НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ, выпуск 2 (39), 2014

ISSN (Print) 1815-588X

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

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

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

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

Журнал зарегистрирован
в Российском индексе научного цитирования РИНЦ

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

Журнал имеет институт рецензирования

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

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

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

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

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

Выпускающий редактор
Е. Г. Исаченко

Ответственный секретарь
Е. В. Моисеева

Перевод на английский язык
О. В. Керханиди

Литературное редактирование и корректура
Е. Г. Исаченко, С. А. Зинченко

Верстка
А. А. Стуканова

Редактор сайта
Л. А. Стрелкова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

Ситаж Марек, профессор, Силезский технический университет, Польша

Христов Христо, профессор, Технический университет, София, Болгария

РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Подписано в печать с оригинал-макета 02.07.2014.
Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать ризография.
Усл. печ. л. 23,375. Уч.-изд. л. 19,0. Установочный тираж 300 экз.
Заказ 627. Цена свободная.

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

© Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014

SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT UNIVERSITY Issue 2 (39) – 2014

ISSN (Print) 1815-588X

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

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

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

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

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

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

The Journal has the Peer-review division

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

JOURNAL STAFF

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

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

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

Executive editor
E. Isachenko

Executive secretary
E. Moiseeva

English translation
O. Kerkhanidi

Editing and proofreading
E. Isachenko, S. Zinchenko

Layout
A. Stukanova

Online content editor
L. Strelkova

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

Marek Sitazh, Professor, Silesian University of Technology, Poland

Khristo Khristov, Professor, Technical University of Sofia, Bulgaria

EDITORIAL TEAM

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© Petersburg State Transport University, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

А. В. Грищенко, А. С. Хрущев, О. Р. Хамидов, М. С. Яшкин
Математическая модель сепаратора подшипника качения локомотивных асинхронных электродвигателей 5

Д. И. Илесалиев, Е. К. Коровяковский, О. Б. Маликов
Перевозка экспортно-импортных грузов в Республике Узбекистан 11

Э. С. Карапетов, Д. А. Шестовицкий
Прогнозирование срока службы железобетонных мостов с учетом внешних факторов и особенностей бетона защитного слоя 17

А. Ф. Колос, А. А. Морозова
Исследование распространения виброускорений частиц балластного слоя в условиях движения поездов с повышенными осевыми нагрузками 29

А. Н. Комарова, Ю. П. Бороненко
Влияние типов и параметров гасителей колебаний вагона на сопротивление движению 35

А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова, М. Ю. Королев
Алгоритм функционирования системы управления движением электроподвижного состава в метрополитене на базе RFID-технологии 42

В. А. Кручек, В. В. Кручек, П. В. Дворкин
Повышение надежности водяной системы тепловозов 49

О. Б. Маликов, И. Ю. Согрин
Анализ способов доставки грузов железнодорожным транспортом 53

А. С. Хрущёв, С. В. Орлов, М. С. Яшкин, Г. И. Тихомиров
Разработка навесного отвала с улучшенными прочностными характеристиками для универсального автомобиля 58

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

С. И. Алексеев, Р. Р. Хисамов
Использование обоймы для повышения несущей способности основания фундаментов 67

Б. М. Аллахвердов, К. Ю. Полинкевич
Итерационный способ расчета анизотропной балки на прочность 73

С. И. Гиндин
Программный комплекс расчета вероятностно-временных характеристик многоканальных систем массового обслуживания с «разогревом» 80

А. В. Индейкин
Местные параметрические колебания стержневых элементов строительных конструкций 84

С. Ю. Каптелин
Испытание сооружений динамическими нагрузками 92

С. В. Николаев, Е. Р. Богданова
Исследование гидрофильных свойств бетонных смесей для гидротехнических сооружений 99

А. А. Привалов, Н. В. Евглевская, К. Н. Зубков
Модель процесса вскрытия параметров сети передачи данных оператора IP-телефонной сети компьютерной разведкой организованного нарушителя 106

Е. В. Соболев, Мудар Ал-Рубой, Е. А. Рубцов
Выбор рационального состава и размещения радиомаяков VOR/DME в Республике Ирак для обеспечения зональной навигации 111

Ю. А. Сорвачева
Влияние нано-кремнезема на кинетику протекания щелочной коррозии бетона 118

Ван Хайбинь, С. С. Ваничева
Учет ответственности сооружения при задании расчетной сейсмической нагрузки 124

А. В. Якушев, Я. О. Рузметов, С. О. Комиченко
Разработка и обоснование формы образца с целью построения кинетической диаграммы усталостного разрушения для литых сталей при наличии внутренних литейных дефектов 129

→ **СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

С. В. Коланьков
Оценка арендной ставки для объектов недвижимости железнодорожного транспорта 134

А. Р. Норбоев, Г. М. Грошев, В. Л. Белозеров, В. И. Ковалев
Определение технико-экономической эффективности применения устройств зарядки и опробования тормозов для сокращения простоев поездов на технических станциях 140

Я. В. Соколова
Совершенствование управления проектами инновационного развития в транспортной компании 146

М. В. Федорова
Решение транспортных проблем мегаполисов за счёт развития магнитолевитационного транспорта 153

→ **ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

М. М. Воронина
К вопросу о математическом образовании 160

А. П. Ледяев, В. П. Быков, Я. С. Ватулин, А. А. Мигров
Автоматизация исследовательского проектирования 165

ABSTRACTS 170

АВТОРЫ СТАТЕЙ 183

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 187

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

УДК 621.323

А. В. Грищенко, А. С. Хрущев, О. Р. Хамидов, М. С. Яшкин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕПАРАТОРА ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ ЛОКОМОТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Разработана математическая модель сепаратора подшипника качения локомотивных асинхронных электродвигателей. Оценена эффективность разработанного метода диагностики, позволяющего выявлять дефекты сепаратора подшипника качения. Показано, что с помощью разработанной 3D модели можно рассчитать влияние параметров сепаратора подшипника качения на его динамические характеристики. Для этого были использованы соответствующие уравнения динамики для данной системы, которые решались методом конечных элементов с помощью программы SolidWorks 2013.

математическая модель сепаратора роликоподшипника, локомотивный асинхронный электродвигатель, вибровозмущающие силы, возникающие усталостные трещины.

Введение

Подшипниковые узлы асинхронных электродвигателей локомотивов, устанавливаемые на осях и валах ротора, являются важнейшими конструктивными элементами, от технического состояния которых в значительной степени зависит безопасность движения подвижного состава.

Сепаратор роликоподшипника является одним из основных элементов подшипников качения, предназначенным для удержания элементов качения на соответствующем расстоянии друг от друга. Он предотвращает контакт между элементами качения, поддерживает равномерное качение тел по окружности подшипника, помогает улучшить условия работы подшипника качения. Также обеспечивает низкий коэффициент трения и повышает КПД в условиях недостаточного смазывания подшипника.

Одним из основных элементов, ограничивающих долговечность подшипников качения, работающих в условиях высоких скоростей и нагрузок, является сепаратор, повреждение и выход из строя которого лимитирует ресурс и надежность как самого подшипника, так и асинхронного тягового электродвигателя в целом. Конструкция современных сепараторов подшипников качения, применяемых на асинхронных тяговых электродвигателях, довольно разнообразна и существенно определяется нагрузочно-скоростными параметрами опоры, ее температурным состоянием и характеристиками смазочно-охлаждающей среды.

Когда сила инерции достигает верхних значений допустимых пределов, на сепараторе подшипников возникают усталостные трещины, которые через некоторое время могут привести к полному его разрушению. Кроме того, к разрушению сепаратора подшипника

качения могут привести недостаточное смазывание и воздействия абразивных частиц, а также внешние загрязнения. Из-за этого происходит заклинивание подшипника, которое влечет за собой поломку сепарирующего устройства. Основными причинами разрушения сепараторов подшипника качения являются [1]:

• вибрации;

• чрезмерно высокая частота вращения;

• износ.

Если подшипник качения работает в условиях вибраций, то силы инерции могут оказаться настолько большими, что через некоторое время в материале сепаратора возникают усталостные трещины, которые с течением времени приводят к полному его разрушению.

В конечном результате, анализируя условия работы подшипников качения в составе подшипникового узла локомотивного асинхронного электродвигателя, можно сказать, что в целом на сепаратор подшипника качения действует следующая система сил [2]:

• центробежные силы инерции, возникающие при вращении сепаратора, $F_{\text{ц}}$;

• силы надавливания роликов на перемычки сепаратора, обусловленные перекосом колец подшипника при работе в составе подшипникового узла, F_g;

• силы взаимодействия между телами качения и сепаратором, обусловленные отклонением беговых дорожек колец и роликов от правильной геометрической формы и разноразмерностью роликов в комплекте подшипника, F_i;

• силы трения, имеющие место при соприкосновении сепаратора с направляющим кольцом, $F_{\text{тр}}$:

$$F_{\text{тр}} = f(V_s),$$

где V_s – окружная скорость ролика:

$$V_s = f(d_r, r, n_c),$$

где d_r – диаметр ролика; r – радиус внутреннего кольца подшипника; n_c – частота вращения сепаратора.

Сила действия ролика на боковую поверхность перемычки сепаратора подшипника N_p:

$$N_p = f(M_{\text{тр}}, R_a, R_c),$$

где $M_{\text{тр}}$ – момент трения; R_a – радиальная нагрузка; R_c – осевая нагрузка.

Сила инерции отдельной перемычки сепаратора подшипника $F_{\text{и}}$:

$$F_{\text{и}} = f(n_c, m_n),$$

где m_n – масса подшипника сепаратора.

Кроме указанного комплекса сил, при работе подшипника качения в условиях низких или повышенных температур на сепараторе действует термическая сила от перепада температур, связанная с линейным расширением каркаса сепаратора.

1 Теоретические основы динамики сепараторов подшипников качения

Проведенный комплексный анализ силового взаимодействия сепаратора с элементами конструкции подшипника и подшипникового узла позволяет определить напряженно-деформированное состояние сепаратора, рассчитать прочность и обоснованно назначить его конструктивно-технологические параметры в зависимости от нагрузочно-скоростных, температурных и других режимных условий работы подшипника.

При перекосе колец подшипника относительно друг друга след качения имеет форму овала. Если сепаратор ведет тела качения, то в таких условиях он деформируется при каждом обороте. При этом в материале сепаратора возникают усталостные трещины, постепенно приводящие к его разрушению. Подобные явления могут происходить, когда в паре работают упорный шарикоподшипник и радиальный подшипник скольжения. Если радиальный зазор в подшипнике скольжения слишком велик, то кольца подшипника качения смещаются относительно друг друга, шарики не двигаются «след в след»,

и в сепараторе возникают большие напряжения, приводящие к его разрушению [1].

В подшипниках, работающих с переменной частотой вращения, т. е. в условиях знакопеременного ускорения, на сепаратор действуют силы инерции, порождающие значительные напряжения сжатия в местах контакта и обусловленный этим сильный износ.

Исследуемые подшипники – роликовые радиальные с короткими цилиндрическими роликами типа НО-92417 К2М и НО-32332 К2М. Основные размеры и параметры приведены в табл. 1 и 2.

2 Расчет усилий, возникающих в сепараторе подшипника качения при эксплуатации электродвигателя

На рис. 1 показаны расчетная схема, виды нагружения перемычки сепаратора роликоподшипника и возможные места возникновения трещины.

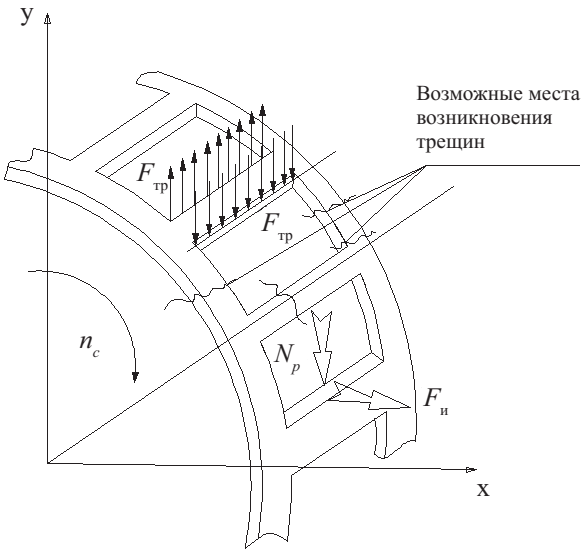


Рис. 1. Расчетная схема. Виды нагружения перемычки сепаратора роликоподшипника

Где N_p – сила действия ролика на боковую поверхность перемычки; $F_и$ – сила инерции отдельной перемычки:

ТАБЛИЦА 1. Параметры исследуемых подшипников

Тип подшипника	Внутренний диаметр d, мм	Наружный диаметр D, мм	Ширина кольца B, мм	Диаметр ролика d_p, мм	Длина ролика l_p, мм	Число роликов, Z	Масса подшипника, кг	Диаметр окружности через центры роликов d_c, мм
НО-32332 К2М	160	340	68	42	42	15	31	250
НО- 92417 К2М	85	210	52	32	32	12	9,8	147,5

ТАБЛИЦА 2. Параметры элементов модели подшипника

Элемент	Материал	Плотность, кг/м^3	Модуль Юнга, н/м^2	Коэффициент Пуассона
Ролик	Сталь	7750	$1{,}9\cdot10^{11}$	0,305
Сепаратор	Бронза	8545	$1{,}1\cdot10^{11}$	0,324
Внутреннее кольцо	Сталь	7750	$2{,}1\cdot10^{11}$	0,305
Внешнее кольцо	Сталь	7750	$2{,}1\cdot10^{11}$	0,305

$$F_{\text{и}} = m \cdot a^{n}_{\text{перемычки}},$$

где m – масса отдельной перемычки; $a^{n}_{\text{перемычки}}$ – нормальное ускорение вращающейся перемычки:

$$a^{n}_{\text{пер}} = \frac{V_n^2}{r},$$

где V_n – окружная скорость перемычки сепаратора; r – радиус вращения перемычки:

$$V_n = \frac{\pi \cdot n_{\text{сеп}}}{30} \cdot r.$$

Максимальная частота вращения внутреннего кольца (ротора) асинхронного тягового электродвигателя ДАТ – 510 $n_1 = 2225$ об/мин; $n_{\text{сеп}}$ – частота вращения сепаратора определяется как [2]:

$$n_{\text{сеп}} = \frac{n_1}{2}\left(1 - \frac{D_w}{d_c}\right),$$

где n_1 – частота вращения внутреннего кольца (ротора); D_w – диаметр тела качения; d_c – средний диаметр сепаратора подшипника. Диаметр сепаратора определяется как [2]:

$$d_c = \frac{(d + D)}{2},$$

где d – диаметр внутреннего кольца подшипника; D – диаметр наружного кольца подшипника.

Сила трения определяется как:

$$F_{\text{тр}} = k_{\text{тр}} \cdot N_p,$$

где $k_{\text{тр}}$ – коэффициент трения.

Полученные результаты расчета сил инерции отдельной перемычки сепаратора приведены в табл. 3.

Определяем силу действия ролика на боковую поверхность перемычки сепаратора подшипника качения:

$$N_p = \frac{F_x}{Z},$$

где Z – количество роликов;

$$F_x = \frac{T_{\text{сопр}}}{r},$$

где $T_{\text{сопр}}$ – момент сопротивления сил трения сепаратора.

Момент сопротивления от сил трения сепаратора определен экспериментально. По результатам эксперимента получены следующие значения моментов, $T_{\text{сопр}}$:

$$F_x = F_{160} = 0{,}5 \text{ кг}; \; T_{\text{сопр}} = F_x r;$$

$$F_x = F_x = 0{,}4 \text{ кг}; \; T_{\text{сопр}} = F_x r.$$

Центробежная сила определяется как:

$$F_c = \frac{1}{2} m_p \cdot d_c \cdot \omega_c^2.$$

На рис. 2 показана компьтерная модель исправного подшипника качения, а на рис. 3–7 – результаты исследования и распределение интенсивности напряжений при характерных дефектах элементов подшипников качения локомотивных асинхронных электродвигателей, полученные с помощью программы SolidWorks 2013, с учетом численных значений нагрузок, рассчитанных по приведенным зависимостям.

Максимальные интенсивности напряжений возникают при поврежденных узлах подшипника и в углах окон сепаратора. Одним из путей дальнейшего снижения максимальных значений интенсивностей напряже-

Рис. 2. Компьютерная модель исправного подшипника качения

ТАБЛИЦА 3. Результаты расчета сил инерции отдельной перемычки сепаратора в зависимости от частоты вращения

№	Наименование				
	Частота вращения внутреннего кольца	Частота вращения сепаратора	Окружная скорость перемычки сепаратора	Нормальное ускорение вращающейся перемычки сепаратора	Сила инерции отдельной перемычки сепаратора
	n_1 (об/мин)	$n_{сеп}$ (об/мин)	V_n (м/с)	$a^n_{пер}$ (м/с^2)	$F_и$ (Н)
1	100	39,1525	0,30	1,23	0,087
2	200	78,305	0,604	4,947	0,35
3	400	156,61	1,208	19,786	1,39
4	600	234,91	1,82	44,94	3,15
5	800	313,22	2,42	79,408	5,56
6	1000	391,525	3,02	123,67	8,66
7	1200	469,83	3,63	178,67	12,5
8	1400	548,135	4,24	243,76	17,5
9	1600	626,44	4,84	317,64	22,2
10	1800	704,745	5,45	402,75	28,2
11	2000	783,05	6,05	496,305	34,75
12	2200	861,355	6,65	599,63	41,98
13	2300	900,5	6,96	656,84	45,98

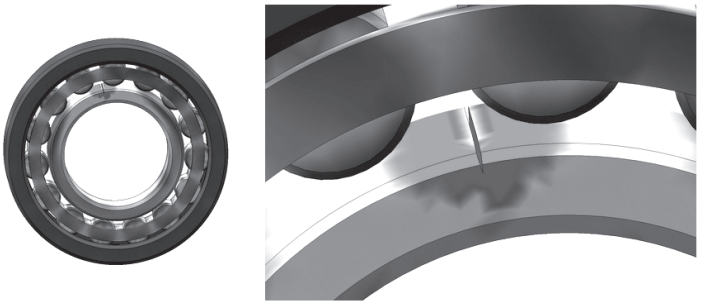


Рис. 3. Компьютерная модель дефекта внутреннего кольца подшипника качения

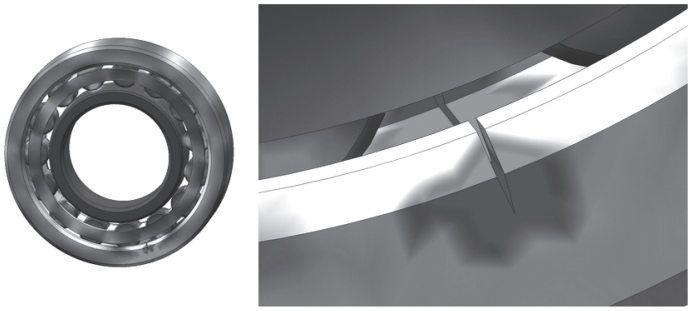


Рис. 4. Компьютерная модель дефекта наружного кольца подшипника качения

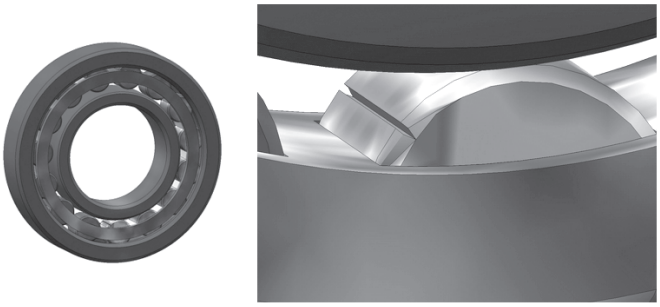


Рис. 5. Компьютерная модель трещины ролика подшипника качения

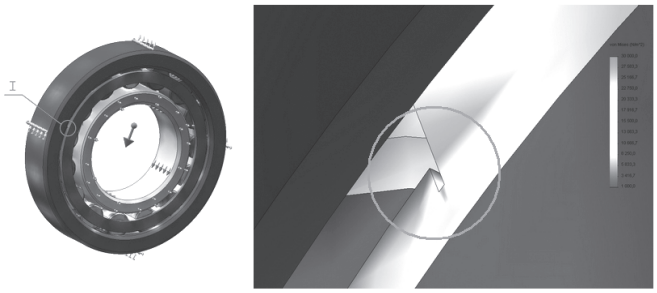


Рис. 6. Компьютерная модель дефекта сепаратора подшипника качения

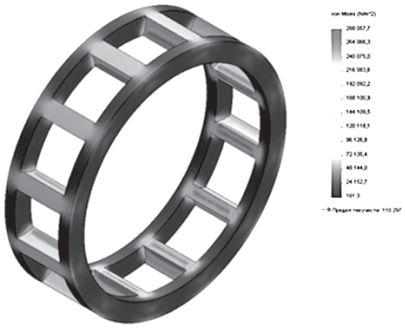


Рис. 7. Результаты исследования сепаратора роликоподшипника типа НО-92417 К2М распределения интенсивности напряжений

ния может быть варьирование формы окон сепаратора в целом и выемка в их углах.

Выводы

Из приведенных результатов моделирования видно, что возникновение дефектов в виде микротрещин в различных деталях подшипника качения влечет за собой резкое увеличение концентрации напряжений в зоне дефекта, что приводит к ускоренному разрушению детали подшипника. Разработанная математическая модель позволяет выявлять и прогнозировать характерные неисправности (трещины) сепаратора роликоподшипника, а также оценивать техническое состояние подшипника в целом. Выдвинутые предложения представляются вполне логичными и могут служить новым инструментом для оценки технического состояния подшипников качения локомотивных асинхронных электродвигателей.

Библиографический список

1. **Исследование** работы сепараторов железнодорожных роликовых подшипников при высоких скоростях движения : автореф. дисс. … канд. техн. наук / А. В. Лосев. – Москва, 1972. – 21 с.

2. **Неразрушающий** контроль : справочник. В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. – Москва : Машиностроение, 2006. – 828 с.

3. **Patil, M. S.,** Mathew, J., Rajendrakumar, P. K. (2010). A theoretical model to predict the effect of localized defect on vibrations associated with ball bearing. *International Journal of Mechanical Sciences*, 52, 1193–1201.

УДК 656.225.073.433

Д. И. Илесалиев, Е. К. Коровяковский, О. Б. Маликов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПЕРЕВОЗКА ЭКСПОРТНО–ИМПОРТНЫХ ГРУЗОВ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

В Республике Узбекистан в связи с ускоренным развитием малого и среднего бизнеса сложилась устойчивая тенденция к росту внешних и внутренних объемов перевозок тарно-штучных грузов: на железнодорожный транспорт поступают разнообразные грузы небольшими транспортными партиями. В статье изучен грузопоток тарно-штучных грузов и условно выделены направления, по которым осуществляются перевозки. Также рассмотрены вопросы транспортировки и переработки таких грузов с учетом их особенностей.

тарно-штучные грузы, экспорт, импорт, транспортный коридор.

Введение

В странах Центральной Азии доставка штучных грузов в основном осуществляется железнодорожным или автомобильным транспортом. Каждая тонна груза в процессе доставки перегружается несколько раз, что значительно увеличивает объем перегрузочных работ и обусловливает их сложность и трудоемкость.

В 2013 г. железнодорожный транспорт Узбекистана перевез более 65 млн тонн различных грузов, 20% из которых приходится на долю тарно-штучных. В пределах дороги примерно на 250 станциях имеются погрузочно-разгрузочные механизмы, для осуществления перегрузки грузов действуют передвижные бригады, оказывающие услуги клиентам, не имеющим средств механизации.

В настоящее время осуществляется строительство новой железнодорожной линии Пап – Ангрен, завершение которого ожидается в 2016 г. Протяженность линии, которая связывает Ферганскую долину с остальными регионами Республики, составит 129 км. Таким образом, Узбекистан завершил программу создания единой национальной транспортной сети.

Опубликован ряд работ, прямо или косвенно касающихся вопросов объемов и направления экспортно-импортных грузов, перевозимых железнодорожным транспортом Республики Узбекистан. Э. Т. Туйчиев занимался вопросами перевозки тарно-штучных грузов еще в семидесятых годах, когда Узбекистан входил в состав СССР, однако после обретения республикой независимости вопросы объемов и направления штучных грузов в условиях рыночной экономики не изучались.

1 Объемы тарно-штучных грузов в Республике Узбекистан

В Республике возникает устойчивая тенденция у росту объемов перевозок тарно-штучных грузов, основной причиной которого является ускоренное развитие малого и среднего предпринимательств, отличающихся тем, что на транспорт поступают грузы объемного веса и габаритных размеров. Такие грузы требуют срочной доставки получателю, так как отправитель не располагает возможностью отвлечения оборотных средств. Учитывая складывающиеся обсто-

ятельства, железнодорожному транспорту Республики следует уделить особое внимание развитию терминальных комплексов, их специализации и оснащению необходимым оборудованием для переработки мелко-партийных и тарно-штучных грузов. Несомненно, эти складские терминалы могли бы обслуживать как внутренние, так и транзитные грузы, проходящие через Узбекистан.

Срочная доставка грузов во многом зависит от организации движения поездов на участках железных дорог Узбекистана. До настоящего времени здесь используются установленные планы формирования и расформирования поездов, что приводит к многократной переработке состава и его простоям в ожидании полновесности, а это существенно замедляет движение поездов к станции назначения.

В настоящее время, помимо проблем, существующих в системе железнодорожных перевозок, в странах СНГ [2] наблюдается недостаточное развитие инфраструктурных объектов логистики, которые можно было бы использовать для организации хранения, переработки и упаковки штучных грузов, расширения номенклатуры услуг, оказываемых отправителям и получателям грузов.

Номенклатура грузов, поступающих на станции, делится на несколько видов, исходя из условий перегрузки, складирования, а также в зависимости от требований к подвижному составу, в котором груз должен быть перевезен.

Основными тарно-штучными грузами, отправляемыми по железной дороге Узбекистана [1] являются:

- нечесаное волокно хлопковое;
- пряжа хлопчатобумажная;
- продукция сельского хозяйства;
- продовольственные товары;
- химическая продукция и др. (рис. 1).

Прибывают на станции ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» следующие тарно-штучные грузы:

- части и принадлежности моторных транспортных средств;
- лекарственные средства;
- двигатели внутреннего сгорания;
- шины и покрышки пневматические резиновые;
- телефонные аппараты;
- продовольственные товары;
- и др. (рис. 2).

Основными партнерами Узбекистана являются: Россия (на ее долю приходится 36% всего объема), Казахстан (29,4%) и Туркменистан (10%) (табл. 1).

Экспортно-импортные операции Узбекистана с тарно-штучными грузами можно охарактеризовать следующим образом (рис. 3 и 4).

Из рис. 3 видно, что бóльшая часть грузопотока направляется в Россию, но в свя-

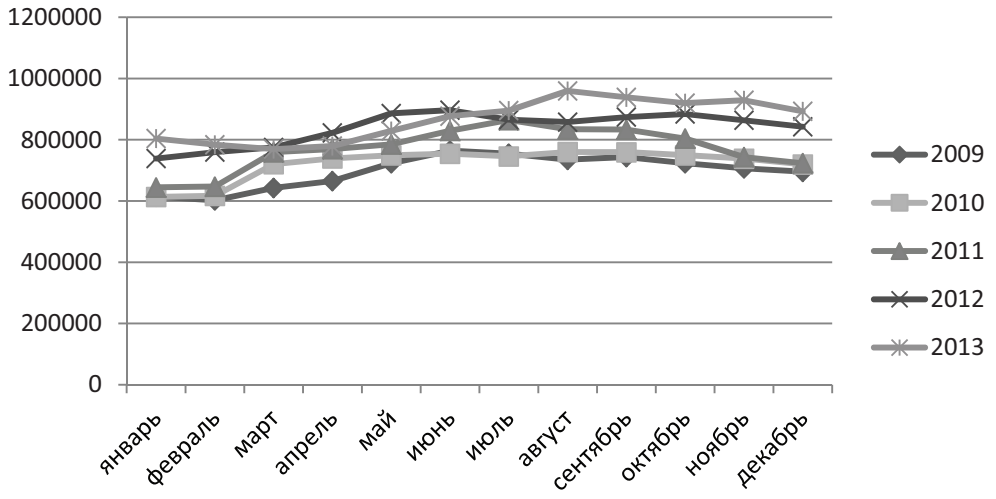


Рис. 1. Экспорт штучных грузов железнодорожным транспортом за 2009–2013 гг.

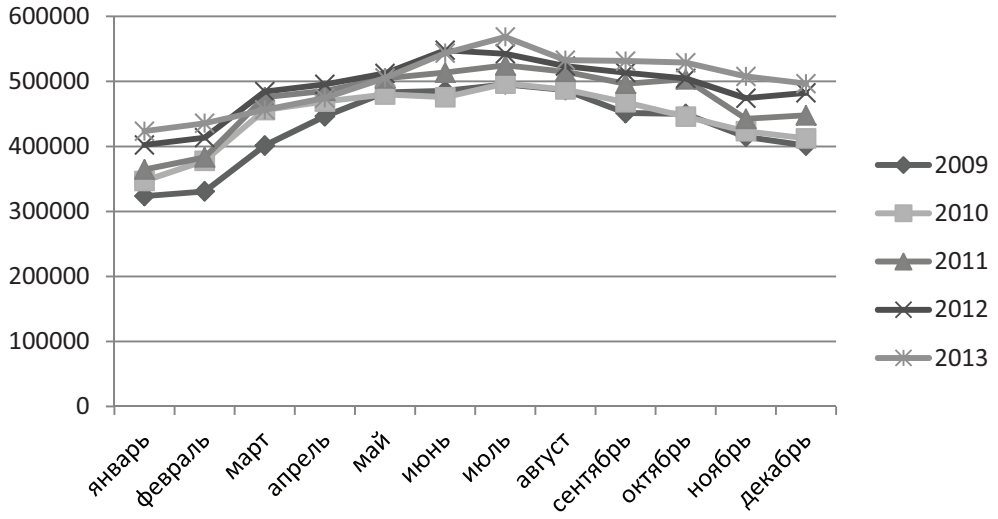


Рис. 2. Импорт штучных грузов железнодорожным транспортом за 2009–2013 гг.

