, удерживаемой муфтой наружного захвата ключа. В момент

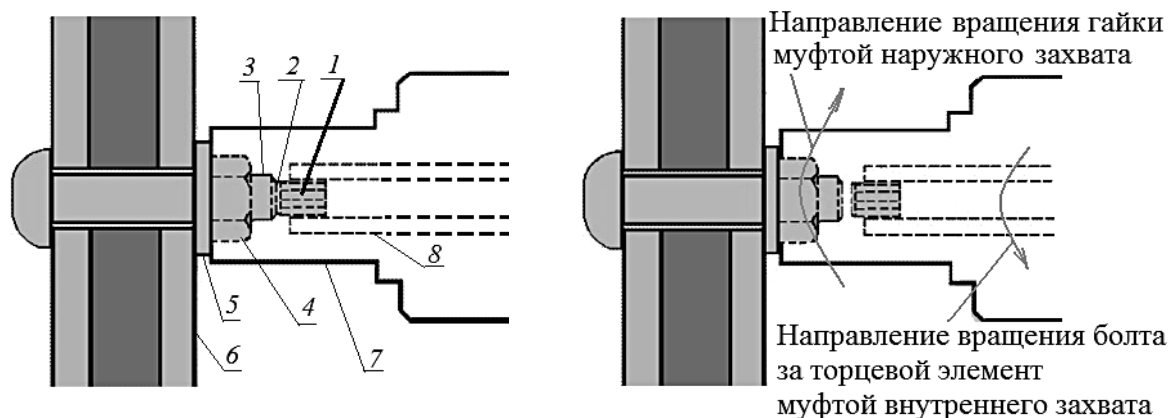
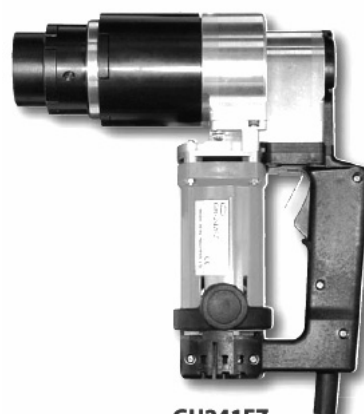


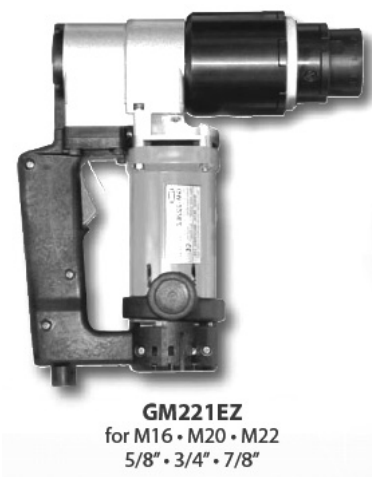
Рис. 5. Схема натяжения болта до и после среза торцевого элемента:
1 – срезаемый торцевой элемент с зубчатой поверхностью; 2 – кольцевая выточка расчётного диаметра; 3 – резьба; 4 – гайка; 5 – шайба; 6 – элемент соединения; 7 – муфта наружного захвата; 8 – муфта внутреннего захвата



GH241EZ
for M16 • M20 • M22 • M24
5/8" • 3/4" • 7/8" • 1"



GHC241EZ
for M16 • M20 • M22 • M24
5/8" • 3/4" • 7/8" • 1"



GM221EZ
for M16 • M20 • M22
5/8" • 3/4" • 7/8"

Рис. 6. Ключи для сборки фрикционных соединений на высокопрочных метизах с контролем натяжения по срезу торцевого элемента

достижения необходимого усилия натяжения болта торцевой элемент срезается по сечению, имеющему строго определённый расчётный диаметр (рис. 5).

Для сборки фрикционных соединений на высокопрочных метизах с контролем натяжения по срезу торцевого элемента применяют ключи специальной конструкции (рис. 6).

Заключение

Применение болтов с контролируемым натяжением срезом торцевого элемента значи-

тельно увеличит производительность работ по сборке фрикционных соединений.

Устойчивая связь между прочностью стали на срез и на растяжение $R_s = 0,58R_y$ позволяет сделать вывод о надёжности такого способа натяжения высокопрочных болтов.

Такая технология натяжения болтов может исключить трудоёмкую и непроизводительную операцию тарировки динамометрических ключей, необходимость в которой вообще исчезает.

Конструкция ключей для установки болтов с контролем натяжения по срезу торцевого элемента не создаёт внешнего крутящего

момента в процессе натяжения. В результате ключи не требуют упоров и имеют небольшие размеры.

Механизм ключей обеспечивает плавное закручивание вращением болта до момента среза концевой части, соответствующего достижению проектного усилия натяжения болта. При этом сборку фрикционных соединений можно производить с одной стороны конструкции.

Головку болта можно делать не шестигранной, а округлой, что упростит форму штампов для ее формирования в процессе изготовления болтов и устранил различие во внешнем виде болтового и заклепочного соединения.

Применение болтов новой конструкции значительно снизит трудоёмкость операции устройства фрикционных соединений, делает её технологичной и высокопроизводительной.

Библиографический список

1. Гладштейн Л. И. Высокопрочные болты для строительных стальных конструкций с контролем натяжения по срезу торцевой части / Л. И. Гладштейн, В. М. Бабушкин, Б. Ф. Какулия, Р. В. Гафуров // Тр. ЦНИИПСК им. Мельникова. Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 5. – С. 11–13.

2. Ростовых Г. Н. И все-таки они крутятся! / Г. Н. Ростовых // Крепеж, клеи, инструмент и... – 2014. – № 3. – С. 41–45.

3. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*.

4. СТП 006-97. Устройство соединений на высокопрочных болтах в стальных конструкциях мостов.

5. ТУ 1282-162-02494680-2007. Болты высокопрочные с гарантированным моментом затяжки резьбовых соединений для строительных стальных конструкций / ЦНИИПСК им. Мельникова.

References

1. Gladshcheyn L. I., Babushkin V. M., Kakuliya B. F. & Gafurov R. V. *Trudy TsNIIPSK im. Melnikova. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo – Proc. of the Melnikov Construction Metal Structures Institute. Industrial and Civil Construction*, 2008, no. 5, pp. 11-13.

2. Rostovykh G. N. *Krepezh, klei, instrument i... – Bolting, Glue, Tools and...* 2014, no. 3, pp. 41-45.

3. Mosty i truby [Bridges and Pipes]. SP 35.13330. 2011. Updated version of SNiP 2.05.03-84*.

4. Ustroystvo soyedineniy na vysokoprochnykh boltakh v stalnykh konstruktsiyakh mostov [Setting up High-Strength Bolt Connections in Steel Constructions of Bridges]. STP 006-97.

5. Bolty vysokoprochnyye s garantirovannym momentom zatyazhki rezbovykh soyedineniy dlya stroitelnykh stalnykh konstruktсий [High-Strength Bolts with Guaranteed Fixing Torque of Screw Joints for Construction Steel Structures]. TU 1282-162-02494680-2007. Melnikov Construction Metal Structures Institute.

*КАПТЕЛИН Сергей Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией, kaps1962@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); РОСТОВЫХ Григорий Николаевич – старший научный сотрудник, _gregg@rambler.ru (НИИ Мостов и дефектоскопии).

УДК 656.073:658.8

О. Д. Покровская, Е. К. Коровяковский**ЛОГИСТИКА ТЕРМИНАЛОВ: ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ
ЛОГИСТИКИ**

Дата поступления: 18.06.2015

Решение о публикации: 20.10.2015

Цель: Рассмотреть процесс проектирования и расчета основных параметров терминальной сети с позиций терминалистики – логики терминальных сетей и инфраструктуры – как выделенного из логистики научно-методологического направления. **Метод:** Использован аналитический метод исследования. **Результаты:** Охарактеризовано многонаправленное проектирование терминальной сети с позиций терминалистики как нового научно-методологического направления. Определены основные направления проектирования и эксплуатации терминальной сети, решаемые терминалистикой. Охарактеризована терминалистика как логистика инфраструктуры – логистика терминальных сетей. Отмечено, что интегрированное методологическое направление, в рамках которого может проводиться комплексный расчет параметров терминальной сети (включая параллельный выбор количества и дислокации логистических центров (ЛЦ), вида транспорта; определение экономического эффекта при использовании прямой и терминальной перевозки, одновидовой и многовидовой доставки), отсутствует, поэтому назрела объективная необходимость выделения самостоятельного направления логистики, а именно – логики инфраструктуры. Предложена методика комплексного расчета параметров терминальной сети, отличительной чертой которой является комплексность определения пространственно-количественных параметров по числу и дислокации в ней ЛЦ и выбора рационального вида (сочетания видов) транспорта. Представлены группы научно-практических задач, решаемых терминалистикой. Приведены графические представления методики расчета параметров и формирования терминальной сети. **Практическая значимость:** Обоснована актуальность и дана характеристика терминалистики как нового научно-методологического направления. Указаны научно-практические задачи, которые способна решить терминалистика. В первую очередь, для транспортной отрасли терминалистика может предложить комплексное решение задачи снижения затрат на перевозку за счет организации рациональной работы терминальных сетей регионов.

Терминалистика, терминальная сеть, логистический центр, оптимальный вариант терминальной сети, пространственно-количественные и транспортные параметры, многоцелевое формирование терминальной сети.

***Oksana D. Pokrovskaya**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, insight1986@inbox.ru (Siberian State Transport University); **Yevgeniy K. Korovyakovskiy**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor (Petersburg State Transport University) **TERMINAL LOGISTICS: PROMISING DIRECTION FOR LOGISTICS**

Objective: To consider the process of designing and calculating basic parameters of a terminal network from the positions of terminalistics (logistics of terminal networks and infrastructure) as a scientific and methodological research area separated from logistics. **Methods:** Analytical research method was used. **Results:** The study characterises multi-directional designing of a terminal network from positions of terminalistics as a new scientific and methodological research area. Chief directions for designing and operating terminal network that are solved by terminalistics are determined. Terminalistics is described as infrastructure logistics, logistics of terminal networks. It is to be noted that an integrated methodological approach, which can be used for comprehensive calculation of parameters of a terminal network (including parallel selection of the number and location of logistical centres, transport types, evaluation of economic effect of direct and terminal transportation, single- or multimodal delivery), does not exist, thus there is an

objective need to separate an independent logistical approach, namely infrastructure logistics. A method for comprehensive calculation of parameters of a terminal network is proposed, with its specific feature being comprehensiveness of allocation of spatial and numerical parameters by number and location of logistical centres in it, and of choice of the rational type (combination of types) of transport. Groups of research and practice tasks that can be solved by terminalistics are presented. Graphical presentations of parameter calculation methods and forming a terminal network are provided. **Practical importance:** The paper provides a justification of current character and provides a characteristic for terminalistics as a new scientific and methodological approach. Research and practice tasks that terminalistics can solve are pointed out. Primarily, for the transport industry terminalistics can offer comprehensive solution of cutting transportation expenses by organising rational operation of regional terminal networks.

Terminalistics, terminal network, logistical centre, best possible terminal network solution, spatial and numerical and transport parameters, multi-purpose forming of a terminal network.

Актуальность новых методологических исследований в области расчета параметров, формирования и организации работы региональных транспортно-логистических систем связана с недостаточными полнотой и комплексностью существующих исследований. В современной транспортной науке до сих пор не развиты интегрированные направления, которые изучали бы такие сложные логистические образования, как терминальные сети.

В отечественной научной литературе имеются разрозненные публикации, посвященные отдельным вопросам создания терминальных систем. Так, вопросам организации и расчета транспортно-грузовых систем посвящены работы О. Б. Маликова, Н. П. Журавлева, Н. И. Бойко, С. П. Чередниченко; механизации погрузочно-разгрузочных работ на автомобильном транспорте – И. И. Ботищева и Г. Н. Дегтярева, комплексной механизации работ – Г. П. Гриневич, Ф. Г. Зуева, И. П. Кривцова, внутреннего технологического проектирования грузовых терминалов и складов – Л. Б. Миротина, В. В. Волгина, А. М. Гаджинского, С. А. Ширяева, В. А. Гудкова; построения и организации логистических систем – В. И. Сергеева, Т. А. Прокофьевой, В. В. Дыбской и многих других.

Однако указанные исследования не ставят задачи выработать единую методологию проектирования и организации работы терминалов в их системе – в терминальной сети.

Эти работы посвящены техническому и технологическому проектированию отдельных комплексов, они не привязаны к более крупным транспортно-логистическим системам и не затрагивают комплексное формирование инфраструктуры на региональном уровне, в частности, логистику терминальных сетей и их многоцелевое использование.

Таким образом, интегрированное методологическое направление, в рамках которого можно проводить комплексный расчет параметров терминальной сети (включая параллельный выбор количества и дислокации логистических центров (ЛЦ), вида транспорта, определение экономического эффекта при использовании прямой и терминальной перевозки, одновидовой и многовидовой доставки), отсутствует. Этот факт обусловил выбор темы и постановку цели данной работы.

В данной работе предложено описание терминалистики как нового актуального методологического направления.

Характеристика терминалистики как логистики терминальных сетей и инфраструктуры

Цель данной работы – рассмотреть процессы проектирования и расчета основных параметров терминальной сети с позиций терминалистики – логистики терминальных сетей и инфраструктуры.

Терминальная сеть региона – совокупность взаимодействующих узлов – ЛЦ, обеспечивающая межрегиональную интеграцию и выходы на транспортные коридоры страны.

Логистический центр – совокупность технологически взаимосвязанных технических объектов, обеспечивающих реализацию услуг сбора груза, формирования и расформирования партий, перегрузки на другие виды транспорта, доставки груза конечным потребителям. Обладая модульно-интегрированной структурой, ЛЦ обеспечивает принципиально новый вид консолидированной услуги перегрузки, дистрибуции и перевозки грузов; создает конкурентные условия для перевозчиков и логистических компаний.

Изучение особенностей проектирования и функциональной структуры ЛЦ возможно в рамках нового единого направления – терминалистики [1, 3].

Для транспортной отрасли терминалистика может предложить комплексное решение задачи снижения затрат на перевозку за счет организации работы логистических центров в составе терминальных сетей таким образом, чтобы обеспечить: 1) рациональный выбор вида транспорта; 2) управление грузопотоками с использованием терминальной технологии; 3) сквозной транспортно-логистический сервис. Это достигается, в первую очередь, за счет эффективной функционально-технологической структуры логистических центров.

Терминалистика – логистика терминальных сетей, инфраструктуры – наука об организации, проектировании, управлении, структуре и конфигурации сетей грузовых терминалов, включая вопросы количества и дислокации узлов, функционально-технологического состава, прогнозной и экспертной оценки, а также транспортную, инфраструктурную, интеграционную, экономическую и экологическую составляющие работы региональных терминальных сетей.

К основным задачам терминалистики относятся:

1) проектирование терминальных сетей, включая определение ее структуры, количе-

ства и дислокации узлов (ЛЦ), внутренней модульной структуры, функционального и технического оснащения ЛЦ;

2) выбор вида (сочетания видов) транспорта для обслуживания терминальных сетей, построение и расчет рациональных схем доставки грузов (включая мультимодальную) через терминальную сеть, интегрированную в сеть транспортных коридоров;

3) разработка альтернативных вариантов транспортно-логистического обслуживания регионов;

4) многофакторная экономико-экспертная оценка эффективности работы терминальных сетей [5].

Для реализации транспортного потенциала России требуется прежде всего развитие транспортно-логистической инфраструктуры страны. В основе этой инфраструктуры лежит в том числе терминальная сеть.

Как многофункциональный оператор, организованный на принципах модульности, ЛЦ способен покрыть весь спектр логистических услуг, используя при этом различные виды транспорта. Концентрация в ЛЦ складских, коммерческих, грузовых, технологических ресурсов способствует эффективному и оперативному взаимодействию всех участников процесса перевозки.

Основная функция ЛЦ связана с переработкой, преобразованием параметров грузопотоков для эффективного продвижения груза потребителям. ЛЦ функционирует на принципах логистического провайдера и объединяет в себе комплекс технических устройств и средств различных видов транспорта, а также выполняет все виды логистической обработки груза и подвижного состава видов транспорта.

Располагаясь в пунктах стыка разных видов транспорта, ЛЦ играют роль транспортно-логистических узлов. Их работа освобождает промышленные предприятия от содержания собственной складской инфраструктуры, что в итоге снижает совокупные затраты по доставке груза.

Целесообразность создания ЛЦ определяется сравнением терминальной и прямой

перевозки грузов по затратам на доставку груза на всем пути следования с учетом качества и условий работы всех участников [2, 6].

Факторы, влияющие на формирование терминальной сети.

Параметры терминальной сети

При проектировании терминальной сети необходимо учитывать ряд факторов.

Приоритетными задачами формирования региональной терминальной сети являются: 1) обеспечение управляемости системы накопления и распределения грузов; 2) повышение эффективности транспортно-логистического сервиса; 3) переход от фрагментарного управления к логистическому пространству, объединяющему все аспекты (транспортные, экономические, информационные, правовые и др.) грузодвиженческой деятельности региона, где ЛЦ будет главным элементом; 4) повышение согласованности работы разных видов транспорта при мультимодальных перевозках; 5) организация качественного транспортного обслуживания потребителей; 6) сокращение конечной стоимости перевозки грузов; 7) рационализация транспортно-хозяйственных связей; 8) квалифицированная подготовка грузовых партий, мониторинг потребностей, анализ рынков производства и сбыта, эффективное распыление потоков; 9) обеспечение ритмичности доставки, непрерывности транспортно-грузовых процессов, взаимодействия между видами транспорта.

Вопросы, которые способна решать терминалистика при формировании и развитии терминальной сети, можно разделить на группы:

1) внешних задач – пространственное позиционирование терминальной сети в транспортно-логистическом кластере (пространственно-количественные параметры терминальной сети); структурирование терминальной сети с учетом имеющейся транспортно-складской инфраструктуры; определение

границ рынка обслуживания и зон покрытия терминальными услугами;

2) внутренних задач – расчет технико-технологических параметров работы ЛЦ (потребные площади, необходимое количество перегрузочной и складской техники, персонала), расчет экономических параметров ЛЦ, функциональное зонирование складских площадей и проектирование грузовых фронтов видов транспорта, стыкуемых в ЛЦ.

К пространственно-количественным параметрам относится количество и дислокация узлов терминальной сети – ЛЦ и зоны тяготения к ним промышленных предприятий. Это позиционирует сеть в едином транспортно-экспедиционном пространстве региона.

К транспортным параметрам относятся: вид транспорта (автомобильный/железнодорожный, выбирается по каждой транспортной связи); вид доставки (одно- или многовидовая); вид перевозки (прямая или терминальная). При этом виды транспортного обслуживания по каждой транспортной связи могут быть различными.

На пространственно-количественные параметры терминальной сети оказывают влияние такие показатели, как размещение и плотность размещения крупных промышленно-транспортных узлов, число и дислокация отправителей и потребителей грузов, насыщенность внутренними и внешними транспортно-хозяйственными связями, имеющаяся складская инфраструктура, мощность и направленность грузопотоков, географическое расположение региона, наличие выходов на транспортные коридоры и ряд других.

На транспортные параметры терминальной сети оказывают влияние такие показатели, как развитие (разветвленность) и состав дорожной сети, наличие магистральных транспортных линий, наличие и развитие видов транспорта в регионе, дислокация и взаимное размещение транспортных узлов как пунктов стыка разных видов транспорта и ряд других. Число и дислокация ЛЦ в терминальной сети обуславливают ее пространственно-количественное решение [6].

Методика многонаправленного формирования терминальной сети

Создание терминальной сети – сложная методологическая задача. Здесь необходимо учитывать интересы всех сторон перевозочного процесса и другие аспекты управления грузодвижением (величину запасов и партии, вместимость склада, территориальное и количественное размещение терминалов, анализ рынков). Кроме того, проблемы проектирования региональной логистической системы, обеспечивающей рациональное грузодвижение, неразрывно связаны с определением числа и дислокации ЛЦ.

Эффективность транспортного обслуживания региональных промышленных потребителей заключается в минимизации затрат, связанных с перевозкой. К ним относятся затраты по доведению груза до конечного потребителя, а именно – на распределение (дистрибуцию, или распыление грузопотоков по направлениям доставки), на промежуточное хранение груза в процессе грузодвижения и затраты непосредственно на перевозку.

При проектировании основных параметров терминальной сети (числа и дислокации терминалов в её составе) следует учитывать не только весь спектр затрат, сопутствующих перевозке, но и многовариантность возможных пространственно-количественных решений сети. Необходимость анализа множества вариантов обусловлена поиском наиболее рационального сочетания количества и дислокации терминалов для сведения затрат к минимуму.

Чтобы найти место расположения узлов терминальной сети, необходимо рассмотреть все крупные промышленно-транспортные центры региона и сделать вывод о целесообразности размещения в нем грузового терминала. При этом изменение числа и/или дислокации терминалов сдвигает зоны обслуживания каждого терминала и изменяет величину затрат, т. е. определяет задачи для поиска рационального решения терминальной сети, формирует

многоцелевой характер (политагетность) создания и расчета терминальной сети.

Предлагается методика многонаправленного формирования и комплексного расчета параметров терминальной сети. Отличительные черты методики – комплексное определение пространственно-количественных параметров по числу и дислокации в ней ЛЦ и выбор рационального вида (сочетания видов) транспорта.

В основу расчетной схемы положена оценочная модель. Эдгар Гувер разработал ставшую традиционной систему размещения складов на территории (типизацию стратегий позиционирования): 1) в местах сбыта; 2) в местах производства; 3) промежуточное, «где-то посередине» [4].

Детализируя данную систему, предлагается оценить все варианты количества и дислокации ЛЦ при организации терминальной сети: 1) по количеству – от 1 до n в регионе; 2) по дислокации – вблизи крупных городов и промышленно-транспортных узлов (рационализация сбора груза у поставщиков); пограничных пунктов выхода из области (рационализация дистрибуции груза потребителям); сочетания ЛЦ, ориентированных как на сбор, так и на дистрибуцию груза.

В свою очередь, дислокация ЛЦ позволяет решить также вопрос технологии его работы: ЛЦ может быть организован при железнодорожной станции с использованием ее резервов и инфраструктуры либо построен на свободной прилегающей к крупным населенным пунктам территории, либо на отчужденной промпредприятиями территории с использованием имеющейся инфраструктуры. Выбор варианта числа и дислокации ЛЦ на территории региона диктуется расположением производителей и транспортными коммуникациями, особенностями потоков и сложностью их дистрибуции.

Выбирается вариант числа и вариант дислокации узлов терминальной сети – ЛЦ. Эти варианты назначаются в крупных промышленно-транспортных узлах с учетом зон тяготения к ним как пунктов выхода из региона,

так и грузообразующих и грузопоглощающих предприятий. Проводится секторное зонирование региона по зонам тяготения к терминалам предприятий. Определяются направления вывоза и мощность грузопотоков по каждому из них. По минимальным расстояниям до пунктов выхода из региона определяются зоны тяготения к терминалам вывозных направлений, т. е. к терминалам прикрепляются вывозные направления.

Границы зон тяготения определены расстоянием перевозок, размещением ЛЦ и пунктов грузообразования. ЛЦ должны быть равноудалены от групп предприятий и приближены к одному из крупных городов для обеспечения инфраструктурой и трудовыми ресурсами.

Для проведения технико-эксплуатационных и экономических расчетов по проектированию терминальной сети в регионе необходимо проанализировать полигон обслуживания: 1) определить основные промышленно-транспортные узлы в регионе и провести секторное зонирование территории в соответствии с размещением этих узлов; 2) выявить особенности регионального транспортно-экспедиционного обслуживания вывоза промышленной продукции и основные направления вывоза продукции (пропорции); 3) оценить развитие автомобильных и железных дорог.

По результатам анализа назначаются пункты, в которых возможна организация ЛЦ. Учитывается географическая близость к пограничным пунктам выхода из региона; взаимное расположение поставщиков продукции, подлежащей вывозу; уровень развития промышленности и дорог.

После того, как определены основные варианты дислокации ЛЦ и их максимальное количество в регионе (как правило, по числу секторов или по два терминала на границах секторов), находят наилучший вариант терминальной сети путем комбинирования сочетаний варианта числа и дислокации узлов (ЛЦ) терминальной сети, а также вид транспорта (сочетание видов), при использовании

которого(-ых) суммарные затраты будут минимальными.

Вариант числа (ВЧ) терминалов – это возможное количество терминалов в регионе (единственный в регионе, два в регионе и т. д.) из всех назначенных.

Дислокация ЛЦ – географическое размещение ЛЦ в соответствии со стратегией числа и со стратегией формирования терминальной сети, рациональное в рамках выбранного критерия оптимальности.

Вариант дислокации (ВД) ЛЦ – это возможное размещение ЛЦ (если он один в регионе) или узлов терминальной сети (если их несколько) из всех назначенных.

Вид транспорта – это вид (сочетание видов) транспорта, средствами которого (которых) транспортное обслуживание варианта опорной терминальной сети (в случае терминальной доставки) или полигона (в случае прямой доставки) осуществляется с наименьшими затратами.

Вариант терминальной сети – это одно из возможных сочетаний числа и дислокации ЛЦ, ВЧ и ВД назначаются экспертом до расчета.

Оптимальный вариант терминальной сети – это сочетание числа и дислокации ЛЦ, вида (видов) транспорта для их обслуживания, затраты по которому минимальны по сравнению с другими возможными вариантами.

ЛЦ сбора (вывозного региона 1) собирают груз у грузоотправителей, группируют грузы и формируют грузовые партии по номенклатуре и направлению перевозки. Входной поток – грузопотоки, централизованно сосредоточенные на ЛЦ от грузоотправителей с учетом зон тяготения к терминалу промышленных предприятий региона. Выходной поток – грузопотоки, предварительно сгруппированные и распределенные по направлениям доставки на терминалы распределения (потребляющего региона).

ЛЦ распределения (потребляющего региона 2) распределяют груз, доводят (распыляют) груз до конечных потребителей. Входной поток – предварительно сгруппированные и распределенные грузопотоки от ЛЦ сбора.

Выходной поток – грузопотоки, распыляемые по региону до конечных потребителей. Направленным перебором оцениваются все возможные ВЧ и ВД терминалов. Если ВЧ предусматривает два терминала в регионе, то оцениваются их все возможные ВД в регионе: например, Город 1 и Город 2, Город 1 и Город 3 из назначенных к анализу пунктов.

Расчеты для всех ВЧ проводятся аналогично. Факторы, влияющие на выбор возможных вариантов дислокации ЛЦ: характер, структура и объем грузопотоков, спрос на

транспортно-логистические услуги, развитие транспортной сети (наличие железной и автомобильных дорог), количество населения; характер, наличие и объем промышленного производства, потребность в многовидовом обслуживании клиентуры [3].

Предлагаемая методика расчета параметров терминальной сети представлена на рис. 1.

Порядок расчета по рис. 1 следующий:

- 1) выбор одного из назначенных ВЧ в регионе;
- 2) расчет транспортных затрат по сбору гру-

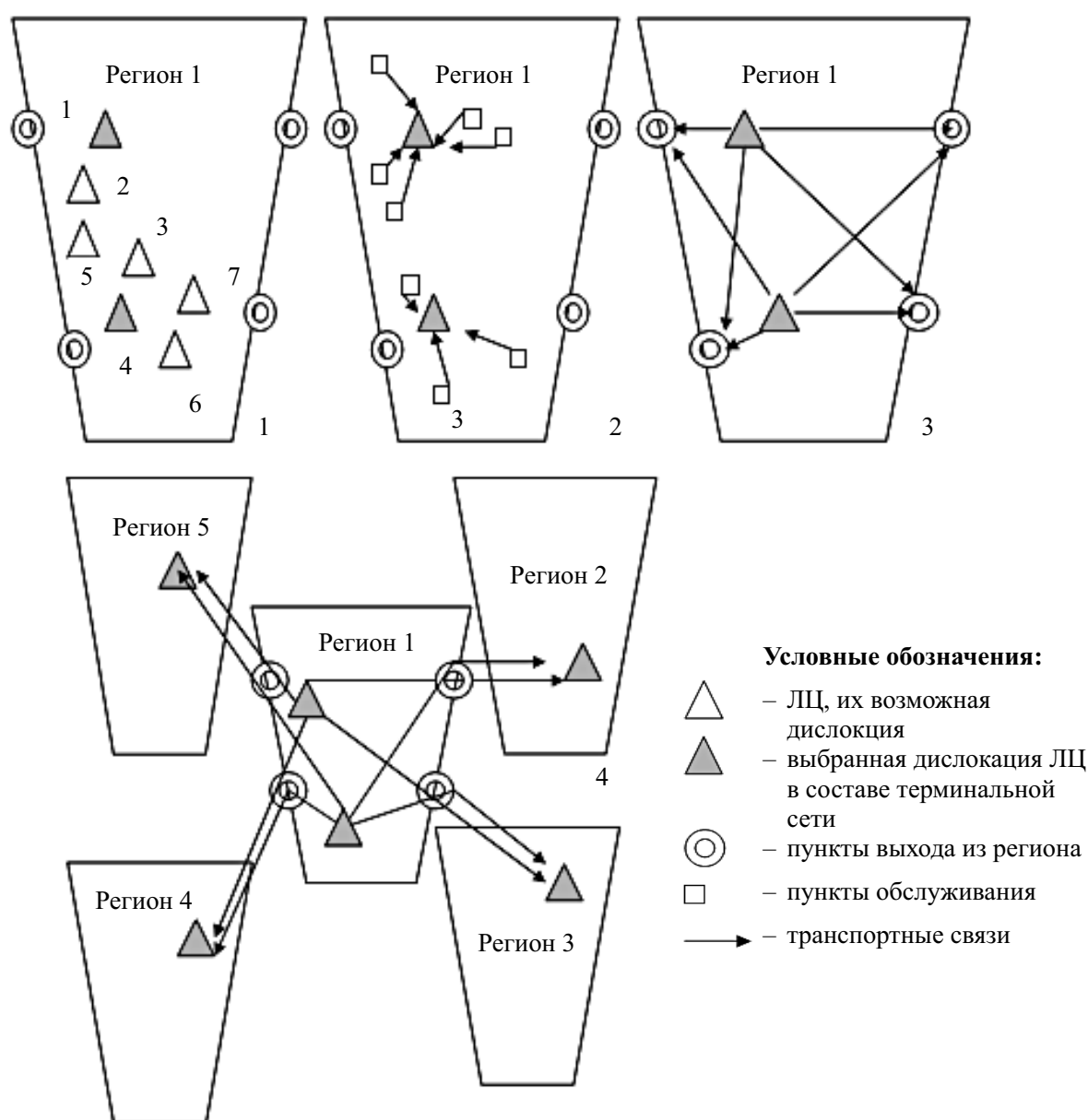


Рис. 1. Процесс расчета показателей терминальной перевозки при варианте «два ЛЦ» в регионе

за с территории региона 1 на ЛЦ; 3) расчет транспортных затрат по распределению груза по направлениям вывоза из региона 1; 4) расчет транспортных затрат по межтерминальной доставке груза от ЛЦ вывозного региона 1 на ЛЦ потребляющих регионов 2, 3 и др.; 5) расчет транспортных затрат по доставке груза конечному потребителю от ЛЦ потребляющего региона до пунктов потребления в потребляющем регионе 2, 3 и др.

В процессе расчета параллельно с технико-экономическими показателями (количеством подвижного состава, транспортными затратами, затратами на строительство ЛЦ) выбирают вид транспорта для эффективного обслуживания терминальной сети. По каждой транспортной связи оценивается целесообразность применения того или иного вида транспорта по критерию минимума затрат и принимается решение о целесообразности многовидового транспортного обслуживания.

Выбирается оптимальный вариант по критерию минимума суммарных затрат на обслуживание перевозок. Поиск решения происходит внутри ВЧ путем расчета технико-экономических показателей каждого ВД и их последующего сравнения. На основе расчета вариантов выбирается один – наилучший. Затем проверяются все возможные ВД для другого ВЧ (например, «два ЛЦ» в регионе) и т. д., пока не будут рассчитаны технико-экономические показатели по всем ВД всех ВЧ. Когда расчеты готовы и внутри каждого ВЧ известен ВД, суммарные затраты при реализации которого минимальны, сравнивают между собой сами ВЧ по тому же критерию – минимум суммарных затрат на обслуживание перевозок.

После определяют целесообразность организации вывоза груза из региона через терминальную сеть. Для этого проводят расчет по терминальной схеме доставки (через сеть терминалов) и по прямой схеме доставки (без использования терминалов, напрямую от производителя к потребителю).

Расчет терминальной доставки включает в себя определение: 1) суммарных затрат на перевозку (сумму транспортных затрат по

сбору груза у производителей вывозного региона; затрат на перевозку по магистральной (межрегиональной) перевозке груза от ЛЦ вывозного региона до ЛЦ или перегрузочных комплексов другого – принимающего – региона; затраты на перевозку по распределению груза от терминалов или перегрузочных пунктов принимающего региона до конечных потребителей этого региона); 2) затрат на строительство необходимого количества ЛЦ в вывозном регионе. Затраты по сбору груза у производителей и затраты на строительство и обслуживание необходимого количества ЛЦ уже определены в первой части расчета.

Расчет прямой доставки включает в себя определение затрат на перевозку по доставке груза от каждого производителя вывозного региона до каждого потребителя принимающего региона.