ТАБЛИЦА 1. Объемы перевозимых штучных грузов за 2013 г.

Страны	Отправления, тыс. т	Прибытия, тыс. т	Всего, тыс. т	Процент от общего объема, %
Азербайджан	8576	40 076	48 652	1,62
Беларусь	8280	86 445	94 725	3,15
Грузия	15 764	42 521	58 285	1,94
Казахстан	128 724	754 648	883 373	29,38
Кыргызстан	23 640	89 096	112 736	3,75
Латвия	13 324	73 973	87 297	2,90
Литва	9250	6092,6	15 342	0,51
Молдавия	13 979	37 586	51 565	1,71
Россия	259 168	822 473	1081 642	35,97
Таджик	8676	141 366	150 042	4,99
Туркменистан	46 876	249 742	296 618	9,86
Украина	17 411	109 210	126 621	4,21
Всего	553 668	2453 230	3006 898	100,00

зи с тем, что Россия и Казахстан образуют единую таможенную зону, часть экспортируемого штучного груза, предназначенного для стран Балтии, передается Казахстану на станции Сары-Агач и далее эта продукция Узбекистана следует как груз Казахстана. В перспективе, видимо, такой способ доставки грузов в страны Балтии, Россию и Казахстан станет закономерным.

В данной работе целесообразно принять за основу грузопотоки Узбекистан – Россия и Казахстан, составляющие 66,5 % всего потока тарно-штучных грузов, как наиболее значительные по объему.

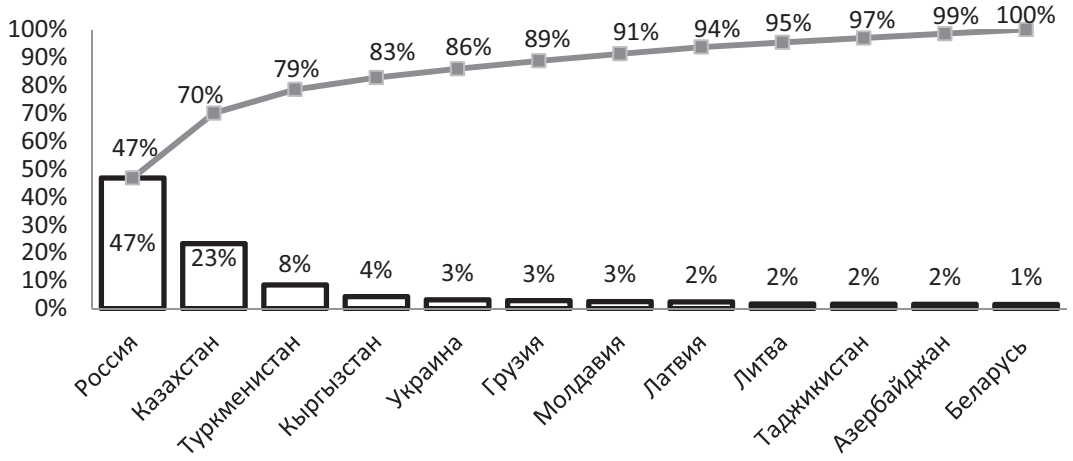


Рис. 3. Экспорт штучных грузов из Узбекистана в период 2009–2013 гг.

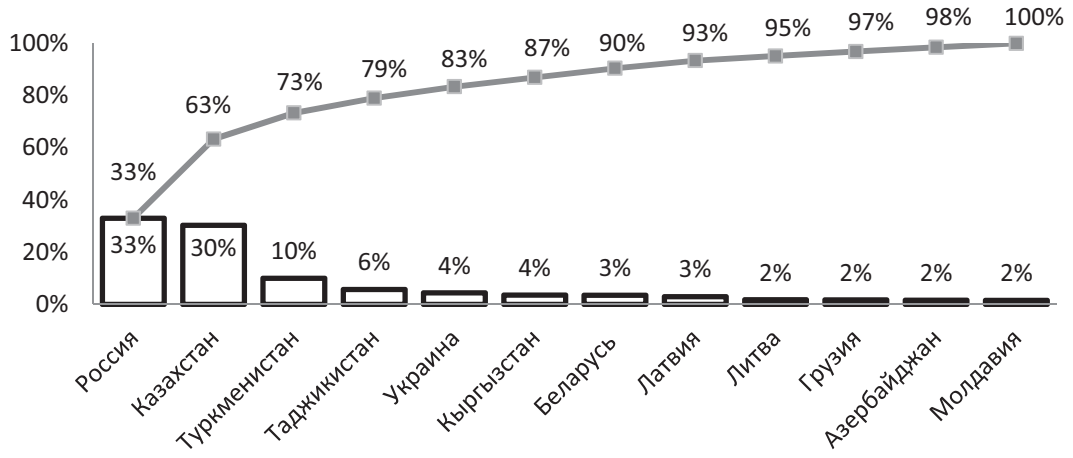


Рис. 4. Импорт штучных грузов в Узбекистан в период 2009–2013 гг.

2 Направления тарно-штучных грузов в Республике Узбекистан

Основной артерией регионального транзита через Узбекистан является коридор «Север–Юг» (Кунград–Андижан, Кунград–Термез), который достаточно хорошо обеспечен транспортной инфраструктурой (рис. 5). Этот же коридор предполагается активно задействовать в перемещении грузов в направлении Европа и Средиземноморье – Юго-Восточная Азия. В этом направлении доминирующую роль играет железная дорога, которая имеет два стыка в северном направлении с железными дорогами Казахстана и открывает доступ к европейской части России и Сибири. В южном направлении один стык соединяет страну с железными дорогами Туркменистана (и кратчайшим путем выходит в Иран), а другой – выходит к границам Афганистана, где еще предстоит развивать железнодорожный транспорт.

Изучая грузопотоки тарно-штучных грузов, на сегодняшний день можно условно выделить три направления, по которым осуществляются их перевозки:

• *коридор 1* – в Москву, Минск и порты прибалтийских государств (Узбекистан – Казахстан – Россия – Беларусь – Литва – Латвия – Эстония).

• *коридор 2* – в Украину, Азербайджан, Грузию и Армению. Грузы следуют из Узбекистана (транзитом через Туркменистан и Азербайджан) до Армении или Ирана, а

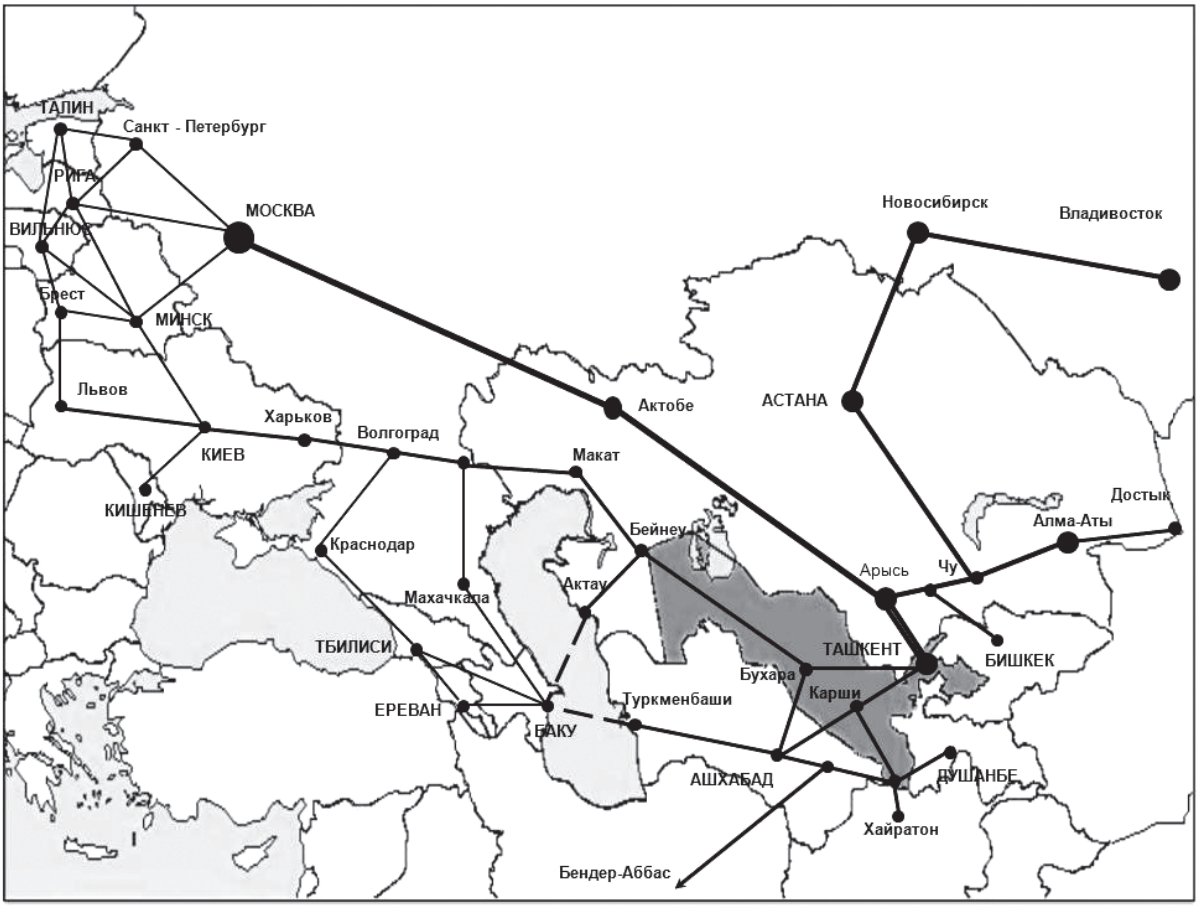


Рис. 5. Направления тарно-штучных грузов в Республике Узбекистан

также до Европейских стран из Азербайджана. В Европу грузы могут быть вывезены по альтернативному выходу через Каракалпакию (Узбекистан) – Бейнеу (Казахстан) – Макат (Казахстан);

• *коридор 3* – в Алма-Ату, Астану, а также Дальневосточные порты: Находка, Владивосток др.

Общая протяженность и конфигурация железнодорожных сетей в целом удовлетворяет потребности в перевозках тарно-штучных грузов.

Перевозка тарно-штучных грузов, сгруппированная по коридорам Республики, приведена в таблице 2.

Из данных таблицы видно, что по коридорам в северном направлении отправляется 60% от общего объема тарно-штучных грузов, перевозимых на экспорт и поступающих в Республику по импорту. С европейской частью России товарооборот по тарно-штучным грузам составляет 36,7%, а с восточной частью – 23,3%. Разделение потока осуществляется на станции Арысь (Казахстан): по второму коридору следует поток, составляющий 40% от общего объема. Однако величина потоков по направлениям часто меняется из-за ряда причин, среди них величина тарифов по направлениям, длительность таможенных процедур и многое другое.

Заключение

На основе вышесказанного можно сделать следующие выводы:

• тарно-штучные грузы перевозятся в основном железнодорожным транспортом и их объемы обнаруживают устойчивую тенденцию к росту;

ТАБЛИЦА 2. Объемы перевозок тарно-штучных грузов по коридорам Узбекистана

Страны	1-й ж. д. коридор			2-й ж. д. коридор			3-й ж. д. коридор			Распределение объема перевозок тарно-штучных грузов по коридорам		
	$Q_{отпр}$, тыс. т/год	$Q_{приб}$, тыс. т/год	$Q_{общ}$, тыс. т/год	$Q_{отпр}$, тыс. т/год	$Q_{приб}$, тыс. т/год	$Q_{общ}$, тыс./ год	$Q_{отпр}$, тыс. т/год	$Q_{приб}$, тыс. т/год	$Q_{общ}$ тыс.' т/год	Доля 1 коридора	Доля 2 коридора	Доля 3 коридора
Азербайджан	5	11	16	1540	2505	4045	–	–	–	0,4	99,6	–
Беларусь	991	25 600	26 591	259	4654	4913	–	–	–	84,4	15,6	–
Грузия	10	18	27	–	–	–	–	–	–	100,0	0,0	–
Казахстан	30 282	205 684	235 966	22 807	92 681	115 488	75 635	456 283	531 919	26,7	13,1	60,2
Кыргызстан	–	–	–	–	–	–	5025	25 942	30 967	–	–	100,0
Латвия	2777	17 782	20 560	–	–	–	–	–	–	100,0	–	–
Литва	2219	6093	8312	–	–	–	–	–	–	100,0	–	–
Молдавия	3433	1250	4683	–	–	–	–	–	–	100,0	–	0,0
Россия	164 054	584 264	748 318	51 342	120 430	171 772	43 772	66 437	110 209	72,6	16,7	10,7
Таджикистан	–	–	–	1645	66 444	68 090	–	–	–	–	100,0	0,0
Туркменистан	–	–	–	117 190	624 355	741 545	–	–	–	–	100,0	0,0
Украина	1504	11 025	12 529	5360	41 995	47 355	–	–	–	20,9	79,1	0,0
Всего	205 276	851 726	1057 002	200 143	953 065	1153 208	124 432	548 663	673 095	36,7	40,0	23,3

• данный вид грузов перевозится не только внутри Узбекистана, но и за его пределами;

• в структуре перевозимых грузов основную часть составляют нечесаное хлопковое волокно, пряжа, химические вещества, мучные изделия и сахар;

• экспортно-импортные операции тарно-штучных грузов осуществляются преимущественно в северном направлении через станцию Сары-Агач – Арысь, где поток разделяется на два направления: к областям России, расположенным в ее западной и восточной частях;

• часть экспортных грузов сдается по станции Сары-Агач Казахстану ввиду того, что он вошел в единый Таможенный союз с Россией;

• основными станциями погрузки тарно-штучных грузов являются: Чукурсай, Ташкент-товарная, Бухара, Хамза, Янги-юль, Аблык (ЛЦ Ангрен), а выгрузки: Чукурсай, Ташкент-товарная, Бухара, Хамза и Сергили;

• организация вагонопотоков с мест погрузки требует изучения и впоследствии совершенствования с целью увеличения скоростей доставки грузов получателям;

• необходимо исследовать технологию доставки тарно-штучных грузов, следующих в местном сообщении на экспорт и поступающих по импорту.

Библиографический список

1. **Официальный** сайт Государственного комитета Республики Узбекистан по статистике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://stat.uz.

2. **Оптимизация** продвижения контейнеропотоков в логистической цепи на направлении Республика Казахстан – Российская Федерация : автореф. дис. … канд. техн. наук / Г. С. Абдикеримов. – Москва : МИИТ, – 2009. – 24 с.

УДК 624.21.093.004

Э. С. Карапетов, Д. А. Шестовицкий
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ БЕТОНА ЗАЩИТНОГО СЛОЯ

Рассмотрена проблема стремительного роста количества находящихся в аварийном состоянии железобетонных мостов во многих странах. Особое внимание уделено необходимости создания моделей и методик прогнозирования срока службы железобетонных мостов с учетом различных факторов и влияний. Предложена модель, основанная на оценке времени хлоридизации защитного слоя с учетом многочисленных факторов: температуры, влажности окружающей среды, напряженного состояния, связывающей способности и влагоемкости бетона.

железобетон, долговечность, хлоридизация, законы диффузии А. Фика, нелинейные дифференциальные уравнения, связывающая способность, влагоемкость.

Введение

В последние 20–25 лет проблема оценки эксплуатационной надежности и долговечности железобетонных мостов стала актуальной для многих стран. Приходится констатировать, что сейчас стремительно растет количество мостовых сооружений разных

лет постройки, физическое состояние которых вызывает опасение. Для безаварийной эксплуатации и продления ресурса сооружений нужны новые научные подходы к оценке и прогнозу технического состояния элементов мостов на всех стадиях их жизненного цикла. Нужны алгоритмы, которые определили бы количественные критерии уровня надежности и прогноза ресурса элементов.

Для большинства бетонных и железобетонных конструкций характерна подверженность влиянию углекислого газа, содержащегося в атмосфере, что приводит к карбонизации защитного слоя и коррозии арматуры. Характерной особенностью эксплуатации железобетонных мостов является взаимодействие с хлоридными агрессивными средами, источником которых являются хлоридсодержащие антигололедные средства, применяемые с целью обеспечения безопасности движения транспорта на проезжей части при гололеде в зимний период, морской воздух (приморская зона), добавки-ускорители твердения и противоморозные добавки (на основе хлорида натрия и кальция). В СНиПе по защите конструкций от коррозии воздействие хлоридов на бетон описывается как средне и сильноагрессивное [1]. Агрессивное влияние хлоридов доказывается примерами внезапного разрушения конструкции вследствие коррозии арматуры.

Обрушение пешеходного моста в 2000 г. в городе Шарлотт (США) привело к травмированию более ста человек (рис. 1). Мост

Рис. 1. Обрушение пешеходного моста в городе Шарлотт

был построен в 1995 г., и его обрушениепроизошло в связи с появлением и развитием в арматуре точечной коррозии, вызванной воздействием хлоридов.

Другим примером может послужить обрушение путепровода на международной трассе округа Вашингтон Каунти в 2005 г. Путепровод был открыт в 1960 г. и пропускал около сорока тысяч транспортных средств в день. Его разрушение было вызвано коррозией, возникшей под влиянием антигололедных средств, в совокупности с воздействием интенсивного движения транспорта.

В основе описания процесса проникновения хлорида в бетоне лежит дифференциальное уравнение аналитической теории диффузии второго закона Адольфа Фика [2]. Решение этого уравнения является основой для большинства моделей прогнозирования времени накопления критической концентрации ионов хлоридов у поверхности арматуры в железобетонных мостовых конструкциях.

II закон А. Фика:

$$\frac{dc}{dt} = D_{CI}\frac{d^2c}{dx^2}, \qquad (1)$$

$$\downarrow$$

$$X_C = 2\sqrt{D_{CI}t_{CI}}\cdot erf^{-1}\cdot\left(\frac{c_s - c_{crit}}{c_s}\right), \qquad (2)$$

$$\downarrow$$

$$t_{CI} = \frac{X_c^{\,2}}{4\cdot D_{CI}\cdot\left(erf^{-1}\cdot\left(\frac{c_s - c_{crit}}{c_s}\right)\right)^2}, \qquad (3)$$

где X_c – толщина защитного слоя бетона, м; D_{CI} – коэффициент диффузии хлоридов в бетоне, м^2/с; erf – функция ошибок Гаусса, c_s и c_{crit} – концентрация хлоридов на поверхности бетона защитного слоя и критическая концентрация хлоридов на поверхности арматуры, % по массе цемента.

Данное аналитическое решение (1–3) нашло широчайшее применение в расчетах ввиду своей простоты и удобства применения. Однако такой подход имеет явные недостатки, а именно:

• описание диффузии носит общий, поверхностный характер;

• из механизмов переноса вещества рассматривается только диффузия, без учета конвекции;

• коэффициент диффузии хлоридов в бетоне принимается как константа;

• не учитывается влияние температуры и влажности окружающей среды;

• не учитывается изменение скорости диффузии с возрастом бетона;

• не учитывается влияние напряженного состояния;

• не учитывается связывающая способность бетона.

Настоящая работа ставит целью разработать модель прогнозирования срока службы мостов на основе моделирования процесса проникновения хлоридов в защитный слой железобетонных элементов мостовых конструкций с учетом различных влияющих факторов.

1 Механизм транспорта хлоридов в бетоне

Основными процессами переноса хлоридов в бетоне являются *диффузия* и *конвекция*. *Диффузия* характеризуется переносом хлоридов через поровую влагу сквозь бетон за счет градиента концентрации, который существует между открытой поверхностью бетона и поровым раствором цементной матрицы в насыщенном бетоне. *Конвекция* же объясняется процессом капиллярной сорбции, когда вода перемещается из области насыщенного бетона в область частично насыщенного, тем самым перенося растворенные хлориды, которые добавляются к общей концентрации.

2 Определяющая система дифференциальных уравнений

При одновременном учете диффузии, конвекции и связывающей способности одномерное уравнение диффузии (1) примет вид:

$$\frac{dC_f}{dt} = \frac{D^*_{Cl}}{1+(1/\omega_e)\cdot(\partial C_b/\partial C_f)}\frac{d^2C_f}{dx^2} + \frac{D^*_h}{1+(1/\omega_e)\cdot(\partial C_b/\partial C_f)}\frac{d}{dx}\left(C_f\frac{dh}{dx}\right), \quad (4)$$

где C_f – концентрация свободных хлоридов в бетоне, кг/м^3; C_b – концентрация связанных хлоридов в бетоне, кг/м^3; h – относи – эффективные коэффициенты диффузии хлоридов и влаги в бетоне, м^2/с; ω_e – свободная поровая влага; $\delta C_b/\delta C_f$ – связывающая способность бетона.

В уравнении (1) при учете конвекции появляется неизвестная функция относительной поровой влажности h, которая, как и концентрация хлоридов, изменяется в зависимости от времени и глубины бетона и должна быть найдена из дифференциального уравнения, описывающего диффузию влаги в бетоне. Перемещение влаги в бетоне так же моделируется с помощью дифференциального уравнения аналитической теории диффузии закона А. Фика и может быть выражено через относительную поровую влажность следующим образом [3]:

$$\frac{\partial\omega_e}{\partial t} = \frac{\partial\omega_e}{\partial h}\frac{\partial h}{\partial t} = D^*_h\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}, \quad (5)$$

где ω_e – свободная поровая влага; h – относительная поровая влажность; D_h – эффективный коэффициент диффузии влаги в бетоне; $\delta\omega_e/\delta h$ – влагоемкость бетона.

Система дифференциальных уравнений (4–5) является основой предложенной модели.

3 Эффективные коэффициенты диффузии D^*_{Cl} и D^*_h

Эффективные коэффициенты диффузии носят такое название, потому что учиты-

вают влияние различных факторов на скорость диффузии и находятся по следующим формулам:

$$D_{CI}^{*} = f_1(T) \cdot f_2(W) \cdot f_3(t) \cdot f_4(\sigma) \cdot D_{CI,0}, \quad (6)$$

$$D_{h}^{*} = g_1(T) \cdot g_2(W) \cdot g_3(t) \cdot D_{h,0}, \quad (7)$$

где $D_{CI,0}$, $D_{h,0}$ – начальные коэффициенты диффузии хлоридов и влаги в бетоне, м^2/с; $f_1(T)$, $g_1(T)$ – функции влияния температуры; $f_2(W)$, $g_2(W)$ – функции влияния влажности; $f_3(t)$, $g_3(t)$ – функции влияния времени; $f_4(\sigma)$ – функция влияния напряженного состояния.

3.1 Влияние температуры и влажности окружающей среды на проникновение хлоридов и влаги в бетон

Наиболее опасным для проникновения хлоридов является режим «увлажнения-просушки», который способствует наибольшей скорости диффузии и, в свою очередь, зависит от изменения климатических условий эксплуатации.

Для учета сезонных колебаний температуры и влажности предполагается, что их функция в зависимости от времени подчиняется синусоидальному закону (рис. 2):

$$f_{T,W}(t) = \frac{\varphi_{max} + \varphi_{min}}{2} + \frac{\varphi_{max} - \varphi_{min}}{2} \sin(2\pi t), \quad (8)$$

где φ_{max} – максимальное среднее значение параметра (температуры, влажности); φ_{min} – минимальное среднее значение параметра (температуры, влажности); t – время в годах.

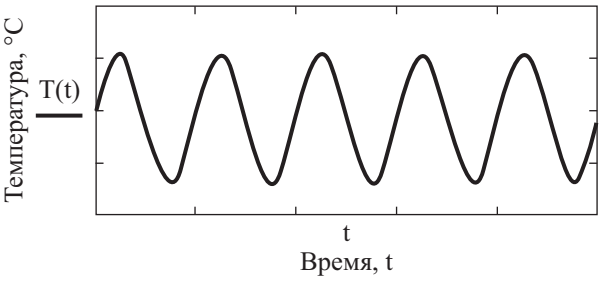


Рис. 2. Изменение температуры по синусоидальному закону

Согласно [4], влияние температуры и влажности на значение начального коэффициента диффузии хлоридов в бетоне $D_{CI,0}$ учитывается дополнением в виде двух функций.

Влияние температуры:

$$f_1(T) = e^{\left[\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right]}; \quad (9)$$

влияние влажности:

$$f_2(W) = \left[1 + \frac{(1-w)^4}{(1-w_{ref})^4}\right]^{-1}, \quad (10)$$

где E – энергия активации для хлоридной диффузии, кДж/моль; R – газовая константа, $8{,}314 \cdot 10^{-3}$ кДж/К·моль; T – температура окружающей среды, К; T_{ref} – исходная температура, при которой был измерен коэффициент диффузии, К; w – влажность окружающей среды; w_{ref} – влажность, при которой коэффициент диффузии достигает своего среднего значения.

Энергия активации для хлоридной диффузии E зависит от водоцементного отношения (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Энергия активации для хлоридной диффузии

В/Ц	E, кДж/моль
0,4	41,8±4,0
0,5	44,6±4,3
0,6	32,0±2,4

Функция $g_1(T)$, учитывающая влияние температуры на коэффициент диффузии влаги $D_{h,0}$, находится аналогично формуле (9), энергия активации, E, находится в пределах [22,5–39] кДж/моль [5].

Влияние влажности определяется по формуле:

$$g_2(W) = \alpha_0 + \frac{1-\alpha_0}{1+[(1-w)/(1-w_{ref})]^n}, \quad (11)$$

где w – влажность окружающей среды; w_{ref} – влажность, при которой коэффициент диффузии достигает своего среднего значения; α_0 и n – коэффициенты, которые находятся в пределах [0,025; 0,1] и [6; 16] соответственно.

3.2 Зависимость диффузии от времени эксплуатации

Коэффициенты диффузии хлоридов и влаги в бетоне $D_{Cl,0}$, $D_{h,0}$ часто рассматриваются как независимый от времени параметр. В работе [6] коэффициент диффузии хлоридов описывается как степенная функция времени. Лабораторные испытания [7], [8] показали, что зависимость коэффициента диффузии от времени подчиняется линейному закону в двойной логарифмической системе координат. Это означает, что функция влияния на коэффициент диффузии $D_{Cl,0}$ может быть записана в виде степенной функции:

$$f_3(t) = \left(\frac{t_0}{t}\right)^m, \quad (12)$$

где t_0 – время определения коэффициента диффузии, с; m– коэффициент, определяемый экспериментальным путем, t – время эксплуатации, с.

Влияние времени на коэффициент диффузии влаги $D_{h,0}$ описывается функцией:

$$g_3(t) = 0,3 + \sqrt{\frac{13}{t_e}}, \quad (13)$$

где t_e – представляет эквивалентный период гидратации.

3.3 Влияние напряженного состояния бетона на диффузию хлоридов

В работах [9], [10] выдвигается гипотеза об ускорении и замедлении диффузии хлоридов в бетоне в зависимости от типа напряженного состояния (сжатия или растяжения). Там же проведены экспериментальные исследования по определению влияния напряженного состояния на коэффициент диффузии хлоридов в бетоне, в ходе которых выведена зависимость:

$$f_4(\sigma) = \left[1 + A_{c(t)} \cdot \left(\frac{\sigma_{c(t)}}{f_{c(t)}}\right)\right]^2, \quad (14)$$

где $\sigma_{c(t)}$ – номинальное значение напряжения при сжатии (растяжении), МПа; $f_{c(t)}$ – предельное значение напряжения при сжатии (растяжении), МПа; $A_{c(t)}$ – экспериментальные коэффициенты, принимающие значения –0,0236 и 0,0496 в зависимости от напряженного состояния (сжатия или растяжения).

4 Связывающая способность и влагоемкость бетона

В бетоне хлориды могут находиться в двух состояниях: свободном и связанном.

$$C_t = C_b + w_e \cdot C_f. \quad (15)$$

Свободные хлориды C_f растворяются в поровой влаге w_e и диффундируют дальше в бетон. Хлориды, которые физически адсорбируются на поверхности пор, а химически создают малорастворимые соединения с продуктами гидратации цемента, называются связанными C_b. Они не принимают участия в диффузии хлоридов и не являются опасными для арматуры, в отличие от свободных хлоридов. Связывающая способность бетона определяется как производная от концентрации связанных хлоридов по концентрации свободных хлоридов $\delta C_b/\delta C_f$.

Для нахождения связывающей способности нужно установить взаимосвязь между связанными и свободными хлоридами.

Среди различных исследований три закона, три типа изотерм сорбции, устанавливающих взаимосвязь между свободными и связанными хлоридами, применяются наиболее часто (рис. 3).

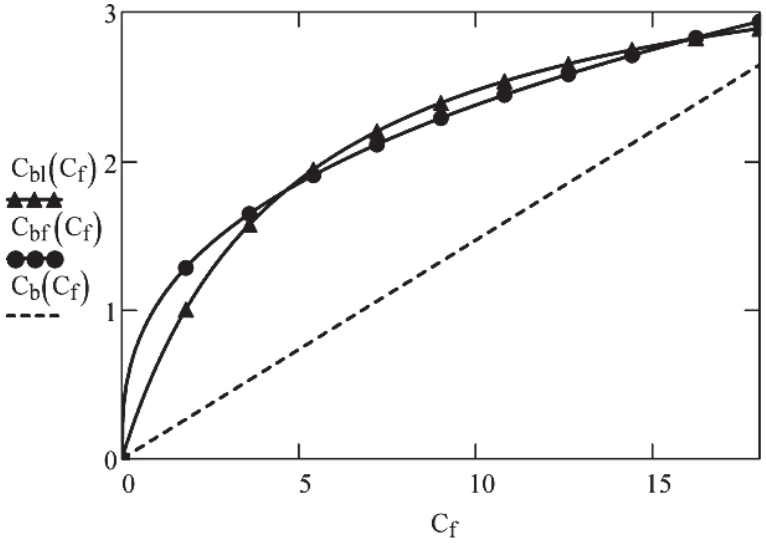


Рис. 3. Изотермы сорбции, построенные по линейному закону (- -), закону Фрейндлиха (●) и закону Лангмюра (▲)

1. Линейный закон:

$$C_b = \alpha \cdot C_f \rightarrow \frac{\partial C_b}{\partial C_f} = \alpha; \qquad (16)$$

2. Закон Френдлиха:

$$C_b = \alpha_f \cdot C_f^{\beta_f} \rightarrow \frac{\partial C_b}{\partial C_f} = \alpha_f \cdot \beta_f \cdot C_f^{\beta_f - 1}; \quad (17)$$

3. Закон Лангмюра:

$$C_b = \frac{\alpha_l \cdot C_f}{1 + \beta_l \cdot C_f} \rightarrow \frac{\partial C_b}{\partial C_f} = \frac{\alpha_l}{\left(1 + \beta_l \cdot C_f\right)^2}, \quad (18)$$

где α, α_f, β_f, α_l, β_l – связывающие константы, определенные эмпирическим путем регрессионного анализа. Значения связывающих констант зависит от содержания трикальциевого алюмината C_3A отвечающего за связывающую способность цемента. Для среднего значения C_3A = 8 %, α = 0,147, α_f = = 0,256, β_f = 0,397, α_l = 0,1185, β_l = 0,090.

Влагоемкость бетона $\delta\omega_e/\delta h$ позволяет установить взаимосвязь между свободной поровой влагой ω_e и относительной поровой влажностью h. Влагоемкость определяется согласно модели Браунера – Скальны – Бодора (*BSBmodel*) [11].

При учете связывающей способности $\delta C_b/\delta C_f$ и влагоемкости бетона $\delta\omega_e/\delta h$ уравнения (4–5) становятся нелинейными дифференциальными уравнениеми в частных производных.

Следует отметить, что дифференциальные уравнения в частных производных представляют собой одну из наиболее сложных и одновременно интересных задач вычислительной математики. Решения линейных уравнений в частных производных, как правило, получаются вполне предсказуемыми, и их часто можно решить аналитически. Нелинейные уравнения, напротив, могут демонстрировать самые неожиданные решения, решить их аналитически практически невозможно.

5 Численное решение системы дифференциальных уравнений

Для решения системы нелинейных дифференциальных уравнений (4–5) выбран метод конечных разностей в явной форме. На каждом этапе пространственно-временной схемы эффективные коэффициенты диффузии $D_{Cl,0}$ и $D_{h,0}$, функции концентрации свободных хлоридов C_f и функции относительной поровой влажности h находятся заново, после чего схема проверяется на устойчивость по критерию Куранта для избежания

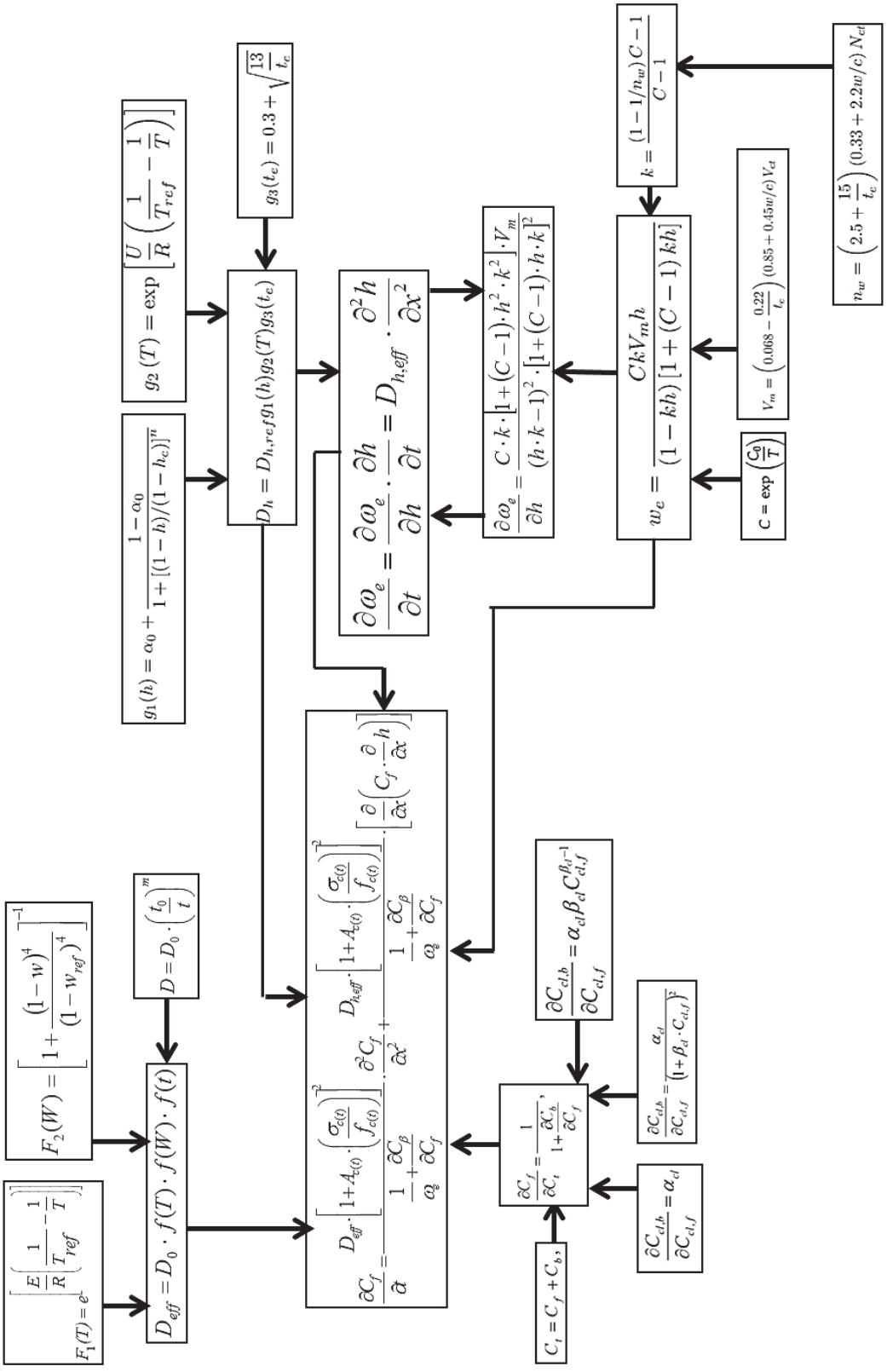


Рис. 4. Последовательность расчета предложенной модели

«разбалтывания» системы. В программном комплексе Mathcad авторами была написана программа, позволяющая выполнять все шаги алгоритма автоматически.

Эта модель позволяет определять время, через которое на определенной глубине (величина защитного слоя) концентрация хлоридов достигнет критического значения (время до начала коррозии арматуры), учитывая при этом влияние температуры, влажности, времени, напряженного состояния, связывающей способности и влагоемкости бетона. Она также позволяет автоматически строить график распределения концентрации хлоридов по глубине в каждый момент времени (рис. 6) и определять поверхность изменения концентрации хлоридов (рис. 9, 10).

6 Блок-схема предложенной модели

Блок-схема модели проникновения хлоридов в защитный слой железобетонных элементов мостовых конструкций с учетом формул (4–18) показана на рис. 4.

7 Пример прогнозирования сроков деградации железобетонных элементов мостов

В качестве примера оценки сроков деградации железобетонных элементов выбран одинаковый тип конструкции железобетонного пролетного строения моста, который эксплуатируется в пяти областях Украины с различными климатическими условиями (рис. 5) (табл. 2) и имеет разное водоцементное отношение бетона, а так же разную толщину защитного слоя.

Необходимые исходные данные для расчета сроков деградации железобетонных элементов:

Толщина защитного слоя $h = 30, 40, 50$ мм;

Поверхностная концентрация хлоридов $C_0 = 3{,}5$ кг/м^3;

Критическая концентрация хлоридов для начала коррозии на поверхности арматуры $C_{кр} = 0{,}9$ кг/м^3;

Водоцементное отношение бетона – 0,4, 0,5, 0,6.

Результаты расчета приведены в табл. 3 и 4, а также на рис. 6–12.

Рис. 5. Области с различным типом климата

ТАБЛИЦА 2. Значение максимальной и минимальной средней температуры и влажности окружающей среды региона

Климатическая область	Температура, min, °C	Температура, max, °C	Влажность, min, %	Влажность, max, %
Черниговская	–7,1	18,7	69	89
Ивано-Франковская	– 5,1	17,9	73	85
Херсонская	– 3,2	23	60	83
Луганская	– 5,9	21,7	59	85
Севастопольская	3,1	22	69	79

ТАБЛИЦА 3. Время накопления хлоридов до критической значения $C_{кр}$ (с учетом связывающей способности)

Климатическая область	Толщина защитного слоя								
	30 мм			40 мм			50 мм		
	В/Ц			В/Ц			В/Ц		
	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
	Время, лет								
Черниговская	13,8	7,7	2,5	35,1	15,2	5,9	76,5	32,4	12,1
Ивано-Франковская	15,9	7,1	2,3	39,9	17,1	5,4	85,3	36,9	11,1
Херсонская	25,7	10,1	3,9	65,6	27,3	8,9	127,7	59,4	19,0
Луганская	28,6	12,1	4,1	72,9	30,6	9,4	138,3	66,5	20,3
Севастопольская	16,7	7,2	2,7	41,8	17,4	6,3	88,9	38,2	12,9

ТАБЛИЦА 4. Время накопления хлоридов до критического значения $C_{кр}$ (без учета связывающей способности)

Климатическая область	Толщина защитного слоя								
	30 мм			40 мм			50 мм		
	В/Ц			В/Ц			В/Ц		
	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
	Время, лет								
Черниговская	5,8	3,5	1,6	14,4	6,7	2,7	30,3	13,6	5,4
Ивано-Франковская	6,7	3,2	1,5	16,2	7,6	2,5	33,9	15,4	4,9
Херсонская	9,8	4,6	1,9	24,8	10,9	4,1	52,9	23,1	7,8
Луганская	10,1	5,2	2,0	27,9	12,5	4,2	59,4	26,0	8,3
Севастопольская	6,6	3,1	1,6	16,0	7,2	2,9	33,4	14,7	5,5

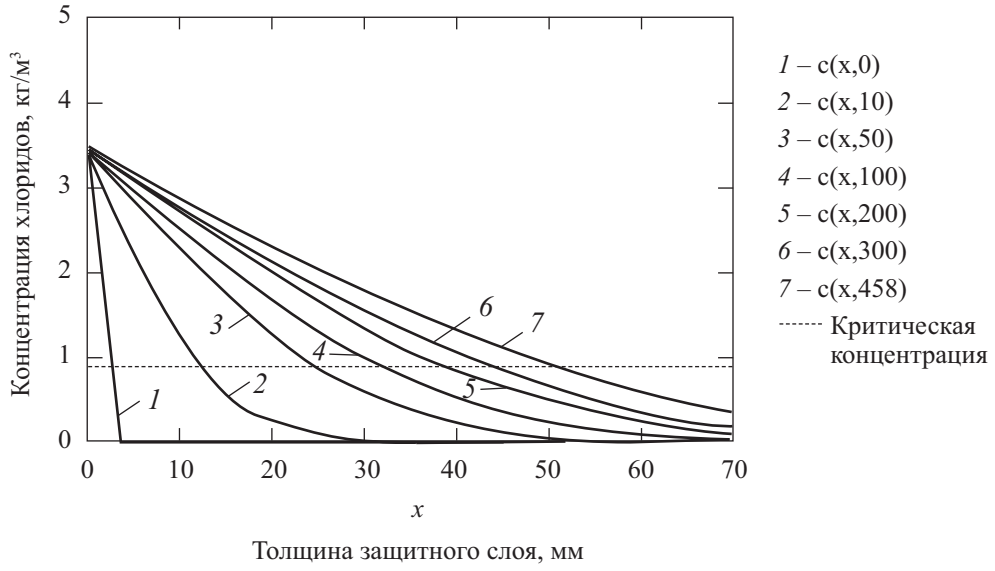


Рис. 6. Изменение концентрации хлоридов в бетоне защитного слоя в разные моменты времени в Севастопольском регионе

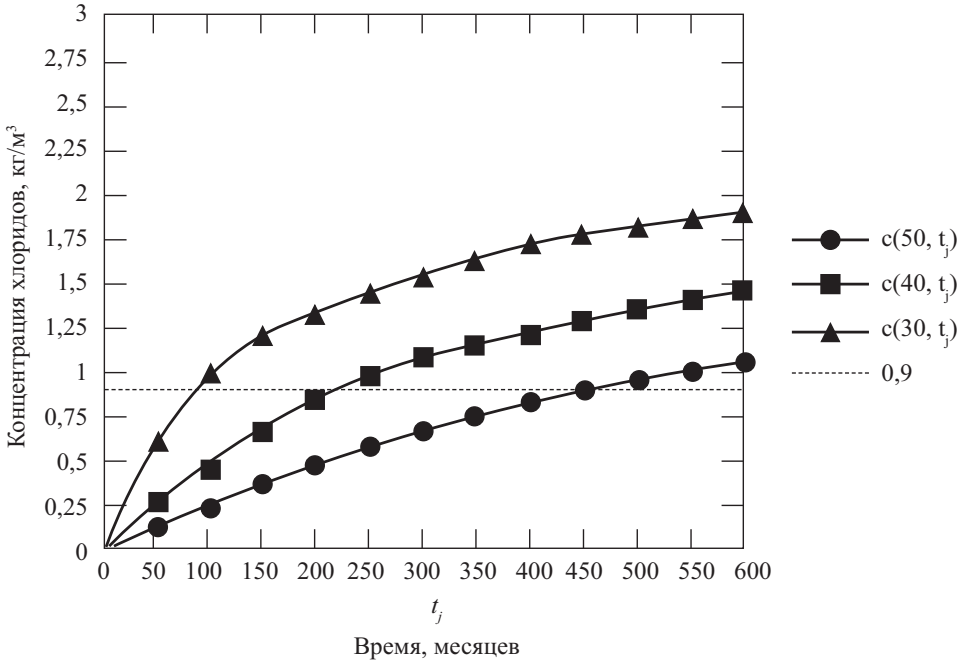


Рис. 7. Графики изменения концентрации хлоридов на глубине защитного слоя во времени ((●) – 50 мм, (■) – 40 мм, (▲) – 30 мм) при В/Ц = 0,6

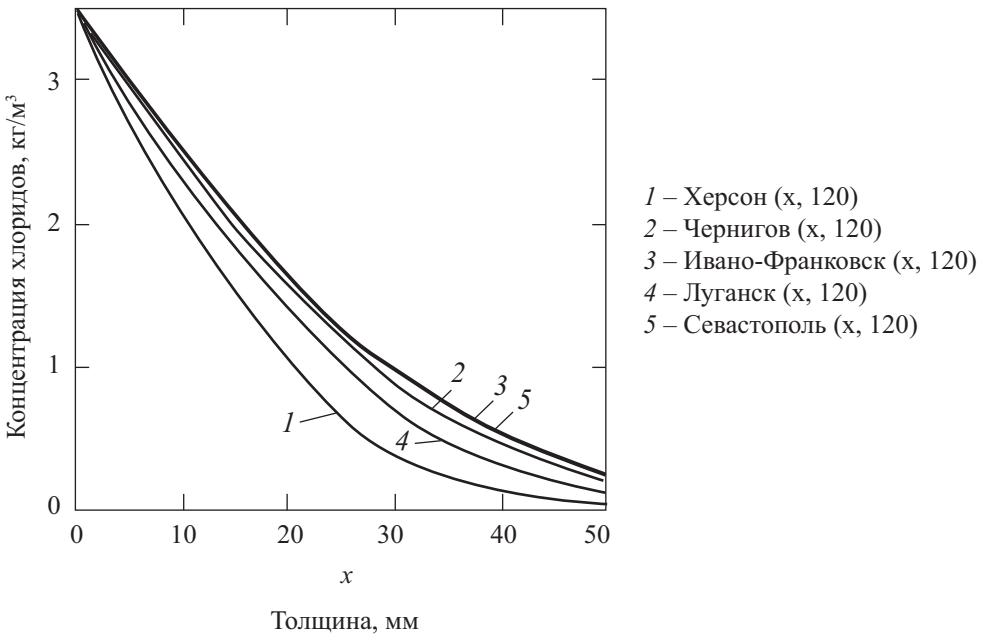


Рис. 8. Графики распределения концентрации хлоридов в бетоне через 120 месяцев для пяти климатических областей

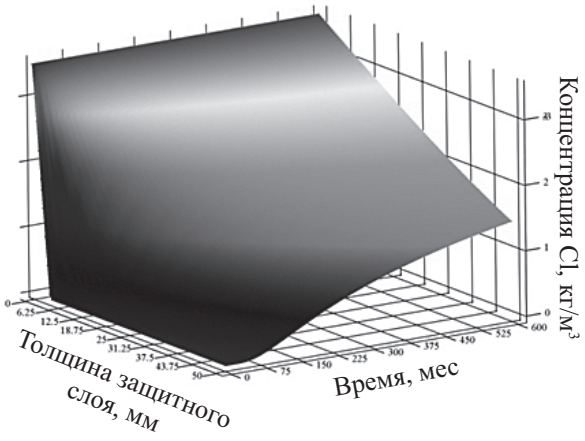


Рис. 9. Поверхность изменения концентрации хлоридов по толщине защитного слоя и времени в Севастопольской области

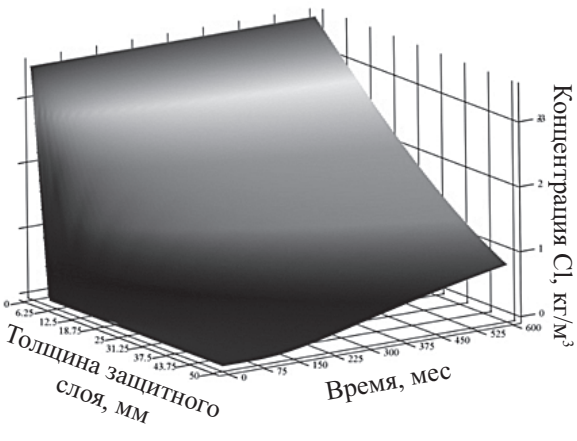


Рис. 10. Поверхность изменения концентрации хлоридов по толщине защитного слоя и времени в Херсонской области

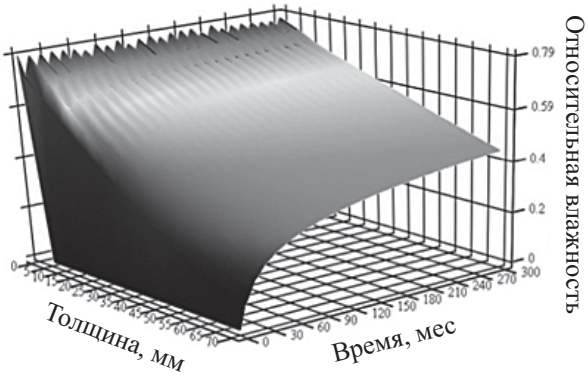


Рис. 11. Поверхность изменения влажности по толщине защитного слоя и времени в Севастопольской области

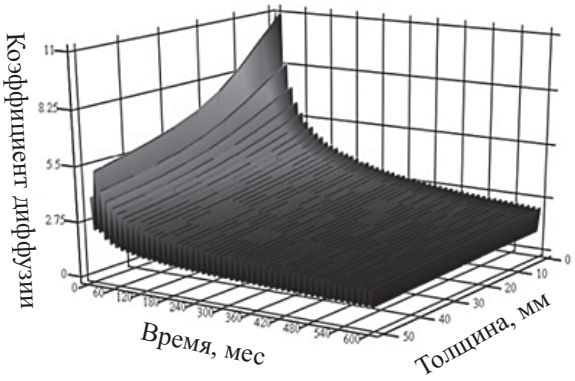


Рис. 12. Поверхность изменения эффективного коэффициента диффузии хлоридов в бетоне по толщине защитного слоя и времени, мм^2/мес

При значении времени t = 458,2 месяцев концентрация С, на глубине 50 мм достигает критического значения $C_{кр}$.

Заключение

– Большинство моделей прогнозирования сроков депассивации защитного слоя, основанных на решении дифференциальных уравнений первого и второго законов А. Фика, носят общий поверхностный характер, они не учитывают влияние температуры и влажности, а также времени эксплуатации, напряженного состояния, связывающей способности бетона на скорость прохождения фронта депассивации.

– В данной статье предлагается модель прогноза времени деградации защитного слоя до наступления процесса коррозии арматуры с учетом влияния температуры, влажности, времени эксплуатации, напряженного состояния, связывающей способности и влагоемкости бетона. Рассматриваются два механизма транспорта: диффузия и конвекция. Такая модель может быть применена для прогноза долговечности на стадии проектирования.

– Модель дает возможность автоматически строить график и распределение концентрации хлоридов по глубине в каждый момент времени, а также поверхности изменения концентрации хлоридов по глубине и времени.

– По результатам исследований и расчетов по предложенной модели можно сделать вывод, что определяющими параметрами для проникновения хлоридов являются водоцементное отношение бетона, толщина защитного слоя, климатические условия, а также связывающая способность бетона.

– В дальнейших исследованиях планируется создание модели коррозии арматуры в бетоне с разрушением защитного слоя с целью определения реального срока службы элементов железобетонных мостовых конструкций.

Библиографический список

1. **СНиП 2.03.11–85.** Защита строительных конструкций от коррозии. – Москва, 1985.

2. **Долговечность** железобетонных конструкций инженерных сооружений : монография / Л. М. Пухонто. – Москва : Изд-во АСВ, 2004. – 424 с.

3. **Xi, Y.,** Bazant, Z., Jennings, H. (1994). Moisture diffusion in cementiousmaterials adsorption. *Advanced Cement Based Materials*, 1 (6), 324–325.

4. **Martin-Perez, B.,** Pantazopoulou, S., and Thomas, M. (2001). Numerical solution of mass

transport equations in concrete structures. *Computers and Structures*, 79, 1251–1264.

5. **Saetta, A.,** Scotta, R., and Vitaliani, R. (1993). Analysis of chloride diffusion into partially saturated concrete. *ACI Materials Journal*, 90 (5), 441–451.

6. **Takewaka, K.,** Mastumoto, S. (1988). Quality and Cover Thickness of Concrete Based on the Estimation of Chloride Penetration in Marine Environments. ACI SP 109–17, American Concrete Institute, 381–400.

7. **Maage, M.,** Helland, S., Carlsen, J. E. (1994). Chloride penetration in high performance concrete exposed to marine environment. *Proceedings of RILEM international Workshop on Durability of High Performance Concrete*, Wien, 194–207.

8. **Mangat, P.S.,** Molloy, B. T. Predicting of long term chloride concentration in concrete. *Materials and Structures*, 27, 338–346.

9. **Papadakis, V. G.** (2000). Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress. *Cement and Concrete Research,* 30 (3), 1215–1223.

10. **Tingcheng, Y.,** Chunhua, Lu, Zhiren, Wu, Ronggui, Liu. (2008). Durability of Pre-stressed Concrete Structure Suffering from Chloride Ions' Invasion. *International Journal of Nonlinear Science,* 5 (2), 184–192.

11. **Brunauer, S.,** Skalny, J., Bodor, E. (1969). Adsorption in nonporous solids. *Journal of Colloid Interface Science*, 30, 546–552.

УДК 625.04

А. Ф. Колос, А. А. Морозова
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИБРОУСКОРЕНИЙ ЧАСТИЦ БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ В УСЛОВИЯХ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ОСЕВЫМИ НАГРУЗКАМИ

Рассмотрены результаты исследований уровня и характера изменений вертикальных и горизонтальных виброускорений частиц балластного слоя под подошвой шпалы и по глубине балластной призмы в зоне стыка рельсов при обращении опытного подвижного состава с осевыми нагрузками до 30 т и скоростью 70 км/ч на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа. Получены зависимости величины виброускорений от осевой нагрузки и затухания ускорений по глубине балластного слоя.

виброускорение, балласт, балластный слой, подшпальное основание, основная площадка, повышенные осевые нагрузки, теория предельного равновесия, вибродинамическое воздействие, колебания, вибродинамика, несущая способность.

Введение

Одним из направлений развития железнодорожного транспорта является повышение осевых нагрузок подвижного состава до 30 т/ось [1]. Российский и зарубежный опыт показывают, что при переходе на новые условия обращения подвижного состава требуется специальная подготовка железнодорожного пути [2]. Повышение осевых нагрузок вызывает увеличение вибродинамического воздействия на железнодорожный путь, которое,

в свою очередь, ведет к снижению несущей способности балластного слоя и земляного полотна [3, 4]. В связи с этим необходимо уметь оценивать влияние повышенных осевых нагрузок на прочность подшпального основания. Существующие методики расчета несущей способности балласта не учитывают вибродинамическое воздействие обращающихся поездов, поэтому необходимо исследовать колебательный процесс подшпального основания, вызванный движением тяжеловесных поездов с осевыми нагрузками до 30 т/ось.

1 Приборы и условия проведения исследований

Сотрудниками ПГУПС проведены исследования уровня и характера изменений вертикальных и горизонтальных виброускорений под подошвой шпалы и по глубине балластной призмы в зоне стыка рельсов при обращении подвижного состава с осевыми нагрузками до 30 т и скоростью 70 км/ч. Полевые испытания выполнялись на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ в г. Щербинка Московской области.

Для регистрации виброускорений использовались акселерометры типа РА 021, которые позволяют фиксировать ускорения от 0 до 100 g с частотой от 2 до 3000 Гц. Измерение величин виброускорений производилось в вертикальном и горизонтальном направлениях. Датчики устанавливались под шпалу и по глубине балластной призмы. Схема установки датчиков приведена на рис. 1.

2 Распределение вертикальных и горизонтальных виброускорений под подошвой шпалы

В результате проведенных исследований были получены максимально вероятные значения вертикальных и горизонтальных виброускорений в нескольких сечениях под подошвой шпалы при осевых нагрузках подвижного состава, изменяющихся в диапазоне 23,5–30 т (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что наибольшие величины вертикальных виброускорений зафиксированы в подрельсовом сечении. У торца шпалы вертикальные виброускорения в среднем на 15 % ниже, чем по оси рельса. Наименьшие величины вертикальных ускорений зафиксированы в сечении по внутренней грани опорной площадки шпалы.

В отношении горизонтальных ускорений наблюдается иной характер распределения. Наибольшие ускорения зафиксированы в сечении по внутренней грани опорной площадки шпалы. При осевой нагрузке 30 т максимум горизонтальных ускорений составил 13,1 g, что в 2,4 раза больше максимальных вертикальных ускорений при этой нагрузке. Расхождение величин горизонтальных ускорений в подрельсовом сечении и у торца шпалы составило около 10 %. Таким образом, горизонтальные и вертикальные вибро-

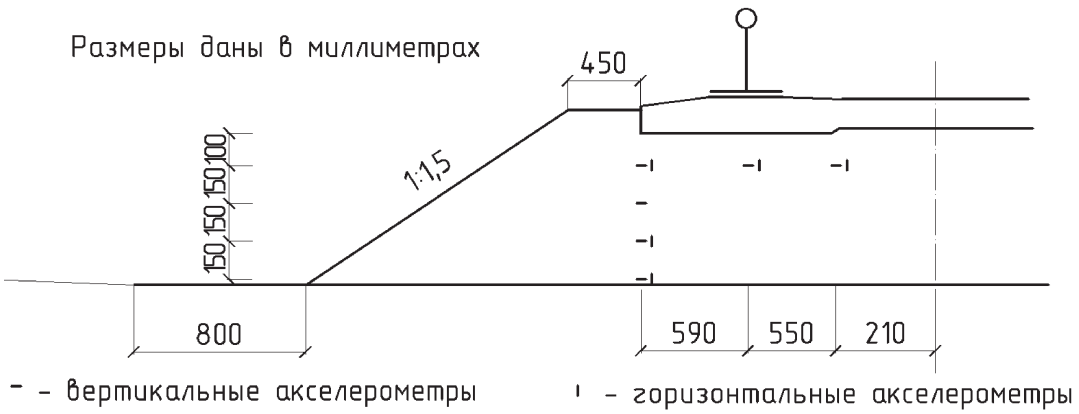


Рис. 1. Схема установки акселерометров в балластном слое

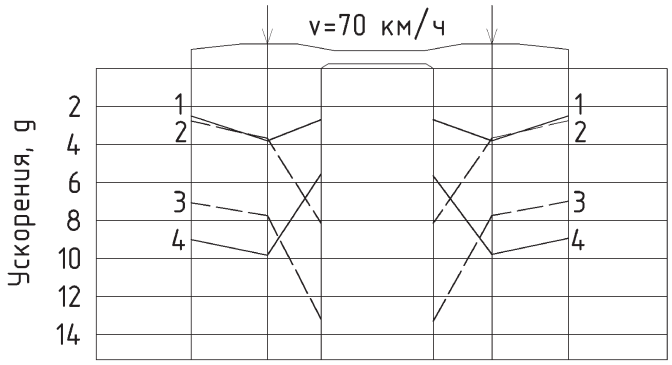


Рис. 2. Распределение вертикальных и горизонтальных виброускорений под подошвой шпалы: 1 – вертикальные виброускорения при осевой нагрузке 23 т; 2 – горизонтальные виброускорения при осевой нагрузке 23 т; 3 – горизонтальные виброускорения при осевой нагрузке 30 т; 4 – вертикальные виброускорения при осевой нагрузке 30 т

ускорения под опорной площадкой шпалы распределены практически равномерно.

3 Зависимости вертикальных и горизонтальных виброускорений от осевой нагрузки

На основании полученных данных выведены зависимости вертикальных и горизонтальных виброускорений от осевой нагрузки (рис. 3).