Решение о проектировании терминальной сети укрупненно принимают в такой последовательности: 1) определяют оптимальный вариант, т. е. количество и дислокацию узлов терминальной сети и вид транспорта для их обслуживания внутри вывозного региона; 2) рассчитывают показатели политранспортной терминальной доставки через запроектированную терминальную сеть из вывозного в потребляющий регион; 3) рассчитывают показатели прямой одновидовой доставки из вывозного в потребляющий регион; 4) сравнивают варианты, рассчитывают экономическую эффективность, определяют целесообразность создания в регионе терминальной сети и осуществления через нее политранспортных терминальных перевозок.

На рис. 2 представлен процесс комплексного расчета параметров терминальной сети и целесообразности ее создания в регионе по предлагаемой методике.

Выбор эффективного вида транспорта для обслуживания терминальной сети – сложная методологическая задача. Это обусловлено необходимостью учета интересов всех сторон перевозочного процесса, особенностями промышленной и транспортно-логистической инфраструктуры региона [5, 6].

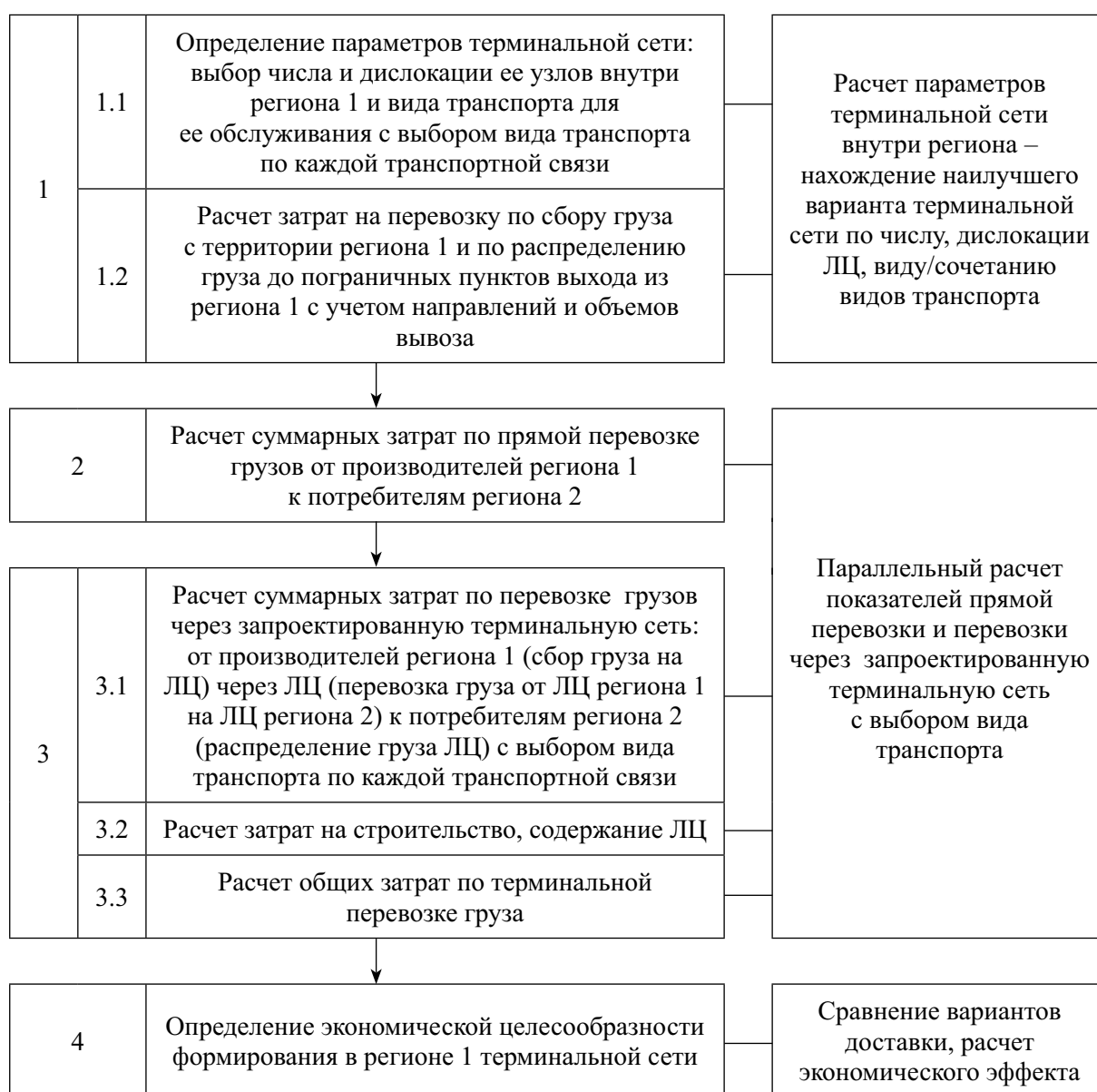


Рис. 2. Описание процесса комплексного расчета [2]

Выводы

1. Терминалистика как методологическое направление, интегрированное в ряд научных дисциплин (логистики, экономики и других), даст экономически и технологически обоснованные решения по проектированию терминальных сетей как базы транспортно-логистических систем регионов, начиная от формирования концепции грузодвижения и строительства узловых ЛЦ и заканчивая комплексными программами транспортно-

логистического развития инфраструктуры отдельных регионов и всей страны.

Терминалистика должна функционально обеспечивать логистику, стать ее ветвью, дать ей способы и средства решения задач позиционирования ЛЦ в цепях поставок, обогатить, усовершенствовать и расширить ее границы.

2. Перспективными задачами терминалистики на этапе формирования и оформления как науки видятся: 1) построение классификационного, понятийного, научно-методоло-

гического и методического аппарата, 2) оформление накопленного научно-практического опыта в организованную систему знаний о ЛЦ, 3) изучение истории, генезиса и эволюции ЛЦ, 4) изучение отечественного и зарубежного опыта в области формирования логистических систем с участием ЛЦ.

Все перечисленные задачи актуальны для логистики как науки в целом (в части приращения, расширения области знаний) и для рыночной практики в частности – крупных игроков рынка (международных транспортно-логистических и консалтинговых компаний, ОАО «РЖД», логистических провайдеров и других), отдельных инвесторов, владельцев логистических комплексов и др.

3. Методика многонаправленного формирования и комплексного расчета параметров терминальной сети обладает отличительной чертой – комплексностью определения пространственно-количественных параметров по числу и дислокации в ней ЛЦ и выбора рационального вида (сочетания видов) транспорта для обслуживания терминальной сети региона.

4. Таким образом, в работе решены следующие задачи: 1) охарактеризована терминалистика – логистика терминальных сетей и решаемые ей задачи, учитываемые при проектировании терминальной сети; 2) предложена методика комплексного расчета основных параметров терминальной сети в концептуальном виде; 3) графически представлена последовательность расчета.

Библиографический список

1. Покровская О.Д. Терминалистика как новое научное направление / Путь науки. – 2014. – № 3 (3). – С. 21–24.
2. Покровская О.Д. Транспортно-логистические системы регионов, терминалистика / О.Д. Покровская // Экономика России: прошлое, настоящее, будущее : моногр. / под общ. ред. Н. А. Адамова. – Гл. 4. – М. : Ин-т исследования товародвижения и конъюнктуры оптового рынка, 2014. – 248 с.
3. Покровская О.Д. Формирование терминальной сети региона для организации перевозок

грузов / О.Д. Покровская. – М. : Транслит, 2012. – 192 с.

4. Goover E.M. The Location of Economic Activity / E.M. Goover. – NY. : McGraw Hill Book Company, 1938.

5. Pokrovskaya O. Sui Metodi Di Selezione Preferita Di Rete Terminale Della Regione / O. Pokrovskaya // Italian Sci. Rev. – 2014. – Is. 4 (13). – P. 20–23. – URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Pokrovskaya.pdf>.

6. Pokrovskaya O.D. Terminalistics as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions / O.D. Pokrovskaya // Sustainable economic development of regions : monogr. – Vol. 3 / ed. by L. Shlossman. – Vienna : «East West» Assoc. for Advanced Studies and Higher Ed. GmbH, 2014. – 261 p.

References

1. Pokrovskaya O.D. *Put nauki – Way of Sci.*, 2014, no. 3 (3), pp. 21–24.
2. Pokrovskaya O.D. Transportno-logisticheskiye sistemy regionov, terminalistika [Regions' Transport and Logistics Systems, Terminalistics]. In: *Ekonomika Rossii: proshloye, nastoyashcheye, budushcheye* [Russia's Economy: Past, Present, Future], ed. N.A. Adamov. Ch. 4. Moscow, ITKOR, 2014. 248 p.
3. Pokrovskaya O.D. Formirovaniye terminalnoy seti regiona dlya organizatsii perevozov грузов [Forming a Region's Terminal Network for Organisation of Freight Transportation]. Moscow, TransLit, 2012. 192 p.
4. Goover E.M. The Location of Economic Activity. NY, McGraw Hill Book Company, 1938.
5. Pokrovskaya O. Italian Sci. Rev., 2014, Is. 4 (13), pp. 20–23, available at: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Pokrovskaya.pdf>.
6. Pokrovskaya O.D. Terminalistics as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions (Sustainable economic development of regions: monogr.). Vol. 3, ed. by L. Shlossman. Vienna, "East West" Assoc. for Advanced Studies and Higher Ed. GmbH, 2014. 261 p.

*ПОКРОВСКАЯ Оксана Дмитриевна – канд. техн. наук, доцент, insight1986@inbox.ru (Сибирский государственный университет путей сообщения); КОРОВЯКОВСКИЙ Евгений Константинович, канд. техн. наук, доцент (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 004.056.53

А. А. Привалов, Ал. А. Привалов, Е. В. Скуднева, И. В. Чалов**ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВСКРЫТИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ
СТРУКТУРЫ СПД-ОТН**

Дата поступления: 06.07.2015

Решение о публикации: 06.07.2015

Цель: Разработать подход и определить вероятность вскрытия пространственно-временной и информационной структуры СПД-ОТН ОАО «РЖД» в ходе реализации АРТ нарушителем. **Методы:** Для решения задачи использованы методы теории графов, метод топологического преобразования стохастических сетей и метод математического моделирования систем и процессов связи. **Результаты:** Разработана вербальная модель целевой атаки нарушителя, методика оценки структурной скрытности сети передачи данных, включающая алгоритм расчета накопленной вероятности вскрытия автоматизированного рабочего места, распознавания структуры сети передачи данных для графов-эталонов и графов-реализаций, а также обобщенный алгоритм оценки структурной скрытности. **Практическая значимость:** Данный алгоритм ориентирован на включение в состав специального математического программного обеспечения системы управления информационной безопасности для оценки возможности нарушителя при реализации таргетированных атак. Этот подход соответствует этапу сбора информации, наблюдению и выбору нарушителем более успешного момента для осуществления целевой атаки. Разработанные алгоритмы позволяют определить место и время реализации нарушителем типовых угроз, с помощью которых он выявляет вид технологического процесса и определяет наиболее подходящий момент для деструктивного воздействия. Проведенная работа показывает необходимость включения алгоритмов в перечень информационно-расчетных задач системы поддержки принятия решения, что позволит проводить более глубокий анализ возможностей нарушителя и осуществления целевых атак. Алгоритм соответствует логике действий нарушителя при вскрытии сети и системы в целом и может быть использован не только для оценки защищенности, но и для прогнозирования действий нарушителя по вскрытию сети.

Сеть передачи данных, структурная скрытность, нарушитель, таргетированная атака, телекоммуникационная сеть.

Andrey A. Privalov, D. Sci. (Military), professor, aprivalov@inbox.ru (Petersburg State Transport University), **Aleksandr A. Privalov**, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), associate professor (Moscow State Pedagogical University), ***Yekaterina V. Skudneva**, postgraduate student, evskudneva@yandex.ru, **Igor V. Chalov**, student, igorchalov4@mail.ru (Petersburg State Transport University)
APPROACH TO THE ASSESSMENT PROBABILITIES OF BREAKING INTO SPACE-TIME AND INFORMATION STRUCTURE OF DATA TRANSMISSION'S NETWORK OF OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL USE

Objective: To develop an approach and to assess the probability of breaking into space-time and information structure of Russian Railways JSC's data transmission network of operational and technological use by a violator carrying out advanced persistent threats. **Methods:** Graph theory methods, method of topological transformation of stochastic networks, and method of mathematical simulation of systems of communication processes were used to solve the problem. **Results:** A verbal model of a targeted attack by a violator was developed, as were a method for assessing structural reserve of a data transmission network that includes an algorithm for calculation of cumulative probability of breaking into a computer work station, pattern recognition for data transmission network for master graphs and realisation graphs, and a generalised algorithm for assessment of structural reserve. **Practical importance:** The algorithm is

orientated for inclusion in specialised mathematical software for information security management system to assess a violator's opportunities during targeted attacks. This approach corresponds to the stage of data collection, observation and choice of a suitable moment for carrying out a targeted attack by a violator. Algorithms developed allow to identify the location and time of a violator carrying out typical threats during which the type of technological process is being determined and the most suitable moment for destructive influence is chosen. The paper shows the need for inclusion of algorithms in the list of information-computing tasks of the decision support system to allow for deeper analysis of a violator's possibilities and of targeted attacks. The algorithm corresponds to the logic of the violator's actions when breaking into a network and into a system as a whole, and can be used not only in assessing protection degree but also for forecasting a violator's actions in breaking into a network.

Data transmission network, structural reserve, violator, advanced persistent threats, telecommunication network.

В последнее время в специальной литературе среди компьютерных атак на автоматизированные системы критически важных объектов выделяют целевые, таргетированные или АРТ-атаки (advanced persistent thread – «сложные протяжённые угрозы») [3]. Отличительные особенности этих атак – целенаправленность и уникальность. Их целью является срыв основного технологического процесса. Исследования показали, что стандартные средства защиты распознавания информационных угроз не могут им противостоять [3]. Целевые атаки характеризуются сложностью, многомерностью и протяженностью во времени. Их объектом является конкретная автоматизированная система, организующая определенный целевой процесс или их совокупность.

Вербальная модель целевой атаки на сеть передачи данных

Таргетированная атака включает в себя следующие этапы: вскрытие структуры сети, тестирование элементов сети передачи данных и уничтожение следов присутствия [3].

В телекоммуникационных сетях, в частности в сети передачи данных оперативно-технологического назначения (СПД-ОТН), отображается процесс управления движением поездов или перевозочным процессом. Он проявляется в числе и времени работы корреспондентов, в объеме передаваемых данных, в

местоположении источников информации и команд, что отражается в пространстве используемых IP-адресов.

При наблюдении за технологическим процессом можно установить корреспондирующие пары используемых IP-адресов, что позволяет определить место размещения абонента, с кем и когда он работает, в интересах какого этапа цикла управления перевозочным процессом происходит информационный обмен, какова его интенсивность и как это соотносится с реализуемым процессом перевозки. Для нанесения ущерба необходимо вскрыть сеть и произвести компьютерную атаку.

Центральными блоками модели целевой атаки являются: подсистемы поиска и технического анализа (сетевой сканер), контроля трафика, места определения источника информации. Полученные результаты анализируются в подсистеме обработки и управления (рис. 1).

Исследование показывает, что АРТ-атаки реализуют в телекоммуникационном пространстве принципы, заложенные в автоматизированной системе обработки и анализа разведывательных данных ASAS [1].

Методика распознавания структуры сети передачи данных

В ходе АРТ вскрытие структур обеспечивается представлением элементов телекоммуникационной сети в виде вершин графа, а

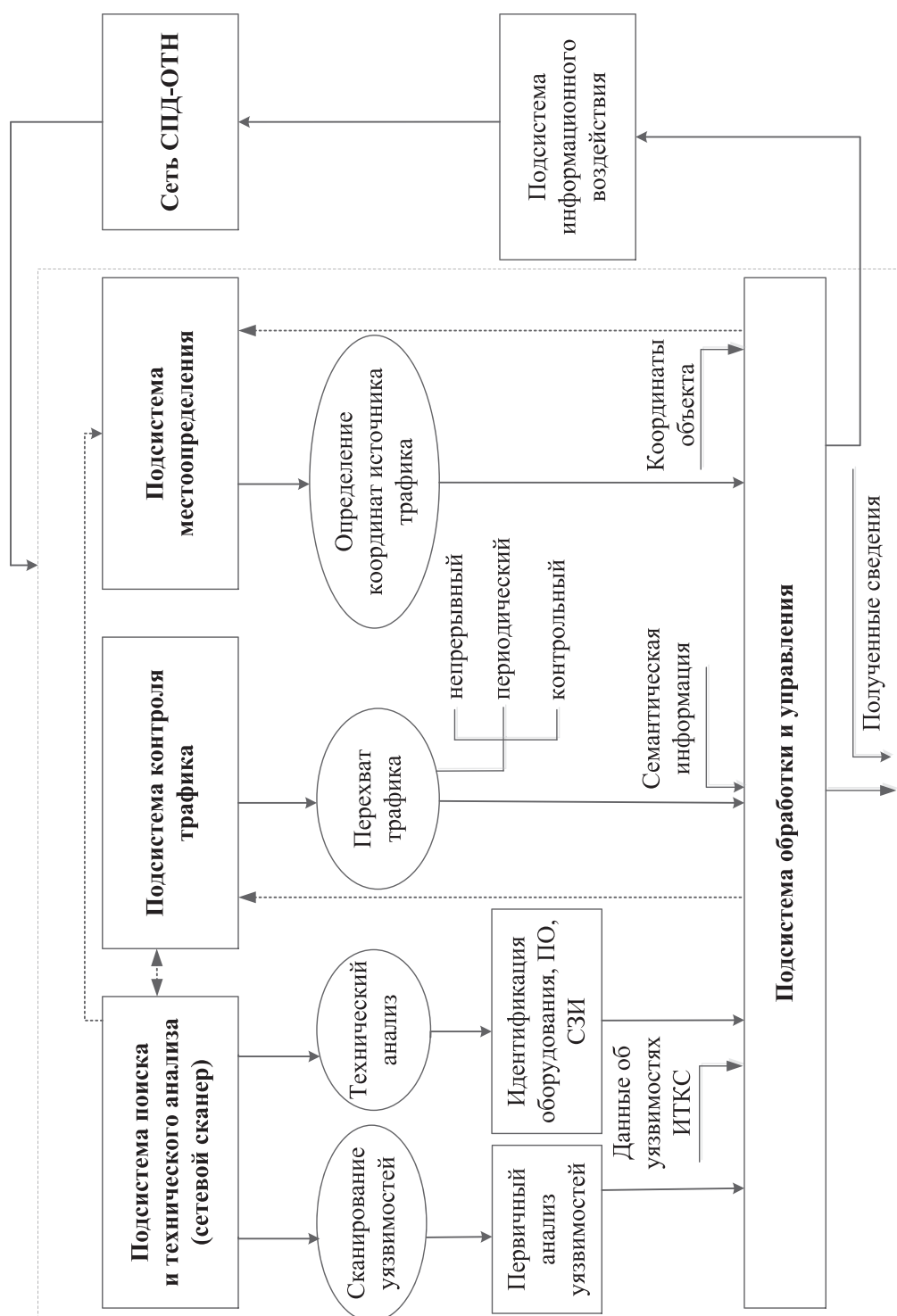


Рис. 1. Вербальная модель целевой атаки

информационные связи между ними – в виде ветвей. Таким образом формируется пространственно-временная структура, соответствующая тому или иному этапу технологического процесса, реализуемого в том числе в сети передачи данных. Зная типовые структуры, соответствующие основным технологическим процессам, нарушитель формирует базу графов-эталонов. В дальнейшем он сравнивает наблюдаемые структуры СПД-ОТН с типовой и определяет вид и этап реализуемого технологического процесса.

Так вскрывается вид деятельности органов управления ОАО «РЖД», взаимодействующих через СПД-ОТН.

Для распознавания деятельности группировок вооруженных сил со средствами радиосвязи были разработаны алгоритмы [2], однако область их применения ограничена только аналоговыми сетями радиосвязи специального назначения, поэтому авторы существенно модифицировали данные алгоритмы для распознавания структуры IP-сетей СПД-ОТН.

Исходными данными для алгоритма (рис. 2) являются типовые структуры, соответствующие основным технологическим процессам. При этом графом реализации называется исследуемая сеть, а графом-эталон – набор типовых схем организации технологического процесса в сети СПД-ОТН.

Алгоритм распознавания структуры СПД-ОТН предусматривает представление графа в виде матрицы смежности. Алгоритм разделен на ряд этапов. На первом этапе для нахождения путей и циклов реализуется подпрограмма, использующая метод поиска в глубину. На втором этапе проверяется равенство числа вершин, числа путей (циклов) в графе и равенство степеней, генерируется матрица подстановки из проверяемых циклов. На третьем этапе находятся вершины, не входящие в исследуемые циклы, проверяется сохранение отношения смежности и равенства в них. На последнем этапе выполняются дополнения к подстановке и выводится результат распознавания.

При этом, как следует из модели, в целом успех АРТ-атак в основном зависит от успешного вскрытия пространственно-временной и информационной структур СПД-ОТН и АСУ перевозочным процессом.

Алгоритм оценки структурной скрытности сети передачи данных

Алгоритм оценки структурной скрытности СПД-ОТН можно использовать как для отдельных элементов ТКС, так и для сети передачи данных в целом.

Вероятность обнаружения автоматизированного рабочего места (терминала) IP-сети рассчитывается по алгоритму (рис. 3, блоки 4–9). Исходными данными являются результаты сканирования сети, которые были изложены в статье [4].

Каждый терминал передает IP-пакеты с интенсивностью λ_{ij} . Тогда вероятность реализации процесса по этому объекту к заданному моменту времени хотя бы один раз можно определить выражением [2]

$$P_i^*(t) = 1 - e^{-\sum_{j=1}^{d_i} \int_0^t \lambda_{ij} \cdot p_{ij}^*(x) dx},$$

где λ_{ij} – интенсивность передачи IP-пакетов, находится с помощью формулы

$$\lambda_{ij} = \frac{N_{ij}}{t_{\text{сеанса}}},$$

где N_{ij} – количество IP-пакетов между корреспондирующими парами; $t_{\text{сеанса}}$ – время TCP(UDP)-соединения между терминалами; $p_{ij}^*(x)$ – вероятность обнаружения IP-пакетов корреспондирующих пар; d_i – число терминалов, работающих в режиме передачи и приема IP-пакетов.

Алгоритм включает подпрограмму определения принадлежности графа реализации соответствующего СПД-ОТН к графам-эталонам.

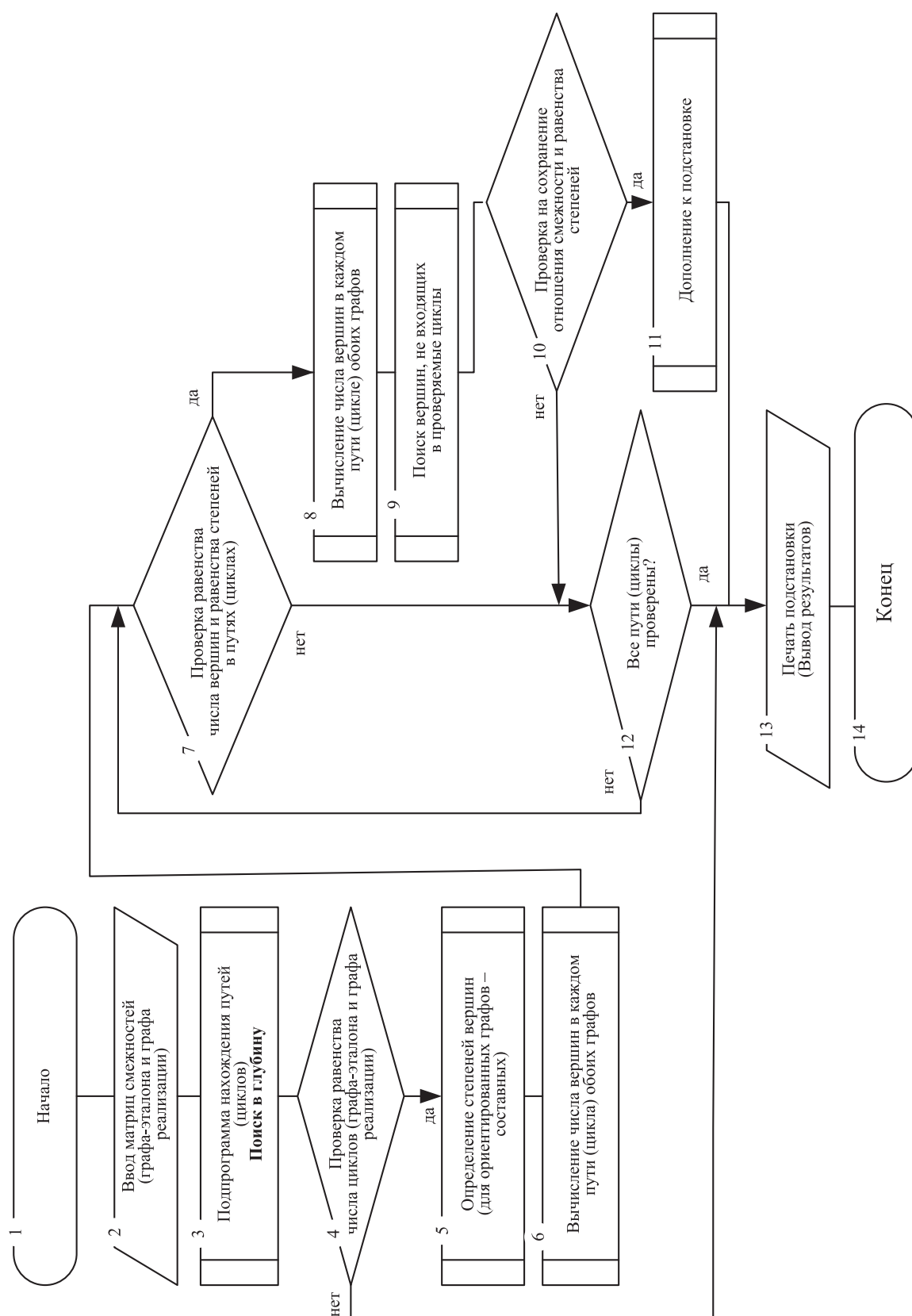


Рис. 2. Алгоритм распознавания структуры СПД-ОТН

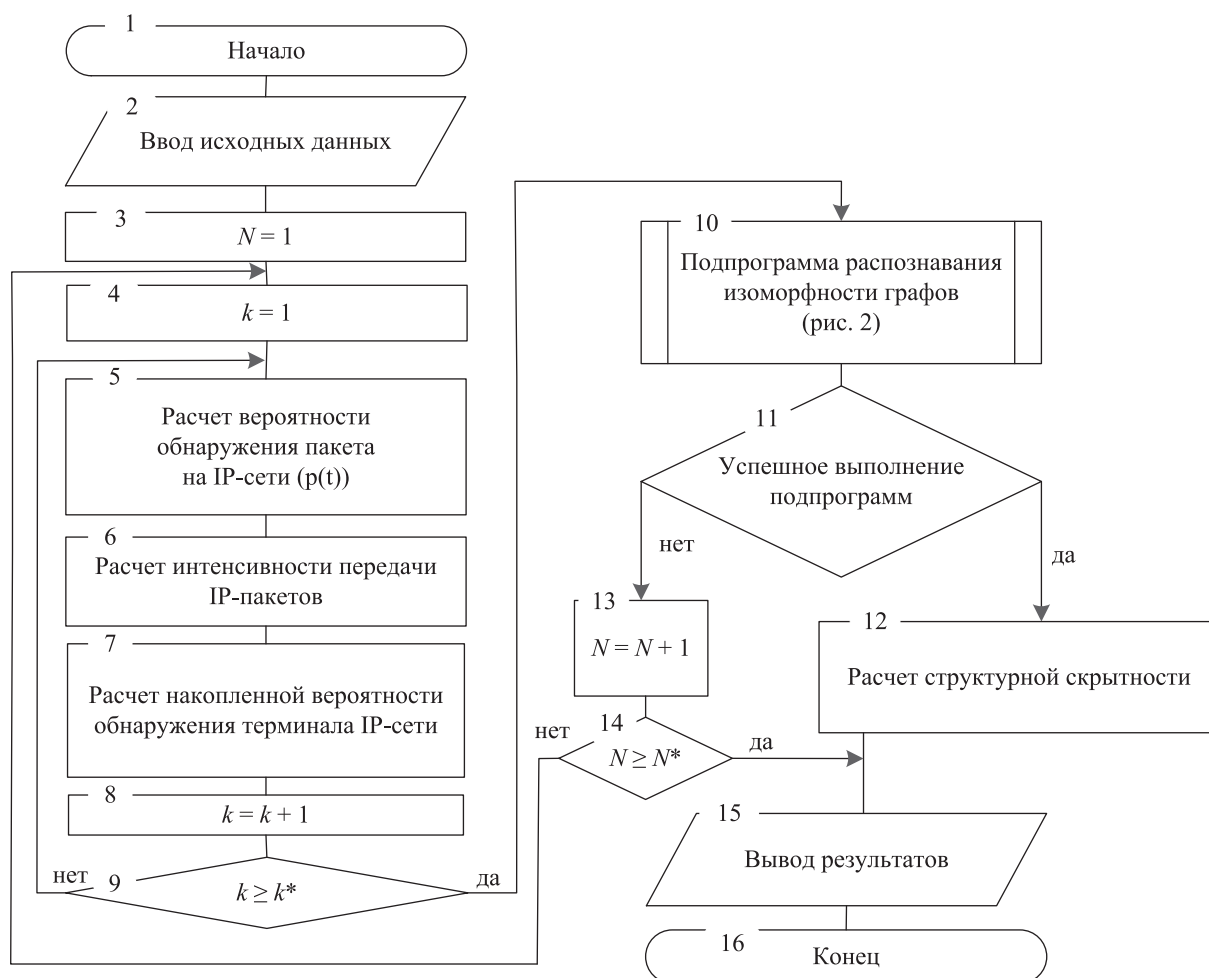


Рис. 3. Алгоритм оценки структурной скрытности сети передачи данных

В основе работы этого блока лежит процедура распознавания изоморфности вхождения (вложения) взвешенных графов: одного – получаемого в результате статистического розыгрыша СПД-ОТН, второго – графа-эталона.

При успешном выполнении подпрограмм рассчитывается показатель структурной скрытности:

$$P_{i/k} = \frac{w_i(k)}{N^*},$$

где $w_i(k)$ – число случаев, когда граф реализации относится к i -му эталону при фактическом розыгрыше k -го элемента.

Таким образом, представленные алгоритмы позволяют распознавать структуру СПД-ОТН, обнаружить терминал IP-сети, оценить

структурную скрытность сети передачи данных.

Пример расчета структурной скрытности фрагмента СПД-ОТН

Рассмотрим использование представленных алгоритмов для оценки структурной скрытности на примере фрагмента сети передачи данных (рис. 4).

Рассчитаем вероятность обнаружения терминала IP-сети по алгоритму рис. 3 (блоки 4–9).

Результат работы подпрограммы представлен на рис. 5. Показана вероятность вскрытия каждого из шести участников информационного обмена IP-сети участка СПД-ОТН на определенном временном отрезке.

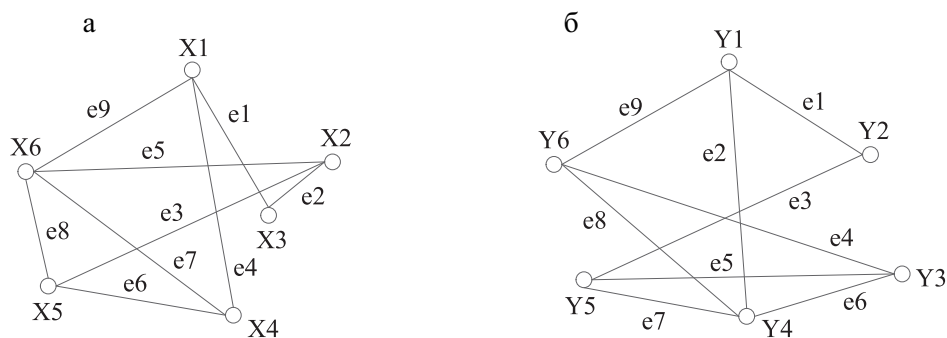


Рис. 4. Структура информационного обмена:
а) граф фрагмента сети передачи данных (1); б) граф реализации (2)

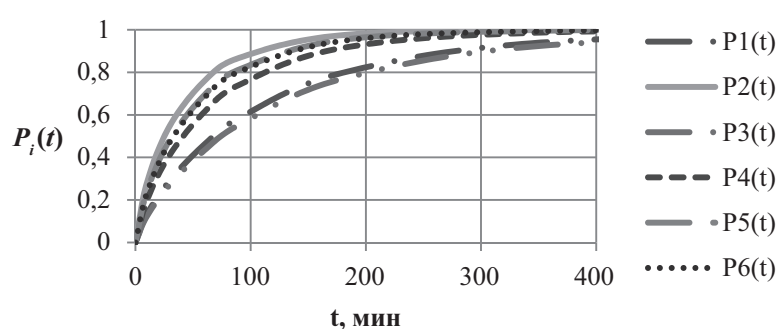


Рис. 5. Вероятность вскрытия корреспондентов IP-сети

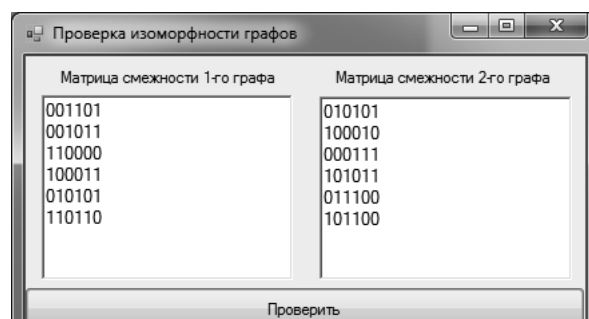


Рис. 6. Проверка изоморфности

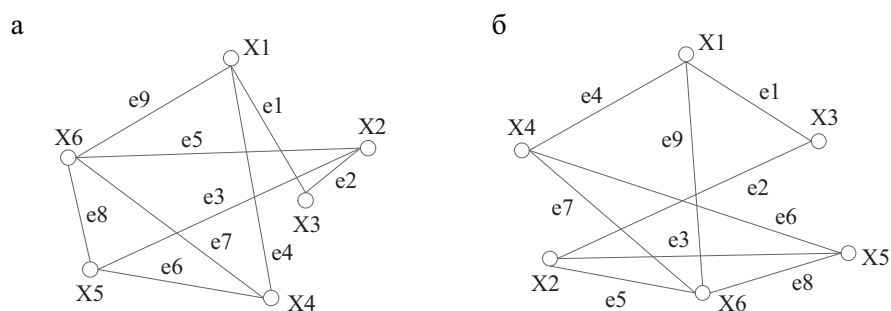


Рис. 7. Соответствие портрета и информационного обмена реализуемого процесса:
а) граф 1; б) граф 2

Распознаем структуру СПД-ОТН по алгоритму рис. 2. Результат работы подпрограммы представлен на рис. 6.