По полученным данным видно, что с увеличением осевой нагрузки величины виброускорений растут прямо пропорционально. При этом в сечениях у торца шпалы и в подрельсовой зоне ускорения увеличиваются с одинаковой интенсивностью: при росте осевой нагрузки на 1 т/ось виброускорения растут на 0,9 g. В сечении по внутренней грани опорной площадки шпалы с ростом осевой нагрузки ускорения повышаются менее интенсивно: при росте нагрузки на 1 т/ось ускорения повышаются на 0,34 g. Горизон-

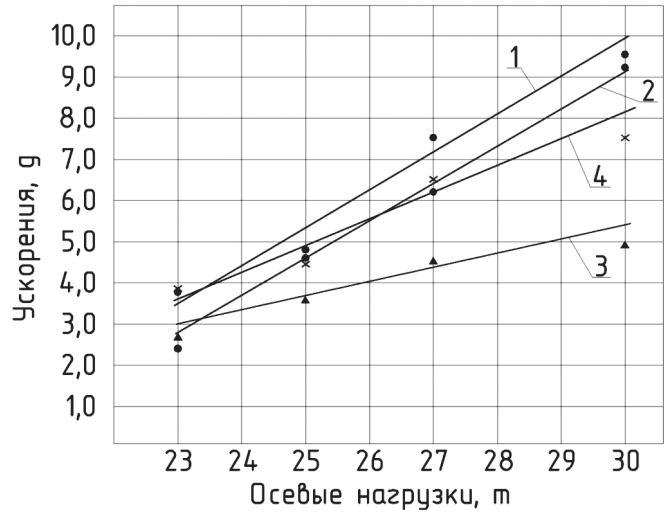


Рис. 3. Зависимости вертикальных и горизонтальных ускорений от осевой нагрузки: 1 – вертикальные ускорения в подрельсовом сечении; 2 – вертикальные ускорения в сечении у торца шпалы; 3 – вертикальные ускорения в сечении по внутренней грани опорной площадки шпалы; 4 – горизонтальные ускорения в подрельсовом сечении

тальные ускорения в подрельсовом сечении увеличиваются на 0,63 g при росте нагрузки на 1 т/ось, что на 30 % меньше величин вертикальных ускорений.

4 Затухание виброускорений в вертикальном и горизонтальном направлениях

Установка датчиков на глубине 10, 25, 40 и 55 см в сечении у торца шпалы позволила определить зависимость затухания виброускорений по глубине (рис. 4). Поскольку амплитуды виброускорений и вибросмещений частиц взаимосвязаны и известно, что амплитуды вертикальных вибросмещений в подрельсовом сечении и в сечении у торца шпалы затухают по аналогичной зависимости, можно преположить, что и зависимости затухания виброускорений в сечениях по оси рельса и у торца шпалы будут аналогичными.

Из приведенных зависимостей видно, что виброускорения затухают слабо в пределах первых 15 см под подошвой шпалы. Так, при осевой нагрузке 30 т виброускорения изменились от 9 g под подошвой шпалы до 7,4 g на глубине 15 см под шпалой (на 18 %). При увеличении глубины до 30 см их уровень снизился до 5,3 g (на 28 %).

Для определения коэффициента затухания по глубине соотнесем величины ускорений на каждой отметке со значением ускорений под подошвой шпалы (1):

$$\delta_z^{\text{в}} = \frac{g_z^{\text{в}}}{g_0^{\text{в}}};\ \delta_z^{\text{г}} = \frac{g_z^{\text{г}}}{g_0^{\text{г}}}, \qquad (1)$$

где $\delta_z^{\text{в}}$ – коэффициент затухания вертикальных ускорений по глубине; $g_z^{\text{в}}$ – вертикальные ускорения на глубине z под подошвой шпалы, м/с^2; $g_0^{\text{в}}$ – вертикальные ускорения под шпалой, м/с^2; $\delta_z^{\text{г}}$ – коэффициент затухания горизонтальных ускорений по глубине; $g_z^{\text{г}}$ – горизонтальные ускорения на глубине z под подошвой шпалы, м/с^2; $g_0^{\text{г}}$ – горизонтальные ускорения под шпалой, м/с^2.

Из всех значений $\delta_z^{\text{в}}$ и $\delta_z^{\text{г}}$ для каждой осевой нагрузки определим среднюю величину и построим графики зависимостей от глубины (рис. 5).

Прологарифмируем полученные значения. Результаты вычислений укладываются на прямые, описываемые функциями (2–3):

$$\ln \delta_z^{\text{в}} = -\delta_z^{\text{в}} \cdot z, \qquad (2)$$

$$\ln \delta_z^{\text{г}} = -\delta_z^{\text{г}} \cdot z, \qquad (3)$$

где z – глубина от подошвы шпалы, м.

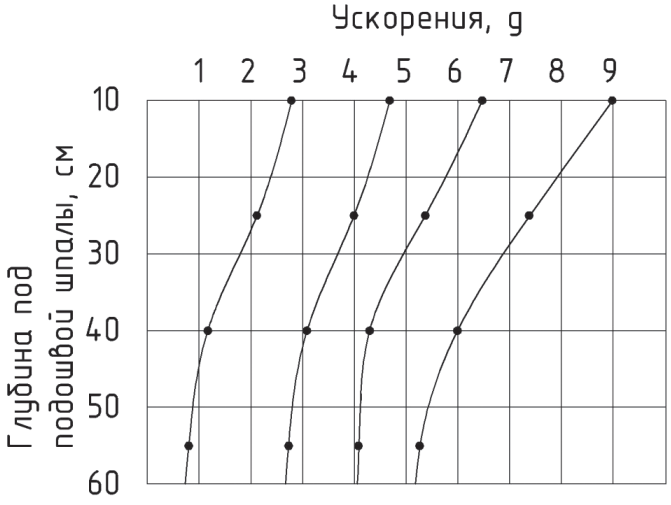


Рис. 4. Затухание вертикальных ускорений по глубине балластного слоя при различных величинах осевой нагрузки:
1 – при 23,5 т/ось; 2 – при 25 т/ось; 3 – при 27 т/ось; 4 – при 30 т/ось

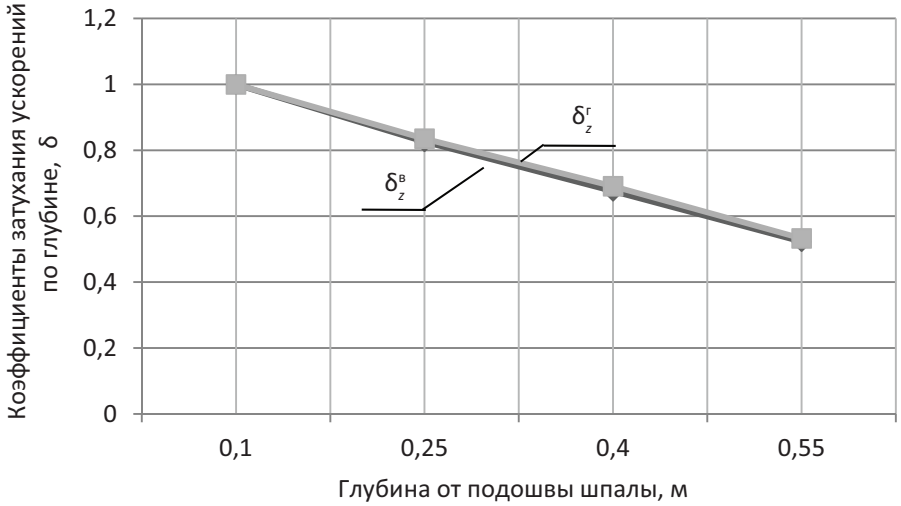


Рис.5. Графики зависимостей коэффициентов затухания ускорений по глубине

Аналогичным образом определим коэффициенты затухания вертикальных и горизонтальных ускорений в балласте от оси рельса в направлениях к оси пути и к обочине (рис. 6).

Полученные результаты описываются функциями (4–5):

$$\ln \delta_y^{\text{в}} = -\delta_y^{\text{в}} \cdot y, \quad \text{при} \quad \begin{cases} y \geq 0 \ \delta_y^{\text{в}} = \delta_1^{\text{в}}, \\ y < 0 \ \delta_y^{\text{в}} = \delta_2^{\text{в}}; \end{cases} \tag{4}$$

$$\ln \delta_y^{\text{г}} = -\delta_y^{\text{г}} \cdot y, \quad \text{при} \quad \begin{cases} y \geq 0 \ \delta_y^{\text{г}} = -\delta_1^{\text{г}}, \\ y < 0 \ \delta_y^{\text{г}} = \delta_2^{\text{г}}, \end{cases} \tag{5}$$

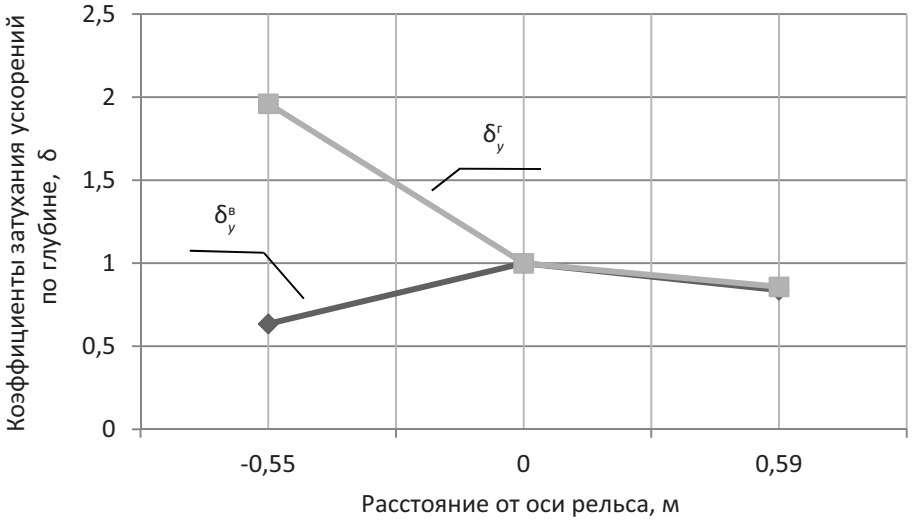


Рис. 6. Графики зависимостей коэффициентов затухания ускорений от расстояния от оси рельса

где $\delta_y^{в}$ – коэффициент затухания вертикальных ускорений в горизонтальном направлении, 1/м; $\delta_y^{г}$ – коэффициент затухания горизонтальных ускорений в горизонтальном направлении, 1/м; y – расстояние по горизонтали от оси рельса до рассматриваемого сечения. Положительная полуось оси Y направлена от пути, отрицательная – от оси рельса к оси пути.

Таким образом, распространение виброускорений в вертикальном и горизонтальном направлениях описывается зависимостями (6–7):

$$g_{z,y}^{в} = g_0^{в} \cdot e^{-\delta_z^{в} \cdot z - \delta_y^{в} \cdot y},$$

при
$$\begin{cases} y \geq 0 \ \delta_y^{в} = \delta_1^{в}, \\ y < 0 \ \delta_y^{в} = \delta_2^{в}; \end{cases} \quad (6)$$

$$g_{z,y}^{г} = g_0^{г} \cdot e^{-\delta_z^{г} \cdot z - \delta_y^{г} \cdot y},$$

при
$$\begin{cases} y \geq 0 \ \delta_y^{г} = -\delta_1^{г}, \\ y < 0 \ \delta_y^{г} = \delta_2^{г}. \end{cases} \quad (7)$$

5 Применение зависимостей затухания виброускорений для расчета прочности балластного слоя

Для оценки прочности балластного слоя может быть использована теория предельного равновесия [5] – [7]. Подставив зависимости (6–7) в основную систему уравнений теории предельного равновесия (8) [8], получим возможность определить величину напряжений, действующих в балластном слое при движении поездов с осевыми нагрузками до 30 т:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \dfrac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} = \gamma \cdot \cos\theta + \rho \dfrac{\partial^2 U}{\partial t^2} \\ \dfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \dfrac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \gamma \cdot \sin\theta + \rho \dfrac{\partial^2 V}{\partial t^2} \\ \sigma_1 - \sigma_2 = \left(\sigma_1 + \sigma_2 + 2C_{дн} \operatorname{ctg} \varphi_{дн}\right) \sin \varphi_{дн}; \end{cases} \quad (8)$$

$$\rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\gamma}{g} g_0^z \cdot e^{-\delta_z^{в} \cdot z - \delta_y^{в} \cdot y},$$

при
$$\begin{cases} y \geq 0 \ \delta_y^{в} = \delta_1^{в}, \\ y < 0 \ \delta_y^{в} = \delta_2^{в}; \end{cases} \quad (9)$$

$$\rho \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = \frac{\gamma}{g} g_0^y \cdot e^{-\delta_z^{а} \cdot z + \delta_y^{г} \cdot y},$$

при
$$\begin{cases} y \geq 0 \ \delta_y^{г} = -\delta_1^{г}, \\ y < 0 \ \delta_y^{г} = \delta_2^{г}, \end{cases} \quad (10)$$

где σ_z и σ_y – вертикальная и горизонтальная составляющие нормальных напряжений; $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ – составляющие касательных напряжений; θ – угол наклона оси абсцисс к горизонту; ρ – масса грунта, $\rho = \gamma/g$; γ – объемный вес грунта; g – ускорение свободного падения; $\dfrac{\partial^2 U}{\partial t^2}$ – действующее ускорение в вертикальной плоскости; $\dfrac{\partial^2 V}{\partial t^2}$ – действующее ускорение в горизонтальной плоскости; σ_1 и σ_2 – главные напряжения, $C_{дн}$ и $\varphi_{дн}$ – сцепление и угол внутреннего трения грунта, воспринимающего вибродинамическую нагрузку.

Заключение

Анализ результатов натурных экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

1. В результате исследований получены величины виброускорений частиц балласта при осевых нагрузках 23–30 т в характерных сечениях по длине шпалы. Так, при осевой нагрузке 23 т в подрельсовом сечении под подошвой шпалы зафиксированы вертикальное ускорение 3,8 g, горизонтальное – 3,7 g, при нагрузке 30 т/ось – вертикальное ускорение 9,5 g, горизонтальное – 7,5 g.

2. По полученным значениям выявлены зависимости затухания виброускорений в

балласте в вертикальном (6) и горизонтальном (7) направлениях при тяжеловесном движении.

3. Зависимости затухания виброускорений (6–7) позволяют решить систему дифференциальных уравнений теории предельного равновесия (8) для прогнозирования несущей способности балластной призмы с вибродинамического воздействия поездов с осевыми нагрузками до 30 т.

Библиографический список

1. **Стратегия** развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://doc.rzd..ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=7048layer_id=51048id=3997.

2. **Обобщение** мирового опыта тяжеловесного движения. Конструкция и содержание железнодорожной инфраструктуры ; пер. с англ. ; ред. С. М. Захаров. – Москва : Интекст, 2012. – 568 с.

3. **Оценка** чувствительности путевого щебня к действию вибродинамической нагрузки / А. Ф. Колос, Д. С. Николайтист, А. А. Морозова // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: материалы X-й научно-технической конференции с международным участием (чтения, посвященные 190-летию проф. Г. М. Шахунянца). – Москва : МИИТ, 2013 – С. 164–166.

4. **Обеспечение** несущей способности балластного слоя и земляного полотна при повышенных осевых нагрузках / А. Ф. Колос, А. А. Морозова // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции конференции. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – С. 209–211.

5. **Статика** сыпучей среды / В. В. Соколовский. – Москва : Гос. изд-во физико-математической литературы, 1960. – 241 с.

6. **Механика** грунтов / Н. А. Цытович. – Москва : Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 636 с.

7. **Осесимметричная** задача теории предельного равновесия сыпучей среды / В. Г. Березанцев. – Москва : Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1952. – 120 с.

8. **Прочность** и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку : дис. … д-ра техн. наук / И. В. Прокудин. – Ленинград : ЛИИЖТ, 1982. – 455 с.

УДК 656.221

А. Н. Комарова
ООО «Центр Трансфера Технологий»

Ю. П. Бороненко
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ВЛИЯНИЕ ТИПОВ И ПАРАМЕТРОВ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ ВАГОНА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ

Рассмотрено влияние типов и параметров гасителей колебаний на сопротивление движению вагона и расход энергии на его перемещение. Также выполнен анализ удельного сопротивления движению вагона, обусловленного диссипацией энергии в гасителях сухого и вязкого трения. В результате исследования показано, что при малых скоростях сопротивление движению вагонов,

обусловленное рассеянием энергии в гасителе сухого трения, меньше сопротивления движению при наличии гасителя вязкого трения.

гаситель колебаний, сухое трение, вязкое трение, сопротивление движению, диссипация энергии.

Введение

Вертикальные колебания являются неотъемлемой частью колебаний вагона, движущегося в составе поезда. Их демпфирование может производиться гасителями колебаний вязкого или сухого трения, при этом всегда происходит диссипация энергии, являющаяся одним из главных источников энергетических потерь при движении вагона.

Для повышения энергетической эффективности перевозок необходимо оценить влияние типа и параметров гасителя колебаний на величину диссипации энергии, которая в свою очередь влияет на сопротивление движению и расход энергии на передвижение вагона.

1 Методика исследования энергетической эффективности гасителей колебаний

Исследование проводилось аналитическим путем для груженого полувагона массой ($m_к$) 80 т с жесткостью рессорного подвешивания (c) 16 МН/м, двигавшегося по неровностям высотой (η_0) 5 мм и длиной 12,5 м. Величина коэффициента вязкого демпфирования (β) принималась в диапазоне 0,08…0,3, коэффициент относительного трения (φ) – 0,06…0,1.

Расчет проводился на простейшей модели – груз на пружине, двигающийся по вертикальным синусоидальным неровностям, вида:

$$\eta = \eta_0 \sin \omega t. \qquad (1)$$

Уравнения вынужденных колебаний подпрыгивания кузова вагона при движении по неровностям вида (1) для случая с вязким трением описывались уравнением [3]:

$$m_к \ddot{\xi} + \beta \dot{\xi} + c\xi = -m_к \eta_0 \omega^2 \sin \omega t, \qquad (2)$$

где ξ – деформация рессорных комплектов, м; ω – частота вынужденных колебаний, рад/с,

и для случая сухого трения:

$$m_к \ddot{\xi} + (F_0 + c\varphi\xi) sng\xi + c\xi = \\ = -m_к \eta_0 \omega^2 \sin \omega t, \qquad (3)$$

где F_0 – статическая составляющая силы трения, Н.

Для сравнения двух типов трения сухое трение было заменено системой с эквивалентным вязким сопротивлением, величина которого выбиралась исходя из равенства энергий, рассеиваемых гасителями за один период колебаний.

Для нахождения зависимости величины энергии, рассеиваемой в гасителях колебаний, от их параметров и скорости движения вагона была определена средняя за период мощность диссипативных сил гасителя колебаний вязкого трения:

$$P_\beta = \frac{\beta A^2 \omega^2}{2}, \qquad (4)$$

где A – амплитуда колебаний кузова, м;
а также гасителя колебаний сухого трения:

$$P_\varphi = \frac{2\varphi c f_{st} A \omega}{\pi}, \qquad (5)$$

где f_{st} – статический прогиб рессорного комплекта, м.

Энергетические потери при движении вагона, согласно Правилам тяговых расчетов [1], принято оценивать по сопротивлению движению, приходящемуся на 1 кН веса вагона, т. е. по удельному сопротивлению. Исходя из этого, величина сопротивления дви-

жению вагона, обусловленного диссипацией энергии в гасителе колебаний, определялась по формуле:

$$W_{\text{уд}} = \frac{1000P}{gmv}, \qquad (6)$$

где P – средняя мощность диссипативных сил гасителей колебаний, Вт; m – масса вагона, кг; v – скорость движения, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

2 Результаты расчетов удельного сопротивления движению и мощностей диссипативных сил

По формулам было рассчитано удельное сопротивление движению.

Для вагона с гасителями колебаний вязкого трения:

$$W_{\text{уд}} = \frac{1000\beta A^2\omega^2}{2gmv}, \qquad (7)$$

для вагона с гасителем колебаний сухого трения:

$$W_{\text{уд}} = \frac{2\varphi c f_{st} A\omega 1000}{gmv}. \qquad (8)$$

Также были получены графики зависимости удельного сопротивления движению вагона, обусловленного диссипацией энергии в гасителях колебаний сухого и вязкого трения с различными параметрами, от относительной частоты колебаний (ω/ν) (рис. 1).

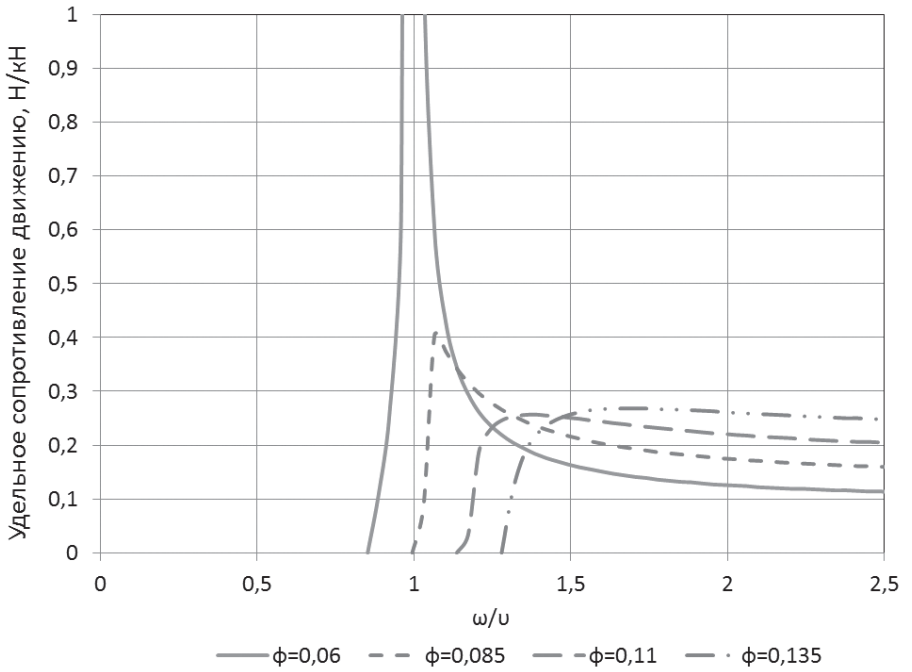
Анализ результатов расчетов показал, что удельное сопротивление движению вагона, обусловленное рассеянием энергии гасителем вязкого трения, возрастает при увеличении относительной частоты и достигает максимума при резонансе. В зарезонансной зоне удельное сопротивление движению вагона, обусловленное рассеянием энергии гасителем вязкого трения, плавно возрастает по мере увеличения степени демпфирования и относительной частоты.

Удельное сопротивление движению вагона, обусловленное рассеянием энергии гасителем сухого трения в дорезонансной зоне, при рассматриваемых неровностях практически равно нулю в связи с отсутствием вертикальных колебаний кузова. В резонансной зоне с увеличением относительной частоты происходит плавный рост удельного сопротивления движению, затем его снижение. Максимальная величина удельного сопротивления в резонансной зоне увеличивается при снижении степени демпфирования системы.

Для количественной оценки энергетических потерь при вертикальных колебаниях были построены графики мощностей диссипативных сил в гасителях колебаний одного груженого полувагона (рис. 2) и состава из 71 груженого полувагона (рис. 3).

Анализ результатов расчетов мощностей диссипативных сил гасителей колебаний показал, что при движении вагона (состава) на скоростях ниже резонансной (100 км/ч) величина степени демпфирования системы с гасителем вязкого или сухого трения не оказывает значительного влияния на энергетические потери. В зоне резонанса в системе с недостаточным демпфированием происходит резкий скачок мощности рассеиваемых в гасителе сил, достигающий 17 кВт (при $\beta = 0{,}08\beta_{\text{кр}}$) и 9 кВт (при $\varphi = 0{,}085$) у одного вагона и 1,2 МВт и 0,7 МВт соответственно у состава из 71 вагонов. С увеличением степени демпфирования скачок сглаживается. На скоростях выше резонансной происходит некоторое снижение величины мощности, а затем рост, на который влияет увеличение степени демпфирования.

Анализируя результаты расчетов удельного сопротивления движению, обусловленного диссипацией энергии в гасителях колебаний, мощностей диссипативных сил в гасителях и результаты оценки мощности силы тяги локомотива [2], можно сделать вывод о влиянии вертикальных колебаний на величину сопротивления движению и потребляемую мощность локомотива при резонансе. На резонансной скорости происходит существенное увеличение потребляемой локомо-



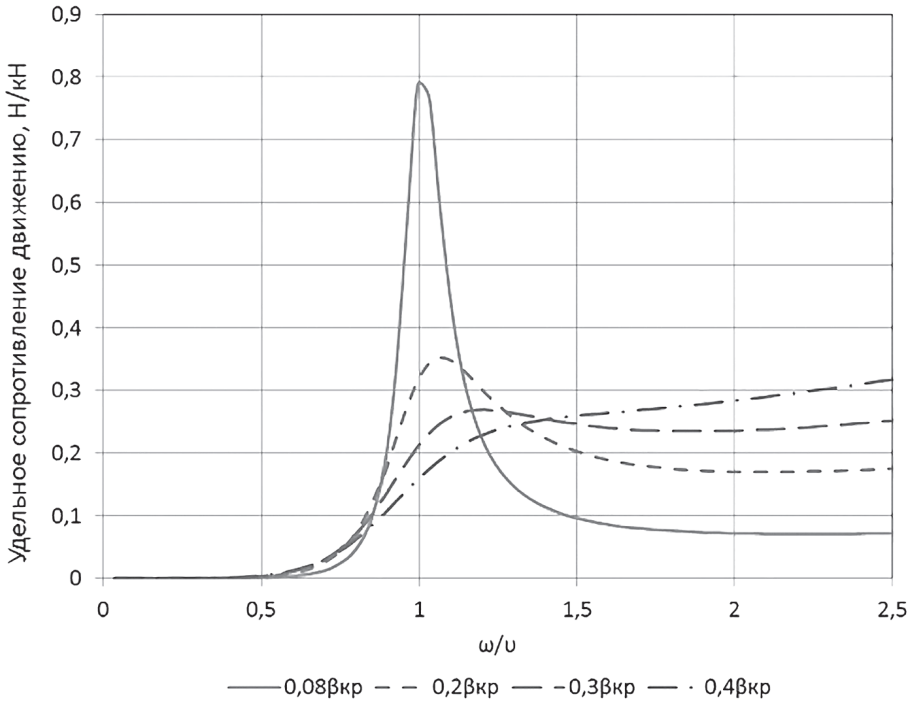
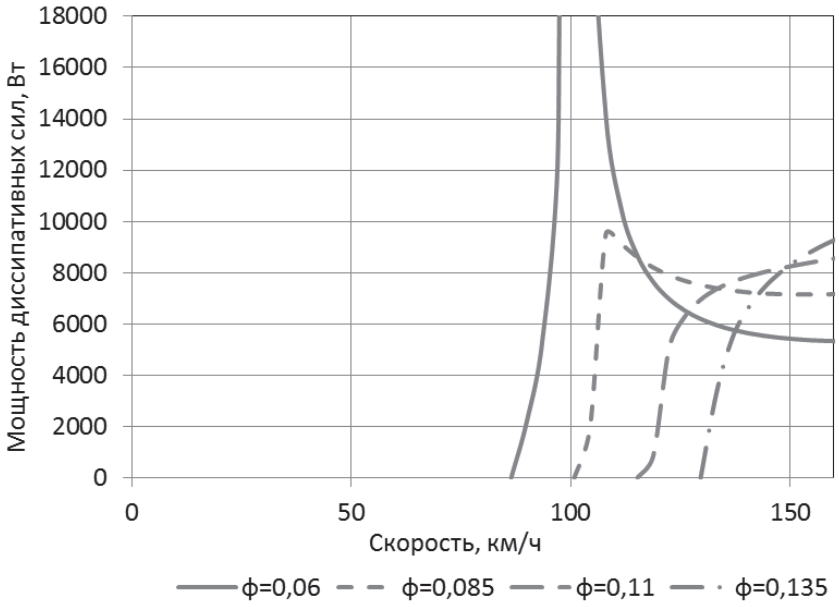


Рис. 1. Удельное сопротивление движению вагона, обусловленное диссипацией энергии в гасителях колебаний:
а) сухого трения с различными коэффициентами относительного трения;
б) вязкого трения с различными коэффициентами вязкого демпфирования



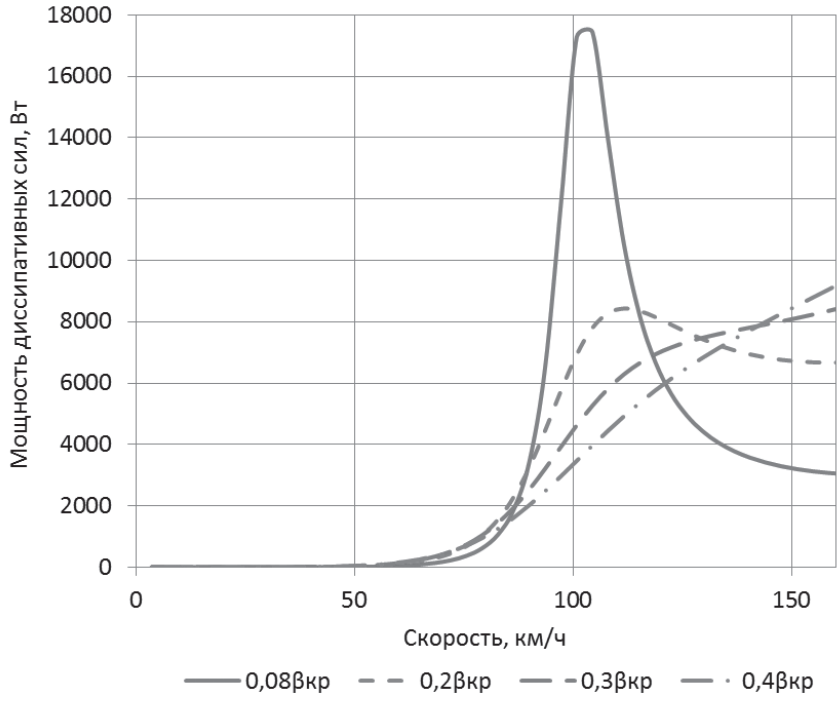


Рис. 2. Мощность гасителей при вертикальных колебаниях груженого полувагона: а) с гасителями колебаний сухого трения с различными коэффициентами относительного трения; б) с гасителями колебаний вязкого трения с различными коэффициентами вязкого демпфирования

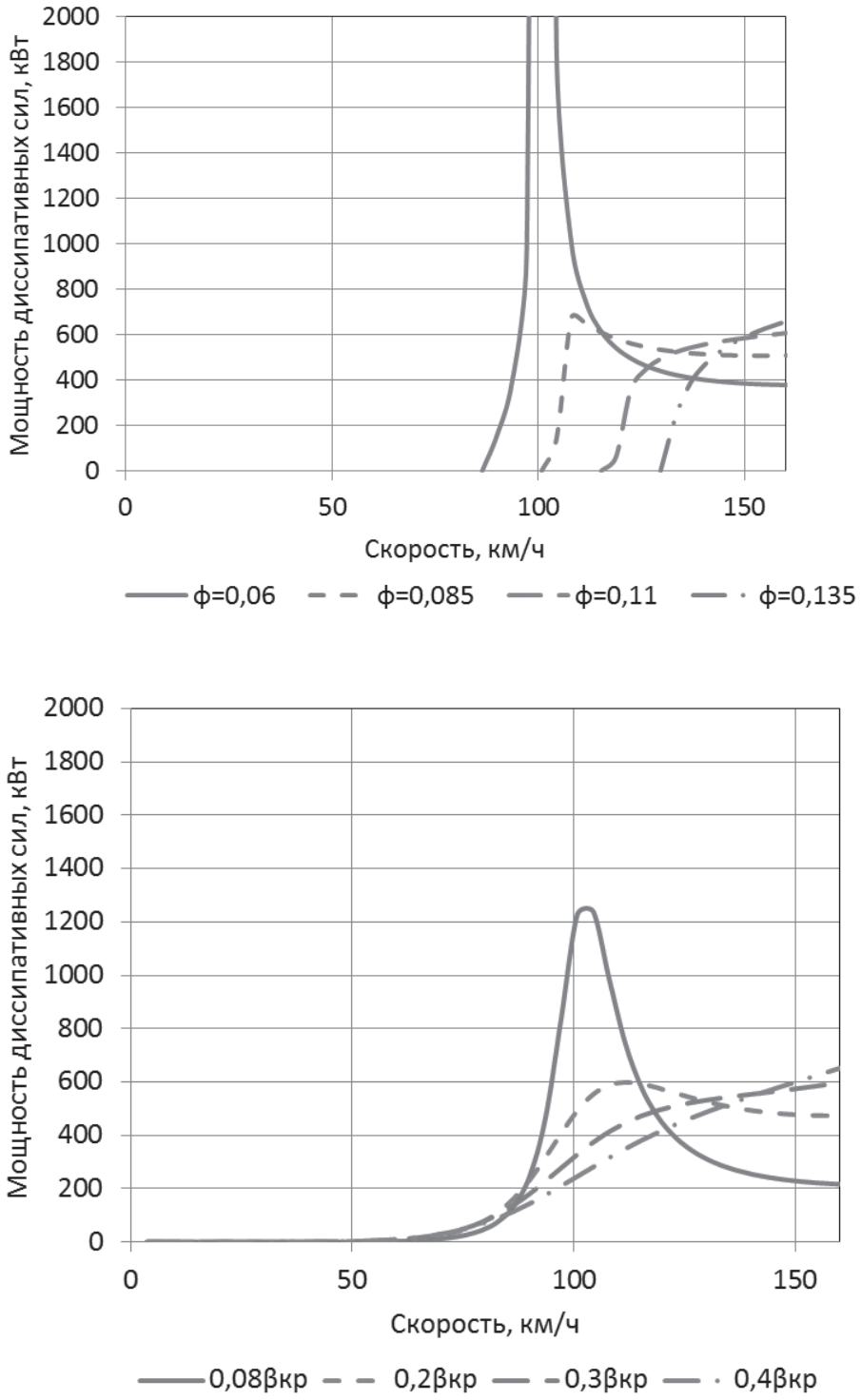


Рис. 3. Мощность гасителей при вертикальных колебаниях состава из 71 груженого полувагона:
а) с гасителями колебаний сухого трения с различными коэффициентами относительного трения; б) с гасителями колебаний вязкого трения с различными коэффициентами вязкого демпфирования

тивом энергии, вызываемое резким скачком мощности диссипативных сил в гасителях колебаний. Для анализа колебаний в этой зоне необходимо учитывать взаимодействие колеблющихся масс (состава) с источником энергии (локомотивом). В связи с этим нужно выбирать типы и параметры гасителей колебаний, исходя не только из эффективности гашения колебаний, но с учетом энергетических потерь при их работе.