Графы, приведенные на рис. 4, записываются в виде матриц смежности. В рассматриваемом примере полученный результат говорит о том, что граф 1 и граф 2 изоморфны. Таким образом, граф соответствующий реализации определенного технологического процесса отображается в графе реализации (рис. 7).

Рассчитаем структурную скрытность по алгоритму рис. 3. Получим показатель 0,07.

Заключение

Таким образом, в СПД-ОТН процесс управления перевозками отображается в виде корреспондирующих пар, число и взаимосвязь которых раскрывается во время функционирования сети или развития целевого процесса. Нарушитель, основываясь на данных, полученных в ходе наблюдения, способен выбрать наиболее успешный момент для проведения таргетированной атаки. Целевая атака на первом этапе распознает структуру сети. Разработанные алгоритмы показывают, что нарушитель может использовать угрозы типа «сканирование сети», «анализ трафика», «анализ пространства IP-адресов», с помощью которых можно установить вид технологического процесса, определить наиболее уязвимое место и момент деструктивного воздействия для нанесения наибольшего ущерба.

Разработанные алгоритмы позволяют оценить возможности нарушителя и включить их в перечень информационно-расчетных задач системы поддержки принятия решения для проведения более глубокого анализа по возможностям нарушителя по целевым атакам.

Библиографический список

1. Греков В. Автоматизированная система обработки и анализа разведывательных данных

ASAS / В. Греков // Зарубежное воен. обозрение. – 1990. – № 12. – С. 27–35.

2. Куделя В. Н. Методы математического моделирования систем и процессов связи / В. Н. Куделя, А. А. Привалов, О. В. Петриева, В. П. Чемиренко; под общ. ред. В. П. Чемиренко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009.

3. Попович Д. Смерть антивируса / Д. Попович // Безопасность деловой информации. – 2014. – № 6. – С. 10–13.

4. Скуднева Е. В. Модель процесса передачи однопакетного сообщения по IP-сети / Е. В. Скуднева, Ю. С. Карабанов, В. О. Кириленко, Е. О. Болтенкова // Бюл. результатов научных исследований. – 2015. – Вып. 1 (14). – С. 84–95.

References

1. Grekov V. *Zarubezhnoye voyennoye obozreniye* – *Foreign Military Rev.*, 1990, Is. 12, pp. 27-35.

2. Kudelya V. N., Privalov A. A., Petriyeva O. V. & Chemirenko V. P. *Metody matematicheskogo modelirovaniya sistem i protsessov svyazi* [Methods of Mathematical Simulation of Communications Systems and Processes], ed. Chemirenko V. P. St. Petersburg, Polytechnical University Press, 2009.

3. Popovich D. *Bezopasnost delovoy informatsii* – *Bus. Inf. Secur.*, 2014, no. 6, pp. 10-13.

4. Skudneva Ye. V., Karabanov Yu. S., Kirilenko V. O. & Boltenkova Ye. O. *Byulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy* – *Bull. of Res. Results*, 2015, Is. 1 (14), pp. 84-95.

ПРИВАЛОВ Андрей Андреевич – д-р воен. наук, профессор, aprivalov@inbox.ru; *СКУДНЕВА Екатерина Валентиновна – аспирант, evskudneva@yandex.ru; ЧАЛОВ Игорь Владимирович – студент, igorchalov4@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); ПРИВАЛОВ Александр Андреевич – канд. физ.-мат. наук, доцент (Московский педагогический Государственный университет).

УДК 681.518.5:004.052.32

В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, М. Р. Черепанова**СРАВНЕНИЕ СТРУКТУР СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ, ОРГАНИЗОВАННЫХ ПО КЛАССИЧЕСКИМ И МОДИФИЦИРОВАННЫМ КОДАМ БЕРГЕРА**

Дата поступления: 08.06.2015

Решение о публикации: 08.06.2015

Цель: Уменьшить сложность технической реализации систем функционального контроля комбинационных логических схем, организованных по кодам с суммированием единичных информационных разрядов, за счет модификации правил построения. **Методы:** Используются методы теории информации и кодирования, теории дискретных устройств и технической диагностики дискретных систем. **Результаты:** Экспериментально показано, что за счет применения модификации правил построения кодов с суммированием можно уменьшить сложность технической реализации системы функционального контроля (уменьшится сложность блока контрольной логики и генератора тестера в составе контрольного оборудования). В статье впервые анализируются свойства модифицированных кодов с суммированием единичных информационных разрядов при раздельной и совместной реализации блоков основной и контрольной логики в системах функционального контроля. В обоих случаях модифицированные коды с суммированием единичных информационных разрядов имеют преимущества перед кодами Бергера. Кроме того, модифицированные коды почти вдвое эффективнее классических кодов Бергера обнаруживают ошибки на выходах контролируемых устройств. Таким образом, в работе установлены преимущества модифицированных кодов с суммированием единичных информационных разрядов перед кодами Бергера в системах функционального контроля. **Практическая значимость:** Результаты работы позволяют на практике более эффективно выбирать код, на основе которого организуется система функционального контроля логической схемы, с учетом особенностей контролируемой схемы и свойств самих кодов. Уменьшение сложности технической реализации ведет к уменьшению экономических затрат на реализацию контролепригодной системы и на ее энергопотребление в процессе функционирования.

Система функционального контроля, раздельная реализация, совместная реализация, комбинационная схема, код Бергера, модифицированный код Бергера, необнаруживаемая ошибка, площадь на кристалле.

Valeriy V. Sapozhnikov, D. Eng., professor, kat@pgups.edu; **Vladimir V. Sapozhnikov**, D. Eng., professor, kat@pgups.edu; ***Dmitriy V. Yefanov**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, TrES-4b@yandex.ru; **Mariya R. Cherepanova**, student, bugsbunny.k38@gmail.com (Petersburg State Transport University)
COMPARISON OF STRUCTURES OF FUNCTIONAL CONTROL SYSTEMS ORGANISED BY CLASSIC AND MODIFIED BERGER CODES

Objective: To decrease complexity of technical realisation of functional control systems in combination logic circuits organised by codes with addition of singular information bits by modifying formation rules. **Methods:** Information and encoding theory, discrete device theory and technical diagnostics of discrete systems methods were used. **Results:** The study showed by experiment that it is possible to reduce complexity of technical realisation of functional control system by applying modification of formation rules for codes with addition (control logic block and tester generator in control equipment will be reduced). The article analyses qualities of modified codes with addition of singular information bits in cases of separate and joint realisation of blocks of main and control logic in functional control systems for the first time. In both instances, modified codes with addition of singular information bits

have an advantage over Berger codes. Besides, the modified codes discern control devices' output errors nearly twice as efficiently as classic Berger codes do. Thus the study establishes advantages that modified codes with addition of singular information bits have over Berger codes in functional control systems.

Practical importance: Study results permit to have a more efficient choice of code that the system of logical scheme's functional control is organised on, taking into account the scheme being controlled and the codes' own qualities. Decreasing complexity of technical realisation leads to cutting economic expenses on realisation of a testable system and its power consumption during functioning.

Functional control system, separate realisation, joint realisation, combination scheme, Berger code, modified Berger code, undetectable error, chip surface.

Принципы помехоустойчивого кодирования часто используются при передаче и обработке информации, а также при организации надежных систем автоматики и телемеханики [7–9, 11, 13, 21]. Например, использование помехоустойчивого кодирования положено в основу построения систем функционального контроля комбинационных логических схем [1, 7, 22]. При организации таких систем можно использовать два основных подхода. Первый подразумевает дополнение контролируемой логической схемы $f(x)$, имеющей m выходов, специальным контрольным оборудованием в составе блока контрольной логики $g(x)$ и тестера (рис. 1а). В процессе функционирования блок контрольной логики $g(x)$

вычисляет значения k контрольных функций, а тестер проверяет их соответствие значениям функций, вычисленных контролируемым устройством. Второй подход основан на внесении избыточности в само контролируемое устройство (рис. 1б). На этапе проектирования надежной дискретной системы совместно реализуются блоки основной и контрольной логики $f(x)$ и $g(x)$ с последующей оптимизацией полученной структуры. Полученная схема дополняется тестером.

Система функционального контроля, построенная с отдельной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$, как правило, обнаруживает большее количество ошибок на выходах контролируемой схемы, чем система функционального

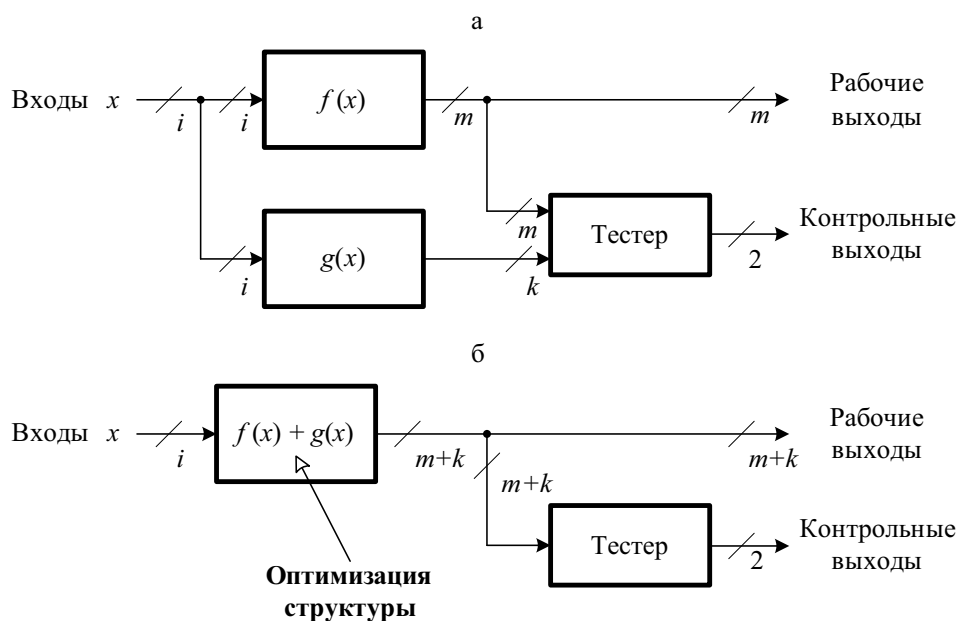


Рис. 1. Структуры систем функционального контроля:
а) с отдельной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$; б) с совместной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$

контроля с совместной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$. Однако система с совместной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$ имеет меньшую сложность технической реализации по сравнению с системой с раздельной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$.

Так или иначе, при организации систем функционального контроля на показатели обнаружения ошибок на выходах контролируемых схем и на сложность технической реализации самих систем контроля влияет положенный в основу помехоустойчивый код. Например, для построения систем функционального контроля со 100%-ным обнаружением одиночных неисправностей на выходах логических элементов в структуре блока $f(x)$ используются методы реконфигурации связей между входами устройства, логическими элементами и выходами устройства, а также резервирования внутренних логических элементов (рис. 2). В структуру основного устройства $f(x)$, таким образом, вносится избыточность – дополнительные логические элементы $f_{\text{доп}}(x)$, позволяющая реализовать функции основного блока с обеспечением контроля неисправностей [7, 18].

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния правил модификации часто используемых в задачах технической диагностики классических кодов с суммированием (кодов Бергера [10]) на сложность технической реализации систем функционального контроля с раздельными и с совместными блоками основной и контрольной логики.

Коды с суммированием

Классические коды с суммированием (обозначим их как $S(m, k)$ -коды, где m – длина информационного вектора, а k – длина контрольного вектора), часто используемые при построении систем функционального контроля [14, 16, 19], являются систематическими кодами. При определении значений разрядов контрольного вектора $S(m, k)$ -кода подсчитывается вес информационного вектора (число единичных разрядов), полученное число представляется в двоичном коде и записывается в разряды контрольного вектора. Количество разрядов в контрольном векторе $S(m, k)$ -кода $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ (запись $\lceil \dots \rceil$ обозначает целое сверху от вычисляемого значения).

Коды Бергера из-за неравномерного распределения информационных векторов между контрольными имеют низкую эффективность использования контрольных разрядов: $S(m, k)$ -коды с длиной информационных векторов $m = 2-20$ не обнаруживают в среднем 17,03 % ошибок в информационных векторах [4].

Для повышения эффективности обнаружения ошибок в информационных векторах классическими кодами с суммированием в [3] предложен алгоритм модификации, который основан на следующих правилах. Определяется вес информационного вектора и представляется по заранее установленному модулю M (устанавливается наименьший неотрицательный вычет значения веса по модулю M). При этом модуль выбирается равным $M = 2^{k-1}$, где $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ – число кон-

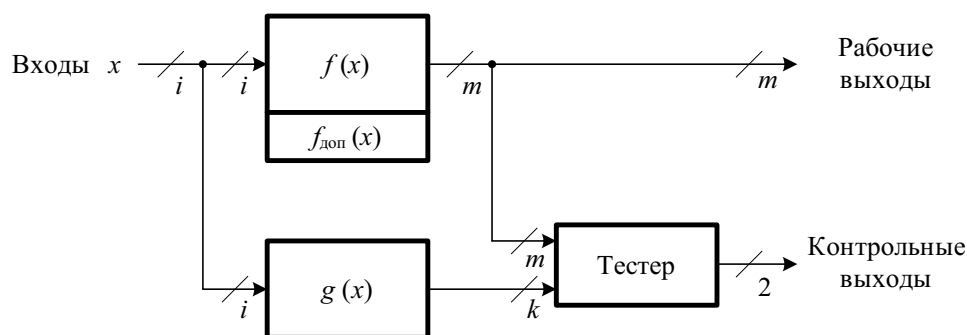


Рис. 2. Структура контролепригодного устройства

трольных разрядов в классическом $S(m, k)$ -коде. К полученной величине приписывается в качестве старшего контрольного разряда коэффициент α , полученный как сумма по модулю «два» заранее установленных информационных разрядов.

Описанный метод построения модифицированного кода Бергера ($RS(m, k)$ -код) позволяет повысить количество обнаруживаемых ошибок в информационных векторах кодов почти вдвое [3]. При этом минимальное общее количество необнаруживаемых ошибок получается в том случае, если в качестве поправочного коэффициента по модулю «два» суммируются $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$ информационных разрядов (запись $\left\lfloor \dots \right\rfloor$ обозначает целое снизу от вычисляемого значения). Например, при длине информационных векторов $m = 2-20$ $RS(m, k)$ -коды в среднем не обнаруживают 8,4% ошибок в информационных векторах. Модифициро-

ванные коды с поправочным коэффициентом, в котором суммируются по модулю «два» $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$ информационных разрядов, также имеют и минимум двукратных необнаруживаемых ошибок в разрядах информационных векторов (в среднем для $m = 2-20$ не обнаруживается 21,58%). На рис. 3 приводится зависимость доли необнаруживаемых двукратных ошибок от общего количества двукратных ошибок в информационных векторах – величины $\beta_2(m)$. Как известно, для $S(m, k)$ -кодов $\beta_2(m) = \text{const} = 50\%$. Для $RS(m, k)$ -кодов $\beta_2(m)$ является переменной величиной в зависимости от длины информационного вектора и при $m \geq 4$ не превышает 25%. Учет свойств обнаружения ошибок в информационных векторах $RS(m, k)$ -кодами позволяет на практике организовывать системы функционального контроля логических схем с улучшенными характеристиками [17]. Более подробно свойства обнаружения

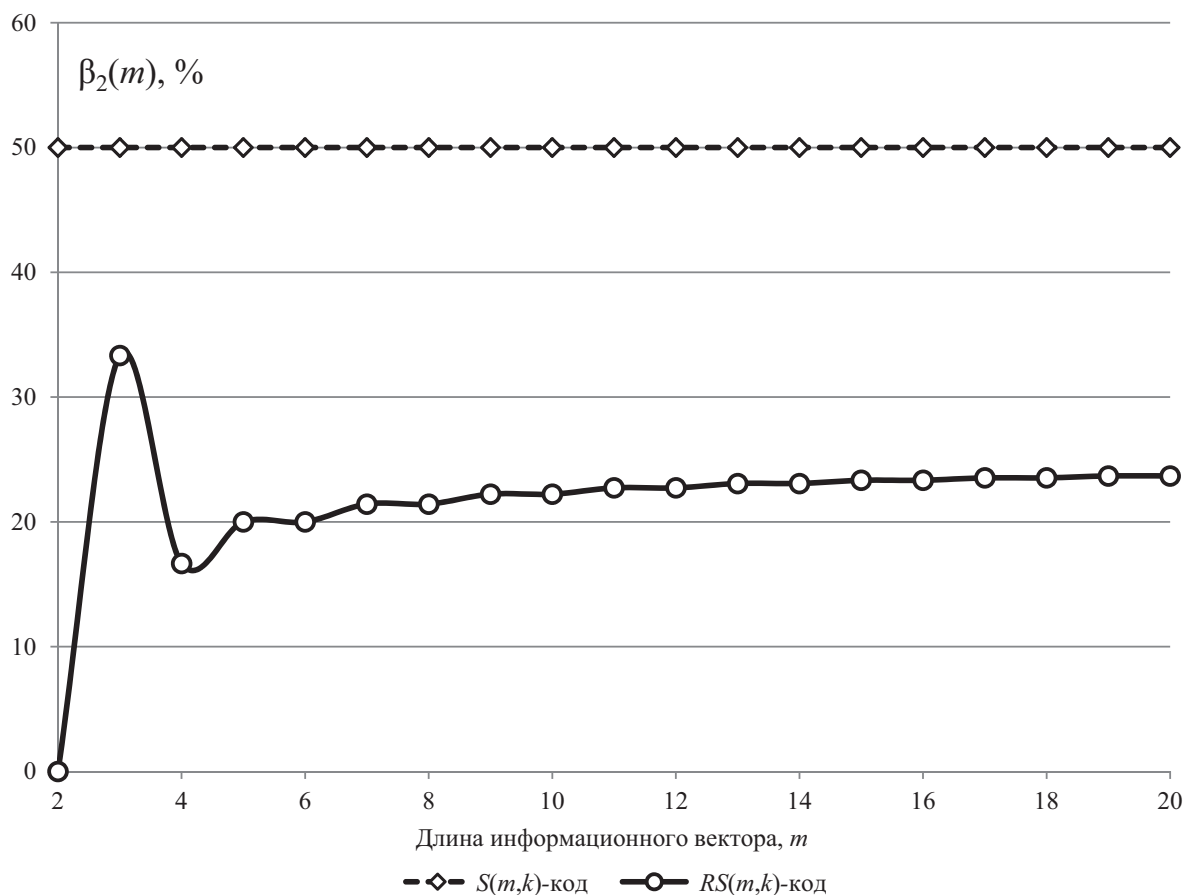


Рис. 3. Зависимость величины $\beta_2(m)$ от длины информационного вектора

ошибок в информационных векторах модифицированными кодами Бергера описаны в [1, 2].

Свойства обнаружения ошибок в информационных векторах кодом с суммированием определяют и свойства обнаружения неисправностей в контролируемом устройстве $f(x)$ самой системой функционального контроля. В [6] приводятся результаты экспериментов с набором специальных комбинационных схем, используемых для оценки эффективности вновь разрабатываемых методов технической диагностики. Эксперименты связаны с моделированием работы комбинационных схем при внесении в их структуру последовательно всех одиночных неисправностей на выходах внутренних логических элементов. Результаты подтверждают теоретические исследования: $RS(m, k)$ -коды обнаруживают большее количество ошибок в информационных векторах, чем классические $S(m, k)$ -коды.

Другим немаловажным показателем систем функционального контроля является аппаратная избыточность. Она определяет площадь, занимаемую всем устройством на кристалле. От площади, в свою очередь, зависят и другие важные характеристики дискретных устройств: быстродействие, энергопотребление, контролепригодность и прочие.

В [5], например, показано, что можно получить структуры тестеров $RS(m, k)$ -кодов, не превышающие по сложности структуры тестеров $S(m, k)$ -кодов. Однако на общий показатель аппаратной избыточности системы функционального контроля также влияет площадь блока контрольной логики $g(x)$. В следующем разделе статьи приведены результаты экспериментов с системой контрольных комбинационных схем по сравнению площадей систем функционального контроля, организованных по $S(m, k)$ - и $RS(m, k)$ -кодам.

Результаты экспериментов с системой контрольных комбинационных схем

Для сравнения сложности технической реализации структуры функционального

контроля по $RS(m, k)$ -коду со структурой функционального контроля по классическому коду Бергера были поставлены эксперименты с набором контрольных комбинационных схем LGSynth'91 [12, 15, 20]. Для эксперимента выбраны 30 схем с различным числом входов и выходов. Цель эксперимента – определить эффективность применения $RS(m, k)$ -кода взамен $S(m, k)$ -кода при организации контроля заданной комбинационной схемы $f(x)$.

Показателем сложности технической реализации, как упоминалось выше, является площадь (L). Площадь рассчитывается с применением известного интерпретатора SIS (Sequential Interactive Synthesis), разработанного в Университете Калифорнии (Berkeley) специально для решения задач технической диагностики [20]. В SIS можно определить параметры логической схемы при ее синтезе в определенном функционально полном наборе логических элементов. Эти наборы составляют так называемые библиотеки логических элементов. Для постановки экспериментов мы выбрали стандартную библиотеку функциональных элементов *stdcell2_2.genlib*.

В эксперименте между собой сравнивались сложности систем функционального контроля с положенными в основу классическими $S(m, k)$ -кодами и модифицированными $RS(m, k)$ -кодами. Отдельно сравнивались площади систем функционального контроля с раздельной реализацией блоков основной и контрольной логики и с их совместной реализацией (рис. 4).

Эффективность использования модифицированного кода взамен классического при организации системы функционального контроля можно оценить отношением площадей новой и старой структур. Назовем данную величину коэффициентом эффективности по площади θ :

$$\theta^S = 100 \cdot \frac{L_{RS(m,k)}^S}{L_{S(m,k)}^S}, \% \quad (1)$$

$$\theta^J = 100 \cdot \frac{L_{RS(m,k)}^J}{L_{S(m,k)}^J}, \% \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) у величин θ и L прописан верхний индекс, обозначающий вид реализации структуры системы функционального контроля: S (от англ. separate) – раздельная реализация, J (от англ. joint) – совместная реализация.

В таблице приведены результаты экспериментов для 30 контрольных комбинационных схем. Для 13 из 30 схем использование $RS(m,k)$ -кода при организации системы функционального контроля как с раздельной, так и с совместной реализацией блоков основной и контрольной логики оказалось более эффективным, чем использование $S(m,k)$ -кода. Площадь систем функционального контроля для некоторых комбинационных схем была уменьшена на четверть (для схем clp1 $\theta^S = 76,32\%$ и p82 $\theta^S = 73,888\%$). Для 17 комбинационных схем применение $RS(m,k)$ -кода приводит к увеличению площади системы функционального контроля по сравнению с системой контроля по коду Бергера. Однако увеличение площади не превышает 10% (для всех комбинационных схем $\theta^S < 110\%$). На рис. 5 представлено распределение значений коэффициента θ^S для выбранных контрольных схем. Анализируя рис. 5, можно выделить диапазон

изменения значений площадей систем функционального контроля при использовании модифицированного кода Бергера по сравнению с классическим кодом – $70\% < \theta^S < 110\%$. Похожие результаты актуальны и для системы функционального контроля с совместной реализацией блоков основной и контрольной логики. Для одной схемы, br1, было зафиксировано значительное увеличение значения площади при использовании $RS(m,k)$ -кода по сравнению с системами с раздельной реализацией логических блоков. Для схемы p82, наоборот, показатель площади увеличился более чем на 25%. Отметим, что среднее значение коэффициента эффективности для всех рассмотренных в ходе эксперимента контрольных комбинационных схем $\theta^S = 97,625\%$ и $\theta^J = 99,265\%$.

Таким образом, при увеличенных почти вдвое показателях обнаружения ошибок в контролируемых схемах модифицированный код Бергера также имеет преимущество перед классическим кодом Бергера по показателю площади.

В ходе экспериментов оценено уменьшение площади при совместной реализации блоков основной и контрольной логики по сравнению с их раздельной реализацией для выбранного кода с суммированием.

Введем специальный коэффициент сжатия δ , характеризующий уменьшение площади

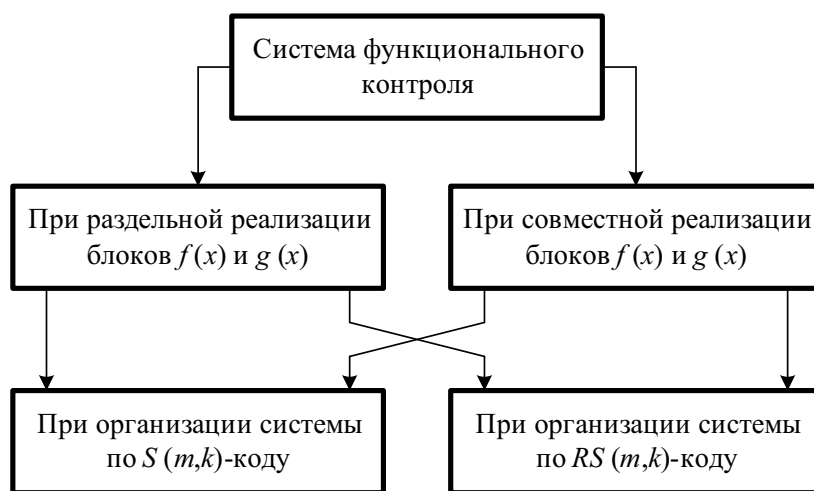


Рис. 4. Классификация систем функционального контроля

Показатели систем функционального контроля

№	Название контроль- ной схемы	Число входов/ выходов	Площадь контроль- ной схемы	$L_{S(m,k)}^S$	$L_{RS(m,k)}^S$	$L_{S(m,k)}^I$	$L_{RS(m,k)}^I$	θ^S	θ^I	$\delta_{S(m,k)}$	$\delta_{RS(m,k)}$
1	b2	16/17	40952	75 224	74 968	57 560	57 816	99,66	100,445	76,518	129,667
2	b10	15/11	9168	33 032	30 168	31 336	27 816	91,33	88,767	94,866	108,456
3	br1	12/8	3608	9304	9408	6744	9040	101,118	134,045	72,485	104,071
4	br2	12/8	2952	8280	8376	7888	8304	101,159	105,274	95,266	100,867
5	clpl	11/5	640	4696	3584	3504	3264	76,32	93,151	74,617	109,804
6	dc1	4/7	976	3576	3624	3024	3112	101,342	102,91	84,564	116,452
7	dc2	8/7	2424	8368	8592	8056	7712	102,677	95,73	96,272	111,411
8	decoder	4/7	736	3328	3432	3016	3120	103,125	103,448	90,625	110
9	dist	8/5	6968	13 264	12 584	11 856	10 880	94,873	91,768	89,385	115,662
10	ex1010	10/10	43 296	80 464	87 048	80 848	88 248	108,183	109,153	100,477	98,64
11	f51m	8/8	2272	13 144	12 368	11 488	13 120	94,096	114,206	87,401	94,268
12	gary	15/11	10 688	35 816	31 744	32 968	29 080	88,631	88,207	92,048	109,161
13	in0	15/11	10 704	35 832	31 760	32 968	29 080	88,636	88,207	92,007	109,216
14	in1	16/17	40 952	75 224	74 968	57 560	57 816	99,66	100,445	76,518	129,667
15	inc	7/9	2376	9352	9536	8568	8736	101,967	101,961	91,617	109,158
16	intb	15/7	22 248	114 224	104 160	72 808	66 520	91,189	91,364	63,741	156,584
17	m2	8/16	10 096	30 232	30 792	24 856	25 448	101,852	102,382	82,218	121
18	m3	8/16	13 464	34 232	34 920	25 208	25 704	102,01	101,968	73,639	135,854
19	m4	8/16	18 704	40 400	41 656	28 936	30 200	103,109	104,368	71,624	137,934
20	max512	9/6	9632	15 680	15 960	15 128	14 176	101,786	93,707	96,48	112,585
21	mp2d	14/14	2568	20 032	17 600	23 480	19 176	87,859	81,67	117,212	91,781
22	newcpla2	7/10	1896	11 032	10 768	9720	9560	97,607	98,354	88,107	112,636
23	newewp	4/5	440	2136	2048	2048	1904	95,88	92,969	95,88	107,563
24	newtpla2	10/4	840	2224	2392	1936	2080	107,554	107,438	87,05	115
25	p82	5/14	2368	16 728	12 360	15 808	11 224	73,888	71,002	94,5	110,121
26	root	8/5	3496	6384	6424	5368	5408	100,627	100,745	84,085	118,787
27	t3	12/8	1768	5760	6008	5784	5992	104,306	103,596	100,417	100,267
28	t4	12/8	1080	8648	9008	7808	8048	104,163	103,074	90,287	111,928
29	tms	8/16	6784	26 600	26 984	24 376	24 944	101,444	102,33	91,639	108,178
30	wim	4/7	712	3248	3336	2888	3040	102,709	105,263	88,916	109,737
Средние значения								97,625	99,265	88,015	113,549

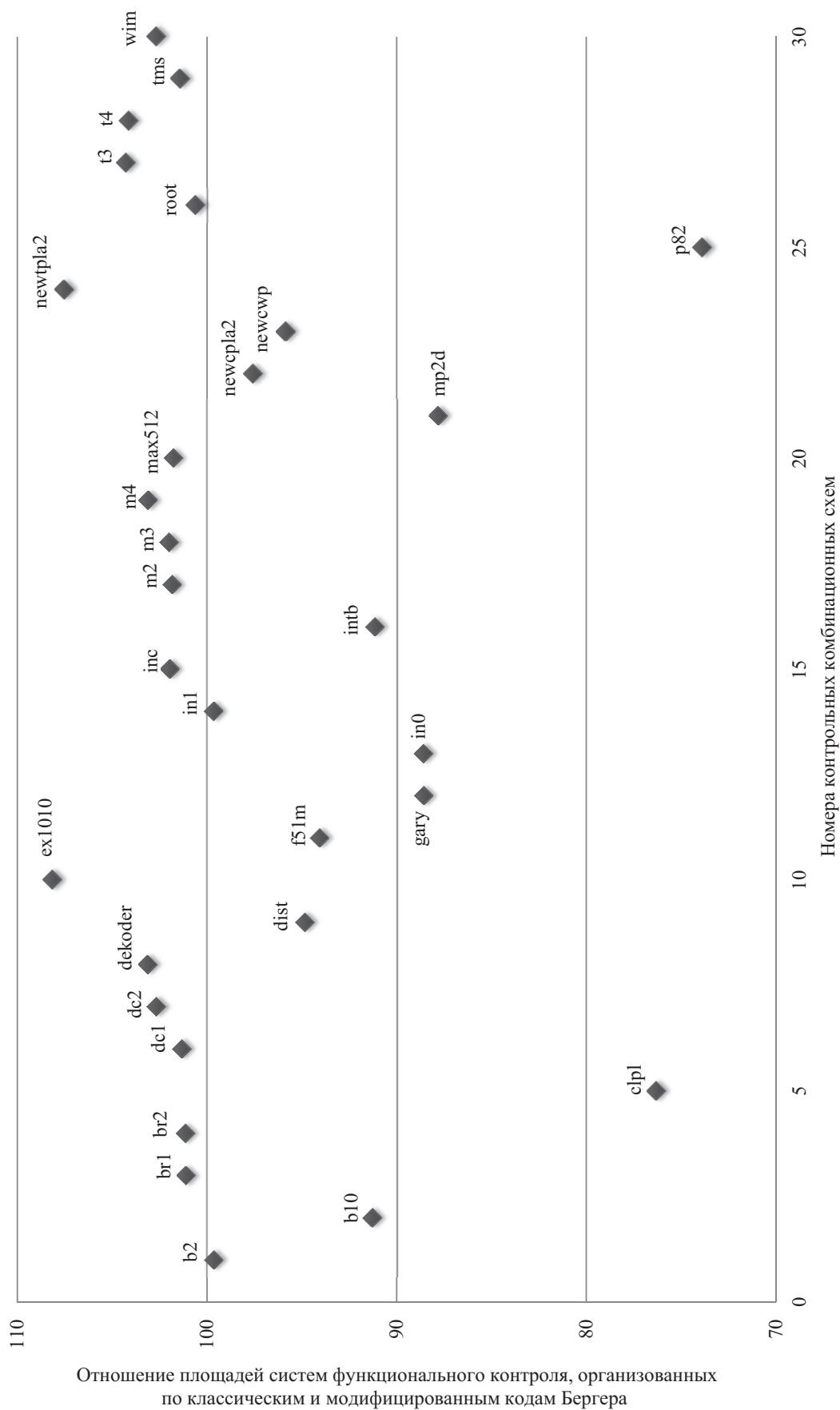


Рис. 5. Сравнение площадей систем функционального контроля, построенных на основе $S(m,k)$ - и $RS(m,k)$ -кодов, при раздельной реализации блоков $f(x)$ и $g(x)$

структуры системы функционального контроля при совместной реализации блоков $f(x)$ и $g(x)$ по сравнению со структурой системы функционального контроля при раздельной реализации блоков $f(x)$ и $g(x)$ для выбранного кода с суммированием:

$$\delta_{S(m,k)} = 100 \cdot \frac{L_{S(m,k)}^J}{L_{S(m,k)}^S}, \%;$$

$$\delta_{RS(m,k)} = 100 \cdot \frac{L_{RS(m,k)}^J}{L_{RS(m,k)}^S}, \%.$$

При совместной реализации блоков основной и контрольной логики в системе функционального контроля, организованной по классическому коду Бергера, удастся уменьшить площадь в среднем на 11,985 %. Для модифицированного кода Бергера, наоборот, площадь увеличивается в среднем на 13,549 %. Для некоторых комбинационных схем совместная реализация блоков основной и контрольной логики дает уменьшение площади более чем на четверть (см. таблицу).

Заключение

Использование модифицированных кодов Бергера при организации систем функционального контроля как с раздельной, так и с совместной реализацией контролируемой комбинационной схемы и блока контрольной логики более эффективно не только с позиции количества обнаруживаемых одиночных неисправностей, но и по показателю аппаратных затрат. При раздельной реализации схем основной и контрольной логики в системе функционального контроля достигается уменьшение показателя площади в среднем на 2,375 % по сравнению с системой контроля, организованной по классическому коду Бергера. Совместная реализация схем основной и контрольной логики при использовании модифицированного кода Бергера выгоднее на 0,735 %, чем при использовании классического кода Бергера.

Коэффициент сжатия для системы функционального контроля по модифицированному коду Бергера равен $\delta_{RS(m,k)} = 113,549 \%$, что говорит об увеличении площади системы функционального контроля при совместной реализации блоков основной и контрольной логики, чем при их раздельной реализации.

В целом можно заключить, что модифицированные коды Бергера могут быть эффективно использованы при построении надежных систем автоматики и телемеханики.

Библиографический список

1. Блюдов А. А. Коды с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 6. – С. 153–164.
2. Блюдов А. А. О кодах с суммированием единичных разрядов в схемах функционального контроля / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 8. – С. 131–145.
3. Блюдов А. А. Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом обнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34, № 6. – С. 17–29.
4. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
5. Ефанов Д. В. Синтез генераторов тестеров модифицированных кодов Бергера на основе свойств линейных и простых симметричных функций / Д. В. Ефанов // Изв. Петербург. гос. ун-та путей сообщения. – 2014. – № 4. – С. 99–109.
6. Сапожников В. В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 84–107.

7. Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
8. Ходаковский В. А. Мера сходства узкополосных сигналов / В. А. Ходаковский, Т. В. Ходаковский // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 2. С. 180–194.
9. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – М. : ФГБОУ «Учеб.-методич. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2013. – 244 с.
10. Berger J. M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Inf. and Control. – 1961. – Vol. 4, N 1. – P. 68–73.
11. Chandra V. Reliability and Safety Analysis of Fault Tolerant and Fail-Safe Node for Use in Railway Signaling System / V. Chandra, K.V. Kumar // Elsevier J. Reliab. Eng. Syst. – 1997. – Vol. 57, is. 2. – P. 177–183.
12. Collection of Digital Design Benchmarks. – URL : <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
13. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems : Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
14. Gorshe S. S. A Self-Checking ALU Design with Efficient Codes / S. S. Gorshe, B. Bose // Proc. 14th VLSI Test Symposium, Princeton, NJ, USA, 1996. – NJ : Princeton, 1996. – P. 157–161.
15. Kunz W. Multi-Level Logic Optimization by Implication Analysis / W. Kunz, P. R. Menon // Proc. IEEE/ACM Int. Conf. on Computer Aided Design (ICCAD'94), San Jose, CA, Nov. – San Jose, 1994. – P. 6–13.
16. Matrosova A. Survivable Self-Checking Sequential Circuits / A. Matrosova, I. Levin, S. Ostanin // Proc. of 2001 IEEE Int. Symp. on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT 2001), San Francisco, CA, 2001, 24–26 Oct. – San Francisco, 2001. – P. 395–402.
17. Mitra S. Which Concurrent Error Detection Scheme to Choose? / S. Mitra, E. J. McClaskey // Proc. Int. Test Conf., Atlantic City, NJ, USA, 2000, 3–5 Oct. – Atlantic City ; NJ, 2000. – P. 985–994.
18. Morosov A. Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs / A. Morosov, V. V. Sapozhnikov, V. V. Sapozhnikov, M. Goessel // VLSI Design. – 1998. – Vol. 5, is. 4. – P. 333–345.
19. Potin O. A New Scheme for Off-Line and On-Line Testing With ABC And Berger Encoding / O. Potin, Ch. Dufaza, Ch. Landrault // Proc. 4th IEEE Int. Online Testing Workshop, Italia, Capri, 1998. – Capri, 1998. – P. 71–75.
20. Sentovich E. M. SIS : A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno et al. // Electronics Res. Laboratory, Dep. of Electrical Eng. and Computer Sci., Univ. of California, Berkeley, 1992, 4 May. – Berkeley : Univ. of California, 1992. – 45 p.
21. Ubar R. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source) / R. Ubar, J. Raik, H.-T. Vierhaus. – Inf. Sci. Ref., Hershey, NY, IGI Global, 2011. – 578 p.
22. Wang L.-T. System-on-Chip Test Architectures: Nanometer Design for Testability / L.-T. Wang, C. E. Stroud, N. A. Touba. – Morgan Kaufmann Publ., 2008. – 856 p.

References

1. Blyudov A.A., Yefanov D.V., Sapozhnikov V.V. & Sapozhnikov V.V. *Avtomatika i telemekhanika – Automatics and Telemechanics*, 2013, no. 6, pp. 153–164.
2. Blyudov A. A., Yefanov D. V., Sapozhnikov V. V. & Sapozhnikov V. V. *Avtomatika i telemekhanika – Automatics and Telemechanics*, 2014, no. 8, pp. 131–145.
3. Blyudov A.A., Yefanov D.V., Sapozhnikov V.V. & Sapozhnikov V.V. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic Simulation*, 2012, Vol. 34, no. 6, pp. 17–29.
4. Yefanov D.V., Sapozhnikov V.V. & Sapozhnikov V.V. *Avtomatika i telemekhanika – Automatics and Telemechanics*, 2010, no. 6, pp. 155–162.
5. Yefanov D. V. *Izvestiya PGUPS – Proc. of Petersburg Transp. Univ.*, 2014, Is. 4, pp. 99–109.
6. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V. & Yefanov D. V. *Avtomatika na transporte – Automatics in Transport*, 2015, Vol. 1, no. 1, pp. 84–107.
7. Sogomonyan Ye. S. & Slabakov Ye. V. *Samoproveryayemye ustroystva i otkazoustoychivyye*

sistemy [Self-Checking Machines and Fail-Safe Systems]. Moscow, Radio i svyaz, 1989. 208 c.

8. Khodakovskiy V.A. & Khodakovskiy T.V. *Avtomatika na transporte – Automatics in Transport*, 2015, Vol. 1, no. 2, pp. 180-194.

9. Shamanov V.I. Elektromagnitnaya sovmestimost sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Electromagnetic Compatibility of Systems of Railway Automatics and Telemechanics]. Moscow, FGBOU "Training Centre for Railway Transport Education", 2013. 244 p.

10. Berger J.M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels. *Inf. and Control*, 1961, Vol. 4, no. 1, pp. 68-73.

11. Chandra V. & Kumar K.V. Reliability and Safety Analysis of Fault Tolerant and Fail-Safe Node for Use in Railway Signaling System. *Elsevier J. Reliab. Eng. Syst.*, 1997, Vol. 57, is. 2, pp. 177-183.

12. Collection of Digital Design Benchmarks, available at: <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.

13. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems: Theory and Pract. Applications. John Wiley & Sons, 2006. 720 p.

14. Gorshe S.S. & Bose B. A Self-Checking ALU Design with Efficient Codes. *Proc. 14th VLSI Test Symp.*, Princeton, NJ, USA, 1996. NJ, Princeton, 1996, pp. 157-161.

15. Kunz W. & Menon P.R. Multi-Level Logic Optimization by Implication Analysis. *Proc. IEEE/ACM Int. Conf. on Computer Aided Design (ICCAD'94)*, San Jose, CA, Nov. San Jose, 1994, pp. 6-13.

16. Matrosova A., Levin I. & Ostanin S. Survivable Self-Checking Sequential Circuits. *Proc. of 2001 IEEE Int. Symp. on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT 2001)*, San Francisco, CA, 2001, 24–26 Oct. San Francisco, 2001, pp. 395-402.

17. Mitra S. & McClaskey E.J. Which Concurrent Error Detection Scheme to Choose? *Proc. Int. Test Conf.*, Atlantic City, NJ, USA, 2000, 3–5 Oct. Atlantic City, NJ, 2000, pp. 985-994.

18. Morosov A., Saposhnikov V.V., Saposhnikov V.I. & Goessel M. Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs. *VLSI Design*, 1998, Vol. 5, is. 4, pp. 333-345.

19. Potin O., Dufaza Ch. & Landrault Ch. A New Scheme for Off-Line and On-Line Testing With ABC And Berger Encoding. *Proc. 4th IEEE Int. Online Testing Workshop*, Italia, Capri, 1998. Capri, 1998, pp. 71-75.

20. Sentovich E.M., Singh K.J., Lavagno L., Monon C., Murgai R., Saldanha A., Savoj H., Stephan P.R., Brayton R.K. & Sangiovanni-Vincentelli A. SIS: A System for Sequential Circuit Synthesis. *Electronics Res. Laboratory, Dep. of Electrical Eng. and Computer Sci.*, Univ. of California, Berkeley, 1992, 4 May. Berkeley, Univ. of California, 1992. 45 p.

21. Ubar R., Raik J. & Vierhaus H.-T. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source). *Inf. Sci. Ref.*, Hershey, NY, IGI Global, 2011. 578 p.

22. Wang L.-T., Stroud C.E. & Touba N.A. System-on-Chip Test Architectures: Nanometer Design for Testability. Morgan Kaufmann Publ., 2008. 856 p.

САПОЖНИКОВ Валерий Владимирович – д-р техн. наук, профессор, kat@pgups.edu; САПОЖНИКОВ Владимир Владимирович – д-р техн. наук, профессор, kat@pgups.edu; *ЕФАНОВ Дмитрий Викторович – канд. техн. наук, доцент, TrES-4b@yandex.ru; ЧЕРЕПАНОВА Мария Родионовна – студент, bugsbunny.k38@gmail.com (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 699.841

Д. А. Сергеев**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ В РАЙОНАХ
ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
С ВЫСОКИМ РОСТВЕРКОМ В КАЧЕСТВЕ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ**

Дата поступления: 15.07.2015

Решение о публикации: 08.09.2015

Цель: Описать надежность зданий, возводимых в сейсмически опасных районах строительства, в которых распространена вечная мерзлота. **Методы:** Произведено расчетно-теоретическое исследование для установления возможности применения свайного фундамента в виде сейсмоизоляции в районах высокой балльности с сохранением несущей способности свай. Расчет производился по спектральной методике. При расчетах варьировались длина свободной части сваи, масса, приходящаяся на одну сваю, различные конструкции свай. Расчет производился без введения и с введением дополнительного демпфирования в систему сейсмоизоляции. **Результаты:** Предложено решение по введению систем сейсмоизоляции в виде свайного фундамента с высоким ростверком, что позволяет сохранять основание в мерзлом состоянии. Полученные данные выведены в виде изолиний. Показано, при каких условиях свайный фундамент с высоким ростверком становится эффективным способом сейсмозащиты. Приведены рекомендации по выбору демпфирующего устройства. Предложены конструктивные решения демпфирующих устройств сухого трения. **Практическая значимость:** Полученные результаты могут быть использованы в проектировании зданий в сейсмически опасных районах с распространением вечной мерзлоты. Внедрение предложенных конструкций значительно повысит надежность зданий, возводимых в сейсмоопасных районах распространения вечной мерзлоты. Помимо этого, рассмотренные конструкции значительно облегчат технологию возведения и стоимость строительства таких домов.

Вечная мерзлота, сейсмозащита, сейсмоизоляция, свайный фундамент, демпфирование.

Denis A. Sergeyev, postgraduate student, iamfroot@gmail.com (Petersburg State Transport University)
ENSURING SEISMIC STABILITY OF BUILDINGS IN PERMAFROST REGIONS WITH THE USE
OF PILE BASE WITH HIGH FOUNDATION FRAME AS SEISMOISOLATION

Objective: To describe safety of buildings being erected in seismically dangerous regions of construction where permafrost is present. **Methods:** Calculation and theoretical study was conducted to check whether it is possible to use pile base as seismoisolation in areas with high seismic magnitude with preservation of piles' carrying capacity. Calculations were conducted by spectral method. During calculations, value variations were introduced for the length of a loose part of a pile, mass per pile, various pile designs. Calculations were conducted both with and without introduction of additional damping into the seismoisolation system. **Results:** The study proposes a solution for introducing seismoisolation systems as pile bases with high foundation frame, which allows to preserve the foundation in frozen state. The data obtained is presented as isolines. The study shows under which conditions can pile base with high foundation frame serve as efficient seismoprotection. Recommendations for choice of damping device are provided. Dry friction damper design solutions are offered. **Practical importance:** Study results can be used for designing buildings in seismically dangerous regions where permafrost is present. Introduction of proposed designs will significantly increase safety of buildings constructed in seismically dangerous regions where permafrost is present. Additionally, proposed designs will significantly simplify construction technology and cut costs for building such houses.

Permafrost, seismoprotection, seismoisolation, pile base, damping.

Обеспечение надежности зданий и сооружений в сейсмически опасных районах остается одним из актуальных вопросов в современном строительстве. Зачастую условия проектирования и строительства в сейсмических районах осложняются суровым климатом, отрицательными температурами, типами грунта и другими неблагоприятными условиями. Наиболее опасная ситуация возникает при строительстве зданий и сооружений в условиях высокой сейсмической активности и залегания мерзлых грунтов в основании. Территориями с таким сочетанием являются Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток.

Проблемами сейсмостойкого строительства в районах вечной мерзлоты занимались с середины XX в. Эти вопросы освещены в работах В. П. Солоненко, В. А. Харитонов, С. И. Гриб и многих других [3, 8, 13].

Строительство на вечной мерзлоте, как известно, ведется по двум основным принципам: сохранения мерзлоты в период строительства и эксплуатации здания, оттаивания грунтов основания до начала строительства или в период эксплуатации здания. Первый принцип предпочтительнее, так как, согласно действующей нормативной документации [10], и рекомендациям [6, 7], такое строительство снижает расчетную сейсмичность площадки строительства на 1 балл, что, в свою очередь, уменьшает сейсмические нагрузки на здание в несколько раз.

В современном сейсмостойком строительстве широко распространена система защиты в виде сейсмоизоляции, принципы которой реализованы с помощью различных конструктивных решений и широко применяются на территории РФ и за рубежом. Например, в Японии, где за год происходит более 1000 землетрясений. Анализ последствий землетрясений показывает, что здания, в которых была использована эта система сейсмозащиты, оказались сейсмостойкими. Сейсмоизоляция может быть весьма эффективна и в районах вечной мерзлоты, когда используется принцип сохранения мерзлоты (первый). Известно,

что 1-й принцип реализуется при устройстве проветриваемого подполья, конструктивно для этого используют свайный фундамент с высоким ростверком.

Свайный фундамент в качестве элементов сейсмоизоляции рассмотрен в работах Я. М. Айзенберга [1], А. Т. Аубакирова, Т. А. Белаш и других авторов. Применение этого конструктивного элемента в качестве сейсмоизоляции не требует значительных затрат на устройство и эксплуатацию в отличие от других опорных элементов, однако поскольку конкретных рекомендаций по обоснованию элементов свайного фундамента в качестве сейсмоизоляции в районах вечной мерзлоты нет, необходимы дальнейшие расчетно-теоретические исследования для повышения сейсмостойкости зданий в этих районах.

Расчетно-теоретический анализ возможности использования свайного фундамента с высоким ростверком в качестве сейсмоизоляции

Расчетно-теоретическое исследование производили на примере крупнопанельного здания с жесткой конструктивной системой и фундаментов в виде свай с высоким ростверком. Такие дома широко распространены в районах вечной мерзлоты.

Расчетная схема рассматриваемой системы сейсмозащиты представляла собой одно-массную сдвиговую модель, которая жестко закреплена в основании и имеет шарнирное крепление в верхней части здания (с ростверком). К системе прикладывали продольную силу N от веса здания и поперечную (сейсмическую) силу S .

Задачей исследования было установить возможность обеспечения необходимой податливости свай для реализации принципов сейсмоизоляции, при этом сохранить несущую способность свай.

Чтобы обеспечить гибкость свайного фундамента, необходимо иметь значительную

свободную длину сваи (l). Длина свободной части в расчетных исследованиях варьировалась в диапазоне от 2,5 до 8 м. Конструктивно это можно реализовать с помощью обсадной трубы.

На первом этапе исследования масса здания, приходящаяся на одну сваю, была принята равной 45 т.

Также одной из важнейших характеристик, влияющих на снижение сейсмических нагрузок на здание, является период колебания здания T , определяющийся по формуле

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{k^2},$$

где k – частота колебаний.

Согласно рекомендациям, снижения сейсмической реакции системы, воспринимающей горизонтальные силы, следует достигать путем увеличения основного периода колебаний сейсмически изолированного сооружения, видоизменения основной формы колебаний и увеличения демпфирования или путем комбинации этих эффектов [9].

При этом, согласно исследованиям [12], эффективная настройка зданий с системой сейсмоизоляции находится в диапазоне $T \geq 1,5$ с.

Для реализации рассматриваемого решения использовали типовые сваи прямоугольного сечения с арматурой А500, рекомендуемой [10]. Процент армирования (μ) при этом не должен был превышать 6 %.

Для первоначального приближения рассчитана требуемая площадь рабочей арматуры для железобетонной сваи прямоугольного сечения размерами 400 × 400 мм, класс бетона В40. Армирование предполагалось симметричным, расположение арматуры – однорядное. Расчетные характеристики материалов приняты в соответствии с [11].

Расчет выполнен с помощью спектральной методики согласно [10].

Сейсмическая (поперечная) сила, согласно этой методике, принята равной

$$S = m \cdot g \cdot A \cdot \beta \cdot k_{\psi},$$

где $m = 45$ т – масса здания, приходящаяся на одну сваю; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; A – коэффициент, значение которого следует принимать равным 0,1; 0,2; 0,4 для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов, соответственно; β – коэффициент динамичности, вычисляемый по п. 5.6 [10]; $k_{\psi} = 1$ – коэффициент рассеивания энергии, принимаемый по табл. 5 [10].

После определения усилий в элементах от заданных нагрузок была получена зависимость коэффициента армирования железобетонной сваи, вычисленного по [11], и периода колебаний от длины ее свободной части.

На основании первоначальных расчетов получен диапазон допустимых значений для районов с 7-, 8- и 9-балльными землетрясениями.

В первичном приближении получены следующие результаты:

1) свайный фундамент в рассматриваемом конструктивном решении можно использовать в районах 7-балльных землетрясений при $l = 6,65$ м; $\mu = 3,5$ %;

2) при повышении сейсмичности до 8 и более баллов требуемый коэффициент армирования значительно возрастает ($\mu > 10$ %), что ограничивает использование рассматриваемой конструкции.

На следующем этапе расчетного анализа для расширения диапазона использования системы сейсмозащиты коэффициент рассеивания k_{ψ} принимался 0,7, что характеризует введение дополнительных элементов демпфирования.

Расчет с введением дополнительного демпфирования показал, что желаемое увеличение диапазона использования свайного фундамента было достигнуто. В 8-балльных районах появляется возможность реализовать предлагаемое решение при $l = 6,65$ м; $\mu = 3,2$ %. Однако для сейсмичности в 9 баллов использование железобетонных свай с принятыми исходными данными невозможно даже после введения дополнительного демпфирования.

Учитывая результаты первоначального расчета, для более точного анализа и установле-

ния возможности использования рассматриваемой системы сейсмозащиты в 9-балльных зонах в дальнейших исследованиях варьировали массу, приходящуюся на одну сваю ($30 \text{ т} \leq m \leq 60 \text{ т}$), использовали сваи сечением 300×300 и 400×400 мм. Результаты выведены в виде изолиний (рис. 1–3).

По результатам расчетного анализа сделаны следующие выводы:

1) применение железобетонных свай без введения дополнительного демпфирования возможно только в 7-балльной зоне, при этом

масса здания, приходящаяся на одну сваю, ограничивается 50 т, длина свободной части сваи должна быть не менее 6,7 м;

2) введение дополнительного демпфирования значительно расширяет диапазон применения железобетонных свай. При небольшой массе здания – до 35 т на одну сваю – можно использовать сваи сечением 300×300 мм в 7-и 8-балльных районах, длина свободной части сваи при этом должна быть более 5 м. Сваи сечением 400×400 мм можно использовать и в 9-балльных зонах при значительном

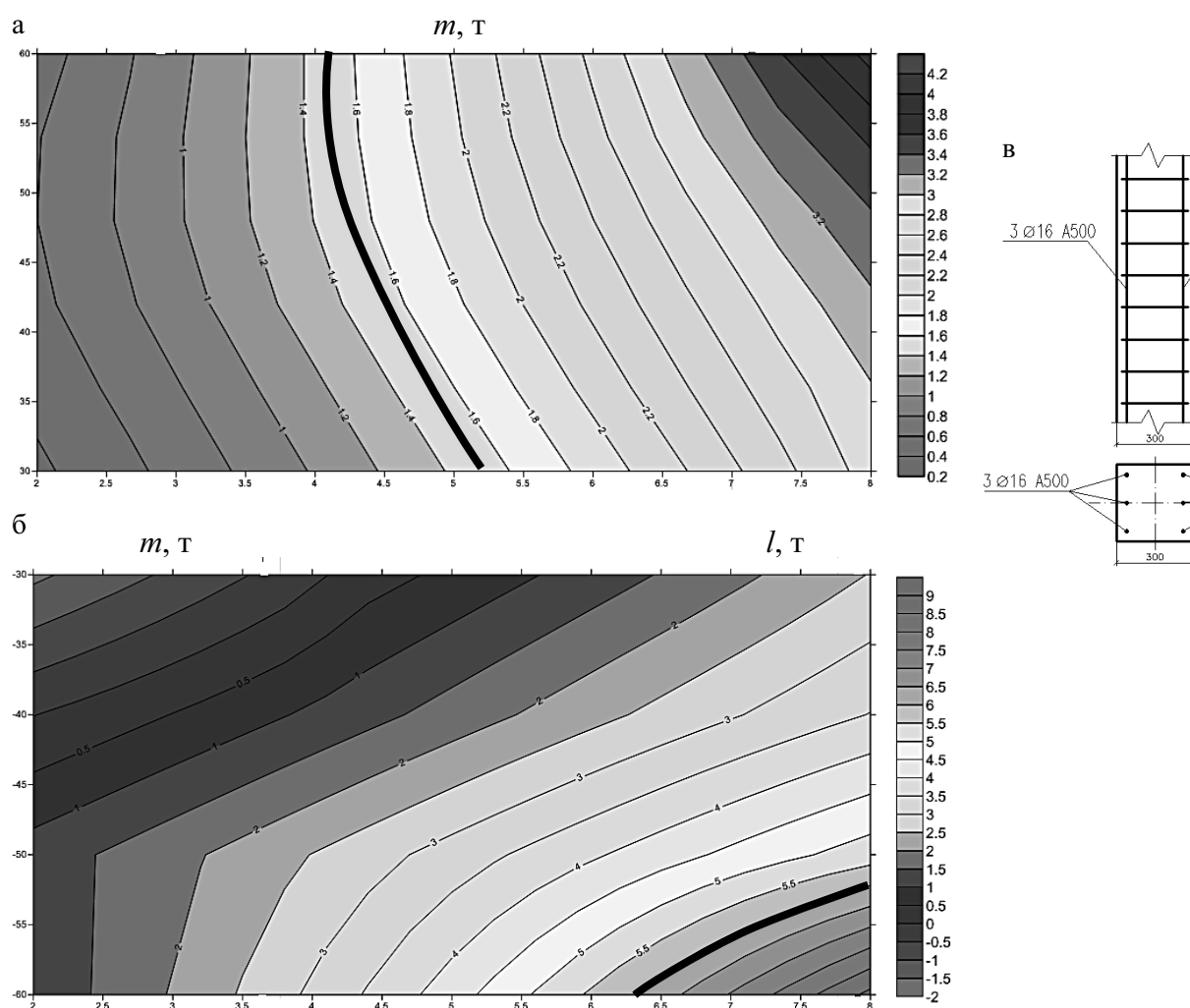


Рис. 1. Периоды колебания здания и процент армирования свай сечением 300×300 мм для сейсмичности 7 баллов с дополнительным демпфированием:

- а) зависимость периода колебаний здания от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; б) зависимость коэффициента армирования от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; в) пример сечения железобетонной сваи длиной 5 м, масса здания, приходящаяся на одну сваю, 35 т, коэффициент армирования 1,3 %

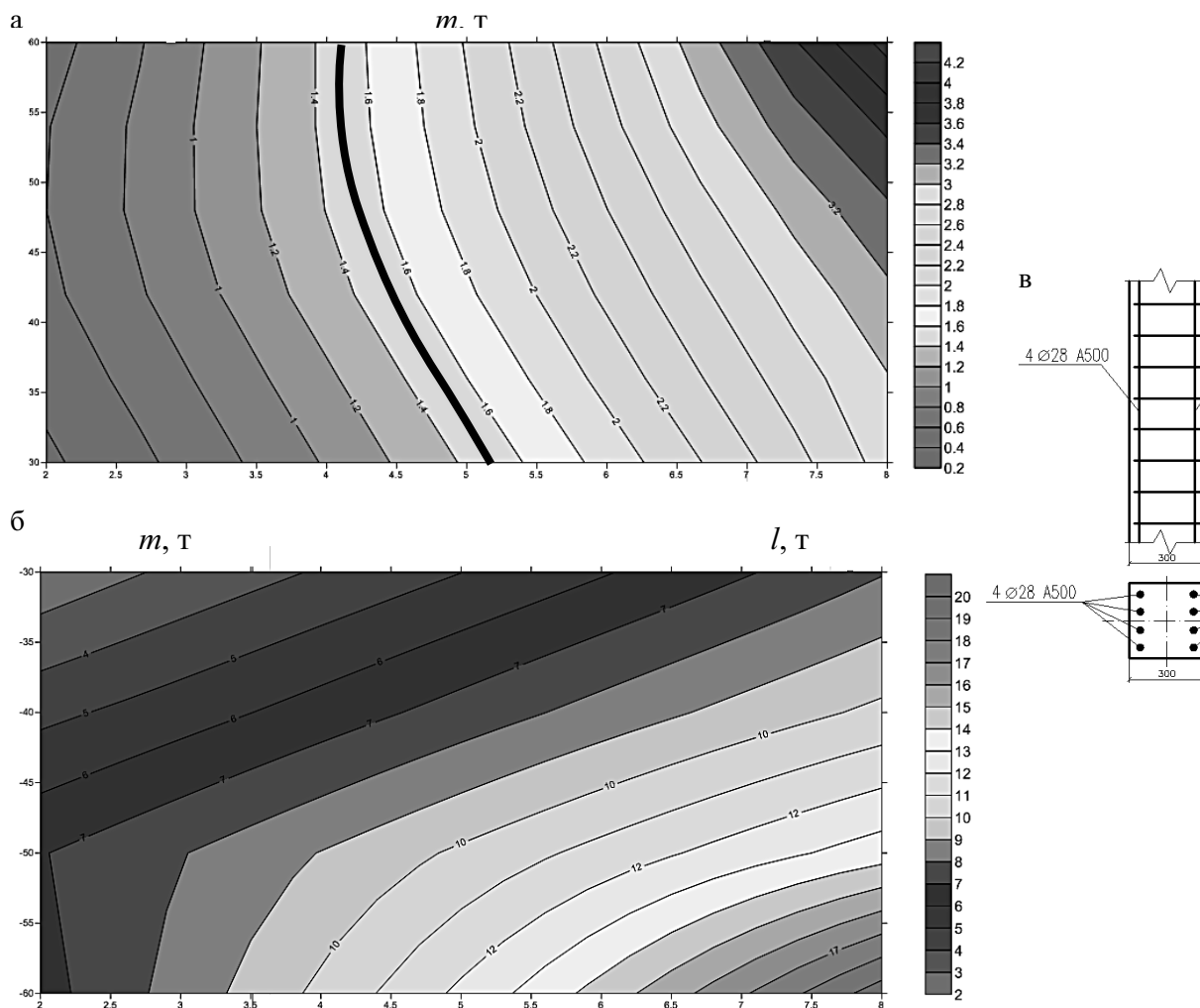


Рис. 2. Периоды колебания здания и процент армирования свай сечением 300×300 мм для сейсмичности 8 баллов с дополнительным демпфированием:

а) зависимость периода колебаний здания от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; б) зависимость коэффициента армирования от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; в) пример сечения железобетонной сваи длиной 5,5 м, масса здания, приходящаяся на одну сваю, 30 т, коэффициент армирования 5,4 %

снижении массы здания, приходящейся на одну сваю, и при увеличении коэффициента армирования;

3) во всех случаях при увеличении балльности района требуется понижение массы здания на одну сваю и увеличение коэффициента армирования свай. Однако отношение длины свободной части свай обратно пропорционально массе здания на одну сваю.

Так как использование железобетонных свай в 8- и 9-балльных зонах ограничивается

массой здания, для свайного фундамента в зонах с высокой балльностью рассматривалась возможность применять металлические сваи с оболочками различного сечения.

Для этого были рассмотрены типовые трубы из стали по ГОСТ 8731-87 с расчетным сопротивлением по пределу текучести $R_y = 225$ МПа. Такая сталь позволяет использовать трубы с толщиной стенки 4–36 мм. Кроме того, рассмотрены трубы из стали 10ХСНД по ГОСТ 6713-91 с $R_y = 350$ МПа с толщиной стенки 8–15 мм и из стали 40Х13 по ГОСТ

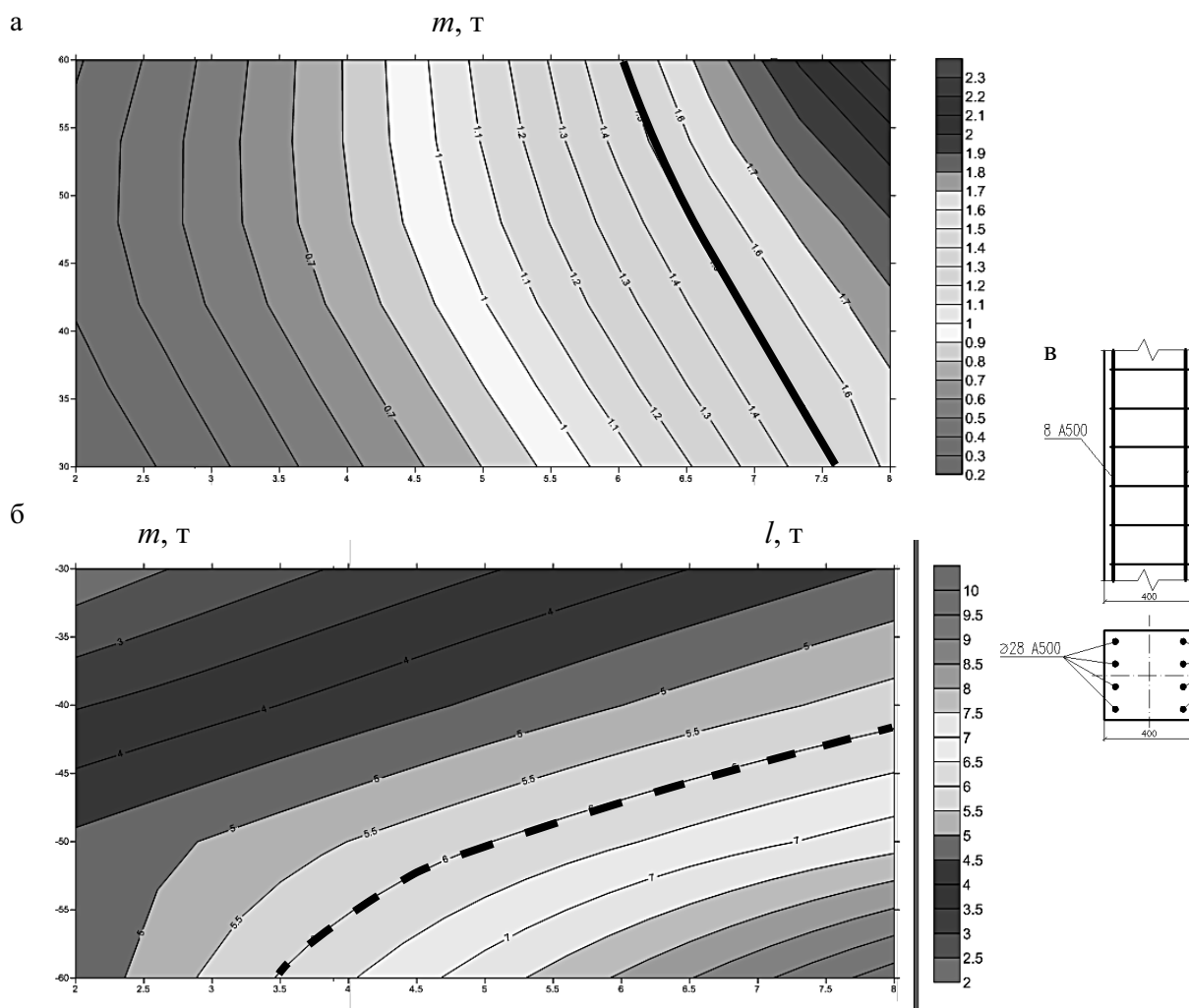


Рис. 3. Периоды колебания здания и процент армирования свай сечением 400×400 мм для сейсмичности 9 баллов с дополнительным демпфированием:

а) зависимость периода колебаний здания от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; б) зависимость коэффициента армирования от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; в) пример сечения железобетонной сваи длиной 7 м, масса здания, приходящаяся на одну сваю, 35 т, коэффициент армирования 2,8 %

5632-72 с $R_y = 1050$ МПа с толщиной стенки до 250 мм. Для расчета были выбраны сечения труб в соответствии с ГОСТ 8732-78. Расчетные усилия определяли согласно принятой методике для железобетонных свай. Результаты представлены на рис. 4, 5.