Заключение

Аналитическим путем произведена оценка влияния типов и параметров гасителя колебаний на величину удельного сопротивления движению вагона, обусловленного диссипацией энергии при гашении вертикальных колебаний. Определена величина энергии, расходуемой гасителями колебаний на гашение вертикальных колебаний груженого вагона и состава из 71 вагона.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о существенном влиянии вертикальных колебаний на величину энергии, расходуемой локомотивом. Показано, что в зоне эксплуатационных скоростей (менее 90 км/ч) в дорезонансной и в резонансной зонах увеличение коэффициента относительного трения снижает расход энергии на тягу поезда. Эту особенность рекомендуется учитывать при проектировании рессорного подвешивания грузовых вагонов.

Библиографический список

1. **Правила** тяговых расчетов для поездной работы / П. Т. Гребенюк и др. – Москва : Транспорт, 1985. – С. 4.

2. **Оценка** энергоэффективности нетягового подвижного состава / А. Н. Комарова, Ю. П. Бороненко // Наука та прогресс транспорту. – 2013. – Вып. 1 (43). – С. 149–153.

3. **Динамика** вагона : учебник для вузов ж. д. транспорта / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1978. – С. 119–130.

4. **Динамические** свойства и колебания вагонов / В. А. Кошелев, Д. А. Василенко, А. В. Саидова. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – С. 86–93.

5. **Komarova, A.,** Boronenko, Yu., Orlova, A., Romen, Yu. (2013). Calculating rolling resistance of freight wagons using multibody simulation. Program and abstracts of 23rd International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, Qingdao, paper 15.3

УДК 629.4.053.3

А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

М. Ю. Королев
Петербургский метрополитен

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В МЕТРОПОЛИТЕНЕ НА БАЗЕ RFID–ТЕХНОЛОГИИ

Рассматриваются вопросы применения RFID-технологии в системе бесконтактной привязки к пути головных вагонов поездов (СБПП), которая является составной частью системы автоматического управления движением поездов. Разработана структура СБПП, определены ее функции. Разработан алгоритм функционирования системы автоматического управления движением поездов. Внедрение СБПП на базе технологии радиочастотной идентификации направлено на повышение эффективности, надежности и безопасности функционирования систем автоматического управления движением поездов.

Заявленная система управления движением электроподвижного состава успешно прошла отладочные испытания и введена в опытную эксплуатацию в Санкт-Петербургском метрополитене.

RFID-технология, радиометка, ридер, система бесконтактной привязки к пути головных вагонов поездов.

Введение

Совершенствование систем управления с высокой степенью автоматизации направлено на уменьшение затрат по их техническому обслуживанию, а также на уменьшение влияния человеческого фактора и тем самым на повышение безопасности при эксплуатации. Этому способствует внедрение RFID (Radio Frequency Identification) – технологии с применением соответствующих программно-аппаратных средств.

В метрополитене на базе радиочастотной технологии разработана система бесконтактной привязки к пути (СБПП) головных вагонов поездов, которая является составной частью комплекса автоматического управления движением поездов [1].

СБПП является многофункциональной и предназначена для:

– жесткого программного автоведения поездов, для формирования управляющих команд с помощью напольных RFID-элементов поездным устройствам автоведения (ПУАВ), заменяя технологию ведения по «доскам», а также устройствам поездного оповещения пассажиров (УПО) и бортовым устройствам регистрации событий (БУР), обеспечивая их автоматическую работу;

– коррекции графиков движения поездов с использованием радиомодемной связи бортовой части СБПП с центральным постом комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления (ЦП КАС ДУ) через станционные устройства сопряжения;

– осуществления привязки к точкам пути подвижных единиц метрополитена;

– синхронизации бортовых часов с часами Центра автоматизированной системы управления движением поездов;

– осуществления информационной поддержки машинистов поездов;

– решения многочисленных перспективных задач создания Единого комплекса авто-

матизированной системы адаптивного управления движением поездов в Петербургском метрополитене.

В соответствии со спецификой метрополитена при разработке системы СБПП были учтены следующие факторы: значительный диапазон колебаний питающего напряжения источника вагонного питания; значительный диапазон колебаний температуры окружающей среды; несовместимость подплатформенных поверхностей и поверхностей тоннелей в отдельных расчетных точках пути с условиями закрепления носителей постоянной информации (RFID-средств).

В последнем случае задача решается с помощью регрессионной модели радиовидимости меток [2].

1 Структурно-функциональное построение СБПП

Вариант обобщенной структурно-функциональной схемы СБПП и связей с ПУАВ, УПО, ЦП КАС ДУ представлен на рис. 1.

Метки, контроллер, ридер с антенной, бортовой и станционный радиомодемы с антеннами и элементы питания образуют систему бесконтактной привязки к пути СБПП. СБПП включает в себя две части: вагонную и станционную.

Для выполнения задачи бесконтактной привязки к пути головных вагонов вдоль пути движения поездов на станциях и перегонах в определенных фиксированных точках установлены пассивные радиометки, в память которых занесена необходимая для автоведения поездов информация. Для получения информации из радиометок на борту головных вагонов поездов имеются ридеры, реализующие RFID протокол. Работа метки осуществляется за счет «накачивания» ее энергией от ридера, в результате чего устанавливается двухсторонняя связь между ридером и меткой.

Ридер постоянно находится в режиме поиска радиометки и по ее нахождении передает закодированное в ней сообщение контроллеру. Для управления ридером, а также для обработки информации, полученной из радиометки, контроллер формирует предусмотренные алгоритмом команды и реализующий интерфейс связи с бортовым оборудованием автоведения.

Жестко запрограммированная в метках информация обеспечивает режим автоведения поездов по усредненному графику, однако возможны непреднамеренные отклонения от него. Для коррекции характеристик движения поездов в таких случаях контроллер имеет связь с ЦП КАС ДУ с помощью радиомодемов.

2 Алгоритм работы системы управления движением электроподвижного состава в метрополитене на базе RFID-технологии

Работа системы осуществляется следующим образом. По прибытии поезда под управлением машиниста из депо на станцию оборота в заданное время, согласно расписанию, в момент вхождения головного вагона поезда в зону взаимной радиовидимости поездного и станционного радиомодемов вагонный контроллер (ВК) посылает запрос ЦП КАС ДУ через проводной канал и станционный контроллер (СК) станционной аппаратуры КАС ДУ на нитку графика. Диспетчерский центр передает информацию о нитке графика движения данного поезда с указанием расчетного времени отправления со всех станций пути его следования, одновременно осуществляется синхронизация часов диспетчерского центра с часами в вагонном контроллере.

Затем поезд останавливается в зоне радиометки ОПВ («Остановка первого вагона»), где записана информация о стороне открытия дверей, времени их открытого состояния для посадки пассажиров, режиме включения электродвигателей (Х2 или Х3) и времени их включенного состояния для разгона при отправлении поезда с данной станции.

При полной остановке вагонный контроллер вычисляет время открытого состояния

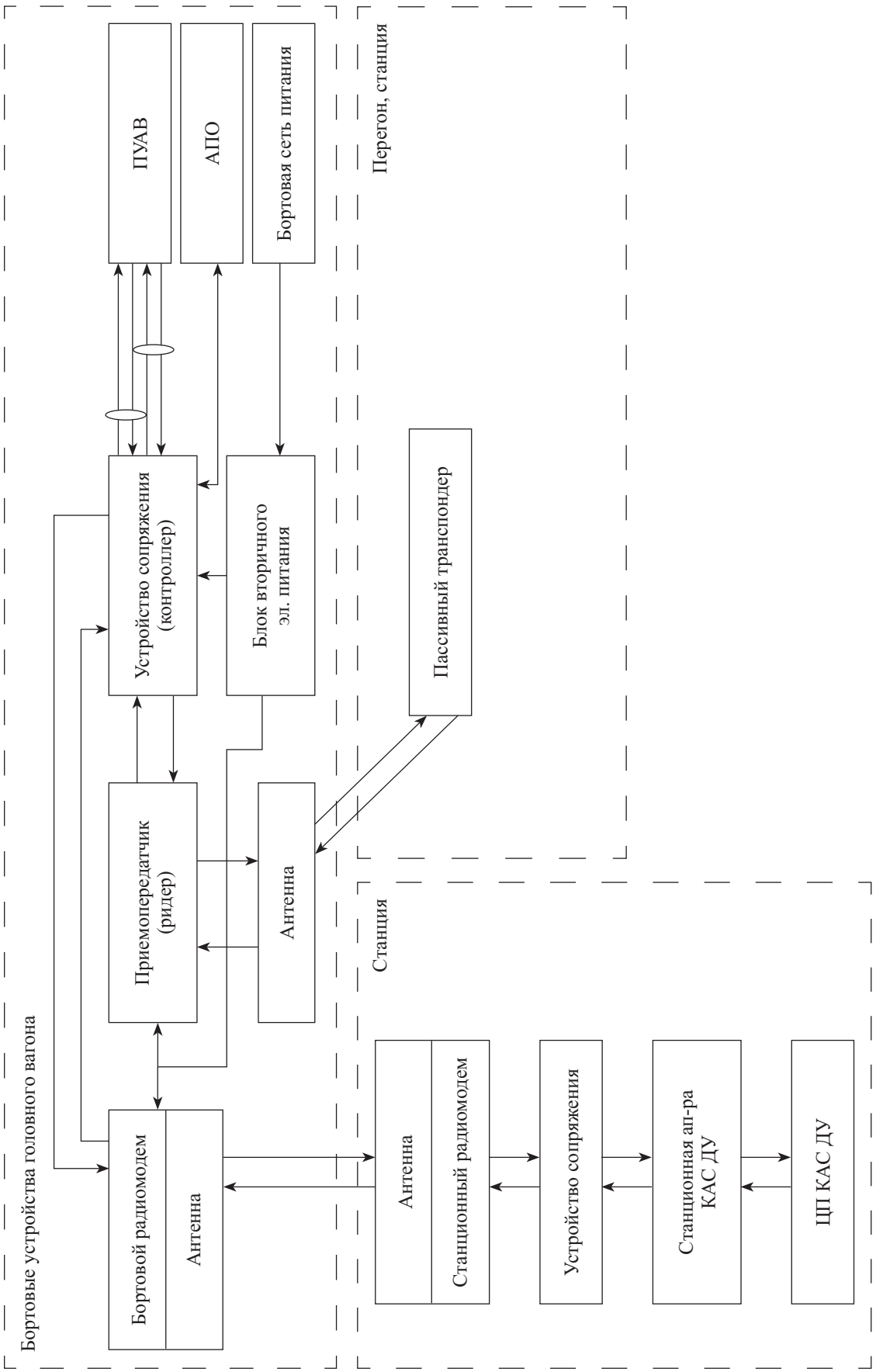


Рис. 1. Структурно-функциональная схема СБПП

дверей $t_р$, сравнивая полученную от радиометки ОПВ информацию с временем отправления поезда $t_{ОПВ}$, заданным ниткой графика. По итогам сравнения возможно несколько исходов. Так, если окончание интервала времени, полученного от радиометки ОПВ, совпадает со временем отправления поезда, заданным ниткой графика, то двери открываются на время, полученное от радиометки ОПВ. Если окончание интервала времени, полученного от радиометки ОПВ, отстает от времени отправления поезда, заданного ниткой графика, то вагонный контроллер увеличивает время открытого состояния дверей на интервал, равный времени отставания. Если же окончание интервала времени, полученного от радиометки ОПВ, опережает время отправления поезда, заданного ниткой графика, то вагонный контроллер уменьшает время открытого состояния дверей на интервал, равный времени опережения, но только до определенных пределов, обеспечивающих вход и выход пассажиров.

По истечении расчетного времени из УПО поступает информация, оповещающая пассажиров о закрывании дверей, вагонный контролер выдает соединенному с ним ПУАВ команду закрыть двери вагонов поезда. Проверив, что все двери фактически закрылись, блок управления вырабатывает сигнал вагонному контроллеру. При получении этого сигнала вагонный контролер сравнивает момент времени поступления сигнала со временем отправления поезда по нитке графика. На основании результатов сравнения вагонный контроллер принимает решение о режиме включения двигателей – «ход 2» или «ход 3» (Х2 или Х3) – и времени их включенного состояния для разгона поезда и передает эту информацию в блок управления. По истечении расчетного времени двигатели поезда отключаются. Если по каким-то причинам сигнал об отключении двигателей не поступил, находящаяся в расчетной точке пути радиометка ОД даст дополнительный сигнал, повышая надежность операции «отключение двигателей». В зависимости от плана и профиля пути на перегоне могут быть установлены радиометки ТП (подтормаживание), содержащие информацию о степени и длительности торможения, радиометки Х2 или Х3, обеспечивающие повторное включение электродвигателей и время их подключения, и радиометки ОД, устанавливаемые на расчетном расстоянии от Х2 или Х3 для надежного отключения электродвигателей. При въезде поезда на станцию устанавливается радиометка СТ1, содержащая программу первой ступени прицельного торможения, а при приближении поезда к зоне ОПВ (примерно за 13 м до ОПВ) устанавливается радиометка СТ2, содержащая программу второй ступени прицельного торможения, которая обеспечивает остановку поезда в заданной точке в створе со знаком «Остановка первого вагона». Содержание информации радиометок ОД, ТП, Х2, Х3, СТ1, СТ2 принимается на вагоне с помощью приемопередатчика, декодируется вагонным контроллером и передается блоку управления на исполнение, обеспечивая автоматическое управление движением поезда от одной станции до другой. При этом, в случае необходимости, вагонный контроллер имеет возможность корректировать время включенного состояния электродвигателей при повторных их включениях на перегоне с целью более эффективного вхождения поезда в нитку графика.

Дальнейшее движение поезда от одной станции к другой осуществляется по вышеизложенному алгоритму.

По прибытии на противоположную станцию оборота, после выхода пассажиров поезд должен зайти в тупик. Движение в тупик осуществляется автоматически: начало движения со станции полностью совпадает с началом движения с любой станции, затем по радиометке ОД, относящейся к тупику, электродвигатели отключаются, далее – прицельное торможение вплоть до остановки в заданной точке выполняется по тупиковым радиометкам СТ1 и СТ2. В тупике головной вагон становится хвостовым, а хвостовой – головным. Машинист переходит в вагон, ставший головным, и активирует систему управления движением. При этом приемопередатчик головного вагона получает информацию о требуемом режиме тяги от меток

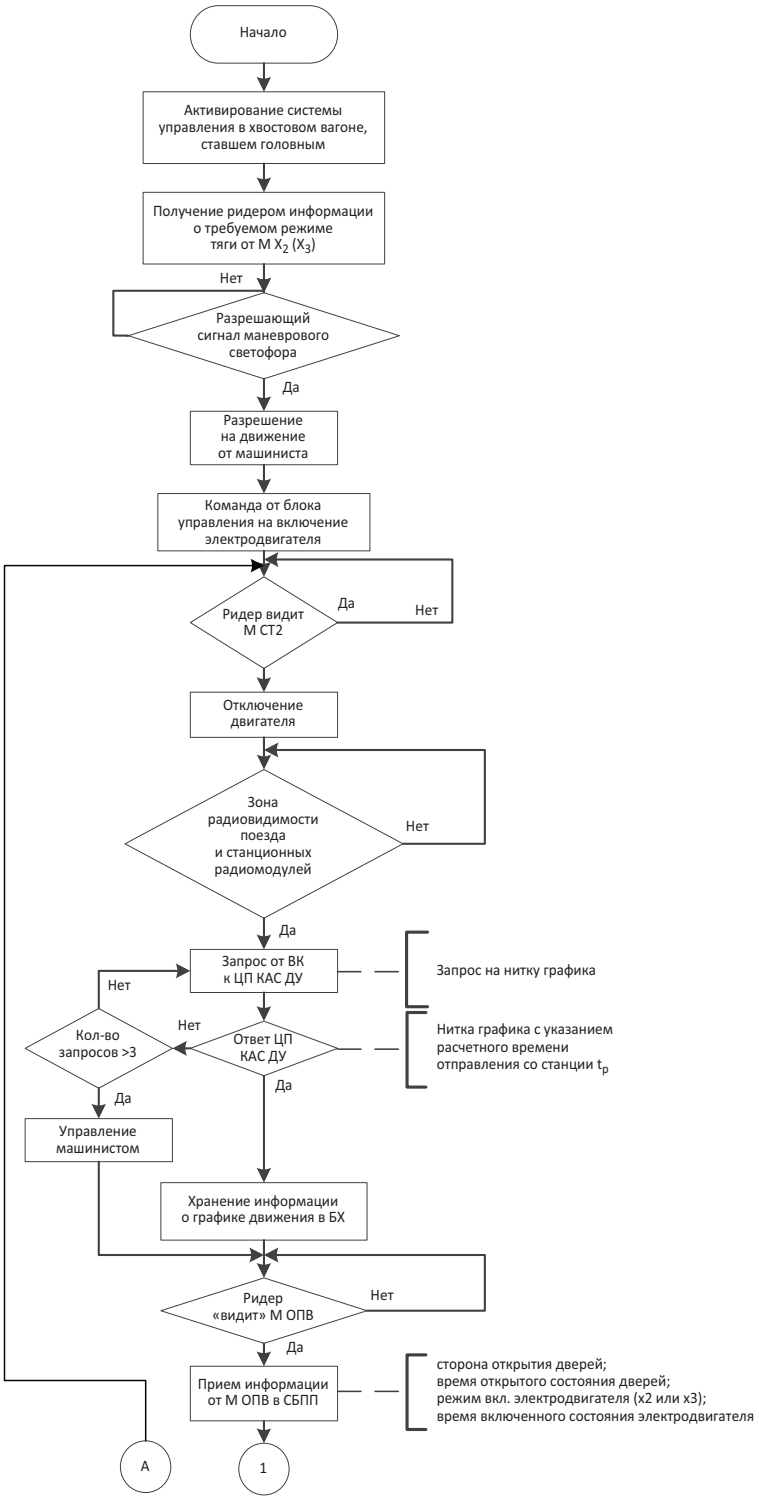
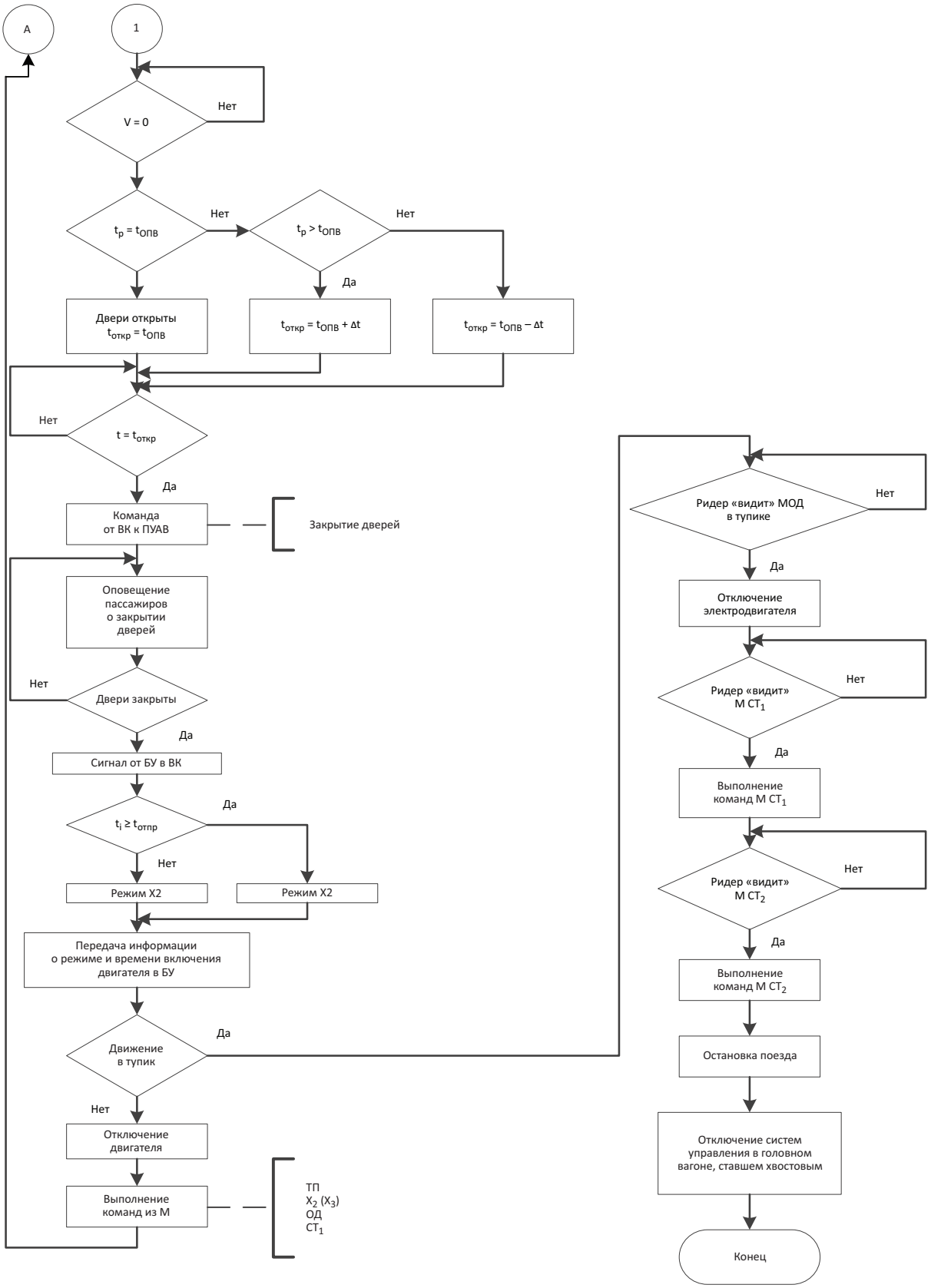


Рис. 2 . Блок-схема функционирования системы управления движением



электроподвижного состава в метрополитене на базе RFID-технологии

X2 или X3. Как только маневровый светофор, стоящий на выходе их тупика, открывается на разрешающее показание, машинист дает согласие на движение нажатием кнопки; блок управления, имея на входе от вагонного контроллера принятый режим тяги, включает электродвигатели, и поезд разгоняется для выхода из тупика. Отключение электродвигателей выполняется по команде радиометки ОД, установленной на выходе из тупика. Прицельное торможение поезда осуществляется по станционным радиометкам СТ1 и СТ2. Еще до полной остановки поезда в момент вхождения головного вагона поезда в зону взаимной радиовидимости поездного и станционного радиомодемов вагонный контроллер вновь посылает запрос диспетчерскому центру через проводной канал и станционный контроллер на новую нитку графика.

Далее цикл повторяется.

Блок-схема системы управления движением электроподвижного состава в метрополитене на базе RFID-технологии представлена на рис. 2.

Заключение

Внедрение СБПП на базе технологии радиочастотной идентификации направлено на повышение эффективности, надежности и безопасности функционирования систем автоматического управления движением поездов. Этому способствует следующее:

1. Благодаря многократному съему информации с каждой радиометки ридером (приемопередатчиком), установленным на головном вагоне поезда, снижается вероятность ошибочного принятия решения о несанкционированном открытии дверей бортовыми устройствами системы и исключаются ошибки в выборе стороны открытия дверей.

2. Благодаря записи команд по автоматическому управлению всеми поездами в памяти радиометок вагонная часть системы значительно упрощается по сравнению с альтернативными системами управления движением поездов.

3. Пассивные радиометки не требуют дополнительного источника электропитания и поэтому являются необслуживаемыми. Благодаря малому весу (несколько десятков граммов) они допускают малозатратную установку в расчетных точках на стенах тоннелей и под платформами методом клеевой технологии.

4. Вагонный и станционный радиомодемы размещены под кузовом вагона и под платформой соответственно и находятся на близком расстоянии друг от друга (около 2–5 м в статическом состоянии), они имеют незначительные мощности излучения, не выходящие за допустимые уровни безопасности для пассажиров, а также являются полностью защищенными от влияния многочисленных электромагнитных помех, обусловленных работой электротяговых средств и вагонного оборудования с помощью помехоустойчивого кодирования информации в радиопроводном тракте от вагона до станционного контроллера.

Библиографический список

1. **Применение** RFID-технологий в системе автоведения поездов метрополитена / А. М. Костроминов, М. Ю. Королев, В. В. Гаврилов, Т. В. Крючкова // Известия ПГУПС. – 2009. – Вып. 3. – С.91–97.

2. **Регрессионная** модель зоны радиовидимости меток для системы бесконтактной привязки к пути подвижного состава метрополитена / А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова // Транспорт Урала : научно-технический журнал. – 2012. – № 3 (34). – С. 49–53.

УДК 621.436

В. А. Кручек, В. В. Кручек, П. В. Дворкин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОДЯНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОЗОВ

В настоящее время выполнение графика движения всех видов перевозок, включая пассажирские и грузовые, должно осуществляться с высокой точностью и в кратчайшие сроки. Во многих случаях даже мелкие повреждения систем управления тепловоза вынуждают прекратить эксплуатацию дизеля его секции. Аварийная остановка дизеля во время движения поезда и невозможность быстрого устранения возникшей неисправности вызывают опасность замерзания воды. Следовательно необходимо повысить надежность работы тепловозов, работающих в тяжелых климатических условиях, установив устройство защиты трубопровода водяной системы от размораживания. В настоящей статье рассмотрена конструкция и приведено описание работы устройства автоматического опорожнения водяной системы тепловоза без прекращения движения состава на основе тяжелой воды (D_2O) с учетом погодных условий, гарантирующего защиту трубопроводов от замерзания без участия человека.

водяная система, защита трубопровода, автоматическое устройство защиты.