Анализ показал, что применение металлических свай оболочек с дополнительным демпфированием возможно и при 9 баллах, при этом длина свободной части сваи значительно увеличивается, масса здания также увеличивается в отличие от варианта с при-

менением железобетонных свай. Требования к марке стали возрастают во всех случаях увеличения балльности зоны.

Выбор демпфирующего устройства

Исследования показали, что при различных конструктивных решениях сваи система сейсмозащиты в виде свайного фундамента с высоким ростверком требует введения дополнительных демпфирующих устройств для

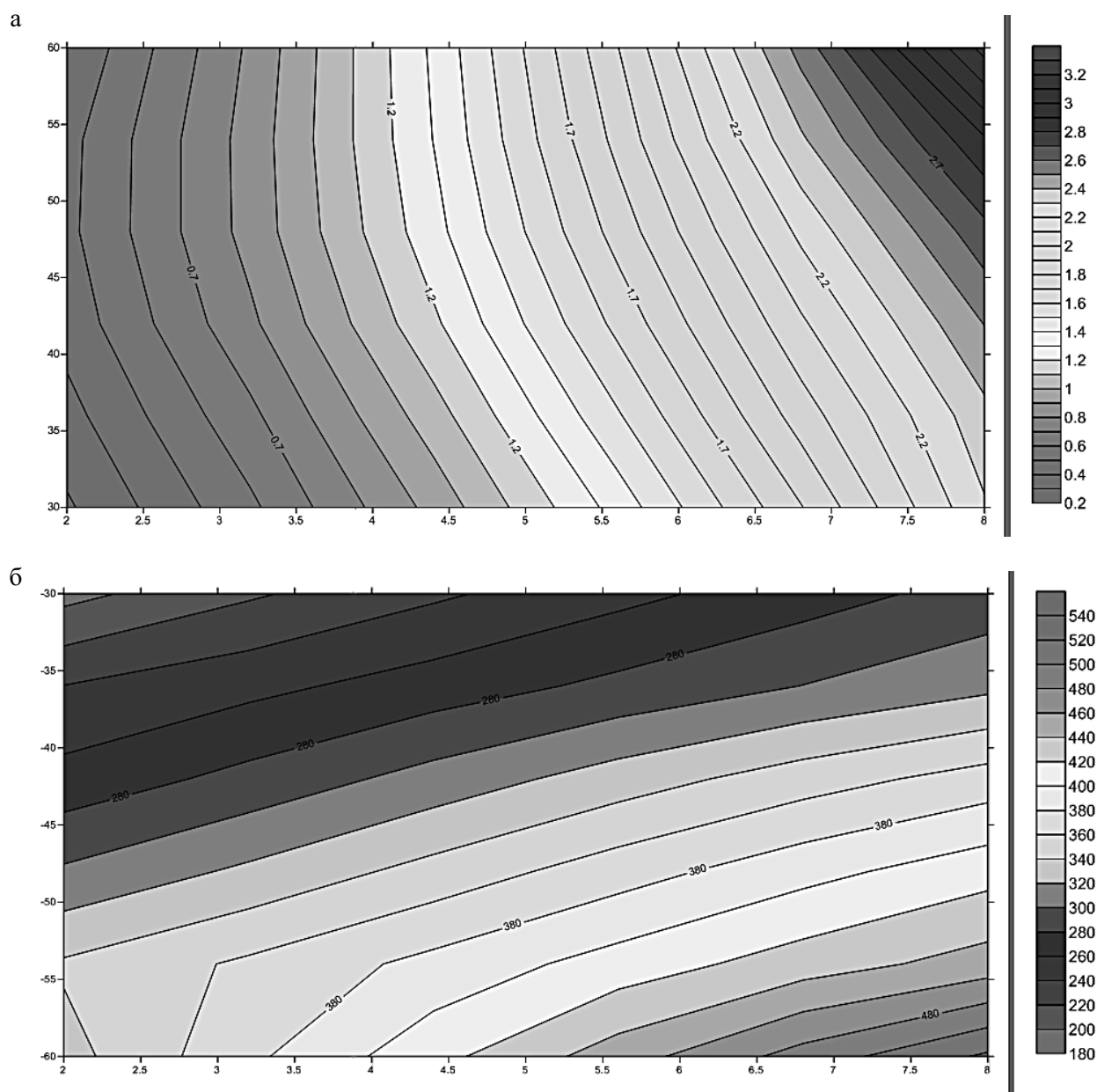


Рис. 4. Результаты расчета стальной сваи с сечением $r = 201$ мм и толщиной стенки 14 мм для сейсмичности 8 баллов с дополнительным демпфированием для свай с расчетным сопротивлением 225 и 350 МПа: а) зависимость периода колебаний здания от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; б) зависимость расчетного сопротивления от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю

надежной работы в условиях высокой балльности (> 7 баллов).

Выбор демпфирующего устройства – важная и сложная задача. Существует множество вязких и сухих демпферов, которые могут обеспечить необходимый коэффициент рассеивания, например, резиновые опорные

части со свинцовым сердечником, демпферы фирм FIP Industriale, ALGA, Vibroseism, Maurer Söhne и др.

В условиях рассматриваемых районов с суровым климатом и особыми грунтовыми условиями следует обратить внимание на некоторые важные аспекты при выборе демп-

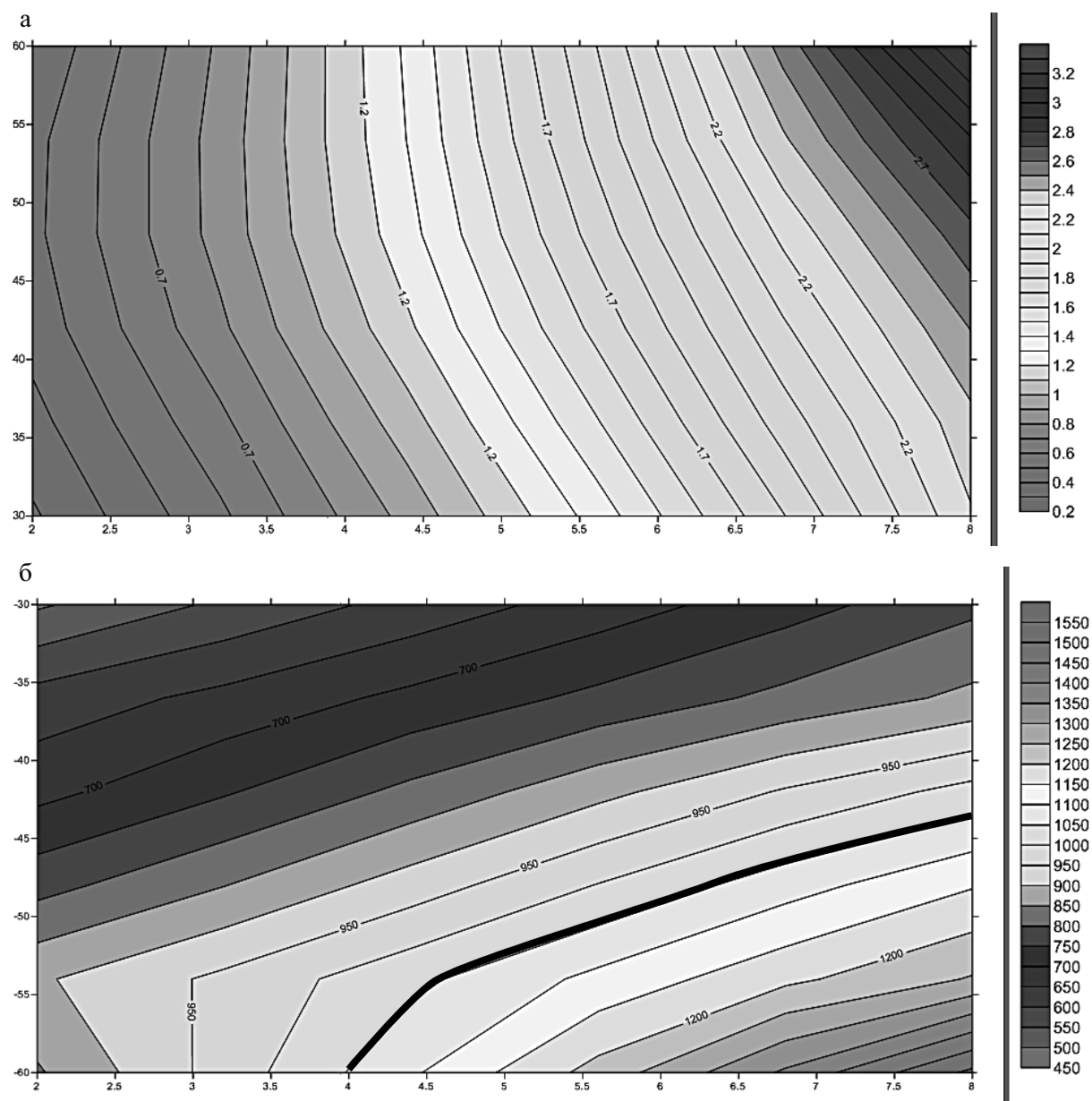


Рис. 5. Результаты расчета стальной сваи с сечением $r = 175,5$ мм и толщиной стенки 12 мм для сейсмичности 9 баллов с дополнительным демпфированием. Толстая черная линия соответствует предельно допустимому напряжению 1050 МПа: а) зависимость периода колебаний здания от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю; б) зависимость расчетного сопротивления от длины свай и массы здания, приходящейся на одну сваю

феров. Работоспособность демпферов вязкого трения может быть ограничена отрицательными температурами. Также, несомненно, вязкие демпферы более дороги и сложны в эксплуатации, что усложняется в суровых климатических условиях и при недостатке квалифицированных кадров. Демпферы гистерезисного

типа намного проще и дешевле в применении, поэтому стоит рассмотреть применение именно их.

При устройстве подполий открытого типа есть вероятность, что демпфирующие устройства занесет снегом, также зачастую подполья подвержены загрязнению бытовыми отходами

и другим мусором, что в итоге может повлиять на работу системы сейсмоизоляции. Устройство закрытых подполий весьма усложнит строительство, что приведет к его удорожанию и другим неблагоприятным последствиям. Необходимо выбрать демпфер, который обеспечит надежность строительства и эксплуатации здания независимо от погодных условий и наличия осадков, отходов.

Также при строительстве на вечной мерзлоте свайный фундамент может неравномерно оседать, что изменит режим нагружения, а это повлияет на работу демпфера, поэтому необходимо использовать демпфер, который обеспечит запроектированный режим работы при подобных изменениях, или демпфер, который может регулировать силу трения.

Несомненно, при всех этих аспектах и одинаково надежной работе демпфера наиболее важны его стоимость и технологичность процесса устройства.

На кафедре «Здания» ФГБОУ ВПО ПУГПС разработаны демпферы гистерезисного типа, которые учитывают все перечисленные факторы.

С учетом исследований автор разработал предложения по реализации принципа сейсмоизоляции, где использована конструкция свайного фундамента с высоким ростверком и с введением элементов дополнительного демпфирования [4, 5].

Заключение

Расчётные исследования по применению свай разной конструкции в сейсмических районах интенсивностью свыше 6 баллов показали, что реализация принципов сейсмоизоляции возможна как для железобетонных, так и для металлических свай. Для обеспечения надежности здания на свайном фундаменте необходимо определить необходимые конструктивные параметры свай (длину свободной части, процент армирования, марку стали для металлических свай, сечение свай). При увеличении балльности района строительства

возрастают требования к прочности свай, что влечет за собой увеличение коэффициента армирования для железобетонных свай и предельно допустимых напряжений для стали в металлических сваях. Во всех рассмотренных случаях введение дополнительного демпфирования намного расширяет диапазон применения свай в качестве элементов демпфирования, при этом сохраняется их несущая способность. Одним из наиболее важных факторов при использовании свайного фундамента с высоким свайным ростверком в качестве системы сейсмоизоляции является выбор демпфирующего устройства. Приведенные конструктивные решения демпферов позволяют обеспечить сейсмостойкость зданий в районах вечной мерзлоты при максимальной экономии средств на строительство и эксплуатацию.

Библиографический список

1. Айзенберг Я. М. Системы сейсмоизоляции «свая в трубе» с неупругими выключающимися связями / Я. М. Айзенберг // Архитектура и строительство Узбекистана. – 1988. – № 11. – С. 29–31.
2. Айзенберг Я. М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов / Я. М. Айзенберг. – М. : Стройиздат, 1976.
3. Гриб С. И. Свайные фундаменты на вечномёрзлых грунтах в сейсмических районах / С. И. Гриб. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд., 1983. – 152 с.
4. Пат. на полезную модель № 143428 МПК Е 04 Н 9/02, Е 02 D 27/34. Фундамент сейсмостойкого здания / Т. А. Белаш, И. Б. Нудьга, Д. А. Сергеев. Оpubл. 20.07.2014. Бюл. № 20.
5. Пат. на полезную модель № 145799 МПК Е 04 Н 9/02, Е 02 D 27/34. Фундамент сейсмостойкого здания / Т. А. Белаш, И. Б. Нудьга, Д. А. Сергеев. Оpubл. 27.09.2014. Бюл. № 20.
6. Рекомендации по проектированию и устройству ленточных и столбчатых фундаментов зданий транспортного назначения в условиях вечномерзлых грунтов и сеймики / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т трансп. стр-ва. – М. : ЦНИИС Минтрансстроя, 1975. – 63 с.

7. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах / НИИ оснований и подзем. сооружений им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1980. – 303 с.

8. Солоненко В. П. Сейсмическое районирование Восточной Сибири / В. П. Солоненко, А. А. Тресков, Н. А. Флоренсов // Геология и геофизика. – 1960. – № 10. – С. 104–114.

9. СП. Здания сейсмостойкие и сейсмоизолированные. Правила проектирования. – М., 2013.

10. СП 14.13330.2013 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах». – М., 2014.

11. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». – М., 2012.

12. Уздин А. М. Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений : учеб. пособие / А. М. Уздин, С. В. Елизаров, Т. А. Белаш. – М. : ФГОУ «Учеб.-методич. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2012. – 500 с.

13. Харитонов В. А. Сейсмостойкое строительство на вечномёрзлых грунтах / В. А. Харитонов. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд., 1980. – 80 с.

References

1. Aizenberg Ya. M. *Arkhitektura i stroitelstvo Uzbekistana – Architecture and Construction in Uzbekistan*, 1988, no. 11, pp. 29-31.

2. Aizenberg Ya. M. *Sooruzheniya s vyklyuchayushchimisya svyazyami dlya seysmicheskikh rayonov* [Constructions with the Switching-off Communications for Seismic Countries]. Moscow, Stroyizdat, 1976.

3. Grib S. I. *Svaynyye fundamenty na vechnomerzlykh gruntakh v seysmicheskikh rayonakh* [Pile Bases on Permafrost Soils in Seismic Countries]. Leningrad, Stroyizdat, Leningr. div., 1983. 152 p.

4. Pat. RF 143428. *Fundament seismostoikogo zdaniya* [Base of Aseismic Building]. T. A. Belash, I. B. Nud'ga & D. A. Sergeev. Publ. 20.07.2014. Bul. no. 20.

5. Patent RF 145799. *Fundament seismostoikogo zdaniya* [Base of Aseismic Building]. T. A. Belash, I. B. Nud'ga & D. A. Sergeev. Publ. 27.09.2014. Bul. no. 20.

6. *Rekomendatsii po proyektirovaniyu i ustroystvu lentochnykh i stolbchatykh fundamentov zdaniy transportnogo naznacheniya v usloviyakh vechnomerzlykh gruntov i seysmiki* [Recommendations on Design and Setting up of the Strip and Column Bases of Buildings of Transport Purpose in the Conditions of Permafrost Soils and Seismicity]. All-Union Sci. Res. Institute for Transport Construction. Moscow, TsNIIS Mintrastroya, 1975. 63 p.

7. *Rukovodstvo po proyektirovaniyu osnovaniy i fundamentov na vechnomerzlykh gruntakh; NII osnovaniy i podzemnykh sooruzheniy im. N.M. Gersevanova Gosstroya SSSR* [Guide to Design of Bases and Foundations on Permafrost Soils. Gersevanov Sci. Res. Inst. of the Bases and Underground Constructions of the Main Construction Directorate of the USSR]. Moscow, Stroyizdat, 1980. 303 p.

8. Solonenko V. P., Treskov A. A. & Florensov N. A. *Geologiya i geofizika – Geol. and Geophys.*, 1960, no. 10, pp. 104-114.

9. SP. *Zdaniya seysmostoykiye i seysmoizolirovannyye. Pravila proyektirovaniya*. [Code of Rules. Aseismic and Seismoisolated Buildings. Rules of Design]. Moscow, 2013.

10. SP 14.13330.2013 “СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах” [Code of Rules 14.13330.2013 “Construction Norms and Regulations of II 7-81* Construction in Seismic Regions”]. Moscow, 2014.

11. SP 63.13330.2012 *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya*. [Code of Rules 63.13330.2012 “Concrete and Ferroconcrete Designs. Basic Provisions”]. Moscow, 2012.

12. Uzdin A. M., Yelizarov S. V. & Belash T. A. *Seymostoykiye konstruksii transportnykh zdaniy i sooruzheniy* [Aseismic Designs of Transport Buildings and Constructions], Manual. Moscow, FGOU “Training Centre for Railway Transport Education”, 2012. 500 p.

13. Kharitonov V. A. *Seymostoykoye stroitelstvo na vechnomerzlykh gruntakh* [Aseismic Construction on Permafrost Soils]. Leningrad, Stroyizdat, Leningr. div., 1980. 80 p.

СЕРГЕЕВ Денис Андреевич – аспирант, iamfrookt@gmail.com (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).

УДК 628.3

Е. А. Соловьева, Б. Г. Мишуков**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
РАСХОДА И СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД**

Дата поступления: 20.05.2015

Решение о публикации: 09.07.2015

Цель: Раскрыть вероятность изменения расхода и состава поступающих на очистку сточных вод. Описать особенности состава, массы и концентрации загрязнений сточных вод, формирующихся из бытового и поверхностного стоков, в условиях общесплавной канализации. **Методы:** Вероятность поступления суточных расходов сточных вод описывается распределением их в генеральной выборке данных за срок не менее трех лет. **Результаты:** Рассмотрены изменения поступления по растворенной части загрязнений (азот аммонийный) и ХПК по концентрации и массе. Предложен вариант раздельного рассмотрения поступления бытового стока и смеси бытового и дождевого стоков. Показаны зависимости поступления расхода сточных вод, концентрации и массы загрязнений в зависимости от обеспеченности притока сточных вод на очистные сооружения. **Практическая значимость:** Отображение суточного расхода смеси дождевых и бытовых сточных вод в виде математической зависимости позволяет составить расчётные показатели работы очистных сооружений г. Санкт-Петербурга. На основе ожидаемой погоды по данным метеослужбы можно составить прогноз поступления массы сточных вод и разработать план мероприятий по очистке стоков.

Сточные воды, дождевые сточные воды, общесплавная канализация, состав стоков, очистные сооружения канализации, ХПК, азот аммонийный.

***Yelena A. Solovyeva**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, el-sol@yandex.ru (Petersburg State Transport University); **Boris G. Mishukov**, D. Eng., professor (Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering) A METHOD FOR ESTIMATION OF CALCULATED RATES OF WASTEWATER FLOW AND COMPOSITION

Objective: To discern probability of changing the flow and composition of wastewater that is to be treated. To describe specific features of composition, mass and pollution concentration of wastewater formed by land and drainage flow in combined sewage system. **Methods:** Probability of daily volumes of wastewater flow is described by their distribution in general data sample over the period of three years or more. **Results:** The study looks at changes in dissolved part of contaminants (Ammonia Nitrogen) and COD by concentration and mass. An option for separate consideration of household flow and mixture of household and rain flow is proposed. Dependencies between wastewater flow, concentration and mass of contaminants are shown in relation to the flow of wastewater to wastewater treatment plants. **Practical importance:** Showing daily volumes of mixture of rain and household wastewater as a mathematical formula allows to compile calculated rates for the operation of St Petersburg municipal wastewater treatment plants. On the basis of weather expected from weather station forecasts, a forecast of the mass of wastewater can be compiled, and measures to treat wastewater can be planned.

Wastewater, storm water, combined sewer, contaminants, wastewater treatment plants, COD, Ammonia Nitrogen.

Система водоотведения Санкт-Петербурга

Специфика системы водоотведения г. Санкт-Петербурга и пригородов заключается в приеме и очистке значительного количества поверхностных вод (дождевых и талых), а также в высоком стоянии грунтовых вод и в наличии инфильтрационного стока [1].

Кроме того, из-за использования глубоко заложенных тоннельных коллекторов большого сечения в сети при малых расходах накапливаются отложения и затем смываются в период резкого увеличения расхода.

Средства регулирования поступления поверхностного стока требуют больших затрат и, как показала практика, эти же средства, вложенные в технологию очистки воды, используются более эффективно.

Поступление сточных вод

Вероятность поступления суточных расходов сточных вод описывается их распределе-

нием в генеральной выборке данных (за срок не менее 3 лет). Пример такой выборки (гистограммы расходов) для Северной станции аэрации (ССА) и Юго-Западных очистных сооружений (ЮЗОС) показан на рис. 1 [4].

Отметим характерные участки: левую часть графика (3–5 % от общего числа наблюдений) с низкими расходами, центральную часть (70–80 %) и правую часть (10–15 %), которая отличается нарастанием расхода до предельных и запредельных значений. Малые расходы обусловлены техническими причинами (отключением горячей и холодной воды) и может не рассматриваться как лимитирующая величина. Центральная часть является отличительным признаком индивидуального изменения водопотребления населением. Правая часть отображает природно-климатические явления данной местности (интенсивные дожди, паводки, затопление территорий и т.п. случаи).

Слабоинтенсивные дожди включаются в объем стока от населения, поскольку их влияние на расход стоков сложно зафиксировать и оценить.

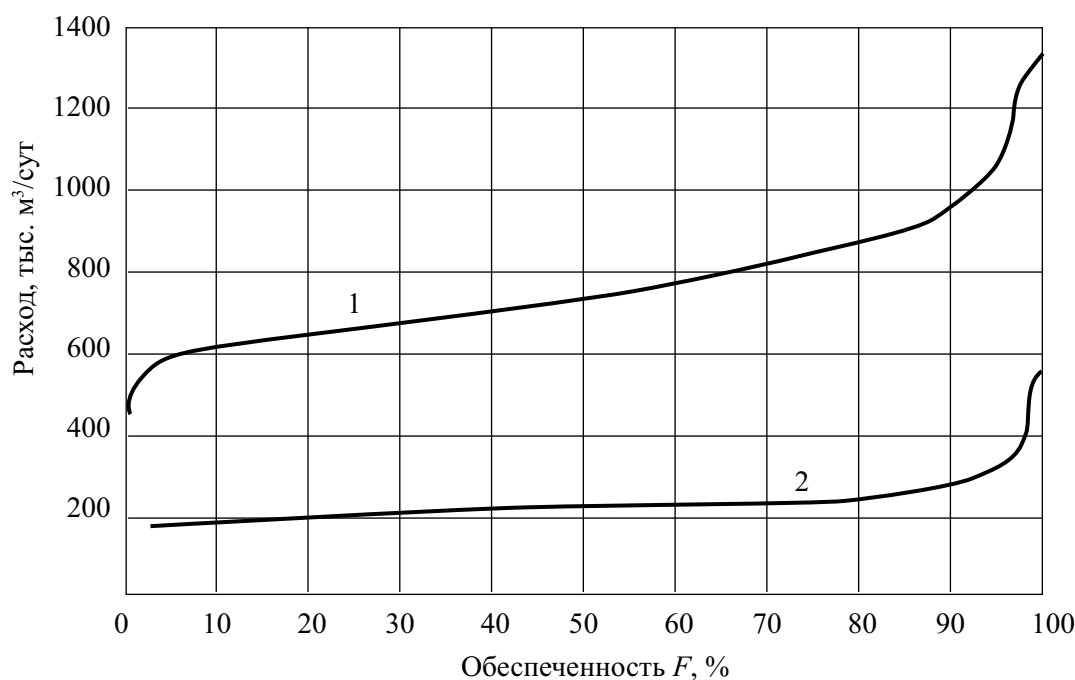


Рис. 1. Гистограмма значений расходов сточных вод, поступающих на ССА (1) и ЮЗОС (2)

Методика определения расходов

Центральная часть гистограммы расходов может быть выражена в виде прямой линии с пересечением оси ординат (рис. 2).

Слева (в точке 1) будет теоретический минимальный расход воды в сухую погоду, справа (в точке 3) – теоретический максимальный. Точка 2 – средний расход.

Расход дождевого стока нарастает по степенной зависимости при переменных значениях h_a , ψ и F .

Верхняя часть графика от точки 2 до точки 4 представляет собой приток дождевых, талых и иных вод природно-климатического происхождения.

Наращение дождевого и талого стока начинается в области обеспеченности 75–85 %. Например, в Германии для разграничения вида стоков за расчетный расход бытовых сточных вод принимают обеспеченность 85 % [2].

Гистограммы расхода сточных вод, показанные на рис. 1 и 2, практически одинаковы

для большинства изученных очистных станций.

В городах с полной раздельной системой водоотведения в период дождей из-за негерметичности сети и колодцев приток сточных вод увеличивается в 1,4–1,6 раза. Если центральную часть графиков представить в виде прямых линий, то получим ряд прямых линий с различным уклоном (J_F) в соответствии с изменением обеспеченности F от 0 до 100 %.

Для больших станций характерен меньший уклон, чем для средних и малых.

Наращение расхода в сухую погоду

$$J_F = 1,25 - 0,2 \cdot \lg q_{cp}, \quad (1)$$

где J_F – наклон линии расхода, доли единицы; q_{cp} – средний суточный расход, л/с.

При этом расходы любой обеспеченности F (доли единицы) будут выражены в долях от q_{cp} :

$$q_F = q_{cp} \cdot [1 + (1,25 - 0,2 \cdot \lg q_{cp}) \times (F - 0,5)]. \quad (2)$$

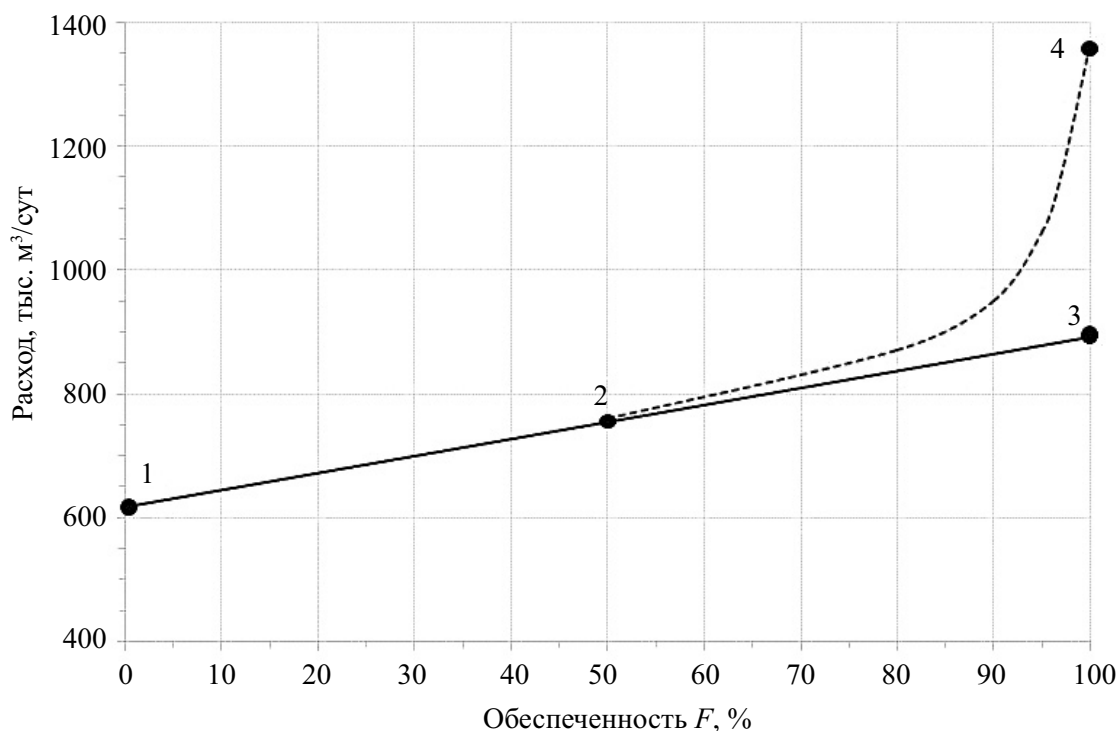


Рис. 2. Гистограмма значений расходов сточных вод

Общий расход сточных вод в системах будет превышать расход водопроводной воды за счет притока дождевых, талых и инфильтрационных стоков.

Расход инфильтрационных вод оценивается по площади бассейна стока и по удельному расходу (л/с с 1 га), принимаемому равным 0,05 л/с для районов с благополучным инженерным обустройством, 0,1 л/с – для обычных районов, 0,15 л/с – для районов с изношенными сетями. В последнем случае необходимо составить план реновации сетей и сооружений.

Для г. Санкт-Петербурга рекомендовано среднее значение удельного расхода 0,06–0,07 л/с с 1 га [1]. Для расчета учитываются площади стока с плотной жилой застройкой.

Практическая значимость

Исследования гидрографов притока на очистных станциях г. Санкт-Петербурга и его пригородов показали, что можно отобразить

суточный расход смеси дождевых и бытовых сточных вод в виде зависимости

$$Q_{\text{сум}} / Q_{\text{сух}} = \left(\frac{h_a}{h_1} \right)^{n_d}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{сум}}$ и $Q_{\text{сух}}$ – суточные расходы смеси стоков в дождь и в сухую погоду, соответственно; h_a – слой осадков, мм/сут; h_1 – осадки, не образующие стока (~ 1 мм/сут); n_d – показатель степени, отражающей изменения ψ и F во время дождя.

По результатам исследований на больших и малых по площади бассейнах стока $n_d = 0,25–0,3$, на крупных (Центральная станция аэрации (ЦСА), Северная станция аэрации (ССА)) – 0,2–0,23.

Например, для ССА нарастание стока при изменении h_a изображено на рис. 3.

На основе ожидаемой погоды по данным метеослужбы можно составить прогноз поступления массы сточных вод и разработать план мероприятий по очистке стоков.

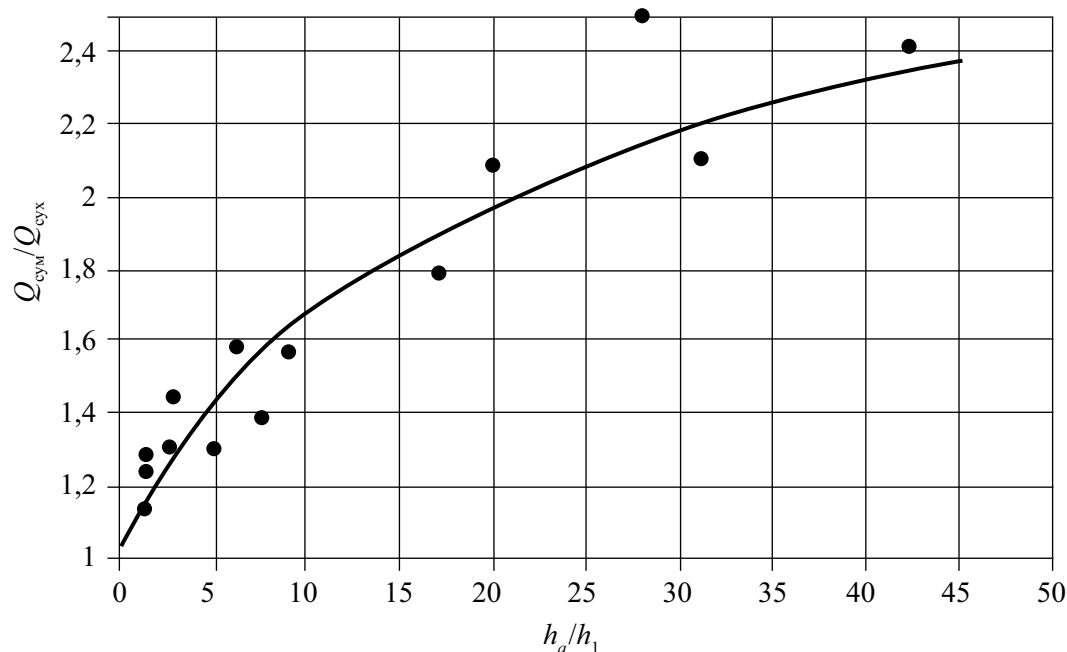


Рис. 3. Увеличение относительного суммарного расхода сточных вод ССА в зависимости от слоя осадков в неблагоприятный период

Более точную информацию можно получить при установке радаров, определяющих запас воды в надвигающихся облаках.

Наблюдения на станциях меньшей производительности (канализационных очистных сооружениях г. Петродворца, г. Сестрорецка) показали, что суточный приток может увеличиваться в 3 раза [3, 5].

Изложенный метод позволит определить фактические расходы на очистных станциях, так как площадь бассейна стока и коэффициент стока всего бассейна в целом являются величинами переменными и неопределенными.

С уменьшением площади бассейна стока возрастает относительный суммарный расход $Q_{\text{сум}}$ (за счет естественного увеличения расхода дождевых вод на коротких отрезках канализационных сетей) и меняется показатель степени n_d .

Предлагаем зависимости изменения n_d :

- для общесплавной системы канализации

$$n_d = 0,35 - 0,05 \cdot \lg q_{\text{ср}}; \quad (4)$$

- для раздельной системы

$$n_d = 0,25 - 0,025 \cdot \lg q_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где $q_{\text{ср}}$ – средний расход сточных вод в сухой период, л/с.

Целесообразно принимать количество выпадающих осадков не более 20–25 мм/сут при $P \leq 1$ год.

В других странах максимальный расход смеси рекомендуется принимать равным удвоенному среднесуточному расходу в сухую погоду (ХЕЛКОМ) при условии, что среднесуточный расход в сухую погоду относится к маловодному засушливому году [2].

По данным прогноза суточного количества поступающих сточных вод можно определить расходы в час притока наибольшей массы воды в течение 6–8 ч.

Масса загрязнений представляет собой произведение расхода сточных вод ($Q_{\text{сут}}$, $Q_{\text{ч}}$) на концентрацию загрязнений C_i (г/м³), соответствующую диапазону изменения расхода.

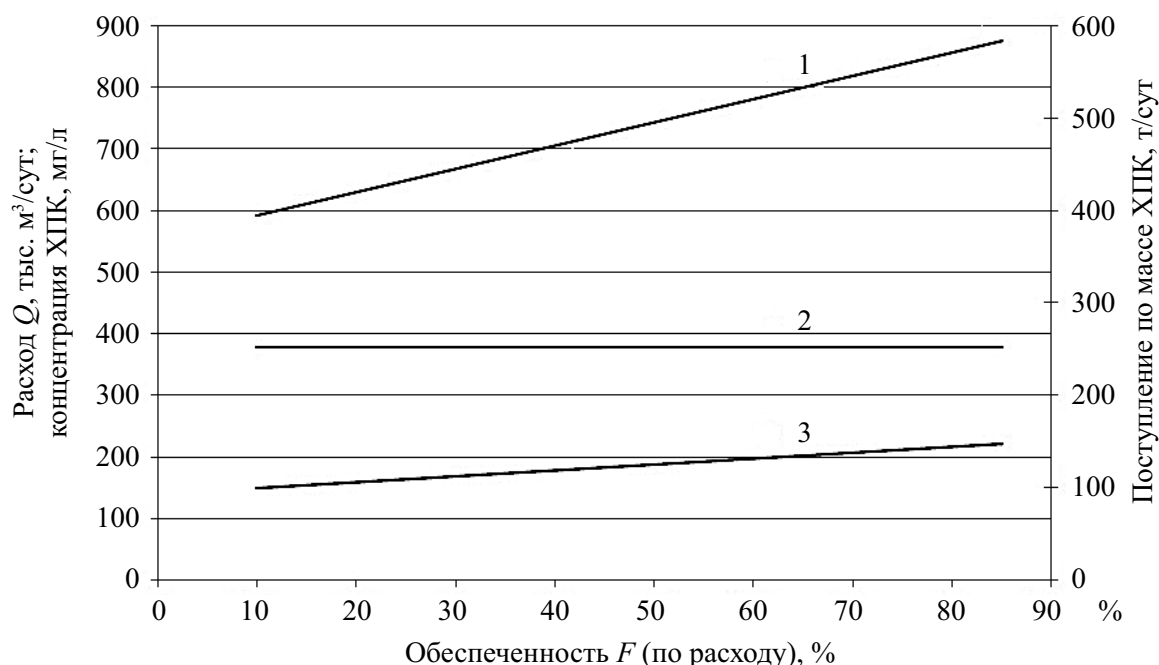


Рис. 4. График зависимости концентрации и массы загрязнений по ХПК (химическое потребление кислорода) от расхода сточных вод, поступающих на ССА г. Санкт-Петербурга (2010–2012 гг.): 1 – расход сточных вод; 2 – поступление ХПК по концентрации; 3 – поступление ХПК по массе

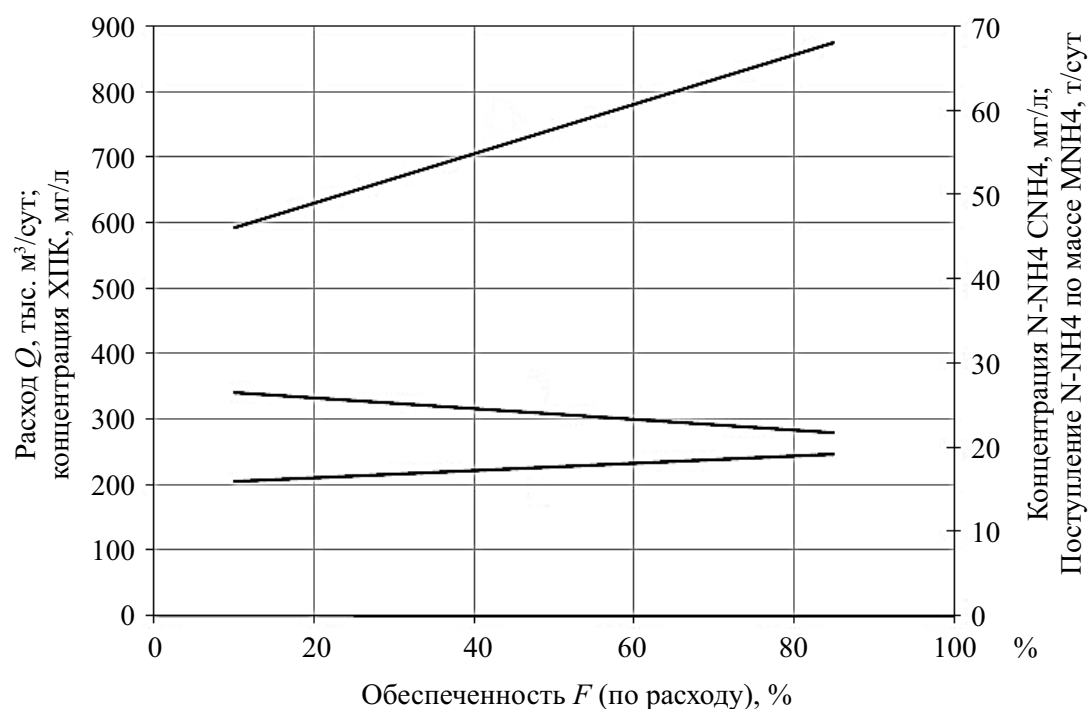


Рис. 5. График зависимости концентрации и массы по N-NH4 от расхода сточных вод, поступающих на ССА г. Санкт-Петербурга (2010–2012 гг.):

1 – расход сточных вод; 2 – поступление N-NH4 по концентрации;
3 – поступление N-NH4 по массе

Суточная масса в текущий момент времени t

$$M_t = Q_{\text{сут}}^t C_{\text{ср}}^t \cdot 10^{-3} \text{ кг/сут.} \quad (6)$$

Период наблюдений t может продолжаться месяц, декаду, неделю или до 5–6 сут в неделе. В отечественной практике чаще всего применяется декадная отчетность.

Приведенные ранее гистограммы расходов и концентраций стока показывают вероятность появления того или иного загрязнения, но не во взаимосвязи между собой, т. е. Q_i и C_i определены не в одном и том же промежутке времени.

Фактическую гистограмму вероятности поступления массы загрязнений строят в такой последовательности. Гистограмму расхода воды выполняют в обычном режиме по мере увеличения данных наблюдений. В дни, когда измеряют расход, определяют концентрацию загрязнений.

На рис. 4 и 5 представлены измерения расхода и состава загрязнений на ССА.

ХПК является интегральным показателем, охватывающим взвешенные, коллоидные и растворенные вещества. Концентрация по ХПК практически не увеличивается с ростом расхода воды [5].

Выводы

Концентрация азота аммонийного снижается, массовое поступление незначительно увеличивается, это позволяет сделать вывод, что массовое поступление азота аммонийного зависит от удельной нормы загрязнений на одного жителя.

В сухую погоду наблюдается обычное распределение количества загрязнений согласно гистограммам изменения концентрации.

Если диапазон изменения расхода и концентрации рассматривать в пределах F от

10 до 85 %, то масса загрязнений будет практически постоянной, так как увеличение расхода будет компенсироваться снижением концентрации загрязнений.

За пределами рассматриваемого диапазона наблюдается включение дождевого расхода и соответствующие изменения в массе веществ.

Библиографический список

1. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / под общ. ред. Ф. В. Кармазина. – СПб. : Новый журнал, 2002. – 683 с.

2. Лонгдонг Й. Очистка сточных вод. Программа повышения квалификации в области водного хозяйства и охраны окружающей среды / Й. Лонгдонг. – СПб. : Новый журнал, 2013. – 483 с.

3. Мишуков Б. Г. Следуя по пути модернизации типовых КОС к современным требованиям водочистки / Б. Г. Мишуков, В. Г. Иванов, С. Г. Амеличкин, А. Н. Медведев // ВК. – 2013. – № 1/2. – С. 76–84.

4. Рублевская О. Н. Оценка расхода и состава сточных вод в Санкт-Петербурге / О. Н. Рублевская, Л. В. Леонов, Б. Г. Мишуков и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 9. – С. 60–64.

5. Соловьева Е. А. Удаление азота и фосфора из городских сточных вод. Технологии удаления азота и фосфора в комплексе по очистке сточных вод и обработке осадка / Е. А. Соловьева. – Саарбрюккен (Германия) : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. – 292 с.

References

1. Otvedeniye i ochistka stochnykh vod Sankt-Peterburga [Disposal and Treatment of Sewage in St Petersburg], ed. F. V. Karmazinov. St. Petersburg, Novyy zhurnal, 2002. 683 p.

2. Longdong Y. Ochistka stochnykh vod. Programma povysheniya kvalifikatsii v oblasti vodnogo khozyaystva i okhrany okruzhayushchey sredy [Sewage Treatment. Advanced Training in water Management and Environmental Protection]. St. Petersburg, Novyy zhurnal, 2013. 483 p.

3. Mishukov B. G., Ivanov V. G., Amelichkin S. G. & Medvedev A. N. *Vodosnabzheniye i kanalizatsiya – Water Supply and Sewerage*, 2013, no.1/2, pp. 76-84.

4. Rublevskaya O. N., Leonov L. V., Mishukov B. G., Vasilyeva Ye. Ye. & Solovyeva Ye. A. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika – Water Supply and Sanitary Eng.*, 2013, no. 9, pp. 60-64.

5. Solovyeva Ye. A. *Udalenie azota i fosfora iz gorodskikh stochnykh vod. Tekhnologii udaleniya azota i fosfora v komplekse po ochistke stochnykh vod i obrabotke osadka*. [Removal of Nitrogen and Phosphorus from Urban Wastewater. Technologies for Removal of Nitrogen and Phosphorus in Sewage and Sludge Treatment]. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 292 p.

*СОЛОВЬЕВА Елена Александровна – канд. техн. наук, доцент, el-sol@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); МИШУКОВ Борис Григорьевич – д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет).

УДК 624.074.5

И. С. Талантов**КОМБИНИРОВАННЫЙ СПЕКТРАЛЬНО-ЧИСЛЕННЫЙ ПОДХОД
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ НА ВНЕЗАПНОЕ УДАЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
НА ПРИМЕРЕ СТАЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО ПОКРЫТИЯ. ЧАСТЬ 1**

Дата поступления: 28.08.2015

Решение о публикации: 20.10.2015

Цель: Исследовать возможность применения спектрального анализа, лишенного недостатков численного интегрирования, в расчетах на прогрессирующее обрушение на этапе линейного деформирования систем. Предложить алгоритм, сочетающий в себе достоинства аналитического и численного решений дифференциального уравнения движения. **Методы:** Применялось решение задачи на собственные значения, использовались нормальные координаты при снижении размерности задачи, явное численное интегрирование по методу Адамса. **Результаты:** Предложен комбинированный динамический метод расчета стержневых систем с выключающимися элементами, основанный на разложении по формам колебаний до момента достижения пластических деформаций и численном решении при переходе в физическую нелинейность. В первой (теоретической) части изложены общая методика расчета и принятые в рамках задачи допущения. Описан потенциал линейного динамического расчета в форме задачи на собственные значения при анализе поведения реальных металлических структур, подверженных внезапному выключению элементов. Изложена основная идея и допущения предложенного подхода. Описаны расчетные предпосылки при анализе живучести покрытия павильона № 5 а ОАО «ЛЕНЭКСПО». **Практическая значимость:** Описанный метод служит альтернативой и верификацией широко применяемым численным методам, используемым при проектировании особо ответственных зданий, позволяя сократить объем необходимых вычислений и получить аналитическое решение на этапе линейного деформирования.

Динамика сооружений, прогрессирующее обрушение, спектральный анализ, численное интегрирование, живучесть металлоконструкций.

Ivan S. Talantov, postgraduate student, i.talantov@yandex.ru (Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering) MULTIMODAL SPECTRUM-NUMERICAL APPROACH TO PROBLEM OF SUDDEN ELEMENT DELETION ON THE EXAMPLE OF STEEL SPACE GRID STRUCTURES. PART 1

Objective: To study the possibility of applying spectrum analysis, devoid of drawbacks of numerical integration, in progressive collapse calculations during linear deformations stage. To suggest an algorithm combining advantages of analytical and numerical calculations of differential equation of motion. **Methods:** Free vibrations problem, usage of generalised co-ordinates for reducing system degree of freedom amount, explicit numerical integration by the Adams method. **Results:** A combined dynamic design method for bar system with failing elements, based on mode decomposition until plastic deformations appear, and numerical integration after reaching physical nonlinearity is considered in the article. In the first theoretical part base calculations method and assumptions are described. Potential of linear dynamic calculation in form of free vibrations problem in analysis of real steel space grid structures affected by sudden element failure is described. Basic idea and assumptions of suggested approach are described. Calculation factors in robustness analysis of steel space grid coating of Lenexpo 5a pavilion are described. **Practical importance:** Described method is an alternative and a verification for the widely

used numerical methods in unique and particularly important structures design. It reduces the amount of necessary calculations, and permits getting analytical solution during linear deformation stage.

Structure dynamics, progressive collapse, spectrum analysis, numerical integration, robustness of steel structures.

Одно из наиболее актуальных и быстро развивающихся в последние годы направлений строительной механики – выполнение требований нормативной литературы [7] в части обеспечения живучести конструкций в условиях аварийных ситуаций. Примером тому служат работы В. О. Алмазова, А. М. Белостоцкого, Ю. В. Бондарева, В. М. Бондаренко, Г. А. Гениева, С. Г. Емельянова, Е. Г. Еремеева, В. И. Колчунова, Н. В. Ключевой, А. С. Павлова, И. А. Петрова, А. И. Плотнокова, А. Н. Потапова, Б. С. Расторгуева, И. Н. Серпика, А. Г. Тамразяна, Е. М. Уфимцева, Ю. Т. Чернова и других авторов.

Отсутствие утвержденных на государственном уровне положений расчета зданий на воздействие в виде внезапного удаления элементов порождает разногласия в среде проектировщиков и экспертов. В связи с этим задача прикладной науки – выработать общепринятые методики расчета, дающие количественную оценку напряженно-деформированного состояния поврежденных систем. Не останавливаясь подробно на нюансах работ разных авторов, отметим, что чаще всего указанную тему развивают расчеты в двух направлениях: квазистатический в нелинейной постановке с использованием теории предельного равновесия, применяемой для железобетонных конструкций разных конструктивных схем, и нелинейный динамический с применением явного интегрирования по времени, дающий наиболее точные и наглядные результаты, правда, не лишенный недостатков.

Прикладное проектирование нуждается в методе, способном получать динамический отклик систем в любой момент времени и при этом не требующий серьезных машинных и трудовых затрат. По мнению автора, спектральный анализ систем, базирующийся на разложении по формам колебаний [4, 5], часто

незаслуженно отвергается при рассмотрении данной темы и может успешно применяться в расчетах на прогрессирующее обрушение конструкций, в первую очередь, металлических.

Дело в том, что для пространственных металлических конструкций основным критерием отказа элемента становится условие не прочности, а устойчивости, причем отношения напряжений, соответствующих пределу текучести и критическому напряжению, различаются в разы. В связи с этим событие, переводящее систему из одной стадии обрушения в другую, наступает задолго до возникновения текучести в элементах системы.

Критерий потери устойчивости

В задачах устойчивости стержней при динамических нагрузках следует четко разделять два понятия: нагружение быстро возрастающей силой и ударное нагружение. При ударном нагружении скорость нарастания напряжений в элементе велика настолько, что проявляется эффект запаздывания пластических деформаций, что, как известно, приводит к возможному «проскакиванию» первой критической силы и к потере устойчивости по одной из высших форм [6]. По результатам испытаний [9] установлено, что в этом случае речь идет о периодах порядка 300–400 мкс. Но подобный подход справедлив, если предполагать, что удаление элемента по своему динамическому эффекту тождественно удару или внезапному импульсу.

В [3] отмечалось, что причиной возникновения колебаний (или изменения размаха колебаний движущейся системы) после удаления элемента или связи является сила инерции, пропорциональная изменению жесткости системы при переходе из одной стадии

обрушения в другую. Скорость изменения внутренних силовых параметров при этом велика, но конечна и, как правило, не превышает указанных выше величин.

Вторым допущением является предположение, что гибкие тонкостенные трубы, рассматриваемые в статье, теряют общую устойчивость согласно теории устойчивости сплошных стержней, а не из-за сминания стенки (как для тонкостенных цилиндрических оболочек). Забегая вперед отметим, что большинство стержней в структуре, принятой в качестве расчетного примера, подобраны как раз по условию гибкости.

В связи с этими двумя допущениями предположим, что для описанного класса задач вполне достаточно использовать критерий устойчивости, соответствующий формуле Эйлера.

Общий вид решения

В соответствии с [3] уравнение движения системы при решении методом конечных элементов представляет собой неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с константой в правой части:

$$[M] \cdot \{\ddot{U}\} + [K] \cdot \{U\} = \{F\},$$

где $[M]$ – матрица масс; $\{U\}$ – вектор узловых перемещений; $[K]$ – глобальная матрица жесткости; $\{F\}$ – вектор узловых сил.

Его решением служит выражение для определения любого узлового перемещения в каждый момент времени:

$$u_k = \sum_{i=1}^{DDF} y_{ik} \times \left(A_i \cdot \sin(\omega_i \cdot (t - t_{\text{обр}}^{n-1})) + B_i \cdot \cos(\omega_i \cdot (t - t_{\text{обр}}^{n-1})) + \frac{1}{\omega_i^2} \cdot \frac{\sum_{j=1}^J F_j \cdot y_{ij}}{\sum_{j=1}^J M_j \cdot y_{ij}^2} \right),$$

где u_k – k -е узловое перемещение; DDF – общее число учитываемых степеней свободы; y_{ik} – компоненты нормированного собственного вектора; A_i , B_i – компоненты векторов постоянных интегрирования, соответствующие i -му тону колебаний; ω_i – i -я круговая частота собственных колебаний; $t_{\text{обр}}^{n-1}$ – время обрыва (потери устойчивости) предыдущего элемента, момент начала рассматриваемой стадии обрушения.

Указанная форма записи позволяет собрать все воздействия на систему в одно выражение, тем самым упрощая поиск любых внутренних усилий в стержнях:

$$\{\sigma\} = f(\{U\}).$$

При этом усложняется процесс поиска постоянных интегрирования для больших систем (ввиду решения системы уравнений с участием члена при $1/\omega_i^2$). Одним из способов упрощения поиска решения служит идея получения вектора постоянных $\{B\}$ с использованием начальных условий по ускорениям [3]. Тем не менее, для больших систем решение в предложенной форме остается достаточно затратным, при том что получаемый спектр частот содержит большие по величине компоненты, периоды колебаний по которым сопоставимы со скоростью распространения усилий в металле и быстро затухающих при учете демпфирования.

Снижение числа динамических степеней свободы. Решение в нормальных координатах

Для ограничения спектра частот и снижения количества значимых степеней свободы обратимся к теории расчета зданий на сейсмостойкость. Для внешнего воздействия на сооружения существует некий порог частоты (ускорение нулевого периода), после которого сооружение реагирует на возмущение как твердое тело, иными словами, относительные

колебания масс не возмущаются. В своей классической работе А. Н. Бирбраер рекомендует принимать величину ускорения нулевого периода $f = 33$ Гц [2]. Условимся использовать указанное значение как некий эталон, учитывая в расчетах на удаление элементов только частоты собственных колебаний ниже этого значения.

Тем не менее, простое «срезание» высших частот не упрощает поиск векторов постоянных интегрирования, в любом случае приходится решать целую систему уравнений с учетом всех динамических степеней свободы. В работе [5] предложено использовать метод конденсации масс, что приводит с некоторой погрешности в связи с отбрасыванием некоторого количества масс. По мнению автора статьи, для решения задачи удобнее использовать представление в обобщенных координатах [10], при этом:

- приведенная матрица масс:

$$[\tilde{M}] = [Ynorm]^T \cdot [M] \cdot [Ynorm],$$

где $[Ynorm]$ – матрица, составленная из собственных векторов системы. После приведения вычеркиваются столбцы и строки больше p , где p – число учитываемых форм (частотой ниже 33 Гц);

- вектор начальных перемещений системы:

$$\{\tilde{U}\} = \left[\tilde{M}_{33} \right]^{-1} \cdot [Ynorm]^T \cdot [M] \cdot \{U(t_{обp}^{n-1})\},$$

где $\left[\tilde{M}_{33} \right]$ – матрица размерностью $p \times p$ (где p – число учитываемых форм), составленная из $[\tilde{M}]$ вычеркиванием лишних строк/столбцов;

- вектор начальных скоростей системы:

$$\{\tilde{V}\} = \left[\tilde{M}_{33} \right]^{-1} \cdot [Ynorm]^T \cdot [M] \cdot \{V(t_{обp}^{n-1})\};$$

- вектор узловых нагрузок:

$$\{\tilde{F}\} = [Ynorm]^T \cdot \{F\}.$$

После подобных преобразований громозд-

кий член $\frac{1}{\omega_i^2} \cdot \frac{\sum_{j=1}^J F_j \cdot y_{ij}}{\sum_{j=1}^J M_j \cdot y_{ij}^2}$, входящий в каждое

уравнение системы поиска постоянных $\{B\}$, представляющий разложение внешней нагрузки по всем формам, заменяется на $\frac{1}{\omega_i^2} \times$

$\times \frac{\{\tilde{F}\}_i}{\left[\tilde{M}_{33} \right]_i}$, а получаемые вектора $\{A\}$ и $\{B\}$

имеют нужную размерность p .

Следует также отметить возможность еще упростить задачу, решая не полную задачу о собственных значениях, а частичную (например, с помощью метода Релея – Ритца или Лоренца), но в используемой автором расчетной среде (MathCad Prime 2.0), поиск решения полной задачи даже для больших систем не представляет труда.

Критерий перехода на новую стадию обрушения

Для каждого временного шага порядка 10^{-4} с напряжения сопоставляются с критическими (с потерей устойчивости) и текучести (границей применимости линейного динамического расчета).

По достижении предела текучести дальнейший расчет ведется одним из методов явного численного интегрирования при переменной матрице жесткости:

$$[K] = f(\{U\}, \{\varepsilon_{\max}\}, G_{is}),$$

где $\{\varepsilon_{\max}\}$ – вектор максимальных относительных перемещений, достигнутых каждым элементом (для линейно упрочняющегося материала); G_{is} – переменная учета характера изменения напряжений в каждом элементе (разгрузка/нагрузка).

Способы численного интегрирования широко отражены в литературе [1, 8] и в статье не приводятся.

По достижении критических напряжений в одном (или одновременно в нескольких элементах) предлагается вводить переменную ζ , учитывающую снижение несущей способности элемента, потерявшего устойчивость. Величину этой переменной рекомендуется принимать в пределах $\zeta = 0 \dots 0,125$. Выбор такого диапазона связан со знакомыми автору экспериментами по нагружению металлических труб [11], приводящему к потере их общей устойчивости.

Об эффекте снижения размаха колебаний

Практическая значимость использования спектрального анализа металлических систем связана также с обнаруженным в процессе исследований эффектом снижения размаха колебаний при последовательном выключении элементов в движущейся системе. Автор связывает этот эффект с разнонаправленностью ускорений, вызываемых очередным обрывом (ускорение всегда направлено вниз) и инерционным ускорением движущейся массы (направление зависит от момента очередного выключения связи/элемента). Подобный эффект позволяет иначе взглянуть на стойкость даже упругих систем к прогрессирующему обрушению без задействования пластического резерва. Схожий эффект описан в [12], но в указанной работе он связывался с фазой внешней периодической нагрузки.

Выводы

1. Описано применение спектрально-численного метода расчета конструкций на внезапное изъятие элемента или связи, заключающееся в использовании точного решения (разложения по формам колебаний) на стадии упругой работы материала и прямого числен-

ного интегрирования уравнений движения по методу переменной жесткости по достижении предела текучести в одном из элементов.

2. Для сокращения вычислений и ускорения поиска постоянных интегрирования на каждой стадии предлагается ограничивать спектр учитываемых частот собственных колебаний по аналогии с использованием величины ускорения нулевого периода из теории расчета на сейсмостойкость.

3. Использование обобщенных координат решает проблему ограничения искомых векторов, состоящих из постоянных интегрирования по каждой из частот, не требуя при этом исключения реальных масс.

4. По достижении критических напряжений предлагается не изымать потерявший устойчивость элемент, а лишь уменьшать его жесткость введением поправочного коэффициента.

5. Эффект возможного снижения размаха колебаний на каждой стадии обрушения позволяет говорить о способности систем сопротивляться последовательному удалению элементов без задействования пластического ресурса.

Библиографический список

1. Белостоцкий А. М. Численное моделирование процессов деформирования конструкций, подверженных аварийным воздействиям / А. М. Белостоцкий, А. С. Павлов // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 2 (58). – С. 51–55.
2. Бирбраер А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – СПб. : Наука, 1998. – 255 с.
3. Бондарев Ю. В. О начальных условиях при расчете конструктивно нелинейных стержневых систем на удаление связей и элементов / Ю. В. Бондарев, И. С. Талантов // Актуальные проблемы строительства : материалы междунар. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – СПб., 2015.
4. Бондарев Ю. В. Подходы к решению задачи о внезапном удалении элементов из стержневой

системы / Ю. В. Бондарев, И. С. Талантов // Вестн. гражданских инженеров. – 2014. – № 2 (43). – С. 48–52.

5. Бондарев Ю. В. Расчет стержневых систем при внезапном удалении отдельных элементов / Ю. В. Бондарев, Нгуиен Тханх Суан // Строительная механика и расчет сооружений. – 2010. – № 4. – С. 43–48.

6. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем / А. С. Вольмир. – М. : Наука, 1967. – 984 с.

7. ГОСТ Р 54257-2010 «Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования» / ФГУП «НИЦ «Строительство». Введ. 2010-12-23. – М. : Стандартиформ, 2011.

8. Ильин В. П. Численные методы решения задач строительной механики / В. П. Ильин, В. В. Карпов, А. М. Масленников. – М. : ABC ; СПб. : Изд-во СПбГАСУ, 2005. – 425 с.

9. Илюшин А. А. Соппротивление материалов / А. А. Илюшин, В. С. Ленский. – М. : Физматлит, 1959. – 373 с.

10. Клаф Р. Динамика сооружений / Р. Клаф, Дж. Пензиен ; пер. с англ. – М. : Стройиздат, 1979. – 320 с.

11. Литвинский Г. Г. Экспериментальные исследования потери устойчивости несущих элементов крепи из коробчатого профиля / Г. Г. Литвинский // Сб. науч. трудов ДонГТУ. – 2013. – № 40. – С. 8–13.

12. Петров И. А. Расчет двухпролетной неразрезной балки с выключающей связью / И. А. Петров // Вестн. МГСУ. – 2012. – № 9. – С. 148–155.

References

1. Belostotskiy A. M. & Pavlov A. S. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya – Constr. and Reconstr.*, 2015, no. 2 (58), pp. 51-55.

2. Birbrayer A. N. *Raschet konstruktsiy na seysmostoykost* [Calculation of Construction Elements' Seismic Stability]. St. Petersburg, Nauka, 1998. 255 p.

3. Bondarev Yu. V. & Talantov I. S. *O nachalnykh usloviyakh pri raschete konstruktivno nelineynykh sterzhnevyykh sistem na udaleniye svyazey i elementov*

[On Initial Conditions for Calculation of Non-linear Frame Structures for Eliminations of Communications and Elements]. *Aktualnyye problemy stroitelstva: materialy mezhdunar. nauch.-praktich. konf. studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i doktorantov; SPb-GASU* (Current Construction Problems: Proc. of Intl. Sci. and Res. Conf. of Students, Postgraduates and Young Researchers; Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering). St. Petersburg, 2015.

4. Bondarev Yu. V. & Talantov I. S. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Civil Eng. Bull.*, 2014, no. 2 (43), pp. 48-52.

5. Bondarev Yu. V. & Nguiyen Tkhanh Suan. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy – Structural Mechanics and Structural Analysis*, 2010, no. 4, pp. 43-48.

6. Volmir A. S. *Ustoychivost deformiruyemykh sistem* [Stability of Deformable Systems]. Moscow, Nauka, 1967. 984 p.

7. GOST R 54257-2010 *Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii. Nadezhnost stroitelnykh konstruktsiy i osnovaniy. Osnovnyye polozheniya i trebovaniya* [Russian Federation National Standard. Safety of Construction Structures and Foundations. Basic Premises and Requirements]; FGUP NITs Stroitelstvo. Intr. 23.12.2010. Moscow, Standartinform, 2011.

8. Ilyin V. P., Karpov V. V. & Maslennikov A. M. *Numerical Methods for Solving Structural Mechanic Problems*. Moscow, ABC; St Petersburg, SPbGASU, 2005. 425 p.

9. Ilyushin A. A. & Lenskiy V. S. *Soprotivleniye materialov* [Strength of Materials]. Moscow, Fizmatlit, 1959. 373 p.

10. Klaf R. & Penziyen D. *Dinamika sooruzheniy* [Structural Dynamics]. Moscow, Stroyizdat, 1979. 320 p.

11. Litvinskiy G. G. *Sbornik nauchnykh trudov DonGTU – Proc. Donbas State Technical Univ.*, 2013, no. 40, pp. 8-13.

12. Petrov I. A. *Vestnik MGSU – Bull. of the Moscow State Univ. of Civil Eng.*, 2012, no. 9, pp. 148-155.

ТАЛАНТОВ Иван Сергеевич – аспирант, i.talantov@yandex.ru (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет).

УДК 625.173.1

А. А. Третьяков**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИНДЕКСА СОСТОЯНИЯ ПУТИ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТРЕБНОСТИ В КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТАХ**

Дата поступления: 29.06.2015

Решение о публикации: 20.10.2015

Цель: Теоретически и практически обосновать комплексный показатель для оценки истощения ресурса конструкцией верхнего строения пути. **Методы:** Статистический метод обработки данных автоматизированных систем управления; факторный анализ влияния неисправностей верхнего строения пути на затраты, включаемые в стоимость жизненного цикла железнодорожного пути; системный подход при обосновании истощения ресурса железнодорожного пути. **Результаты:** Предложен метод комплексной интегральной технико-экономической оценки истощения ресурса пути и оценки потребности в капитальном ремонте на основании прогнозирования значений параметров состояния элементов верхнего строения пути (критериев назначения технического обслуживания). Произведены практические расчеты по прогнозированию интенсивности дефектности элементов конструкции пути и неисправностей геометрических параметров рельсовой колеи. По статистическим данным Октябрьской железной дороги о состоянии участков выполнена комплексная технико-экономическая оценка истощения их ресурса в соответствии с описанным в статье методом. Выполнено сравнение результатов расчета потребности в капитальном ремонте между предлагаемым комплексным показателем и показателями, используемыми в настоящее время (коэффициентом назначения капитального ремонта пути, индексом потребности ремонта пути). Приведено аналитическое сравнение результатов расчета потребности в ремонте по трем показателям. **Практическая значимость:** Разработанный метод позволяет оценивать истощение ресурса верхнего строения железнодорожного пути единым показателем по широкому спектру технических параметров и фактическим понесенным затратам в текущем содержании пути. При этом приоритетная задача состоит в численном анализе экономической эффективности его эксплуатации из условия обеспечения минимальной стоимости жизненного цикла. Численные значения комплексного показателя характеризуют приоритет проведения технического обслуживания пути и его вид согласно разработанной системе критериальной оценки.