Введение

Выполнение графика движения всех видов перевозок, включая пассажирские и грузовые, должно осуществляться с высокой точностью и в кратчайшие сроки. Соблюдение этих требований возможно только при наличии высоконадежного тягового подвижного состава. Более половины железных дорог нашей страны не электрифицированные, а часть их пролегает по территориям с суровыми климатическими условиями – в районах крайнего Севера, Дальнего Востока и Сахалина. В качестве тягового подвижного состава на этих участках применяются автономные многосекционные тепловозы или сплотки из нескольких односекционных тепловозов. Эксплуатация тягового подвижного состава сопряжена с опасностью возникновения различных технических неисправностей во время движения поезда. К ним относятся повреждения дизеля, электрических цепей управления дизелем или тепловозом в целом, а также его вспомогательных систем. Во многих случаях даже мелкие повреждения систем управления тепловозом вынуждают прекратить эксплуатацию дизеля секции тепловоза. Аварийная остановка дизеля во время движения поезда и невозможность быстрого устранения возникшей неисправности вызывают опасность замерзания воды в первую очередь в трубопроводах системы теплоснабжения кабины машиниста – водяном калорифере, – а также в других агрегатах дизеля (например, водомасляном теплообменнике) и тепловоза (водяных секциях шахты холодильника и т. д.), которые имеют непосредственную подпитку водой из системы охлаждения дизеля. Подобная ситуация особенно опасна в холодный период времени года в районах Крайнего Севера, где температура воздуха может достигать значительных отрицательных величин, а прекратить движение состава для устранения неисправности или ручного слива воды из водяной системы поврежденной секции тепловоза не представляется возможным. Появление хотя бы одной ледяной пробки нарушает правильную циркуляцию воды по всей системе и способствует возникновению других застойных участков и ледяных пробок. Дальнейшая задержка слива воды из систе-

мы неработающей секции тепловоз приведет к полной блокаде системы и разрушению целостности трубопровода (разрыв у стенок труб), а в дальнейшем значительно увеличит объем ремонтных работ.

На всех отечественных тепловозах слив воды из водяной системы осуществляется, как правило, через вентильный кран, который устанавливается в нижней точке системы на кузове. Такое расположение вентиля должно обеспечить полное опорожнение водяной системы тепловоза, включая самые удаленные и сложные узлы трубопровода. В пути следования слив воды, как правило, осуществляется помощником машиниста принудительно и заблаговременно, после его субъективной оценки погодных условий и возможного замерзания воды. Эта операция проводится в некоторых случаях необоснованно и с перестраховкой. Учитывая, что заправочная жидкость водяных систем тепловозов, изготавливаемая в железнодорожных химических лабораториях, благодаря специальным добавкам обладает определенными эксплуатационными свойствами, она представляет определенную ценность и необоснованный слив ее из системы тепловоза следует считать нерациональным и экономически невыгодным действием.

Поэтому создание устройства автоматического опорожнения водяной системы тепловоза без прекращения его движения с учетом сложившихся погодных условий, гарантирующего защиту трубопроводов от замерзания, является весьма важной и необходимой задачей.

1 Виды и особенности защитных устройств

Существует много бытовых и промышленных устройств для защиты водяных систем и резервуаров от разрушения при замерзании воды. Как правило, выпускные устройства вместе со сливным отверстием заключаются в теплоизоляционную оболочку и размещаются в самой нижней точке защищаемой системы, тем самым гарантируя полный слив воды при понижении температур воздуха и замерзании воды [1]. Основным недостатком этих устройств является то, что срабатывание клапана для слива жидкости происходит при повышении давления в защищаемом объеме и при уже начавшейся кристаллизации воды. При этом не гарантировано, что лед в самом устройстве защиты образуется раньше, чем в защищаемых объектах. Естественно, что блокирование сливного аварийного устройства льдом до момента срабатывания клапана влечет за собой также повреждение защищаемого объекта. Основной причиной замерзания аварийного сливного устройства является водяной конденсат внутри самого устройства. При наличии конденсата воды в устройстве, а также при сливе кристаллизующейся жидкости через его сливные каналы возможны намерзание льда в сливных проходах и закупорка льдом сливного отверстия, приводящая к невозможности дальнейшего слива воды из защищаемой системы. Таким образом, подобное сливное устройство не отвечает своему основному назначению – защите водяной системы от разрушения и надежности в эксплуатации.

Несколько лучшим по техническим требованиям и эксплуатационным возможностям в холодное время года является устройство защиты от замерзания, подразумевающее теплоизоляцию трубопровода с исполнительным механизмом для слива из него воды. Исполнительный механизм состоит из водопроводного вентиля, закрепленного на резьбе патрубка, вваренного в трубопровод горячего водоснабжения и выполненного с возможностью микроциркуляции в патрубке горячей воды для поддержания в вентиле положительной температуры. Головка водопроводного вентиля выполнена в виде сильфона, внутренняя поверхность которого имеет форму конуса, к которому присоединены два витка гофрированной нержавеющей трубы, другим концом они присоединены к донышку. Причем последнее соединено со штоком, который содержит клапан, перекрывающий седло вентиля. Недостатком этого устройства является то, что температура срабатывания исполнительного механизма и температура

кристаллизации воды в защищаемом трубопроводе одинаковые, что также не гарантирует более раннего образования ледяных пробок в защищаемом трубопроводе, чем в устройстве. Исполнительный механизм находится вне защищаемого трубопровода, и температура его срабатывания в значительной степени зависит от температуры окружающей среды, а не от температуры воды, находящейся в трубопроводе. Нарушение микроциркуляции воды в исполнительном механизме влечет за собой преждевременное срабатывание или вовсе несрабатывание исполнительного механизма. Также возможны ложные срабатывания или несрабатывание исполнительного механизма из-за повреждения теплоизоляции самого трубопровода. Поэтому требуется не только наличие надежной теплоизоляции трубопровода, но и постоянный контроль состояния теплоизоляции защищаемых трубопроводов. При эксплуатации конструкции, в которой весь исполнительный механизм находится снаружи трубопровода, вне контролируемой жидкости, возможно намерзание льда на наружной поверхности механизма и блокирование его работы. Начало образования льда в исполнительном механизме будет происходить на внутренней поверхности полости сильфона, что также может привести к блокированию льдом и отказу исполнительного механизма до момента срабатывания. Кроме того, конструкция устройства не предусматривает многократного срабатывания – для повторного использования устройства (после срабатывания) необходимо применять ручную настройку. Поэтому подобное конструктивное исполнение полностью не обеспечивает надежного функционирования устройства.

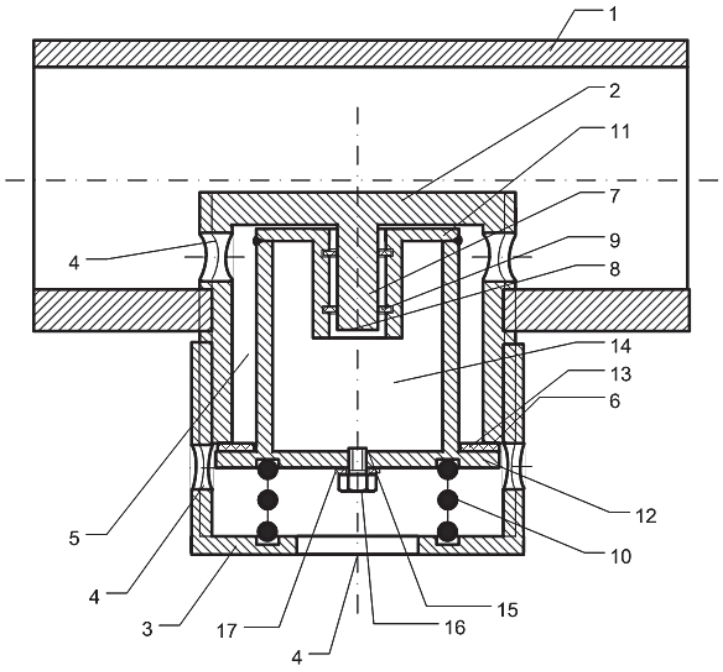
2 Устройство для защиты трубопровода водяной системы тепловоза от размораживания

Учитывая предыдущий опыт создания устройств, предохраняющих водяные системы тепловозов от размораживания, предлагается автоматическое клапанное устройство, которое способно обеспечить повышенную надежность защиты водяных систем тепловозов от размораживания в холодное время года при аварийных транспортировках или временном отстое на открытых площадках без вмешательства человека.

Устройство для защиты трубопровода водяной системы тепловоза от размораживания представлено на рисунке.

Устройство для защиты трубопровода от разрушения при замерзании воды смонтировано на защищаемом трубопроводе. Конструкция устройства содержит исполнительный механизм для слива воды, состоящий из корпуса с крышкой, сливными отверстиями, промежуточной полостью и седлом корпуса, направляющей с нижней поверхностью, уплотнительными кольцами, подпружиненного пружиной поршня с донышком. Донышко выполнено в виде клапана с уплотнительной прокладкой. Внутренняя полость подвижного поршня устройства заполняется тяжелой водой (D_2O). В донышке подвижного поршня имеется резьбовое отверстие, закрываемое винтом с герметизирующей прокладкой.

Технический результат достигается тем, что устройство монтируется на трубопроводе защищаемой водяной системы рядом со штатным вентилем слива. В корпусе устройства установлен исполнительный механизм для слива воды с клапаном, перекрывающим седло корпуса, а также винт с герметизирующей прокладкой. Корпус снабжен крышкой в нижней части, в стенках корпуса и крышки находятся сливные отверстия. Верхняя часть корпуса исполнительного механизма выполнена с направляющей, на которой установлен поршень с уплотнительными кольцами и возможностью вертикального перемещения, причем нижняя поверхность направляющей находится в центре внутренней полости поршня, подпружиненного относительно крышки корпуса исполнительного механизма. Внутренняя полость поршня заполнена тяжелой водой (D_2O), причем донышко поршня является клапаном, а корпус исполнительного механизма закреплен внутри защищаемого трубопровода.



Устройство автоматического аварийного клапана слива жидкости из водяной системы тепловоза: 1 – трубопровод; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – сливные отверстия; 5 – промежуточная полость; 6 – седло корпуса; 7 – направляющая; 8 – нижняя поверхность; 9 – уплотнительные кольца; 10 – пружина; 11 – поршень; 12 – донышко; 13 – уплотнительная прокладка; 14 – внутренняя полость поршня; 15 – резьбовое отверстие; 16 – винт; 17 – герметизирующая прокладка

Устройство работает следующим образом. При температуре выше 3,84 градусов Цельсия внутренняя полость подвижного поршня *14* через резьбовое отверстие *15* полностью заполняется тяжелой водой (D_2O), винт *16* закручивают, герметизируя резьбовое отверстие *15* герметизирующей прокладкой *17*. Защищаемая система заполняется водой, которая через промежуточную полость *5* омывает поршень *11*. За счет теплопередачи температура воды в защищаемом объеме и температуры поршня и его внутренней полости *14*, заполненной тяжелой водой, выравниваются. При снижении температуры рабочей жидкости в защищаемом объеме до 3,84 градусов Цельсия тяжелая вода во внутренней полости подвижного поршня начинает кристаллизоваться на внутренних стенках, причем кристаллизация в центре внутренней полости начнется позже, чем на внутренних стенках поршня, что обеспечивает отсутствие блокирования исполнительного механизма. Кристаллизация тяжелой воды во внутренней полости подвижного поршня вызовет рост давления в ней, в том числе между нижней поверхностью *8*, направляющей *7* и донышком *12* подвижного поршня, чем обеспечивается перемещение подвижного поршня вниз, вдоль направляющей. Поршень, преодолевая сопротивление пружины *10*, отрывает донышко с уплотнительной прокладкой *13* от седла корпуса *6*. Сливные отверстия *4* через промежуточную полость *5* соединяются между собой и вода сливается из защищаемого трубопровода. Работоспособность системы автоматически восстанавливается при заполнении защищаемого объема водой, имеющей температуру выше 3,84 градусов Цельсия или при повышении температуры окружающей среды. При этом обеспечивается надежность срабатывания данного устройства без участия человека.

Выводы

1. Устройства автоматического опорожнения водяной системы позволяет повысить надежность тепловозов, работающих в тяжелых климатических условиях.

2. Применение предложенного устройства на тепловозах позволяет выполнить график движения перевозок и гарантированно защищает трубопровод водяной системы локомотива от замерзания без участия человека.

Библиографический список

1. **Патент** на изобретение RU № 2037605, E03B7/10, 19.06.1995.

2. **Патент** на изобретение RU № 2343247, E03B7/10, 12.04.2007.

УДК 656

О. Б. Маликов, И. Ю. Согрин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Грузы могут доставляться железнодорожным транспортом различными способами: в маршрутных поездах, групповыми, повагонными и мелкими отправками, в различных контейнерах. При организации грузопотоков на основе принципов деловой логистики специалистам – представителям компаний грузовладельцев – приходится выбирать и обосновывать один из этих способов как наиболее эффективный. Однако для сотрудников, не работающих на железнодорожном транспорте, расчеты провозных плат представляют трудновыполнимую задачу. В статье приведены результаты исследований, позволяющие обоснованно выбрать наиболее эффективные способы перевозок, не выполняя подробных расчетов по всем конкурентоспособным вариантам доставки грузов железнодорожным транспортом.

железнодорожный транспорт, тарифы, перевозки, вагоны, контейнеры, повагонная отправка.

Введение

Перед сотрудниками грузовладельца или экспедиторской компании, которые планируют организацию перевозок, стоит сложная задача выбрать обоснованно один из способов доставки грузов, определив его стоимость и технические параметры технологий и условий перевозок. Даже если не принимать во внимание автомобильный вид транспорта, а выбрать только железнодорожный, приходится выполнять сложные и трудоемкие расчеты по 9–10 вариантам:

- групповая повагонная отправка;
- маршрутная отправка в крытых вагонах;
- маршрутная отправка в контейнерах;
- контейнерная отправка в 20-футовых контейнерах;
- контейнерная отправка в 40-футовых контейнерах;
- отправка в контейнерах инвентарного парка РЖД;
- отправка в контейнерах оператора-экспедиторской компании;
- контейнерная отправка на фитинговых платформах разных типов;

• контейнерная отправка полными и неполными комплектами на вагон;

• мелкая отправка в крытых вагонах и т. д. [1].

Известно, что определение провозной платы основано на использовании Тарифного руководства [2], включающего десяток книг, частей и разделов и позволяющего рассчитать провозную плату с точностью до 1 рубля. Однако для технико-экономического обоснования и выбора способа перевозок железнодорожным транспортом не требуется такая точность расчетов: достаточно определить порядок величин стоимости перевозок по вариантам и сравнить их между собой [3]. Специалистам по логистике, не знакомым с железнодорожным транспортом и с тарифными руководствами, невозможно выполнить эти расчеты и обоснованно выбрать способ перевозки грузов.

В таких случаях могут быть применены приближенные методы определения провозной платы для основных способов доставки грузов железнодорожным транспортом, которые рассматриваются в этой статье.

1 Стоимость доставки грузов в крытых вагонах

Стоимость перевозки 1 тонны грузов повагонными отправками определялась по формуле (руб/т):

$$c = \frac{C_1(L)}{q_в}, \qquad (1)$$

где $C_1(L)$ – провозная плата за вагон, по [2], зависящая от расстояния перевозки L в соответствии с тарифной схемой И1, руб/вагон; $q_в$ – нагрузка вагона, т/вагон.

Результаты исследований для нагрузки вагонов 10–40 т приведены в табл. 1 и на рисунке.

Анализ графиков (см. рис.) показывает, что графики функции $C\,(L)$ представляют собой не прямые линии (хотя и близки к прямым), а кривые с незначительной выпуклостью вверх.

Были выведены формулы, аппроксимирующие эти линии графиков функции $C_1(L)$ кусочно-линейными функциями по участкам железнодорожной сети длиной 520–800 км (расстояния примерно с одной промежуточной технической станцией) [3].

Эти зависимости выведены в соответствии с правилами аналитической геометрии на плоскости, по которым формула линейной функции $y = f(x)$, соединяющей две точки с координатами $A_1\,(x_1, y_1)$ и $A_1\,(x_2, y_2)$, определяется из выражения:

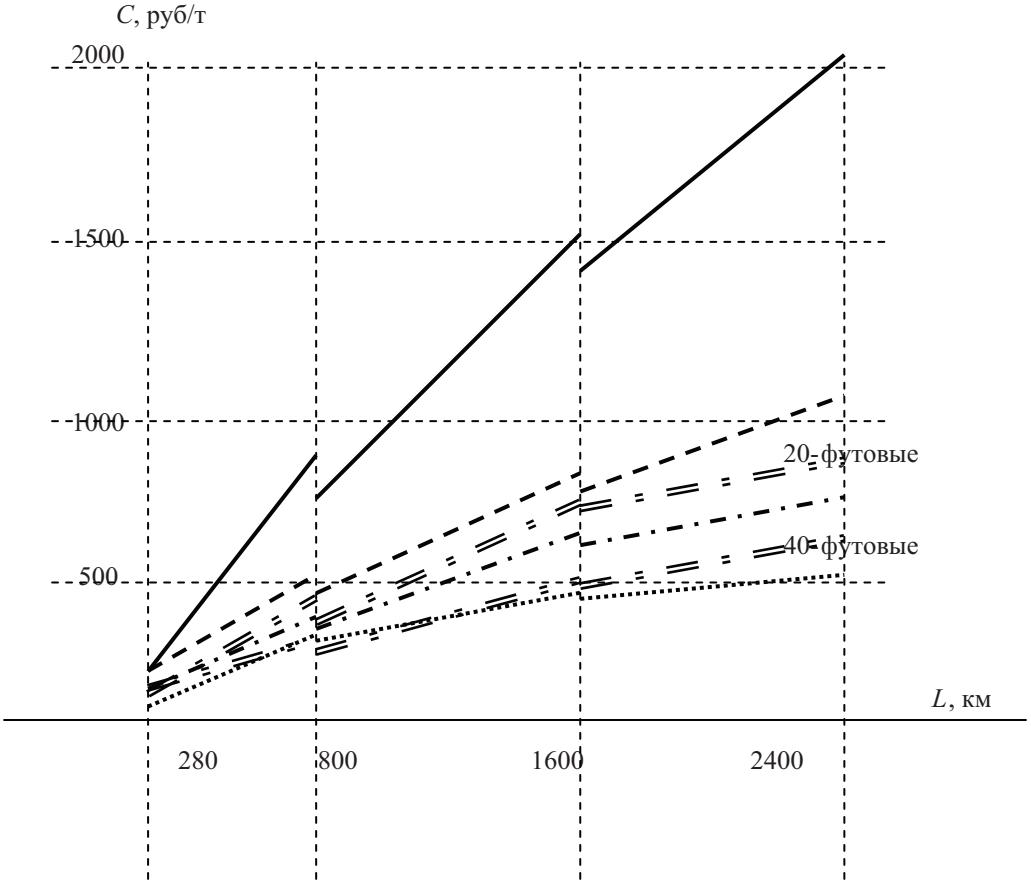
$$\frac{x - x_1}{x - x_1} = \frac{y - y}{y_2 - y}. \qquad (2)$$

Решая это уравнение относительно y, получаем:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot x + \frac{y_1(x - x_1) - x(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}. \qquad (3)$$

ТАБЛИЦА 1. Стоимость перевозки 1 тонны груза в крытых вагонах РЖД повагонными отправками [2]

Нагрузка вагона q, т	Расстояния перевозок							
	280 км		800 км		1600 км		2400 км	
	$C_1(L)$	С	$C_1(L)$	С	$C_1(L)$	С	$C_1(L)$	С
10 т	4734	473	8924	892	14 843	1484	20 211	2021
20 т	4838	242	9195	460	15 351	768	20 934	1047
30 т	4942	165	9467	316	15 859	529	21 658	722
40 т	5046	126	9739	243	16 367	409	22 379	560



Зависимости стоимости перевозки штучных грузов *C* повагонными отправками при загрузке вагона 10 т (——), 20 т (– · – · –), 30 т (– – – – –) и 40 т (·····) и контейнерных перевозок (: = : = : :) от расстояния перевозок *L*

Используя эту общую формулу, выводим формулы для отдельных рассматриваемых участков расстояний перевозок грузов кусочно-линейных функций стоимости перевозок 1 т грузов (в руб), которые имеют следующий вид:

для расстояний перевозки *L* – [280, 800]:

$$C = 0{,}419\,L + 125; \qquad (4)$$

для расстояний перевозки *L* – [800, 1600]:

$$C = 0{,}385\,L + 152; \qquad (5)$$

для расстояний перевозки *L* – [1600, 2400]:

$$C = 0{,}349\,L + 210. \qquad (6)$$

Анализ показывает, что с увеличением расстояния перевозок коэффициент перед переменной *L* уменьшается, а свободный член увеличивается. Эта закономерность обуславливает небольшую выпуклость кривой *C* (*L*) верх.

2 Контейнерные перевозки

Провозная плата за контейнерные перевозки определяется по Тарифному руководству (часть 1, пункт 2.11, стр. 23 и приложению 5, таблица 10, стр. 92) с коэффициентом 0,8 для крупнотоннажных контейнеров по тарифным схемам 88 для 20-футовых контейнеров и 89 – для 20-футовых контейнеров [2].

Стоимость перевозок 1 тонны грузов контейнерными отправками определялась по формуле (руб/т):

$$C_{к} = \frac{C_2(L)}{q_{к}}, \qquad (7)$$

где $C_2(L)$ – провозная плата за контейнер, по Тарифному руководству 1, зависящая от расстояния перевозки L, руб/конт., в соответствии с тарифными схемами 88 для 20-футового контейнера и 89 – для 40-футового контейнера, руб/конт. [2]; $q_{к}$ – нагрузка контейнера, т/конт. (12 т для 20-футовых контейнеров и 24 т – для 40-футовых контейнеров).

Результаты исследований приведены в табл. 2 и на рисунке.

Анализ графиков (см. рис.) показывает, что графики функции $C_2(L)$ для крупнотоннажных контейнеров представляют собой не прямые линии (хотя и близки к прямым), а кривые с незначительной выпуклостью вверх.

Были выведены формулы, аппроксимирующие эти линии графиков функции $C_2(L)$ кусочно-линейными функциями по участкам длиной 520–800 км (расстояние примерно с одной промежуточной технической станцией).

Для этого была использована общая формула (3), построенная на основании общих правил аналитической геометрии на плоскости и выведенная для условий перевозок штучных грузов в крытых вагонах.

Для контейнерных перевозок грузов вид этих кусочно-линейных функций стоимости перевозок 1 т грузов (в руб) для тех же интервалов расстояний перевозок показан в табл. 3.

Обращает на себя внимание то, что угловые коэффициенты линейных функций для 20-футовых и 40-футовых контейнеров одинаковые для одних и тех же расстояний перевозок этих контейнеров, а свободные члены в этих функциях меньше при перевозках в более крупных 40-футовых контейнеров. Это показывает, что линейные функции, отображающие стоимость перевозок в контейнерах разных типов, параллельны друг другу и разница в стоимости перевозок в 20-футовых и 40-футовых контейнерах зависит не от расстояния перевозок, а от дополнительных затрат железнодорожного транспорта на эти перевозки.

С увеличением расстояния перевозок коэффициент перед переменной L уменьшается, а свободный член увеличивается. Эта закономерность обуславливает небольшую выпуклость кривой $C_2(L)$ вверх и прибли-

ТАБЛИЦА 2. Стоимость перевозки 1 тонны груза в крупнотоннажных контейнерах общего парка РЖД [2]

Нагрузка контейнера $q_{к}$, т	Расстояния перевозок							
	280 км		800 км		1600 км		2400 км	
	$C_2(L)$	$C_{к}$	$C_2(L)$	$C_{к}$	$C_2(L)$	$C_{к}$	$C_2(L)$	$C_{к}$
20-футового 12 т	3121,3	260	4585,3	382	6653,4	554	8529,1	711
40-футового 24 т	4908,9	205	7836,9	327	11 973,0	499	15 724,6	655

ТАБЛИЦА 3. Кусочно-линейные функции стоимости перевозок 1 т грузов $C_2(L)$ в крупнотоннажных контейнерах, руб/т

Тип контейнеров	Функция $C_2(L)$ для интервалов расстояний перевозок:		
	280–800 км	800–1600 км	1600–2400 км
20-футовые	$C_2(L) = 0{,}235L + 194$	$C_2(L) = 0{,}215L + 210$	$C_2(L) = 0{,}195L + 240$
40-футовые	$C_2(L) = 0{,}235L + 139$	$C_2(L) = 0{,}215L + 155$	$C_2(L) = 0{,}195L + 187$

жение ее линии к параллельной оси абсцисс линии при расстояниях больших расстояний перевозок (5–7 тыс. км).

3 Проверка результатов исследования

Была выполнена проверка результатов исследования на предмет отклонения полученных по ним результатов от данных о стоимости перевозок в Прейскуранте 10-01 [2], ее результаты приведены в табл. 4.

По повагонным отправкам в крытых вагонах проверка была проведена для загрузки вагона 20 т (как обычно бывает для большинства тарно-штучных грузов), а по контейнерным перевозкам – для 40-футовых контейнеров.

Как показали результаты сравнения, приведенные в табл. 3, отклонение стоимости перевозок повагонными отправками и в контейнерах, полученные по предлагаемым формулам, от нормативных данных по Прейскуранту 10-01 получаются незначительные – от 0,4 до 1,4 %. Таким образом, приведенные в статье формулы вполне могут быть рекомендованы для использования при технико-экономических обоснованиях выбора способа перевозок грузов в логистических цепях доставки.

Заключение

Выполненные расчеты и исследования стоимости перевозок штучных грузов железнодорожным транспортом разными способами позволяют сделать следующие выводы:

1. Контейнерные перевозки грузов почти всегда выгоднее для грузовладельцев по сравнению с перевозками в крытых вагонах.

2. Перевозки в 40-футовых контейнерах дешевле по сравнению с перевозками в 20-футовых контейнерах.

3. Выведенные в этой статье формулы могут быть использованы для обоснования способа и технологии перевозок грузов без обращения к сложным расчетам по тарифным руководствам.

4. Тарифные руководства [2] могут быть использованы только для окончательных

ТАБЛИЦА 4. Проверка результатов расчетов стоимости перевозок по выведенным формулам и по Прейскуранту 10-01 [2]

Показатели	Расстояния перевозок		
	540 км	1200 км	2000 км
Повагонные отправки при нагрузке вагона 20 т			
Стоимость по Прейскуранту, руб: – в расчете на вагон – за 1 тонну груза	 7071 353	 12 413 623	 18 248 912
Стоимость по формулам в расчете на 1 тонну	351	614	908
Относительная разница стоимостей	0,6 %	1,4 %	0,4 %
Перевозка в 40-футовых контейнерах при нагрузке 24 т			
Стоимость по Прейскуранту, с k = 0,8, руб: – в расчете на контейнер – за 1 тонну груза	 6409,2 267	 10 032,3 418	 13 919,8 580
Стоимость по формулам в расчете на 1 тонну	266	413	577
Относительная разница стоимостей	0,4 %	1,2 %	0,5 %

точных расчетов провозной платы при заключении договора перевозок грузов железнодорожным транспортом.

Библиографический список

1. **Тарифы** на перевозки грузов // О. А. Комина, В. Н. Кустов, А. А. Семеркин, Т. Г. Сергеева. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2004. – С. 80.

2. **Прейскурант** 10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами. Тарифное руководство 1, Ч. 1 и 2. – Москва : Бизнеспроект, 2003. – Ч. 1. – 160 с. ; Ч. 2. – 464 с.

3. **Управление** грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте / ред. А. А. Смехова. – Москва : Транспорт, 1990. – С. 351.

УДК 621.87

А. С. Хрущёв, М. С. Яшкин, Г. И. Тихомиров
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

С. В. Орлов
ФГУП «Гознак»

РАЗРАБОТКА НАВЕСНОГО ОТВАЛА С УЛУЧШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ

Современные тенденции к повышению экономичности производственно-сервисной сферы неразрывно связаны с внедрением мультифункциональных машин, позволяющих решать широкий круг задач с использованием одного шасси.

В статье рассмотрены новейшие тенденции развития мультифункциональной техники и варианты существующего навесного оборудования, проанализированы недостатки некоторых устройств, также приведены конкретные примеры навесных устройств для модернизации техники, разработанных с применением компьютерных программ автоматизированного проектирования машин и механизмов.

Результаты работы позволяют оценивать производственные возможности рынка отечественных навесных устройств как перспективные.

мультифункциональная техника, навесное оборудование, навесные устройства, виртуальное проектирование узлов и металлоконструкций, автоматизированное проектирование.

Введение

В настоящей статье рассматриваются примеры создания навесных устройств для отечественной и зарубежной мультифункциональной техники с использованием компьютерных программ автоматизированного проектирования машин и механизмов Компас и SolidWorks. Рассмотренные примеры являются результатом проектных работ, проводившихся по заказу фирм-производителей в Петербургском государственном Университете путей сообщения императора Александра I на кафедре «Автоматизированное проектирование». Результаты работ внедрены в производство.

1 Существующие образцы средств механизации работ

В условиях постоянно возрастающего уровня механизации погрузочно-разгрузоч-

ных, складских, транспортных, уборочных и сельско-хозяйственных работ для российского внутреннего рынка формируется соответствующее предложение машин и механизмов как отечественного, так и зарубежного производства, предназначенных для решения широкого круга обозначенных задач. Следует отметить, что крупные специализированные машины наподобие «УРАЛ-4320-41» (рис. 1), являясь дорогостоящими (до 4-х млн рублей [1]), предназначены для решения масштабных задач и не обладают развитой полифункциональностью, вследствие чего оказываются нерентабельными для малых предприятий, в связи с чем все большее применение находят многофункциональные компактные машины, обладающие модульной конструкцией (рис. 2), что позволяет создавать на их базе разнообразные конфигурации механизированных устройств, способных решать широкий круг задач при использовании одного и того же шасси [2].