Железнодорожный путь, комплексная оценка, комплексный индекс состояния пути, интенсивность инцидентов, капитальный ремонт.

Aleksandr A. Tretyakov, postgraduate student, eskalran@mail.ru (Petersburg State Transport University)
THE USE OF INTEGRATED INDEX OF TRACK CONDITION IN DETERMINING THE NEED FOR FULL REPAIRS

Objective: To provide theoretical and practical justification for an integrated index to evaluate the resource depletion of track superstructures. **Methods:** Statistical method for processing automated control systems; factor analysis of the influence of faults in track superstructures on the expenses included in the costs of a life cycle of railway track; systemic approach in justification of resource depletion of railway track. **Results:** The paper proposes a method of complex integrated technical and economic evaluation of track resource depletion and evaluation of a need for the need for full repairs on the basis of forecasted values of parameters of the state of track superstructures (criteria for ordering technical maintenance). Practical

calculations on forecasting the intensity of faults of tracks construction elements and faults in geometrical parameters of track were conducted. Integrated technical and economic evaluation of resource depletion was conducted in accordance with the method described in the paper on the basis of Oktyabrskaya Railway statistical data regarding the condition of track sections. Calculation results of the need for full repairs obtained from the proposed integrated index and from indices used at the moment (coefficient for designation of full track repairs, index of track repair need) were compared. Analytical comparison between calculation results was conducted by three factors. **Practical importance:** The method developed allows to evaluate the resource depletion of track superstructure by a single factor across a wide spectrum of technical parameters and actual spending on routine track maintenance. Priority task is the numerical analysis of economic efficiency of operation, presuming the need for ensuring minimum life cycle cost. Numerical values of the integrated index characterise the priority of conducting track maintenance and its type in accordance with the developed criterial assessment system.

Railway track, integrated assessment, integrated index of track condition, incident intensity, full repairs.

Современные условия функционирования железнодорожного транспорта требуют реорганизации обслуживания путевой инфраструктуры по фактическому состоянию.

Оценка фактического износа объекта инфраструктуры выполняется по критериям «Технических условий...» [5]. Фактическое состояние пути устанавливается по ключевому критерию наработки тоннажа или срока службы в годах, четырем критериям, оценивающим элементы конструкции пути (одиночный выход рельсов, дефектность шпал, креплений, загрязненность балласта), и критериям УРРАН.

В связи с несовершенством алгоритмов формирования и обработки данных о состоянии пути, связанных с определенной долей недостоверности данных, абсолютные значения критериев потребности ремонта подвергаются искусственному ограничению.

Современные способы оценки потребности ремонтов пути

В настоящее время используется и рассчитывается система показателей, которые в перспективе обоснуют решение о потребности в ремонтах пути:

- коэффициент назначения капитального ремонта пути ($K_{\text{нр}}$), объединяющий критерии

«Технических условий...» [5], методологии УРРАН;

- индекс потребности ремонта пути, объединяющий технические критерии назначения ремонтов пути с весовыми коэффициентами.

Методология УРРАН оценивает фактическое состояние пути, в частности, по критериям частоты отказов и коэффициенту прямых расходов [5]. При этом потребность ремонтов определяется по коэффициенту назначения капитального ремонта пути ($K_{\text{нр}}$). Он определяется суммированием весовых коэффициентов по каждому критерию, если они достигнуты по данным о фактическом состоянии пути. Чем ближе коэффициент назначения ремонта к 1, тем очевиднее факт технико-экономического износа конструкции пути.

Индекс потребности капитального ремонта определяет усредненный износ элементов конструкции пути, учитываемых критериями, с собственным весом.

Поскольку при определении коэффициентов используется экспертная оценка веса и влияния группы критериев, описать физический смысл процессов износа и принципы трактовки коэффициентов затруднительно. Несмотря на оценку различных критериев назначения ремонтов, существующие подходы реализуют нормативный подход к назначению ремонтов. При этом пропущенный тоннаж яв-

ляется решающим фактором при принятии решения о назначении ремонта пути.

Комплексная оценка технического состояния пути

Для повышения эффективности управленческих решений при определении потребности в капитальном ремонте пути разработан комплексный интегральный технико-экономический показатель – комплексный индекс состояния пути (КИСП).

Методика расчета КИСП разработана в продолжение исследований по прогнозированию технического состояния железнодорожного пути в зависимости от технико-эксплуатационных особенностей железных дорог и оптимизации планов назначения ремонтов на основе минимизации стоимости жизненного цикла железнодорожного пути [2–4].

КИСП рассчитывает величину истощения ресурса элементами конструкции пути по критериям назначения ремонтов. Учитывая уровень расходов текущего содержания, он отражает баланс между износом пути и затратами текущего содержания, т. е. технико-экономический износ (рис. 1).

Он в равной степени учитывает уровень расходов текущего содержания и дефектность, поскольку стоимость жизненного цикла определяется именно понесенными затратами, т. е.

$$M_{\text{износа}}(\text{КИСП}) = \frac{1}{2}(M_{\text{износа}}^{\text{экономич.}} + M_{\text{износа}}^{\text{технич.}}),$$

где $M_{\text{износа}}^{\text{экономич.}}$ – коэффициент экономического износа пути ($K_{\text{эи}}$); $M_{\text{износа}}^{\text{технич.}}$ – коэффициент технического износа пути ($K_{\text{ти}}$).

Технический износ оценивается коэффициентом технического износа ($K_{\text{ти}}$) пути. $M_{\text{износа}}^{\text{технич.}}$ показывает истощение эксплуатационного ресурса элементов пути по сравнению с критериями и объединяет их в соответствии с долей стоимости обслуживания конкретных элементов в текущем содержании [1], т. е.

$$M_{\text{износа}}^{\text{технич.}} = \left(\sum_{i=0}^{i=n} (\Pi M_{\text{износа } i} \cdot \beta_i) \right),$$

где $M_{\text{износа } i}$ – коэффициент износа пути по инцидентам каждого вида; β_i – весовой коэффициент, равный среднесетевой доле затрат на обслуживание инцидентов i -го вида от суммарных затрат на текущее содержание пути (табл. 1, 2).

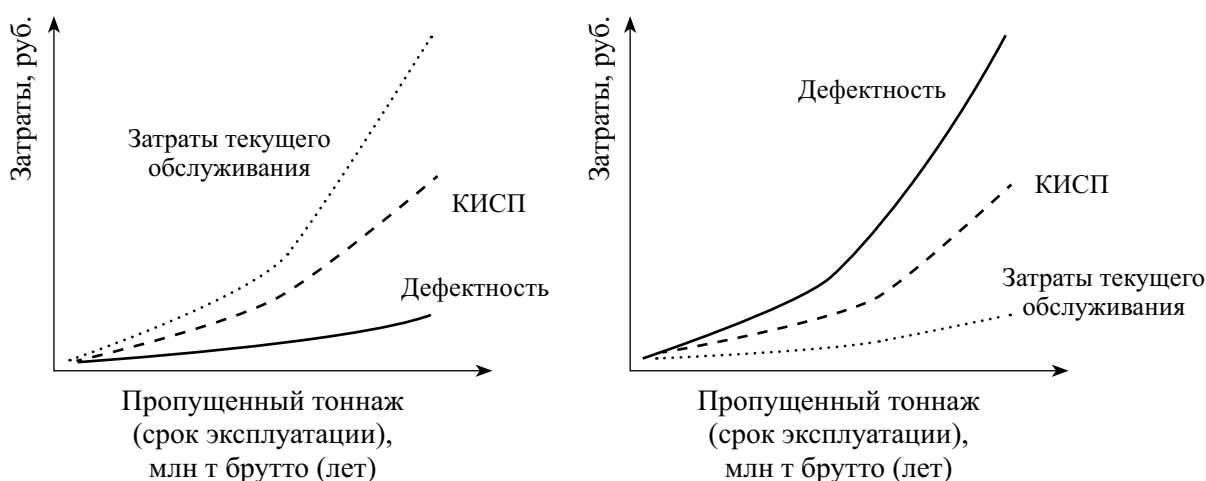


Рис. 1. Техничко-экономическое соотношение между износом пути и величиной затрат на текущее содержание

ТАБЛИЦА 1. Среднесетевые значения весовых коэффициентов β_i для условий эксплуатации с деревянными шпалами при различной грузонапряженности

Тип условий эксплуатации	$\Gamma_{\min}$ по группе пути	$\Gamma_{\max}$ по группе пути	Весовые коэффициенты β_i от $\Gamma_{\min}$						Весовые коэффициенты β_i от $\Gamma_{\max}$					
			ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В	ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В
ШД_ALL	5	110	0,17	0,45	0,12	0,01	0,01	0,23	0,25	0,38	0,12	0,00	0,01	0,24
ШД_А	80	110	0,21	0,22	0,11	0,01	0,02	0,43	0,21	0,17	0,11	0,01	0,02	0,47
ШД_Б	50	80	0,24	0,44	0,10	0,01	0,01	0,20	0,21	0,44	0,11	0,01	0,01	0,23
ШД_В	25	50	0,21	0,45	0,11	0,01	0,01	0,21	0,21	0,30	0,13	0,01	0,01	0,33
ШД_Г	10	25	0,18	0,42	0,15	0,01	0,01	0,23	0,17	0,44	0,15	0,01	0,01	0,22
ШД_Д	5	10	0,10	0,48	0,15	0,01	0,01	0,26	0,10	0,51	0,14	0,01	0,01	0,23
ШД_Е	1	5	0,13	0,20	0,00	0,01	0,05	0,61	0,00	0,23	0,00	0,01	0,02	0,65

ТАБЛИЦА 2. Среднесетевые значения весовых коэффициентов β_i для условий эксплуатации с железобетонными шпалами при различной грузонапряженности

Тип условий эксплуатации	$\Gamma_{\min}$ по группе пути	$\Gamma_{\max}$ по группе пути	Весовые коэффициенты β_i от $\Gamma_{\min}$						Весовые коэффициенты β_i от $\Gamma_{\max}$					
			ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В	ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В
ШЖБ_ALL	5	110	0,23	0,35	0,00	0,01	0,01	0,40	0,27	0,40	0,00	0,01	0,01	0,31
ШЖБ_А	80	110	0,27	0,41	0,00	0,01	0,00	0,30	0,17	0,21	0,00	0,01	0,01	0,59
ШЖБ_Б	50	80	0,16	0,32	0,00	0,01	0,01	0,50	0,18	0,35	0,00	0,01	0,01	0,45
ШЖБ_В	25	50	0,20	0,32	0,01	0,01	0,01	0,44	0,29	0,35	0,01	0,01	0,01	0,35
ШЖБ_Г	10	25	0,12	0,32	0,01	0,01	0,01	0,53	0,16	0,38	0,01	0,01	0,01	0,44
ШЖБ_Д	5	10	0,14	0,43	0,00	0,01	0,01	0,42	0,19	0,39	0,01	0,00	0,01	0,40
ШЖБ_Е	1	5	0,04	0,45	0,01	0,01	0,01	0,49	0,05	0,54	0,00	0,00	0,01	0,40

В табл. 2, 3 представлено распределение долей затрат на устранение инцидентов по одиночному выходу рельсов (ОВР), замене негодных креплений (нС), негодных шпал (нШ), устранению отступлений по ширине колеи (Ш), в плане (Р), в профиле и по уровню (В). Данные сгруппированы для условий эксплуатации с деревянными (ШД) и железобетонными (ШЖБ) шпалами при различной грузонапряженности (ALL – участки всех групп, А, Б, В, Г, Д, Е).

Коэффициент экономического износа пути ($K_{\text{эи}}$) рассчитывается как

$$M_{\text{экономич. износа}}^{\text{экономич.}} = \frac{3_{\text{прямые}}^{\text{ТС}}}{\left[3_{\text{прямые}}^{\text{ТС}} \right]},$$

где $3_{\text{прямые}}^{\text{ТС}}$ – фактические прямые затраты по обслуживанию рассматриваемого километра (участка) железнодорожного пути, руб./км в год; $\left[3_{\text{прямые}}^{\text{ТС}} \right]$ – допустимые прямые затраты, руб./км в год.

ТАБЛИЦА 3. Критерии выбора управляющего воздействия по КИСП, $K_{\text{ти}}/K_{\text{эи}}$

Интервал КИСП	Интервал отношения $K_{\text{ти}}/K_{\text{эи}}$	Характеристика пути	Требуемое управляющее воздействие
0–0,75	0–2,0	Путь не исчерпал ресурса. Уровень расходов на ТС выше критических	Перераспределение затрат
	2,0–5,0	Путь не исчерпал ресурса. Следует сбалансировать затраты	Перераспределение затрат
	5,0 и более	Путь не исчерпал ресурса. Уровень расходов на ТС крайне недостаточен. Следует увеличить затраты	Увеличить затраты
0,75–1,0	0–3,0	Затраты близки к критическим при исчерпании технического ресурса. Необходим ремонт	Ремонт
	3,0–7,0	Путь близок к исчерпанию ресурса. Есть незначительный резерв для перераспределения затрат	Перераспределение затрат или ремонт
	7,0 и более	Затраты крайне малы в сравнении с уровнем технического износа. Необходимо увеличить затраты	Увеличить затраты
1,0 и более	Любое	Ресурс пути исчерпан. Путь имеет приоритет при назначении ремонта	Ремонт

Подходы к достижению целей технической эксплуатации могут быть различны: содержание пути с приемлемым уровнем безотказности до исчерпания ресурса элементов конструкции (методология УРРАН) или с минимальной ежегодной стоимостью технического обслуживания и ремонтов на протяжении всего жизненного цикла (методика оптимизации, [5]). В зависимости от выбранного подхода будут различаться допустимые прямые затраты. В рамках методологии УРРАН они со значительной достоверностью описываются восстановительным начислением (коэффициент экономического износа, рассчитанный по восстановительному начислению, является коэффициентом прямых расходов [5]).

На основе экспериментальных оптимизационных расчетов определены критерии КИСП для назначения капитального ремонта пути (табл. 3).

Сравнение практических расчетов потребности ремонтов пути

Для экспериментальной проверки методики технико-экономической оценки пути по КИСП использовали данные по планам потребности и проведения ремонта Октябрьской железной дороги. Всего проанализировано 2334 участка пути. По данным о состоянии всех участков из плана потребности в ремонтах был рассчитан КИСП. Результаты расчета сверяли с потребностью капитального ремонта по рекомендациям других коэффициентов и с планом проведения ремонтов в 2015 г.

Для установления связи между показателями использовали коэффициент достоверности аппроксимации. Его абсолютное значение показывает тесную связь между данными и позволяет сделать вывод о схожести физического смысла процессов, описываемых коэф-

фициентами. Анализ средних значений КИСП очень высоко коррелирует с $K_{\text{нр}}$, $R^2 = 0,9036$, и индексом потребности КР, $R^2 = 0,9692$. Анализ средних значений индекса потребности капитального ремонта показывает слабую связь с коэффициентом назначения ремонта, $R^2 = 0,4424$.

Поскольку результаты расчетов громоздки, в настоящей работе приведены краткие статистические итоги результатов расчета потребности в ремонтах по коэффициенту назначения капитального ремонта пути, КИСП и индексу потребности капитального ремонта (табл. 4).

Сравнение рекомендаций по назначению ремонтов пути показывает, что из 54 участков с потребностью ремонта по КИСП на 40 участках эта потребность диктуется высокими прямыми затратами ($K_{\text{эи}}$ выше 0,5), на 14 – высоким техническим износом ($K_{\text{ти}}$ выше 1).

Анализ участков с потребностью ремонта по $K_{\text{нр}}$ показал, что по коэффициенту технического износа на 28 из них не выработан тех-

нический ресурс пути ($K_{\text{ти}} < 1,0$), а 21 участок пока не нуждается в ремонте пути (КИСП меньше значений критериев).

Для оценки качества рекомендаций критериев и фактических планов проведения ремонтов пути проанализировано распределение значений критериев по интервалам. Диапазоны значений коэффициентов, в которых лежат участки проведения ремонтов пути, приведены в табл. 5 и на рис. 2.

На графике хорошо видно, что несмотря на компактность отображения данных в диапазоне от 0,5 до 1,0 коэффициент назначения ремонта не отдает предпочтения участкам с максимальной потребностью в ремонте пути (на 13 участках проведения ремонта этот коэффициент равен 0,5). По индексу назначения КР ремонты запланированы без явно выраженного приоритета к участкам с наиболее интенсивным износом. В то же время, согласно критериям КИСП, большая часть участков либо исчерпала ресурс по критериям $[0,75; +\infty]$, либо имеет технико-экономический износ более 50 % $[0,3; 0,75]$.

ТАБЛИЦА 4. Сравнение рекомендаций по назначению капитальных ремонтов пути

Условия сравнения	Количество участков в выборке по условиям сравнения для разных коэффициентов потребности капитального ремонта		
	По $K_{\text{нр}}$	По КИСП	По Индексу потребности КР
Потребность ремонта совпала с $K_{\text{нр}}$		33	30
Потребность ремонта совпала с КИСП	33		25
Потребность ремонта совпала с Индексом потребности КР	30	25	
Нужен ремонт по критерию назначения ремонта из полной выборки	149	54	128
Совпадений с планом проведения ремонтов	39	12	19
Не назначено ремонтов из числа	0	27	20

ТАБЛИЦА 5. Распределение участков проведения реконструкции/капитальных ремонтов пути по интервалам абсолютных значений коэффициентов назначения ремонтов

№ диапазона	Значение КНР	Значений	КИСП _{min}	КИСП _{max}	Значений в диапазоне min–max	Индекс _{min}	Индекс _{max}	Значений в диапазоне min–max	К _{ТИ min}	К _{ТИ max}	Значений в диапазоне min–max	К _{ЭИ min}	К _{ЭИ max}	Значений в диапазоне min–max
1	0	0	-0,01	0,18	0	0,00	0,31	4	0,00	0,33	9	-0,02	0,09	1
2	0,05	0	0,18	0,27	0	0,31	0,47	3	0,33	0,49	4	0,09	0,14	0
3	0,1	0	0,27	0,36	5	0,47	0,62	0	0,49	0,66	4	0,14	0,19	2
4	0,15	0	0,36	0,45	5	0,62	0,78	4	0,66	0,82	4	0,19	0,23	0
5	0,2	0	0,45	0,53	1	0,78	0,93	5	0,82	0,99	7	0,23	0,28	1
6	0,25	0	0,53	0,62	6	0,93	1,09	8	0,99	1,15	5	0,28	0,33	3
7	0,3	0	0,62	0,71	7	1,09	1,24	2	1,15	1,32	2	0,33	0,37	1
8	0,35	0	0,71	0,80	6	1,24	1,40	3	1,32	1,48	2	0,37	0,42	1
9	0,4	0	0,80	0,89	6	1,40	1,55	3	1,48	1,65	2	0,42	0,47	3
10	0,45	0	0,89	0,98	0	1,55	1,71	2	1,65	1,81	0	0,47	0,51	0
11	0,5	13	0,98	1,07	1	1,71	1,86	1	1,81	1,98	0	0,51	0,56	5
12	0,55	1	1,07	1,16	2	1,86	2,02	1	1,98	2,14	0	0,56	0,61	4
13	0,6	3	1,16	1,25	0	2,02	2,17	3	2,14	2,31	0	0,61	0,65	6
14	0,65	5	1,25	1,34	0	2,17	2,33	0	2,31	2,47	0	0,65	0,70	3
15	0,7	1	1,34	1,43	0	2,33	2,48	0	2,47	2,64	0	0,70	0,75	2
16	0,75	0	1,43	1,52	0	2,48	2,64	0	2,64	2,80	0	0,75	0,79	1
17	0,8	0	1,52	1,60	0	2,64	2,79	0	2,80	2,97	0	0,79	0,84	0
18	0,85	11	1,60	1,69	0	2,79	2,95	0	2,97	3,13	0	0,84	0,89	2
19	0,9	3	1,69	1,78	0	2,95	3,10	0	3,13	3,30	0	0,89	0,93	0
20	0,95	2	1,78	1,88	0	3,10	3,26	0	3,30	3,46	0	0,93	1,00	4
Итого:		39			39			39			39			39

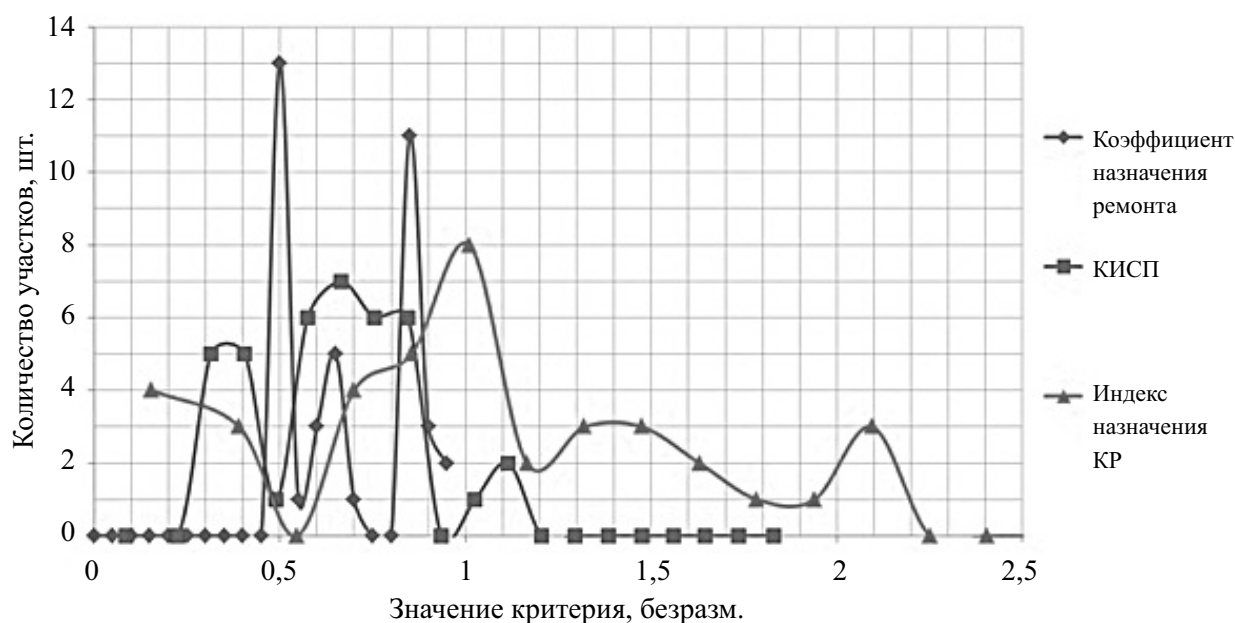


Рис. 2. Распределение участков из плана проведения реконструкции/капитального ремонта пути для разных коэффициентов потребности ремонта пути

Заключение

Решение оптимизационной задачи по выбору участков ремонта тем проще, чем меньше показателей используется при её решении. Важен практический смысл используемых показателей.

Интервальное описание технических показателей затрудняет ранжирование участков и из-за своего несовершенства повышает общий уровень износа инфраструктуры. Однако сегодня на практике для ремонта пути далеко не всегда отбираются участки с максимальными значениями коэффициентов потребности ремонта. Таким образом, по-прежнему актуален вопрос, какие участки требуют ремонта в первую очередь.

Вместе с тем следует помнить, что система планирования и проведения ремонтов всегда вынуждена функционировать в условиях ограниченности ресурсов (путеремонтных мощностей, ремонтного фонда), а подход к управлению путевым хозяйством по обеспечению максимально допустимого износа со сдерживаемым уровнем отказов не гарантирует минимум эксплуатационных расходов на этапе владения.

Оптимизация системы планирования ремонтов пути через комплексную технико-экономическую оценку как метод глобального оздоровления инфраструктуры является перспективным направлением развития путевого хозяйства. Своевременный ремонт на целевых участках – это залог сохранения состояния основных фондов при неизменности затрат, способный обеспечить резерв для совершенствования путевого хозяйства.

Библиографический список

1. Андреев А. В. Совершенствование методики прогнозирования развития остаточных деформаций верхнего строения железнодорожного пути / А. В. Андреев, В. П. Бельтюков, А. А. Сеникова и др. // Изв. ПГУПС. – 2014. – Вып. 4 (41). – С. 16–21.
2. Бельтюков В. П. Оптимизация среднесрочных перспективных планов ремонтов железнодорожного пути / В. П. Бельтюков // Транспорт РФ. – 2011. – № 3 (34). – С. 71–74.
3. Бельтюков В. П. Прогнозирование и оптимизация затрат – основа планирования ремонтов / В. П. Бельтюков, И. А. Симонюк, А. В. Ан-

дреев // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 16–20.

4. Бельтюков В. П. Среднесрочное планирование работ по ремонту верхнего строения пути / В. П. Бельтюков // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 23–25.

5. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути (утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 75 р от 17.01.2013 г.). – М. : ОАО «РЖД», 2013.

References

1. Andreyev A. V., Beltyukov V. P., Sennikova A. A., Simonyuk I. A. & Tretyakov A. A. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2014, Is. 4 (41), pp. 16-21.

2. Beltyukov V. P. *Transport RF – Transp. Russian Federation*, 2011, no. 3 (34), pp. 71-74.

3. Beltyukov V. P., Simonyuk I. A. & Andreyev A. V. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2014, no. 2, pp. 16-20.

4. Beltyukov V. P. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2013, no. 2, pp. 23-25.

5. *Tekhnicheskiye usloviya na raboty po rekonstruktsii (modernizatsii) i remontu zheleznodorozhnogo puti* [Technical Conditions for Works on Reconstruction (Modernisation) and Repair of Railway Track]. Moscow, Russian Railways JSC, 2013.

ТРЕТЬЯКОВ Александр Александрович – аспирант, eskalran@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).



УДК 625.1 (09)

С. В. Критский

ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЮЖНОГО ПОЛУКОЛЬЦА ПЕТЕРБУРГСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА

Дата поступления: 14.05.2015

Решение о публикации: 10.07.2015

Цель: Осветить историю строительства одной из железнодорожных линий Петербургского узла, так называемого Южного полукольца (другое название – Вторая Портовая ветвь) Рыбацкое – Автово. **Методы:** Применены теоретический анализ и обобщение архивных источников (главным образом, периода 1916–1919 и 1929–1932 гг.), а также научно-исторической литературы. **Результаты:** Выявлены причины, которые в разное время (в период Первой мировой войны, в годы индустриализации и позже, в послевоенное время) обуславливали начало работ по проектированию и строительству Южного полукольца и его отдельных участков, а также обстоятельства, из-за которых они прекращались. **Практическая значимость:** Данное исследование способствует расширению и углублению знаний о характере и особенностях процесса формирования и развития Петербургского (Ленинградского) железнодорожного узла, история которого, на взгляд автора, в настоящее время описана совершенно недостаточно.

Петербург, Петроград, Ленинград, железная дорога, железнодорожный узел, морской порт.

Sergey V. Kritskiy, postgraduate student, coleopterous@yandex.ru (Petersburg State Transport University) HISTORY OF THE CONSTRUCTION OF SOUTHERN SEMIRING OF THE ST. PETERSBURG RAILWAY JUNCTION

Objective: To cover the history of construction of one of the railway lines of the St Petersburg junction, the so-called Southern semiring (also known as the Second Port line) from Rybatskoye to Avtovo station. **Methods:** Theoretical analysis and synthesis of archive materials (primarily for the periods of 1916–1919 and 1929–1932) and historical literature were carried out. **Results:** The study uncovered reasons which caused the start of works for designing and construction of the Southern semiring and its separate sections in different periods (during World War I, during industrialisation period and in post-World War II years), and circumstances due to which they stopped. **Practical importance:** The study contributes to widening and deepening the knowledge of the character and specific features of the process of formation and development of the St Petersburg (Petrograd, Leningrad) railway hub, the history of which, in the author's opinion, is described to quite an insufficient degree.

St. Petersburg, Petrograd, Leningrad, railway, railway junction, sea port.

«Вторая Портовая ветвь», или «Южное полукольцо» – такое название носит в настоящее время железная дорога Рыбацкое – Купчинская – Среднерогатская – Предпор-

товая – Автово, являющаяся частью Санкт-Петербургского железнодорожного узла. Так получилось, что эту линию в разное время строили трижды. При желании в её истории,

как в зеркале, можно увидеть некоторые ключевые моменты развития нашего города, да и всего государства на протяжении XX в.

Город и порт: история вопроса

Работа Петербургского (Петроградского, а позже Ленинградского) железнодорожного узла всегда зависела от работы расположенного в городе морского торгового порта. После сооружения в 1875–1885 гг. Морского канала, по которому к Петербургу смогли подходить морские суда с глубокой осадкой и устройства нового порта в дельте Невы на Гутуевском и Вольном островах (ранее порт размещался на стрелке Васильевского острова) сюда же была подведена линия железной дороги, на которой появилась конечная станция с одноимённым названием – Новый Порт. Дорога получила наименование «Путиловская ветвь» и вместе с небольшим ответвлением к ст. Морская пристань («Морской ветвью») вскоре вошла в состав Николаевской железной дороги. Участок СПб-Сортировочный-Московский – Волковская – Цветочная – Новый Порт (13 км) успешно действует и в настоящее время, именно Северным полукольцом Петербургского железнодорожного узла.

Длительное время этой линии было вполне достаточно. Значительная часть экспортно-импортных грузопотоков страны всё равно продолжала идти через аванпорты Петербурга на Балтике, главным образом, через практически незамерзающий (в отличие от столицы) Ревель (ныне Таллин), а также Ригу, Вентспилс и Либаву.

Трудности возникли с началом Первой Мировой войны. Помимо вполне ожидаемого увеличения грузопотоков, связанных с воинскими перевозками и снабжением действующей армии, железные дороги Северо-Западного региона страны столкнулись с ещё одной весьма серьёзной проблемой, оказавшей большое влияние на всё их дальнейшее развитие. Дело в том, что Петроград, являвшейся в то время крупнейшим городом

Российской империи и одним из её промышленных центров, до войны обеспечивался преимущественно иностранным топливом и сырьём, которые доставлялись морским путём по Балтике; при этом важнейшим ресурсом был английский уголь. После начала войны в условиях блокады Балтийского и Чёрного морей немецким флотом поставки из-за рубежа значительно сократились и основным источником угля для всей европейской части страны стал Донбасс, а главным перевозчиком – железные дороги. Это привело к кардинальным изменениям (по сравнению с мирным временем) объёмов и направлений грузопотоков, к чему железные дороги оказались не готовы. Важнейшие магистрали, подходившие к Петрограду, а именно Главная линия Николаевской ж. д. и Витебская линия Московско-Виндаво-Рыбинской ж. д. в скором времени оказались совершенно перегруженными. Дело доходило до введения на линии Петроград – Москва «товарных недель», во время которых вовсе прекращалось пассажирское движение, а высвободившиеся паровозы и нитки графика использовались исключительно для проводки грузовых поездов.

В связи с этим в 1914–1915 гг. в спешном порядке провели ряд мероприятий для преодоления трудностей: развили ключевые узловые станции и усилили важнейшие подходы к узлу. На некоторое время это снизило остроту проблемы, но отнюдь не решило её.

Первое строительство (1916–1918 гг.)

В конце 1915 г. указанием МПС была образована специальная комиссия, которая в короткое время детально обследовала Петроградский узел, выявила основные узкие места и предложила варианты решения проблемы перегруженности. Так появился комплексный план развития и реконструкции Петроградского железнодорожного узла в двух вариантах: кольцевая схема (план С. Н. Кульжинского и А. А. Главацкого) и радиальная схема (план Ю. В. Ломоносова). В

обоих вариантах предусматривалось на подходах к узлу разделять весь вагонопоток на транзитный и местный на пяти специально построенных предузловых сортировочных станциях (станциях основной сортировки). После этого транзитный вагонопоток (следовавший через Петроградский узел транзитом либо в Петроградский порт) должен был бы отправляться далее по назначению или по построенной вокруг узла кольцевой линии, или по радиальным ветвям, при этом не загружая собою и дополнительной работой внутренние станции узла. Местный вагонопоток (следовавший непосредственно в Петроград) с предузловых станций продвигался бы внутрь узла и попадал на станции вторичной (детальной) сортировки, где подсортировывался по товарным станциям и районам выгрузки, на которых, в свою очередь, сортировочная работа не планировалась вовсе. Станцией детальной сортировки для обслуживания порта должна была стать сооружённая на подходе к порту предпортовая сортировочная станция.

В целом оба варианта (кольцевая и радиальная схемы) были весьма продуманными, грамотно составленными и вполне жизнеспособными. На заседании Инженерного совета МПС в феврале 1916 г. после тщательного сравнения обоих вариантов большинством голосов была одобрена кольцевая схема, вскоре ее попытались реализовать. В первую очередь предполагалось построить южную (относительно р. Невы, т. е. левобережную) часть Кольцевой линии от ст. Рыбацкое до предпортовой сортировочной станции (14 км) с ветвями от последней к станциям Пущино и Автово, новую предузловую ст. Николаевской ж. д., а также уложить вторую пару главных путей (III, IV пути) на участке Обухово – Тосно (Российский государственный исторический архив (далее – РГИА). Ф. 240. Оп. 1. Д. 1143 б (Переписка по вопросам о схеме Петроградского ж.-д. узла и о подходах к нему, 1916 г.); Центральный государственный архив Санкт-Петербурга (далее – ЦГА СПб.). Ф. 2275. Оп. 9. Д. 12 (Дело о реконструкции Петроградского узла, 1916–1918 гг.)).