Сегодня на рынке представлен широкий ассортимент навесного оборудования [3],

Рис. 1. Автомобиль для расчистки взлетно-посадочных полос аэродромов «УРАЛ-4320-41»

Рис. 2. Мультифункциональный трактор «Mustang»

причем до 70% от него составляет оборудование зарубежного производства (рис. 3–6):

Рис. 3. Навесное устройство «Захват ковшовый»

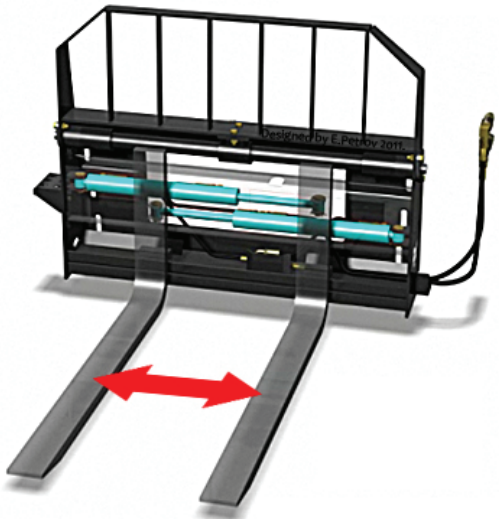


Рис. 4. Навесное устройство «Вилы раздвижные паллетные»

2 Новые тенденции развития рынка навесных устройств для мультифункциональных машин

Мировой финансовый кризис заставил руководителей многих эксплуатационных служб по-новому взглянуть на рентабельность эксплуатируемых машин. Это привело к возникновению спроса на более дешевые отечественные модели навесного оборудования, которые позволили бы решать стоящие задачи при меньших затратах. В связи с этим сегодня на территории России развивается ряд производств, призванных удовлетворить возникающий в данной области спрос.

Между тем многие разновидности обозначенного оборудования являются достаточно сложными, требующими профессионального подхода к проектированию, прочностным расчетам и изготовлению, что является комплексной задачей, которую не всегда удается выполнить силами отдельно взятого производственного предприятия. В частности, весной 2010 г. ОАО «Автоспецоборудование» (г. Великий Новгород) обратилось в Университет путей сообщения с просьбой о содействии в изготовлении навесного устройства для новой модели мультифункционального грузового автомобиля «Силант» (рис. 7).

Вариант устройства, представленный специалистами завода (рис. 8), в ходе экспертизы

Рис. 5. Навесное устройство «Пила дисковая»

Рис. 6. Навесное устройство «Бур шнековый»

Рис. 7. Работа по созданию навесного устройства, выполненная кафедрой «Автоматизированное проектирование» ПГУПС

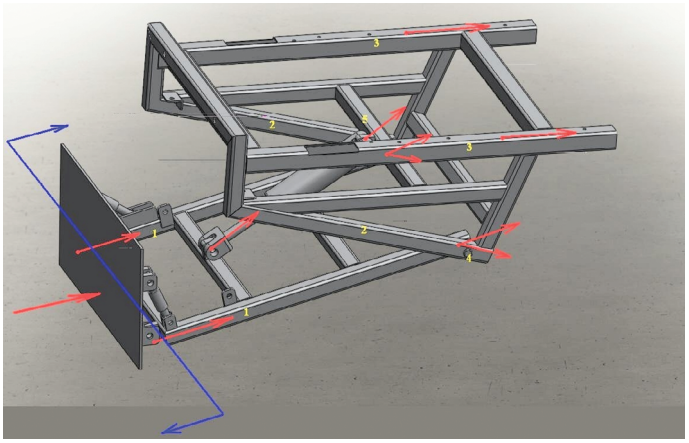


Рис. 8. Вариант навесного устройства, предложенный к модернизации

был признан не вполне отвечающим требованиям надежности, поскольку обладал недостаточной прочностью и пространственной жесткостью, что вызывало интенсивные колебания отвала в процессе движения грузовика. С учетом всех требований к конструкции и технических данных, представленных заводом, специалистами кафедры была разработана конструкция с применением программ 3D-моделирования и изготовлен предсерийный образец навесного устройства усиленной версии (рис. 9), лишенный выявленных в ходе предварительной экспертизы недостатков. При разработке и проверочных расчетах широко применялись компьютерные технологии, позволившие спрогнозировать реакцию конструкции на совокупность эксплуатационных факторов. Проектирование производилось в программе «Компас», а проверочные расчеты (рис. 10) выполнялись в программе «Solid Works» [4].

В результате проведенного виртуального эксперимента было установлено, что принятые сечения элементов конструкции имеют повышенный запас прочности (прогнозируемые напряжения не превышают 220 МПа). Такое конструктивное решение обусловлено тем, что с целью повышения технологичности и снижения стоимости сборки устройства, а также ввиду коррозионно-агрессивных ус-

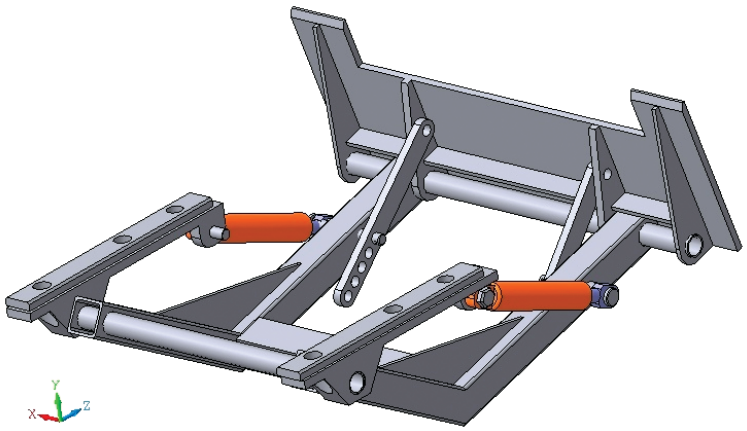


Рис. 9. Вариант навесного устройства повышенной прочности, предложенный специалистами кафедры «Автоматизированное проектирование» ПГУПС

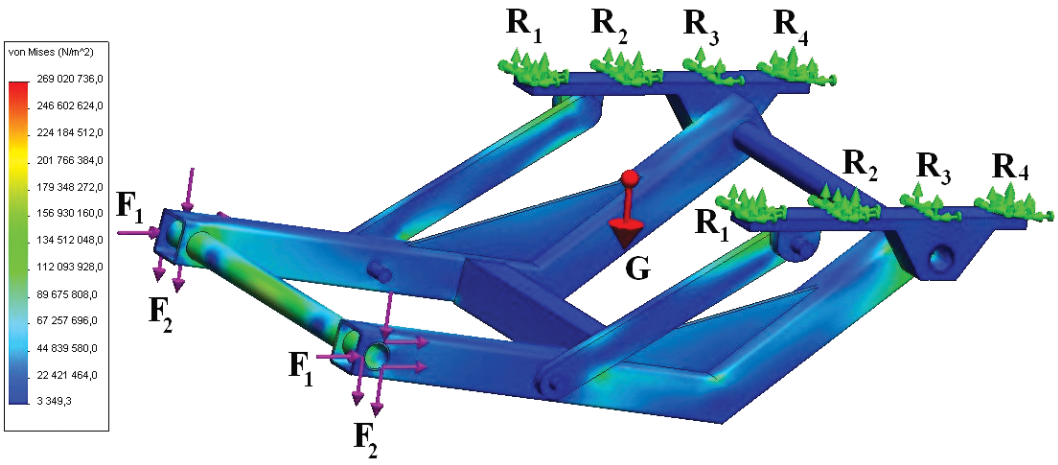


Рис. 10. Моделирование нагружения навесного устройства внешними силами и реакциями в программе «Solid Works». Цветом показаны внутренние напряжения

ловий его эксплуатации используется стандартный металлопрокат.

По результатам проектирования был составлен комплект конструкторской документации и изготовлен опытный образец навесного устройства с гидравлическим приводом (рис. 11), отвечающий специфическим требованиям прочности и пространственной жесткости для работы в условиях динамических и несимметрично приложенных внешних нагрузок.

Натурные испытания опытного образца получили высокую оценку заказчика. В настоящее время разработанная модель навесного устройства серийно выпускается на заводе «АСО» для мультифункциональных грузовиков «Силант» (рис. 12). Все права на устройство были переданы заводу «АСО» в соответствии с договором на производство работ по проектированию и изготовлению навесного устройства.

Вторым направлением развития навесного оборудования является создание подобных устройств для импортной техники в качестве альтернативы зарубежным аналогам. Такая работа, в частности, была проведена кафедрой «Автоматизированное проектирование» ПГУПС для ООО «Марс» (г. С-Петербург) с целью модернизации машины «Dulevo» итальянского производства (рис. 13), являющей-

Рис. 11. Изготовленное кафедрой «Автоматизированное проектирование» ПГУПС навесное устройство

Рис. 12. Готовое навесное устройство смонтировано на автомобиль «Силант»

Рис. 13. Уборочная машина «Dulevo» (Италия)

ся одной из моделей мультифункциональной техники, поставляемой в Россию [5].

Перед специалистами кафедры была поставлена задача – разработать и изготовить опытный образец навесного устройства вместо существующего, которое бы позволяло расширить ассортимент устанавливаемых на машину дополнительных устройств: большой щетки и отвала для расчистки снега. Следует отметить, что изначально машина «Dulevo» конструктивно не предназначена для выполнения указанных операций. Соответственно проблема состояла в необходимости, с одной стороны, выполнить условие прочности навесного устройства, а с другой – сохранить сам автомобиль от повреждений в случае превышения нагрузки на устройство сверх допустимой величины.

Для выполнения поставленной задачи нами был предложен вариант устройства (рис. 14–16), разработанного с учетом принципа «слабого звена», в качестве которого выступают упорные штанги, воспринимающие нагрузку от отвала и передающие ее через шпильки на опорные части кузова машины.

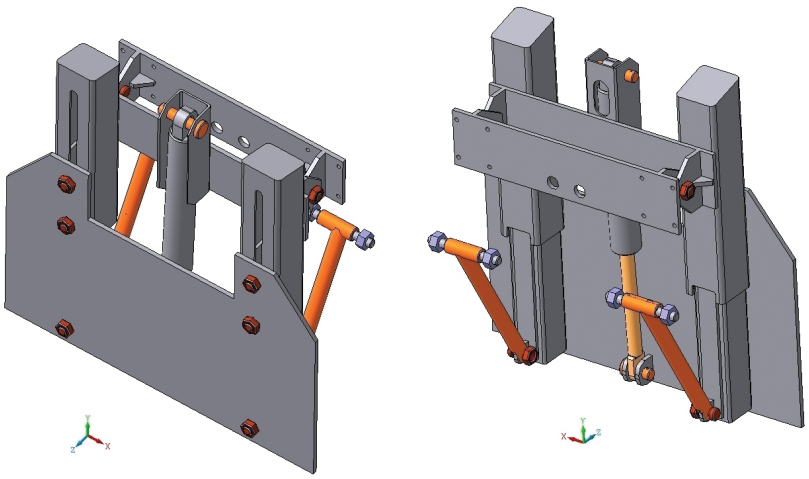


Рис. 14. Разработанное кафедрой «Автоматизированное проектирование» навесное устройство для машины «Dulevo»

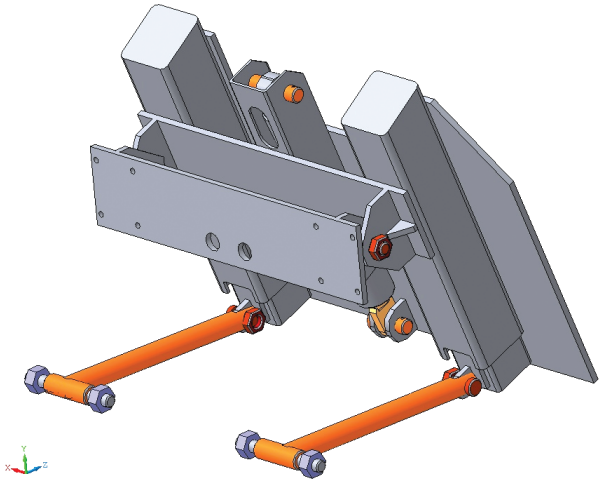


Рис. 15. Навесное устройство для машины «Dulevo» в транспортном положении

Рис. 16. Изготовленное навесное устройство смонтировано на машину «Dulevo»-

В случае перегрузки штанги изгибаются либо наступает срез опорных шпилек, при этом навесное устройство поворачивается относительно верхней опоры и работа машины прекращается.

Подъем навесного оборудования в транспортное положение производится гидроцилиндром, причем телескопические опоры вдвигаются и устройство переходит в верхнее положение, вращаясь вокруг горизонтальной оси.

Заключение

Исходя из рассмотренных примеров можно утверждать, что данная методика модернизации существующих и создания новых типов навесных устройств может быть успешно применена и на других машинах в этом секторе рынка, что весьма положительно для перспектив развития отечественного производства мультифункциональной тех-

ники. Таким образом, развитие рынка навесного оборудования отечественного производства имеет реальные перспективы не только для российских, но и для зарубежных моделей машин.

Библиографический список

1. **Модельный** ряд грузовиков «Урал» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sak77.ru/ural-bortovie/.

2. **Модели** мультитракторов [Электронный ресурс]. – Режм доступа: http://multione-rus.ru/.

3. **Модельный** ряд навесных устройств для мультифункциональной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tehnopark21.ru/catalog/bobcat/naveska/.

4. **Программное** обеспечение «Solid Works» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.solidworks.spb.ru/.

5. **Клининговая** техника «Dulevo» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dulevo-rus.ru/.

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 624.138

С. И. Алексеев, Р. Р. Хисамов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШПУНТОВОЙ ОБОЙМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

Оценивается влияние конструктивной шпунтовой обоймы на несущую способность основания. Выполнено моделирование работы основания в шпунтовой обойме на песчаных грунтах. Рассмотрены условия моделирования НДС основания. Показано, что несущая способность оснований усиливаемых фундаментов возрастает пропорционально длине используемой шпунтовой обоймы. Приведено сопоставление результатов аналитического и численного решений, которые имеют удовлетворительную сходимость, что позволяет разработанный инженерный метод расчета взятого в обойму основания считать вполне обоснованным.

основание, фундамент, шпунт, обойма, несущая способность, моделирование.

Введение

Как при новом строительстве, так и при реконструкции зданий на слабых грунтах необходимо проводить целый ряд мероприятий, направленных на улучшение механических свойств грунтов и работы основания в целом. Все методы улучшения искусственных оснований можно разделить на три вида: конструктивные, механические и физико-химические. Одним из конструктивных методов является использование устройства шпунтового ограждения.

Изучением работы основания взятого в обойму занимались такие ученные, как Ю. Н. Мурзенко, Г. М. Борликов, А. В. Пилягин, Р. А. Усманов и др. Выполненные в данной области исследования позволили сделать вывод об эффективности использования таких конструкций для повышения несущей способности основания. За счет ограничения шпунтовой обоймы боковых перемещений грунта в наиболее напряженной зоне основания, а также улучшения условий работы основания на уровне низа обоймы несущая способность фундаментов в обойме возрастает в несколько раз. Применение таких конструкций позволило значительно сократить стоимость реконструктивных работ при усилении оснований, а также снизить осадки сооружения.

Ввиду отсутствия инженерного метода расчета фундаментов в обойме такие конструкции не нашли широкого применения в практике.

1 Экспериментальные исследования

В лаборатории оснований и фундаментов НПИ с 1967 г. под руководством Ю. Н. Мурзенко проводились экспериментальные исследования фундаментов с оболочками. Крупномасштабные исследования в лабораторных условиях выполнялись на испытательной машине МФ-1 в лотке 3×3×2,2 м,

заполненном среднезернистым песком. Перед опытами песок перекапывался, послойно выравнивался и уплотнялся до 1,74–1,75 кг/см^3. Моделью фундамента служил штамп диаметром 400 мм, а моделью оболочки – металлическое кольцо диаметром 530 мм и высотой 260 мм [1].

Графики нагрузка-осадка для фундамента как с оболочкой, так и без оболочки представлены на рис. 1.

По результатам выполненных опытов предельная нагрузка на фундамент с оболочкой составила 30–33 т, а без оболочки – 6–7,2 т. Эпюры контактных напряжений под фундаментом в оболочки не изменяли своего очертания в процессе нагружения, а график осадок близок к прямой лини. Аналогичные наблюдения были зафиксированы Р. А. Усмановым при исследовании резервуаров на слабом основании, ограниченном по контуру забивными сваями [2]. Устройство такой конструктивной обоймы позволило существенно снизить стоимость работ при устройстве резервуаров в Западной Сибири.

С целью оценки эффективности использования шпунтовой обоймы было выполнено моделирование НДС работы основания без возможности бокового расширения.

В качестве моделей использовались железобетонные квадратные штампы площадью 500 и 750 см^2. Для данных полевых испытаний обоймой служила металлическая труба квадратного сечения со стороной 30 см. Моделью основания в опытах выбран песчаный грунт, который является одним из типичных грунтов естественных оснований [3].

Перед каждым опытом грунт доводился до одинакового состояния, плотность грунта контролировалась статическим плотномером СПГ-1М, а также отбором образцов для лабораторных испытаний.

Нагрузочная рама установки для проведения испытаний вдавливающей нагрузкой (рис. 2) состояла из двух винтовых свай длиной 3,5 м с диаметром лопасти 250 мм. К сваям были приварены опорные пластины, на которые установлен швеллер № 24. Нагрузка на штампы передавалась ручным

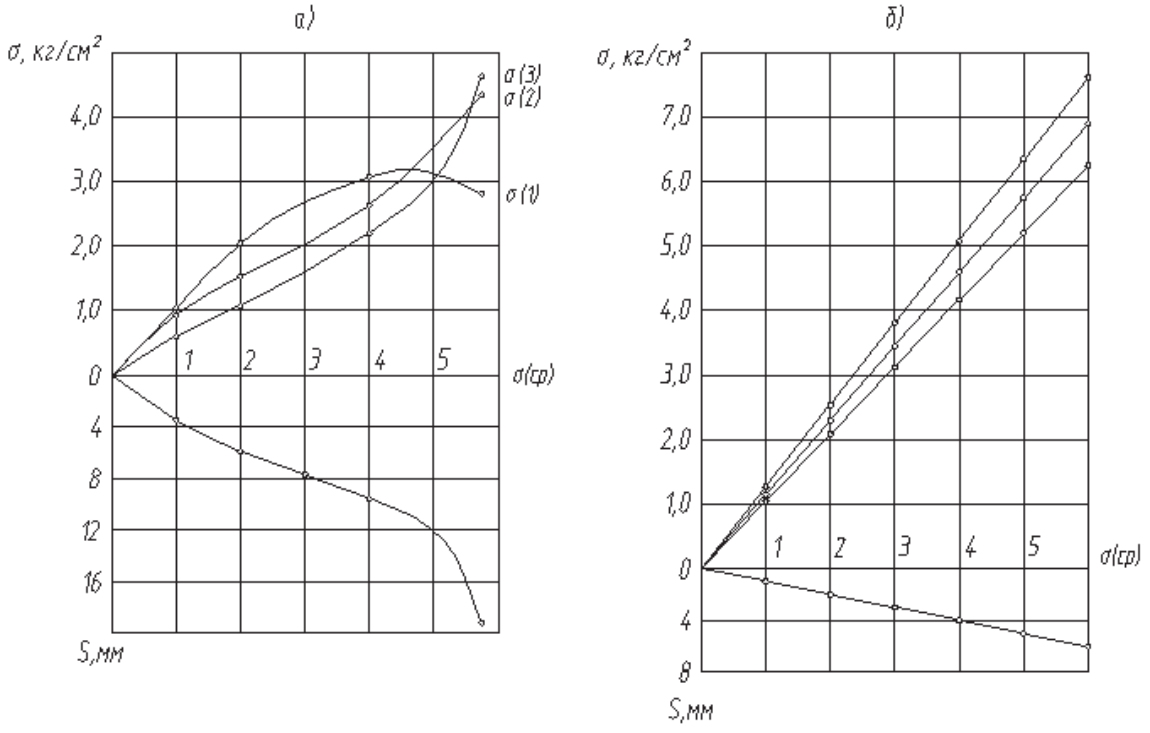


Рис. 1. Графики испытаний (по данным Ю. Н. Мурзенко):
а – без оболочки; б – с оболочкой

Рис. 2. Общий вид опытной площадки

десятитонным гидравлическим домкратом. Величина передаваемой нагрузки фиксировалась динамометром. Величина осадки фундамента измерялась прогибомером.

Было выполнено несколько серий испытаний:

1 серия. Исследование несущей способности незаглубленных фундаментов.

2 серия. Исследование несущей способности фундаментов с использованием шпунтовой оболочки различной длины.

По результатам выполненных испытаний несущая способность фундаментов без оболочки составила 200 и 270 кПа для фундаментов площадью 500 и 750 см^2 соответственно (рис. 3).

Подобные же испытания были проведены для штампа с различной длиной обоймы (рис. 4).

Несущая способность фундаментов в обойме оказалась значительно выше (пропорционально длине обоймы), чем фунда-

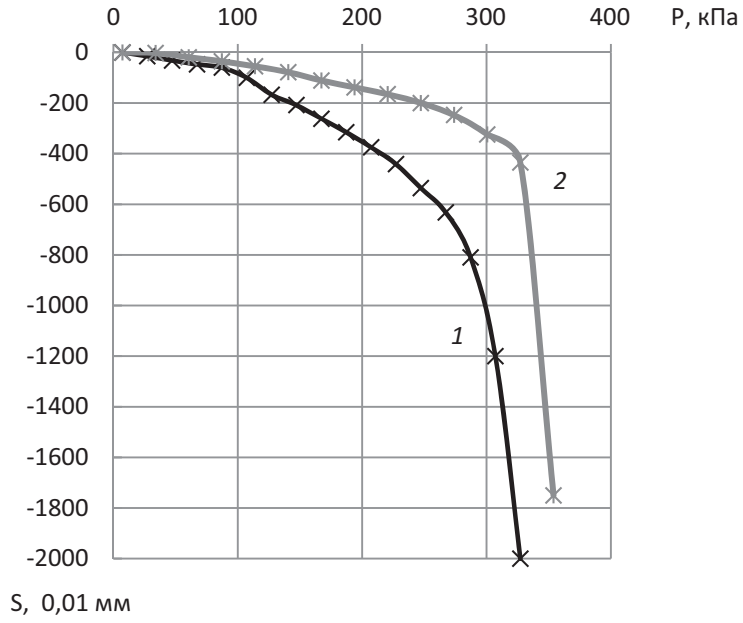


Рис. 3. Графики испытаний:
1 – 500 см^2; *2* – 750 см^2

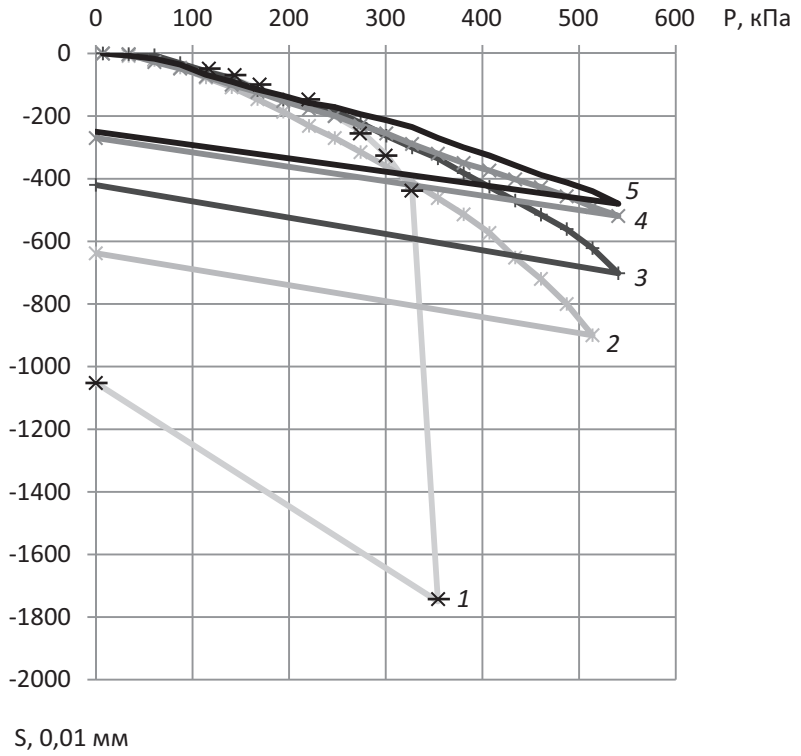


Рис. 4. График испытаний фундамента 750 см^2 в обойме:
1 – без обоймы; *2*, *3*, *4*, *5* – с обоймой длиной 0,5; 1; 1,5 и 2b

ментов без обоймы. До наступления предельного состояния основания опыты довести не удалось.

2 Условия моделирования НДС

Моделирование НДС основания для условий постановки смешанной задачи теорий упругости и предельного равновесия впервые рассмотрено В. А. Флориным [4]. П. Д. Евдокимов ввел понятие о числе моделирования [5]:

$$N = \sigma / (b \times \gamma), \qquad (1)$$

где σ – давление под подошвой фундамента; b – размер фундамента; γ – удельный вес.

Таким образом, число моделирования для фундамента площадью 500 см^2 составит 51, а для фундамента площадью 750 см^2 – 56, что практически совпадает.

Для получения напряжений натурного объекта под подошвой фундамента достаточно умножить число моделирования на ширину подошвы фундамента и на удельный вес грунта. Таким образом, при такой же плотности грунта и ширине подошвы фундамента 1 м напряжения под подошвой составят: 51×1×17,4 = 887,4 кПа.

По результатам выполненных стабилометрических испытаний песчаного грунта угол внутреннего трения составил 41°. В соответствии с СП 22.13330.2011, несущая способность такого квадратного фундамента должна составить:

$$N_u = b'l'(N_\gamma \xi_\gamma b'\gamma_I) =$$
$$= 1\times1\times(88{,}33\times0{,}75\times1\times17{,}4) =$$
$$= 1153 \text{ кН } (1153 \text{ кПа}).$$

Однако следует отметить, что значения коэффициента N_γ, приведенные в отечественных нормативных документах, отражают решение задачи при наличии пригрузки для заглубленных штампов. Коэффициент N_γ соответствует линейному участку зависимости

$p_u(q)$ и является несправедливым в случаях нахождения штампа на поверхности или на небольшой глубине в сыпучей среде. Точное решение по определению коэффициента N_γ представлено в работах С. Мартина, С. Слоана и В. Г. Федоровского [6]. Для угла внутреннего трения 41° N_γ, по С. Слоану, составит 59,44, в результате предельное давление получится равным 776 кПа. Погрешность в определении предельного давления по сравнению с выполненным моделированием составит 12–20 %.

Максимальное давление, до которого удалось довести фундамент в обойме длиной b, – 540 кПа. При переносе на натурный фундамент с размером в плане 1×1 м давление под его подошвой составит 1970 кПа, что практически в 2,5 раза превышает давление без обоймы.

Очевидно, что с увеличением давления возрастает и осадка и, поскольку несущая способность такого фундамента очень высокая, необходимо вести ограничения на заданную величину осадки.

Допустим, предельная деформация сооружения не должна превышать 10 см. Согласно условиям моделирования [7]:

$$(S / b)_м = (S / b)_н. \qquad (2)$$

Тогда, осадка модели составит:

$$S_м = 10 \text{ см} / 1 \text{ м} \times 0{,}274 \text{ м} = 2{,}74 \text{ см}.$$

Давление под подошвой модели с обоймой, соответствующее осадке в 2,74 см, равно 300 кПа. Следовательно давление под подошвой натурного фундамента будет равно 1094 кПа, что превышает предельное давление для фундамента без оболочки и тем более расчетное сопротивление.

3 Методика расчета основания в обойме

Аналитическая формула для определения вертикальных напряжений в ограниченном обоймой основании имеет следующий вид [8]:

$$\sigma_v = 1/A \times [\gamma - (\gamma - A \times p)\, e^{-Az}], \qquad (3)$$

где A – коэффициент; γ – удельный вес грунта, кН/м^3; p – нагрузка на поверхности засыпки, кН/м^2; z – глубина, на которой вычисляется вертикальное давление.

Коэффициент A определяется по формуле:

– для замкнутых стенок:

$$A = 2\xi \times \text{tg}(\varphi_0) / b_1 = \xi \times \text{tg}(\varphi_0) \times u/F; \qquad (4)$$

– для незамкнутых стенок:

$$A = \xi \times \text{tg}(\varphi_0) / b_1, \qquad (5)$$

где ξ – коэффициент бокового давления грунта; φ_0 – трение грунта о стенку; b_1 – полуширина фундамента; u, F – периметр и площадь ячейки.

Изменяя длину шпунта, а соответственно и величину пригрузки, можно по СП 22.13330.2011 найти величину предельного давления в уровне низа обоймы. Подставив величину предельного давления в формулу (3) и решив уравнение через p, получим формулу для определения несущей способности фундамента, взятого в обойму:

$$p = \gamma/A - [\gamma/A - (P_{пред})]\, e^{Az}. \qquad (6)$$

Для проверки полученного аналитического решения (6) было выполнено сопоставление его с результатами численного моделирования в программном комплексе Plaxis 3D (рис. 5).

Результаты сопоставления численного и аналитического решений при определении предельного давления на основание приведены в табл. 1.

Выводы

1. Использование шпунтовой обоймы позволяет повысить несущую способность ос-

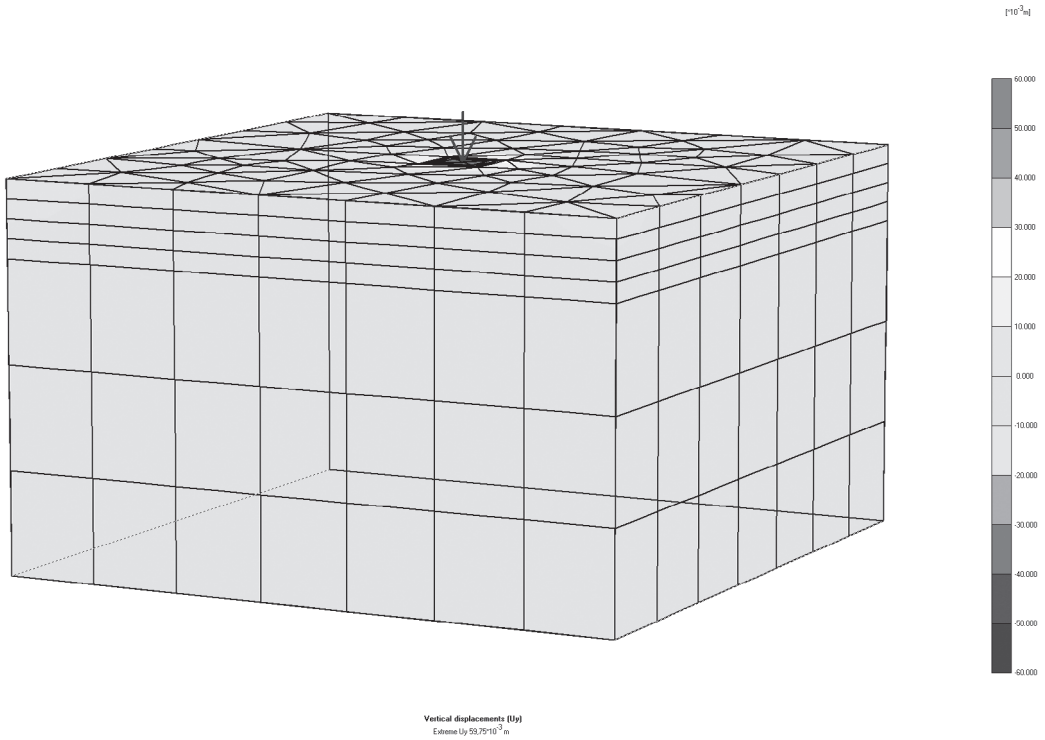


Рис. 5. Расчетная схема численного моделирования штамповых испытаний

ТАБЛИЦА 1. Сопоставление определения предельного давления в основании ограниченном обоймой при различной ее длине (H)

H, м	(σ_v) по Plaxis, кПа	(σ_v) по расчету, кПа	Δ, %
0,5	498	467	6,6
1	700	693	1,0
1,5	1102	1029	7,1
2	1528	1530	0,1

нования за счет ограничения боковых перемещений грунта в наиболее напряженной зоне основания оболочкой, а также изменением условий работы основания по нижнему концу.