В течение 1916–1917 гг. было произведено отчуждение земель, отсыпано земляное полотно на значительном протяжении трассы южной части Кольцевой линии, выполнена часть земляных работ по сооружению предпортовой станции, закончено сооружение почти всех опор мостов и путепроводов (однако пролётные строения были установлены только на путепроводе – через Витебскую линию) и значительной части труб, открыты для рабочего движения отдельные участки.

Однако с самого начала строительство столкнулось с рядом трудностей, которые, впрочем, во многом были следствием того исторического периода, который переживала страна. Работы постоянно задерживались или прекращались вовсе из-за недостатка рабочих рук, материалов, рельсов и т. д. В 1916–1918 гг. первоначальные планы многократно пересматривались и сокращались. В итоге к началу 1918 г. предполагалось завершить работы по минимальной программе, чтобы открыть сквозное движение хотя бы по III главному пути участка Обухово – Тосно и сквозное (хотя бы рабочее) сообщение по Кольцевой линии между Николаевской ж. д. и районом порта, однако не удалось сделать даже этого. Сооружение новых сортировочных станций, предузловой и предпортовой, находилось в зачаточном состоянии.

Вскоре в связи с начавшимися в стране жесточайшим экономическим кризисом и Гражданской войной, когда объём перевозок на железных дорогах снизился до минимума, необходимость в данном строительстве просто-напросто отпала. В итоге в 1918 г. все работы здесь были прекращены, а верхнее строение пути на новостройке было снято и использовано на других линиях.

Второе строительство (1929–1930 гг.)

В первой половине 1920-х годов в стране практически не велось масштабного железнодорожного строительства. Транспорт, как и вся промышленность, постепенно восста-

навливался, поднимаясь из разрухи. В то же время условия работы Ленинградского порта теперь значительно изменились по сравнению с довоенными. В силу новых политических и экономических условий (главным образом, из-за образования независимых Прибалтийских государств, на территории которых остались многие морские порты Балтийского моря), важнейшим экспортно-импортным пунктом Северо-Запада СССР стал Ленинград, и в нём – Ленинградский торговый порт (ЛТП). Его значение теперь чрезвычайно возросло: именно через него стал проходить почти весь внешний товарооборот с государствами Запада. Это, в свою очередь, значительно повысило роль подходящих к Ленинграду железнодорожных линий.

В 1928 г. был принят первый пятилетний план развития народного хозяйства (на 1928–1932 гг.), предусматривавший форсированную индустриализацию и коллективизацию СССР с целью наращивания экономической и военной мощи страны. Государство стало испытывать острую необходимость в получении конвертируемой (твёрдой) валюты, что осуществлялось прежде всего за счёт экспорта. А наиболее естественным экспортным ресурсом огромной страны стал лес (как необработанный, круглый, так и различные пиломатериалы). Постоянно увеличивавшийся объём лесозэкспорта, основная часть которого подвозилась к порту по железной дороге, привёл к необходимости усиления железнодорожных подходов к ЛТП.

В конце 1920-х годов в южной части порта был построен целый новый район, специально предназначенный для перевалки экспортных грузов – Хлебно-Лесной мол. Пропускная способность ст. Новый Порт (основной, обслуживавшей ЛТП) в течение десятилетия 1920-х годов последовательно повышалась с 200 до 360, 450, 620, наконец до 850 вагонов в сутки (ЦГА СПб. Ф. 2275. Оп. 9. Д. 1160 (Материалы о реконструкции ст. Новый Порт, 1927 г.)), но было понятно, что дальнейшее развитие этой станции, располагавшейся в стеснённых условиях (на островах) и зажа-

той портовыми территориями, представляется всё более затруднительным. Старая Портовая (бывшая Путиловская) линия также не могла уже переработать грузопотоки в планируемых размерах (РГИА. Ф. 350. Оп. 91. Д. 46 (Материалы комиссии по пересмотру проекта переустройства Ленинградского узла, 1916–1926 гг.)).

Вновь, как полтора десятка лет до этого, отчётливо проявилась необходимость прокладки новой железнодорожной линии в район порта, которая проходила бы в обход основной части Ленинградского узла (ЦГА СПб. Ф. 2275. Оп. 9. Д. 1245, 1246. (Материалы о развитии Ленинградского узла, т. 1, 2, 1928–1929 гг.); ЦГА СПб. Ф. 2275. Оп. 9. Д. 1323 (Материалы о развитии Ленинградского узла в связи с лесозэкспортом, 1929 г.); ЦГА СПб. Ф. 2275. Оп. 9. Д. 1414 (Переустройство Ленинградского узла в связи с лесозэкспортом, 1929 г.)). И такое строительство действительно началось в 1929 г. – теперь уже во второй раз. Стройка была объявлена ударной задачей наступающей навигации. С использованием отсыпанного ещё в 1916–1918 гг. земляного полотна, со многими упрощениями по сравнению со старым проектом, с выполнением минимально необходимого объёма работ по сооружению станций, но в течение того же года Южное полукольцо, или Вторая Портовая ветвь, с ветвями (общей длиной 33,5 км) было сооружено и введено в эксплуатацию 30 июля 1929 г.

На момент открытия линия включала в себя перегоны Рыбацкое – Пост № 1 – Купчинская – Предпортовая, Предпортовая – Автovo, Предпортовая – Пост № 2 (открытый на Морской ветви; позже он был развит в полноценную станцию Нарвская). Путьевого развития ст. Предпортовая (в какой-то момент характеризующее ее прилагательное незаметно превратилось в название) ещё не было. Для прохода на полукольцо поездов с Главной (Московской) линии Октябрьской ж. д. была открыта для движения существовавшая ещё со времён Первой мировой войны ветвь Славянка – Рыбацкое. Развязки Южного полукольца с другими железнодорожными линиями были

выполнены в разных уровнях: Витебский и Варшавский ходы (а вместе с ними и Пулковское шоссе) новая линия пересекала в верхнем уровне, Балтийский ход – в нижнем (с частичным изменением его трассы в районе развязки). Чуть западнее путепровода через Витебскую линию трасса полукольца пересекала Московское шоссе в одном уровне (переездом).

В следующем, 1930 г., была открыта полноценная ст. Предпортовая (но пока без сортировочной горки), перегоны Рыбацкое – Купчинская (прямой выход на Южное полукольцо с Мурманской ж. д.) с путепроводом над Главной линией, и Шушары – Купчинская (соединительная ветвь с Витебской линией). Примерно тогда же появился перегон Шоссейная – Предпортовая (соединительная ветвь с Варшавской линией).

Ещё через некоторое время на ст. Предпортовая была введена в эксплуатацию сортировочная горка, предназначенная для переработки чётного грузопотока (в сторону порта) и выполнявшая детальную разбивку вагонов по районам ЛТП. Однако сооружение на этой станции объектов второй очереди (устройств паровозного и вагонного хозяйства, путепровода для пропуска обыкновенной дороги и т. д.) затягивалось; многое из этого в итоге так и не было воплощено.

Также только значительно позже были построены разъезд Среднерогатский на Южном полукольце (1937 г.) и соединительные линии Обухово – Купчинская, Шушары – Среднерогатская, Среднерогатская – Шоссейная и Предпортовая – Лигово (1940–1941 гг.).

В общем давно назревшее к тому времени сооружение Южного полукольца (см. рисунок) Ленинградского узла себя оправдало и позволило железной дороге справиться с переработкой проходившего через ЛТП лесозэкспорта. Однако планировавшийся также ещё перед войной второй главный путь на всём его протяжении (ЦГА СПб. Ф. 2275. Оп. 9. Д. 1521 (Переписка о сооружении второго пути Южного полукольца, 1932–1933 гг.)) в итоге не был построен.

Третье (послевоенное) строительство

В период Великой Отечественной войны и блокады Ленинграда Южное полукольцо по понятным причинам не функционировало и в 1942 г. было частично разобрано. В насыпях перегонов были устроены фортификационные сооружения внешнего рубежа обороны города (которым, впрочем, практически не довелось поучаствовать в реальных боевых действиях).

В послевоенный период, когда в составе СССР вновь появились более удобные по ряду причин прибалтийские порты, Южное полукольцо Ленинградского узла во многом потеряло своё значение, а сортировочная система ст. Предпортовая так никогда и не была восстановлена. В связи с отсутствием прямых маршрутных поездов в Ленинградский порт в 1950–1960-х годах данная линия как полукольцо долгое время не функционировала. Лишь отдельные участки использовались для внутриузловых передач (между станциями Ленинград-Сорт.-Московский, Шушары, Среднерогатская, Шоссейная), а участки Рыбацкое – Купчинская, Купчинская – Среднерогатская, Шушары – Среднерогатская, Предпортовая – Автово, Предпортовая – Лигово были либо законсервированы, либо вовсе разобраны.

В 1970-х годах в связи с постепенным ростом грузооборота Ленинградского порта (в том числе с увеличением перевалки через него импортного зерна) Южное полукольцо постепенно стало восстанавливаться. Были сооружены путепроводы с поднятием железной дороги во второй, верхний уровень на пересечении линии с Московским шоссе (чётная горловина ст. Среднерогатская) и Ленинским пр. (перегон Предпортовая – Нарвская) с частичным изменением трассы дороги в этих местах; появились путепроводы над ст. Автово (трамвайный Кронштадский и автомобильный в створе пр. Маршала Жукова). Перегоны оснащались полуавтоматической и автоматической блокировкой, станции – электрической централизацией стрелок и сигналами.

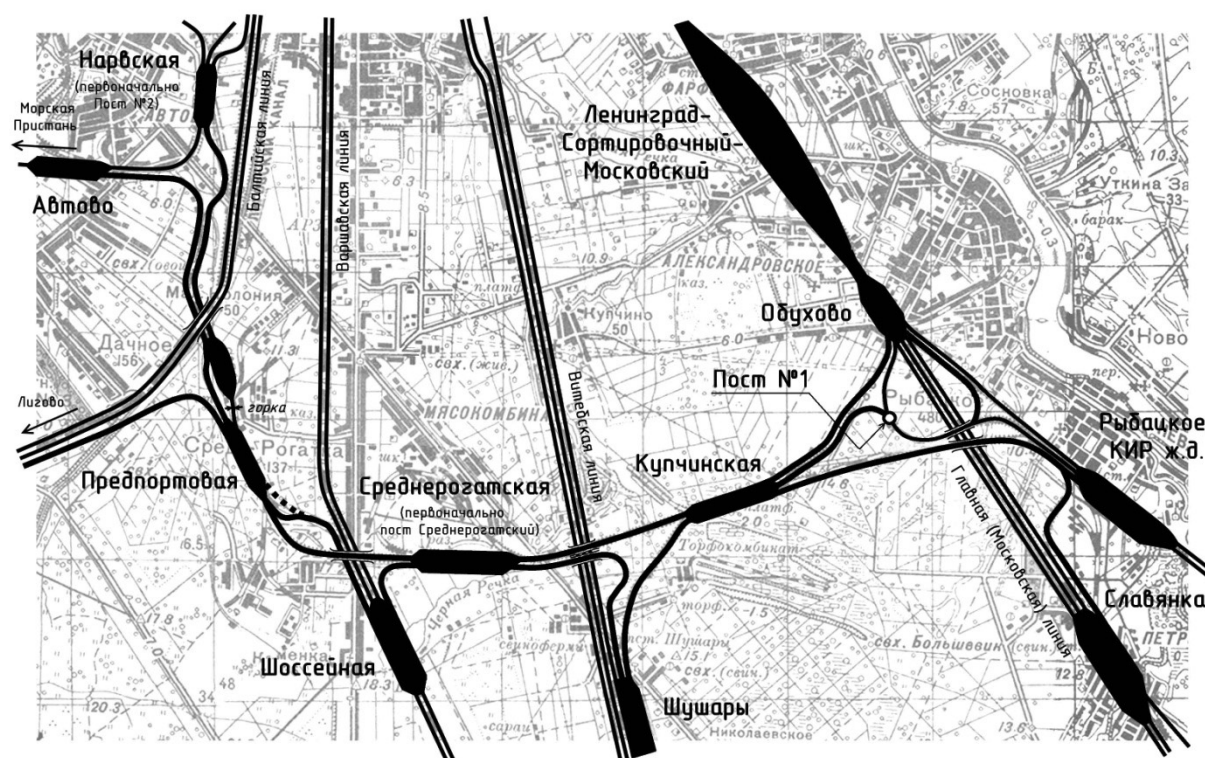


Схема Южного полукольца (Второй Портовой ветви) Октябрьской ж. д.
(реконструкция автора с наложением на топографическую карту местности конца 1930-х годов)

лов. В середине 1980-х годов были электрифицированы отдельные участки полукольца (перегоны Обухово – Купчинская – Шушары, Рыбацкое – Купчинская и т. д.).

Очередные глобальные изменения произошли в 1991 г. Вновь, как и более 70 лет назад, Россия после образования суверенных Эстонии, Литвы и Латвии лишилась удобных прибалтийских портов. Грузопоток (в основном теперь, конечно же, экспортный), проходивший через Петербургский порт, стал постепенно возрастать.

В связи с этим в 2001–2002 гг. были реконструированы железнодорожные подходы к порту. Были электрифицированы участки Северного (Волковская – Цветочная – Новый Порт) и Южного (Среднерогатская – Предпортовая – Нарвская – Новый Порт) полукольца Петербургского узла и значительно реконструирована ст. Предпортовая. Кроме того, в октябре 2002 г. был открыт вновь построен-

ный (получается, уже в третий раз) или, можно сказать, восстановленный перегон Предпортовая – Автово (до этого пропуск поездов в Автово со стороны ст. Шушары осуществлялся с изменением направления движения и с перецепкой тепловоза по ст. Нарвская). В восточной (нечётной) горловине ст. Автово был ликвидирован переезд (сооружён новый путепровод в створе пр. Стачек).

Наконец, совсем недавно, весной 2009 г., были закончены работы по электрификации перегонов Предпортовая – Автово и Автово – Нарвская (что позволило отказаться от смены локомотивов у поездов этого назначения, прибывающих в узел со стороны Мги), а также по реконструкции ст. Автово (в ходе которых, к сожалению, в нечётной горловине было уничтожено старое здание станции дореволюционной постройки) с устройством здесь электрической централизации стрелок и сигналов.

Заключение

Почти столетие прошло с момента появления первого проекта сооружения Южного полукольца и первых попыток его воплощения в жизнь. После многочисленных строек и переустройств эта линия вполне успешно функционирует и в настоящее время. В будущем, даже несмотря на сооружение в послед-

ние годы нового морского порта в Усть-Луге, она, несомненно, останется востребованной и будет обслуживать определённый грузопоток.

КРИТСКИЙ Сергей Валерьевич – аспирант, coleopterous@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).



УДК 656.2

Е. Г. Шепилова**ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ОТРАСЛЕВЫХ ВУЗОВСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Дата поступления: 24.04.2015

Решение о публикации: 05.05.2015

Цель: Обосновать инновационную роль отраслевого вуза в экономике страны, наметить пути и механизмы его поступательного развития. Рассмотреть задачи отраслевого вуза, обеспечивающие инновационное развитие железнодорожной отрасли и региона дислокации. **Методы:** В качестве исходной модельной конструкции негативного развития рассматривается порочный круг Кналла, превращаемый посредством управления в «круг развития». Математические модели развития основываются на аналитическом описании спирали Архимеда в полярной системе координат и итерационной временной модели параметров вузовской деятельности. Используются методы идентификации искомых зависимостей – методы статистического анализа. **Результаты:** Введены понятия спиралей деградации и развития вуза. Предложены формализованные описания процессов деградации и развития системы, позволяющие прогнозировать исследуемые процессы и управлять ими. Обоснована необходимость создания отраслевого вузовского комплекса как точки инновационного роста отрасли и региона. Сформулирована роль отраслевых вузов как центров инновационного развития. Предложены механизм поступательного развития вуза и описывающие его модели. **Практическая значимость:** Предложенный подход позволит повысить статус отраслевого вуза, представить его не только как образовательное учреждение, но и как организатора и инициатора инновационного развития отрасли и региона, увеличить его конкурентоспособность и эффективность за счет применения новых форм и методов управления вузовской деятельностью.

Инновационное развитие, железнодорожная отрасль, отраслевой вузовский комплекс, порочный круг Кналла, спираль деградации, спираль развития системы, спираль Архимеда, итерационная модель развития.

Yelena G. Shepilova, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, department chairwoman, vice-rector, she@rgups.ru (Rostov State Transport University) INNOVATIVE DEVELOPMENT OF INDUSTRY SPECIFIC UNIVERSITY COMPLEXES

Objective: To justify an innovative role of an industry specific university in the country's economy, to designate ways and mechanisms for its progressive development. To look at tasks of an industry-specific university that ensure innovative development of railway industry and the location region. **Methods:** Knall's vicious circle is considered as an initial model construction for negative development, which is then transformed into a development circle by management. Mathematical development models are based on an analytical description of Archimedean spiral in polar co-ordinate system and iterative time model for parameters of university activities. Statistical analysis methods were used to identify the desired dependencies. **Results:** The paper introduces terms of university degradation and development spirals. Formalised descriptions of processes of system degradation and development are proposed which allow to forecast and to manage the studied processes. The need for creating industry-specific university complexes as a point of innovative growth of both industry and region is justified. The role of industry specific universities

as innovative development centres is formulated. A mechanism for progressive university development and models that describe it are proposed. **Practical importance:** The approach proposed will allow to improve the status of an industry specific university, presenting it not just as an educational institution but also as an organiser and initiator and innovative development of industry and region, improving its competitiveness and efficiency by using new forms and methods of managing university activities.

Innovative development, railway industry, industry specific university complex, Knall's vicious circle, degradation spiral, development spiral, Archimedean spiral, innovative development model.

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС) относится к вузу отраслевого типа. Однако успешность деятельности вуза существенно зависит от экономики и образовательной сферы региона: от взаимодействия с региональным рынком труда, от спроса на трудовые ресурсы и научные разработки, генерируемые вузом, от кооперативных и конкурентных отношений с иными вузами региона и т. д. РГУПС готовит специалистов преимущественно для предприятий железнодорожного транспорта. Это накладывает ограничения как на характер его развития, так и на позицию в системе высшего образования страны. Для отраслевого вуза особенно важны следующие задачи:

- обеспечивать новационное развитие отрасли, поскольку в ее составе недостаточно научных учреждений для решения проблемных вопросов по всему спектру деятельности: экономике, менеджменту, праву, технологии и технике движения поездов и т. д. Ряд актуальных вопросов должны решать отраслевые вузы;
- иметь тесную связь с потребителями трудовых ресурсов. Кого и как готовить – всецело зависит от состояния и проблем железнодорожной отрасли.

То есть отраслевой вуз следует рассматривать в тесном взаимодействии с рынком труда, предприятиями железнодорожной отрасли, поэтому правильнее говорить о вузовских учебно-научно-производственных комплексах. Если наука вуза поставляет в отрасль инновационную продукцию, система образования обеспечивает ее высококвалифицированными кадрами, то позиции вуза устойчивы, он конкурентоспособен. Решение поставленных задач требует системного

взгляда на развитие высшего учебного заведения, поэтому отраслевой вуз рассматривается как социально-экономическая система (СЭС), в которой происходит множество взаимосвязанных процессов, способная и на позитивный рост, и на деградацию. Очень важно найти точки бифуркации, в которых меняется режим поведения системы, и разработать меры поддержки ее развития.

Моделирование развития вуза

В литературе хорошо известна модель, описывающая деградацию СЭС. Это так называемый порочный круг Кналла [3, 4].

Кругами Кналла можно описать разные социально-экономические явления, например, рынок труда региона [5]. Мы моделируем развитие отраслевого вуза (рис. 1).

Данная модель носит описательный (лингвистический) характер, поэтому раскрывает лишь логику этого важного явления. Определение скорости деградации системы, времени достижения некоторого состояния, управление процессом без количественных показателей невозможно.

Для данного понятия важно разработать категориальный аппарат исследования и инструментальные средства. В этом и состоит цель данного исследования.

Однако термин «круг» не точно описывает изучаемое явление. В тот момент, когда круг замыкается, СЭС имеет потенциал меньший, чем в начальный момент. По сути мы имеем спираль, закручивающуюся внутрь (рис. 2а), и далее будем использовать этот термин. То есть речь идет о спирали деградации системы.



Рис. 1. Порочный круг Кналла, описывающий деградацию вуза

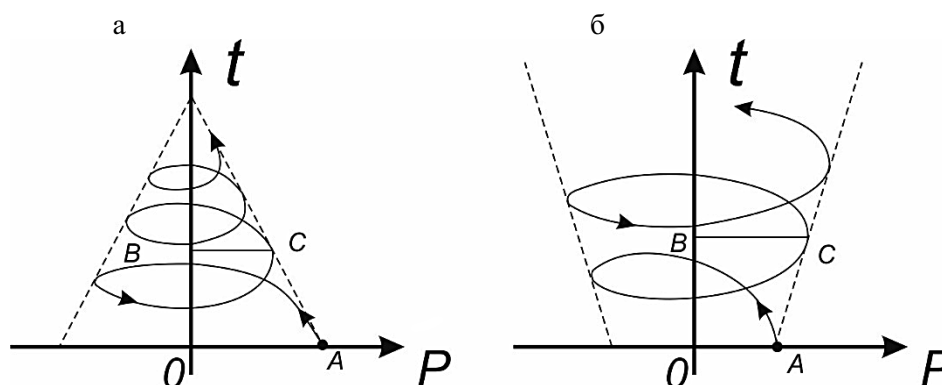


Рис. 2. Спирали деградации (а) и развития (б) системы:

ОА – начальный потенциал СЭС; ВС – потенциал после одного цикла развития процесса; время откладывается по вертикальной оси

Если изменить направление рассмотрения процесса, иллюстрацию можно использовать и для описания развития системы (рис. 2б).

Управление развитием

Задача управления вузом состоит в сдерживании негативных факторов, приводящих к его деградации, и в формировании тенденций к устойчивому росту. С этой целью в систему вводят управляющие воздействия на объект управления – вуз. Развивая схему рис. 1, введем подсистему генерации финансовых

средств вуза, разорвав порочный круг, отыскав необходимые для развития вуза финансовые средства (рис. 3).

В этом случае мы говорим о спирали позитивного развития учебного заведения (см. рис. 2б).

На рис. 3 более подробного рассмотрения требуют новационные блоки подсистемы генерации финансовых средств вуза, призванные развернуть спираль деградации в спираль позитивного развития СЭС.

В настоящей работе для этой цели предлагается использовать принцип двухсекторной организации бизнес-процесса вуза, опи-

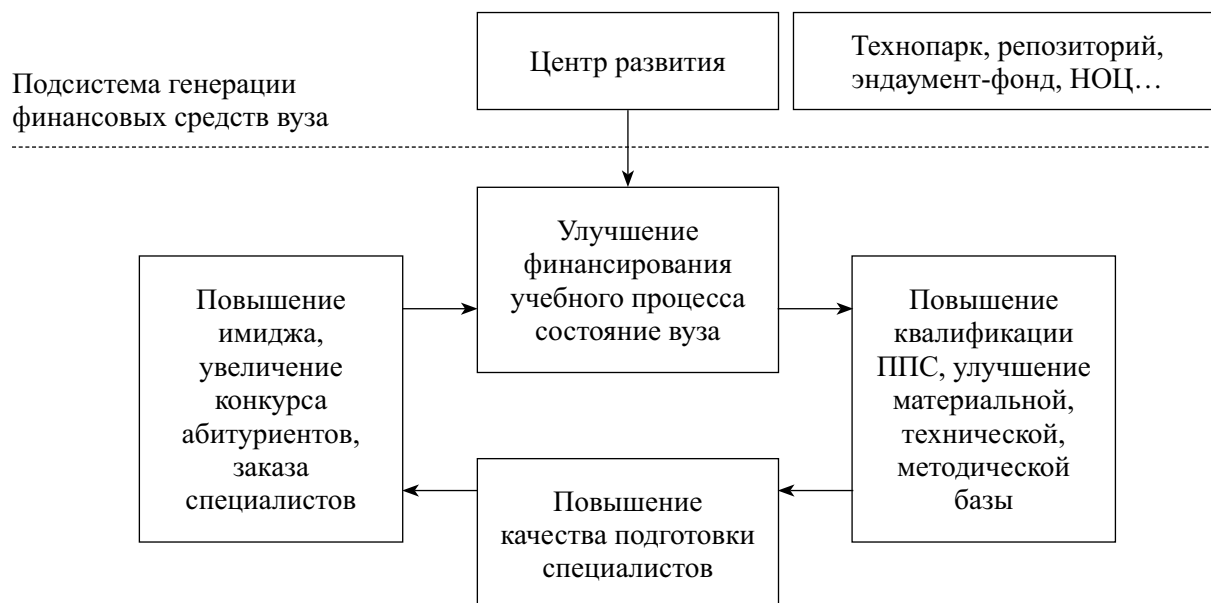


Рис. 3. Механизм развития вуза

санный в [2]: основное производство создает центр, генерирующий инновационные проекты, внедрение которых приносит дополнительные финансовые средства. Математический аппарат, описывающий процессы в двухсекторной экономике, позволяет регламентировать распределение средств основного производства между ним и центром, обеспечивая экстремум заданного критерия, например, минимальное время достижения заданного состояния СЭС.

На рис. 3 указаны некоторые элементы, ради которых создается подсистема генерации финансовых средств вуза: технопарк, бизнес-инкубатор, эндаумент-фонд, репозиторий, научно-образовательные центры (НОЦ) вуза. НОЦы законодательно прописаны и созданы в вузах, но эффект от их деятельности невелик [6]. Нет четкой взаимовыгодной системы взаимодействия вуза, НОЦа и входящих в него физических лиц.

Математическое описание развития

Реализация предлагаемых мер требует формализованного описания процедур управления развитием. Некоторые вопросы этой сферы

исследований представлены в [1]. Рассмотрим дополнительные математические формализмы, используемые для описания исследуемых процессов.

Начнем с простейшего случая равномерно развивающегося процесса – наращивания (потери) потенциала системы. Он отражается спиралью Архимеда и в полярных координатах описывается соотношением

$$P = kt + b, \quad (1)$$

где t – время (на графике на рис. 4 – угол поворота оси); k – параметр модели, отражающий динамику изменения потенциала; b – параметр модели, отражающий начальные условия.

Соотношение (1) представляет собой простейшую линейную зависимость. Ее параметры k и b рассчитываются по статистическим данным. Модель позволяет спрогнозировать изменение потенциала вуза P , определить момент достижения системой заданного значения потенциала.

Следующая модель развития задается итерационным соотношением

$$P_{i+1} = kP_i. \quad (2)$$

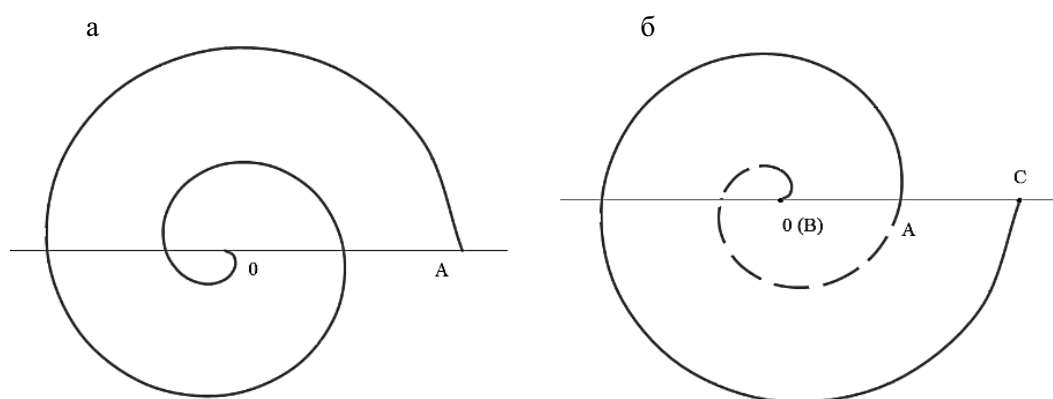


Рис. 4. Спираль Архимеда как модель развития СЭС:
а) деградирующей; б) позитивно развивающейся

Последовательность анализа (идентификации и применения модели) СЭС по модели (2):

- оценить потенциал вуза за некоторый предшествующий период времени, который должен обладать свойством стационарности, т. е. не быть слишком большим, на котором проявляются эффекты различных демографических, политических, экономических процессов. При этом чем больше период наблюдений, тем выше статистическая достоверность расчетов. В результате получаем ряд: $P_1, P_2, \dots, P_n$;

- найти среднее значение показателя наращивания (потери) потенциала системы:

$$k = (\sum_{i=1}^{n-1} (P_{i+1}/P_i)) / (n - 1). \quad (3)$$

Если $k > 1$, то система развивается позитивно, если $k < 1$, то деградирует. При $k = 1$ состояние СЭС остается без изменения.

Соотношение (2) позволяет решить несколько простых задач (если предположить стационарность исследуемого процесса):

- спрогнозировать изменение позиции вуза на несколько шагов вперед;
- определить момент времени $t = i$, когда будет достигнут заданный уровень состояния потенциала вуза.

Рассмотрим конкретный пример. Результаты измерения потенциала вуза в течение четырех последних лет приведены в таблице. В

начальный момент потенциал принят за единицу. Необходимо найти ожидаемый потенциал в следующем (пятом году) и год, когда потенциал превысит исходный на 70 %.

Результаты наблюдений
(иллюстративный пример)

i, t	1	2	3	4
P	1	1,1	1,3	1,4

Модель (1) построим по данным таблицы методом наименьших квадратов. Для модели (2) используем соотношение (3). Получим:

$$P = 0,14 t + 0,85; P_{i+1} = 1,12 P_i.$$

Первая модель дает ориентировочное значение потенциала вуза в следующем (пятом) году, равное $P(5) = 1,55$, вторая – $P_5 = 1,57$. 70%-ное превышение начального потенциала достигается по обеим моделям на шестом году работы вуза. Хорошее совпадение результатов расчетов по разным моделям доказывает правомочность принятой логики рассуждений.

Выводы

Высшее учебное заведение отрасли представлено как составная часть социально-эко-

номической системы, характеризуемой многочисленными взаимосвязанными процессами в отрасли, регионе, системе образования страны. Кратко описана роль железнодорожного вуза в отраслевой и региональной экономиках, сформулирован ряд проблем его развития. Отраслевой вуз представлен как учебно-научно-производственный комплекс.

Развита известная в менеджменте модель развития «порочный круг Кналла». Развернутый во времени, он представляет собой спираль деградации СЭС. Предложено посредством управления вузовской деятельностью «развернуть» спираль деградации в спираль развития. Средствами такого управления могут быть технопарки, репозитории, эндаумент-фонды, научно-образовательные центры вузов и пр.

Для формализованного описания исследуемых процессов предложен математический аппарат в виде спирали Архимеда и рекуррентных соотношений параметров, характеризующих изменение потенциала вуза (финансового, кадрового, материального и пр.). Проанализированы и проиллюстрированы процедуры идентификации и применения предложенных моделей.

Библиографический список

1. Верескун В. Д. Математический инструментарий управления сетевым технологическим процессом / В. Д. Верескун, Е. Г. Шепилова // Транспорт : наука, техника, управление. – 2013. – № 8.
2. Жак С. В. Математические модели менеджмента и маркетинга / С. В. Жак. – Ростов-н/Дону : Лапо, 1997.
3. Нуреев Р. М. Теории развития : кейнсианские модели становления рыночной экономики /

Р. М. Нуреев // Вопр. экономики. – 2000. – № 4. – С. 137–156.

4. Нуреев Р. М. Теории развития: неоклассические модели становления рыночной экономики / Р. М. Нуреев // Вопр. экономики. – 2000. – № 5. – С. 145–158.

5. Токарева Г. В. Качество трудовых ресурсов как фактор экономического развития региона : дис. ... канд. экон. наук / Г. В. Токарева. – Ростов-н/Дону : РГУ, 2004.

6. Шепилова Е. Г. Отраслевой вуз – центр учебно-научно-производственного кластера / Е. Г. Шепилова // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. – 2013. – № 6.

References

1. Vereskun V. D. & Shepilova Ye. G. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transp.: Sci., Eng., Manage.*, 2013, no. 8.
2. Zhak S. V. *Matematicheskiye modeli menedzhmenta i marketinga* [Mathematical Models in Management and Marketing]. Rostov-on-Don, Lapo, 1997.
3. Nureyev R. M. *Voprosy ekonomiki – Econ. Probl.*, 2000, no. 4, pp. 137-156.
4. Nureyev R. M. *Voprosy ekonomiki – Econ. Probl.*, 2000, no. 5, pp. 145-158.
5. Tokareva G. V. *Kachestvo trudovykh resursov kak faktor ekonomicheskogo razvitiya regiona* [Quality of Labour Resources as a Factor in Region's Economic Development]. Rostov-on-Don, RGU, 2004.
6. Shepilova Ye. G. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region – Proc. Univ. North Caucasus Region*, 2013, no. 6.

ШЕПИЛОВА Елена Григорьевна – канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой, проректор, she@rgups.ru (Ростовский государственный университет путей сообщения).