2. Моделирование напряженно-деформированного состояния с использованием расчетного геотехнического комплекса позволило спрогнозировать работу основания в шпунтовой обойме для натурного фундамента.

3. Несущая способность оснований усиливаемых фундаментов возрастает пропорционально длине используемой шпунтовой обоймы.

4. Результаты аналитического и численного решений имеют удовлетворительную сходимость, что позволяет разработанный инженерный метод расчета взятого в обойму основания считать вполне обоснованным.

Библиографический список

1. **Исследование** фундаментов с оболочками для строительства многоэтажных каркасных

зданий / Г. М. Борликов, Э. В. Аринина. – Новочеркасск, 1969.

2. **Деформации** модельных и натурных резервуаров на слабых грунтах / Р. А. Усманов // Нефтепромысловое строительство. – 1982. – № 5. – С. 5–7.

3. **Расчет** оснований зданий и сооружений в упруго-пластической стадии работы с применением ЭВМ / Ю. Н. Мурзенко. – Ленинград : Стройиздат, Ленингр. отделение, 1989. – 135 с.

4. **Расчет** оснований гидротехнических сооружений / В. А. Флорин. – Москва : Госстройиздат, 1948. – 188 с.

5. **Прочность** оснований и устойчивость гидротехнических сооружений на мягких грунтах / П. Д. Евдокимов. – Москва : Госэнергоиздат, 1956. – 271 с.

6. **Решение** задачи предельного равновесия с использованием метода конечных элементов / К. Г. Шашкин, В. А. Шашкин, М. В. Дунаева // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – № 13. – С. 81–95.

7. **Условия** моделирования напряженно-деформированного состояния сыпучей среды под жестким штампом. Исследование оснований, фундаментов и гидротехнических сооружений: Труды НПИ. Т. 216. – Новочеркасск, 1970. – С. 12–22.

8. **Механика** грунтов / Н. А. Цытович. – Москва : Госстройиздат, 1963. – 636 с.

УДК 624.04

Б. М. Аллахвердов, К. Ю. Полинкевич
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ИТЕРАЦИОННЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА АНИЗОТРОПНОЙ БАЛКИ НА ПРОЧНОСТЬ

Предложено описание методики расчета анизотропных балок на прочность, основанной на итерационном способе последовательного удовлетворения условиям равновесия и совместности деформаций. На численном примере приведены результаты, и оценена их близость к решению, полученному точным аналитическим способом. Определены упругие постоянные анизотропного материала в зависимости от направления армирования связующего вещества. Даны характеристики современного углепластика и очерчена область его применения.

теория упругости, анизотропия, ортотропная балка, метод итераций, напряжения, деформации.

Введение

В работе рассмотрена возможность применения итерационного способа расчета на прочность к анизотропным балкам. Рассмотрен простейший расчет балка на двух опорах, имеющий точное аналитическое решение. Приведено сравнение результатов.

1 Закон Гука для анизотропных материалов

Считая, как это принято в сопротивлении материалов, что при малых деформациях зависимость между деформациями и напряжениями соответствует линейному закону, запишем в общем случае анизотропии обобщенный закон Гука [1]:

$$\varepsilon_x = a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + a_{13}\sigma_z + \\ + a_{14}\tau_{yz} + a_{15}\tau_{xz} + a_{16}\tau_{xy}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$\gamma_{xy} = a_{61}\sigma_x + a_{62}\sigma_y + a_{63}\sigma_z + \\ + a_{64}\tau_{yz} + a_{65}\tau_{xz} + a_{66}\tau_{xy}.$$

Здесь a_{11}, $a_{12}\ldots a_{66}$ – упругие постоянные анизотропного материала. В общем случае число различных постоянных равно 21.

В случае плоского напряженного состояния, когда отсутствуют все напряжения на площадке с нормалью по оси z и ортогональные оси x_1, y_1 повернуты относительно главных осей x, y на некоторый угол α, зависимость (1) принимает вид:

$$\varepsilon_{x1} = \frac{1}{E_{x1}}\sigma_{x1} - \frac{\nu_{y1x1}}{E_{y1}}\sigma_{y1} + \frac{\eta_{1\tau}}{G_{x1y1}}\tau_{x1y1};$$

$$\varepsilon_{y1} = -\frac{\nu_{x1y1}}{E_{x1}}\sigma_{x1} + \frac{1}{E_{y1}}\sigma_{y1} + \frac{\eta_{2\tau}}{G_{x1y1}}\tau_{x1y1}; \quad (2)$$

$$\gamma_{x1y1} = \frac{\eta_{1\sigma}}{E_{x1}}\sigma_{x1} + \frac{\eta_{2\sigma}}{E_{y1}}\sigma_{y1} + \frac{1}{G_{x1y1}}\tau_{x1y1},$$

здесь ε_{x1}, ε_{y1} – относительные удлинения (линейные деформации) в направлении действия нормальных напряжений; γ_{x1y1} – относительный сдвиг (сдвиговая деформация) или величина изменения прямого угла между площадками, на которых действуют соответствующие касательные напряжения; E_{x1}, E_{y1}, G_{x1y1} – модули упругости и сдвига соответственно; $\nu_{i1,j1}$, – коэффициенты влияния линейной деформации по направлению $i1$ на линейную деформацию по направлению $j1$, $\eta_{i\sigma}$, – коэффициенты влияния линейной деформации на сдвиговую деформацию по направлению i; $\eta_{i\tau}$, – коэффициенты влияния сдвиговой деформации на линейную деформацию по направлению i, при этом соблюдаются отношения:

$$\frac{\nu_{y1x1}}{E_{y1}} = \frac{\nu_{x1y1}}{E_{x1}}; \quad \frac{\eta_{1\sigma}}{E_{x1}} = \frac{\eta_{1\tau}}{G_{x1y1}}; \\ \frac{\eta_{2\sigma}}{E_{y1}} = \frac{\eta_{2\tau}}{G_{x1y1}}. \quad (3)$$

Приведенные зависимости показывают, что в анизотропных материалах нормальные напряжения вызывают не только продольные, но и сдвиговые деформации, а касательные напряжения могут быть причиной не только появления сдвигов, но и продольных деформаций.

При изучении плоского напряженного состояния анизотропной балки часто можно встретиться с такой задачей: известны упругие постоянные для некоторой системы координат x, y и требуется найти упругие постоянные для новой системы $x1$, $y1$, повернутой по отношению к первой на угол α. Для ортотропной балки обычно задаются главные упругие постоянные, однако может оказаться, что пользоваться главной системой координат почему-либо неудобно, и придется производить пересчет упругих постоянных. Модули и коэффициенты для новых осей определяются по формулам [2]:

$$\frac{1}{E_{x1}} = \frac{\cos^4\alpha}{E_1} + \\ + \left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1}\right)\sin^2\alpha\cdot\cos^2\alpha + \frac{\sin^4\alpha}{E_2};$$

$$\frac{1}{E_{y1}} = \frac{\sin^4\alpha}{E_1} + \\ + \left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1}\right)\sin^2\alpha\cdot\cos^2\alpha + \frac{\cos^4\alpha}{E_2}; \quad (4)$$

$$\frac{1}{G_{x1y1}} = \frac{1}{G} + \left(\frac{1+\nu_1}{E_1} + \frac{1+\nu_2}{E_2} - \frac{1}{G}\right)\sin^2 2\alpha;$$

$$\nu_{y1} = E_{x1}\left[\frac{\nu_1}{E_1} - \frac{1}{4}\left(\frac{1+\nu_1}{E_1} + \frac{1+\nu_2}{E_2} - \frac{1}{G}\right)\sin^2 2\alpha\right]$$

$$\nu_{x1} = \nu_{y1}\frac{E_{x1}}{E_{y1}};$$

$$\eta_{1\sigma} = E_{x1} \times$$
$$\times\left[\frac{\sin^2\alpha}{E_2} - \frac{\cos^2\alpha}{E_1} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1}\right)\cos 2\alpha\right]\sin 2\alpha;$$

$$\eta_{2\sigma} = E_{y1} \times$$
$$\times\left[\frac{\cos^2\alpha}{E_2} - \frac{\sin^2\alpha}{E_1} - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1}\right)\cos 2\alpha\right]\sin 2\alpha.$$

2 Выбор актуального материала для численных расчетов

В настоящее время углепластики являются основным классом материалов для вновь создаваемых или модернизируемых летательных аппаратов. Ведущие авиастроительные предприятия, такие как «Боинг» и «Эйрбас», являются основными покупателями углеволокон. Фюзеляжи современных самолетов состоят более чем на 50 % из композитов. Углепластики имеют высокие показатели прочности и жесткости. В дальнейших расчетах предлагается рассмотреть в качестве примера углепластик марки M60J/Epoxy [5], который имеет следующие характеристики относительно главных направлений, связанных с расположением волокон:

$E_1 = 33{,}0 \cdot 10^4$ МПа – вдоль волокон;
$E_2 = 0{,}5886 \cdot 10^4$ МПа – поперек волокон;
$\nu_1 = 0{,}32$; $G_{12} = 0{,}3924 \cdot 10^4$ МПа.

При повороте осей эти упругие постоянные изменяются по (4).

На рис. 1 показаны графики зависимости модуля упругости и модуля сдвига от угла поворота.

3 Итерационный способ расчета анизотропной балки на прочность

Предлагается применить к решению задач исследования напряженного состояния анизотропных стержней итерационный алгоритм уточнения компонент напряжений. Использование итерационного способа расчета НДС для изотропных и многослойных балок с целью уточнения значения напряжений при учете сдвиговых и поперечных деформаций рассматривалось в [3] и [4].

Далее описывается процедура итерационного процесса. Она анализируется на конкретном примере.

Рассматривается анизотропная балка длиной L, высотой h и шириной b на двух шарнирных опорах (рис. 2), загруженная постоянной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q.

Для численных расчетов принимаются следующие значения:

$L = 3$ м; $h = 0{,}6$ м; $b = 0{,}1$ м;
$q = 10$ т; $\alpha = 30°$.

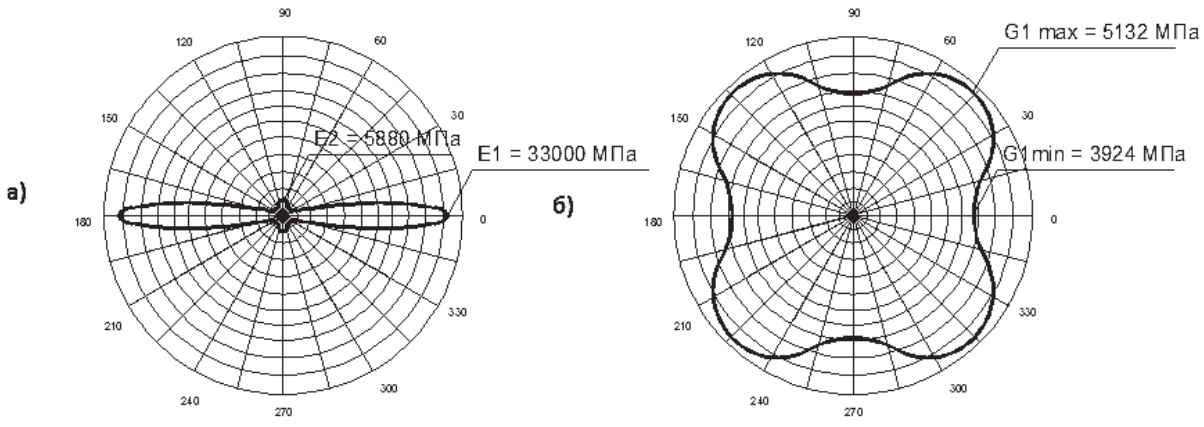


Рис. 1. Полярные диаграммы изменения модулей: а) продольной упругости; б) сдвига при повороте координатных осей для углепластика M60J/Epoxy

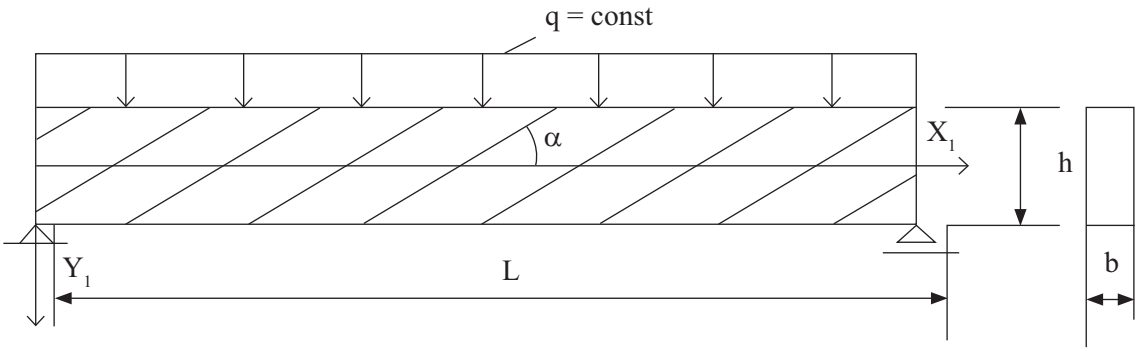


Рис. 2. Расчетная схема с указанием принятых осей координат и направлением главных осей армирования

В поставленной задаче направление оси X_1 балки и направление главных осей армирования пластика углеродистыми волокнами отличаются на угол α = 30°, потому в соответствии с формулой (4) определено значение упругих постоянных:

$$E_{x1}=16739{,}0\ \text{МПа};\ E_{y1}=6984{,}7\text{МПа};$$
$$G_{x1y1}=5131{,}9\ \text{МПа};\ \nu_{x1}=0{,}26725;$$
$$\nu_{y1}=0{,}11152;\ \eta_{1\sigma}=1{,}4993;\ \eta_{2\sigma}=0{,}38373.$$

В данном примере функции изгибающего момента $M(x)=\frac{qx}{2}(L-x)$ и продольной силы $N(x) = 0$ известны заранее.

1. Первая итерация.

1.1. Примем, что деформации $\varepsilon_y(x, y)$ и $\gamma(x, y)$ равны нулю.

1.2. Основываясь на гипотезе плоских сечений, деформацию ε_x задаем в виде:

$$\varepsilon_x(x,y)=\varepsilon_0(x)+\chi(x)\cdot y, \qquad (5)$$

где $\varepsilon_0(x)$ и $\chi(x)$ – неизвестные функции ($\varepsilon_0(x)$ можно трактовать как продольную деформацию оси стержня, а $\chi(x)$ – как кривизну его оси).

1.3. Зная деформации, по линейному закону Гука для изотропных материалов можно перейти к нормальным напряжениям вдоль оси x:

$$\sigma_x(x,y)=E_{x1}\cdot\varepsilon_x(x,y)=$$
$$=E_{x1}(\varepsilon_0(x)+\chi(x)\cdot y). \qquad (6)$$

1.4. Из условий равновесия находим значения функций $\varepsilon_0(x)$ и $\chi(x)$:

$$N(x)=\int_A\sigma_x(x,y)dA=$$
$$=E_{x1}b\int_{-h/2}^{h/2}\left(\varepsilon_0(x)+\chi(x)\cdot y\right)dy=$$
$$=E_{x1}b\cdot\varepsilon_0(x)\cdot h=0\rightarrow\varepsilon_0(x)=0; \qquad (7)$$

$$M(x)=\int_A(\sigma_x(x,y)\cdot y)dA=$$
$$=E_{x1}b\int_{-h/2}^{h/2}\left(\varepsilon_0(x)+\chi(x)\cdot y\right)\cdot y\cdot dy=$$
$$=E_{x1}b\cdot\frac{h^3}{12}\chi(x)\rightarrow\chi(x)=\frac{M(x)}{E_{x1}\cdot J_{x1}}; \qquad (8)$$
$$\text{здесь } J_{x1}=b\cdot\frac{h^3}{12}.$$

Формула для нормальных напряжений теперь выглядит так, как в сопротивлении изотропных материалов:

$$\sigma_x(x,y)=\frac{M(x)\cdot y}{J_{x1}}. \qquad (9)$$

1.5. Теперь, зная функцию нормальных напряжений, из дифференциального уравнения равновесия

$$\frac{\partial\sigma_x(x,y)}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{yx}(x,y)}{\partial y}=0 \qquad (10)$$

можем найти выражение для касательных напряжений с точностью до произвольной функции $\tau_0(x)$:

$$\begin{gathered}\tau_{yx}(x,y)= \\ =-\int\frac{\partial\sigma_x(x,y)}{\partial x}\cdot dy+\tau_0(x)= \\ =-\int\frac{dM(x)}{dx\cdot J_{x1}}ydy+\tau_0(x)= \\ =-\frac{Q(x)}{J_{x1}}\frac{y^2}{2}+\tau_0(x). \\ \text{Здесь } Q(x)=\frac{dM(x)}{dx}.\end{gathered} \tag{11}$$

1.6. Зная, что вдоль нижних волокон ($y = \frac{h}{2}$) касательные напряжения отсутствуют:

$$\begin{gathered}-\frac{6Q(x)}{bh^3}y^2+\tau_0(x)= \\ =0\to\tau_0(x)=\frac{3}{2}\frac{Q(x)}{A} \\ \text{и } \tau(x,y)=\frac{3}{2}\frac{Q(x)}{A}\left(1-\frac{4y^2}{h^2}\right). \\ \text{Здесь } A=bh.\end{gathered} \tag{12}$$

1.7. Аналогично из второго уравнения равновесия

$$\frac{\partial\sigma_y(x,y)}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{yx}(x,y)}{\partial x}=0 \tag{13}$$

находим значение функции σ_y с точностью до произвольной функции $\sigma_{y0}(x)$:

$$\begin{gathered}\sigma_y(x,y)=-\int\frac{\partial\tau_{yx}(x,y)}{\partial x}\cdot dy+\sigma_{y0}(x)= \\ =-\int\frac{3\cdot dQ(x)}{2\cdot A\cdot dx}\left(1-\frac{4y^2}{h^2}\right)dy+\sigma_{y0}(x)= \\ =\frac{3\cdot q(x)}{2A}y\left(1-\frac{4y^2}{3h^2}\right)+\sigma_{y0}(x). \\ \text{Здесь } q(x)=-\frac{dQ(x)}{dx}.\end{gathered} \tag{14}$$

1.8. Напряжения $\sigma_y(x, y)$ вдоль нижних волокон ($y = \frac{h}{2}$) отсутствуют:

$$\begin{gathered}\frac{3q(x)}{2A}\frac{h}{2}\left(1-\frac{h^2}{3h^2}\right)+\sigma_{y0}(x)= \\ =0\to\sigma_{y0}(x)=-\frac{q(x)}{2\cdot b} \\ \text{и } \sigma_y(x,y)=\frac{3q(x)}{2A}y\left(1-\frac{4y^2}{3h^2}\right)- \\ -\frac{q(x)}{2b}=\frac{q(x)}{2b}\left(3\frac{y}{h}+\frac{4y^3}{h^3}-1\right).\end{gathered} \tag{15}$$

Нахождением напряжений как функций двух переменных заканчивается первый цикл итерационного процесса. Этот шаг полностью описывает поведение стержня в рамках классического сопротивления материалов.

2. Вторая итерация.

2.1. В начале второго цикла по закону Гука (3) для анизотропного тела находим функцию деформаций вдоль оси y – ε_y:

$$\begin{gathered}\varepsilon_y(x,y)=-\frac{\nu_{x1y1}}{E_{x1}}\sigma_x(x,y)+ \\ +\frac{1}{E_{y1}}\sigma_y(x,y)+\frac{\eta_{2\sigma}}{E_{y1}}\tau_{yx}(x,y).\end{gathered} \tag{16}$$

2.2. Зная функцию деформации $\varepsilon_y(x, y)$, можно найти соответствующую функцию перемещения $V(x, y)$, пользуясь уравнением связи между деформациями и перемещениями:

$$\begin{gathered}V\ (x,y)= \\ =\int_h\varepsilon_y(x,y)\cdot dy+V_0(x),\end{gathered} \tag{17}$$

с точностью до произвольной функции $V_0(x)$.

2.3. Далее определяем функцию деформации сдвига по обобщенному закону Гука (3):

$$\gamma_{xy} = \frac{\eta_{1\sigma}}{E_{x1}}\sigma_x(x,y) + \\ + \frac{\eta_{2\sigma}}{E_{y1}}\sigma_y(x,y) + \frac{1}{G_{x1y1}}\tau_{yx}(x,y). \quad (18)$$

2.4. Затем вновь находим функцию продольных деформаций $\varepsilon_x(x,y)$:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial W}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x};$$

$$\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x} = \frac{\partial W}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 V}{\partial x^2};$$

$$\varepsilon_x(x,y) = \frac{\partial W}{\partial x} =$$

$$= \int \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x} dy - \int \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} dy + \varepsilon_0(x) - \quad (19)$$

$$-V_0''(x)\cdot x,$$

но это уже не та линейная функция, с которой начинался первый цикл вычислений.

Учитывая, что при малости углов поворота $V_0''(x) \simeq -\chi(x)$, получаем схожую с первым циклом задачу определения новых функций $\varepsilon_0(x)$ и $\chi(x)$. Эти функции, также как и в первом цикле, находятся из условия равновесия.

2.5. Зная деформации, теперь уже по обобщенному закону Гука для анизотропных тел можно определить нормальные напряжения $\sigma_x(x,y)$ во втором цикле:

$$\sigma_x(x,y) = \varepsilon_x(x,y)\cdot E_{x1} + \\ + \nu_{x1}\cdot\sigma_y(x,y) - \eta_{1\sigma}\cdot\tau_{yx}(x,y). \quad (20)$$

Дальнейшие процедуры также повторяются.

Результаты численного расчета по предложенному алгоритму итерационного уточнения напряженного состояния для анизотропных стержней приведены далее.

4 Точное аналитическое решение

Точное аналитическое решение (21) получено с использованием функции Эри (Airy) и приведено в [2]. Нормальные продольные и касательные напряжения в сечении определяются по следующим формулам:

$$\sigma_x = \frac{q}{2I}\left(l^2 - z^2\right)\cdot y + \\ + \frac{q}{b}\left[\begin{array}{c} -\frac{a_{16}}{a_{11}}\cdot\frac{x}{h}\left(1 - 12\frac{y^2}{h^2}\right) + \\ +2\left(\frac{2a_{12}+a_{66}}{4a_{11}} - \frac{a_{16}^2}{a_{11}^2}\right)\cdot\left(\frac{4y^3}{h^3} - \frac{3y}{5h}\right) \end{array}\right]; \quad (21)$$

$$\tau = \frac{q\cdot Z}{2J_{X1}}\cdot\left(\frac{h^2}{4} - Y^2\right) - \frac{q}{b}\cdot\frac{a_{16}}{a_{11}}\cdot\left(\frac{Y}{h} - \frac{4Y^3}{h^3}\right),$$

где $l = \frac{L}{2}$; $J_{x1} = \frac{bh^3}{12}$; $a_{11} = \frac{1}{E_{x1}}$; $a_{12} = \frac{\nu_{x1}}{E_{x1}}$; $a_{16} = \frac{\eta_{1\sigma}}{E_{x1}}$.

5 Сравнение результатов

В таблице приведены значения нормальных и касательных напряжений в трех точках по высоте сечения в четверти пролета

ТАБЛИЦА. Нормальные напряжения (т/м^2)

Сечение	Итерационный способ						Аналитический метод	
	Цикл 1		Цикл 2		Цикл 3			
	σ	τ	σ	τ	σ	τ	σ	τ
Верхняя фибра	–1406,25	0	–1058,68	0	–968,49	0	–979,48	0
Центр сечения	0	187,50	–187,41	187,50	–187,41	187,49	–187,41	187,50
Нижняя фибра	1406,25	0	1808,35	0	1718,40	0	1729,12	0

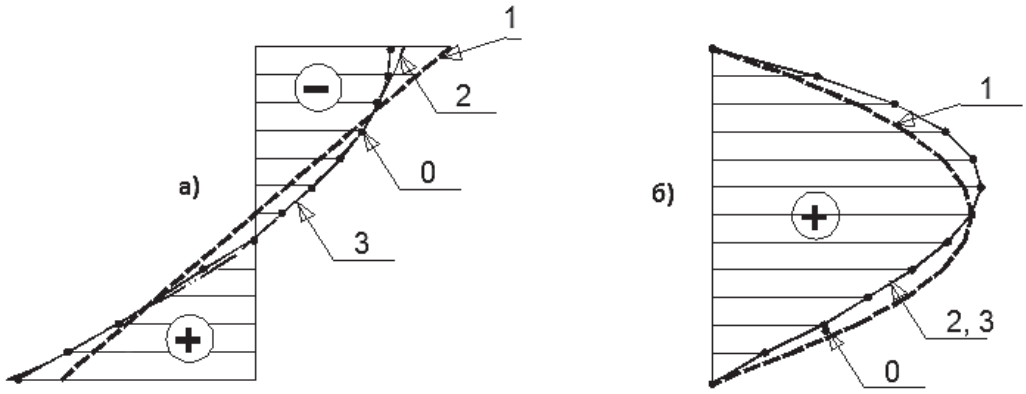


Рис. 3. Эпюры нормальных (а) и касательных (б) напряжений по высоте балки.
1 – первая итерация; 2 – вторая итерация; 3 – третья итерация; 0 – аналитическое решение

балки. На рис. 3 определенным двумя различными способами по численным данным построены эпюры напряжений по высоте балки в том же сечении. Очевидна сходимость результатов итерационного способа к точному решению уже на третьем цикле.

Заключение

1. В среде MathCAD был реализован алгоритм расчета анизотропных балок на прочность, основанный на итерационном способе последовательного удовлетворения условиям равновесия и совместности деформаций. По данному алгоритму решена задача.

2. Та же задача решена точным аналитическим методом.

3. Приведено сравнение напряженного состояния конкретной анизотропной балки, определенного вышеизложенным способом, с аналитическим, полученным с использованием функции Эри. После трех циклов итерации предложенное решение практически не отличается от точного, полученного методами теории упругости анизотропного тела.

Библиографический список

1. **Теория** анизотропных пластин (прочность, устойчивость и колебания) / С. А. Амбарцумян. – Москва : Наука, 1967. – 268 с.

2. **Анизотропные** пластинки / С. Г. Лехницкий. – Москва : Гос. изд-во техн.-теор. литературы, 1957. – 463 с.

3. **Итерационный** метод расчета балок с изменяющимися по высоте характеристиками. Исследования по механике материалов и конструкций (сб. научн. статей) / Б. М. Аллахвердов. – 2002. – Вып. 12. – С. 30–34.

4. **Итерационный** способ расчета слоистых балок на прочность / К. Ю. Полинкевич // Известия ПГУПС. – 2013. – Вып. 2 (35). – С. 148–153.

5. **Анализ** оптимальных сочетаний требований к разрабатываемым углепластикам для крупногабаритных ракетно-космических конструкций / А. А. Смердов, И. А. Буянов, И. В. Чуднов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – Вып. 8. – С. 70–77.

УДК 519.872.8; 004.75; 004.67

С. И. Гиндин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТНО–ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С «РАЗОГРЕВОМ»

Для многоканальных систем массового обслуживания (СМО) с «разогревом» был создан программный комплекс, позволяющий выполнять вычисления вероятностно-временных характеристик на основе матриц интенсивности переходов между состояниями в системе. Отличительной особенностью комплекса является использование входных данных в матричном виде, что позволяет расширить применение комплекса от моделей с распределениями фазового типа до широкого ряда моделей общего вида. В статье описываются состав и назначение комплекса, а также приводятся примеры вычислений распределения времени ожидания в системах с «разогревом» и аппроксимацией двухфазным гиперэкспоненциальным распределением.

модель системы массового обслуживания (СМО) с «разогревом», оперативность облачных вычислений, распределенная обработка данных, распределение времени ожидания в СМО.

Введение

Одним из важных аспектов конкурентоспособности программных продуктов являются показатели их быстродействия и производительности. Начиная с этапа проектирования систем, проводится предварительная оценка оперативности, которая затем дополняется нагрузочными испытаниями на прототипах и серийных образцах. Использование комплексного подхода позволяет заранее рассчитывать планируемые показатели оперативности и предотвратить снижение качества обслуживания под нагрузкой, помогает спланировать затраты на оборудование при заданных параметрах конфигурации системы и показателях производительности. За счет эффективного планирования вычислительных ресурсов при разработке программ достигается оптимизация сроков на разработку и, соответственно, снижение себестоимости.

1 Расчет вероятностно-временных характеристик СМО с «разогревом»

Для построения оценок оперативности вычислительных систем используется теория систем массового обслуживания (СМО). В рамках теории СМО рассматриваются стохастические процессы, для которых вводятся вероятностно-временные характеристики оперативности. Одним из наиболее полных и подробных источников о принципах теории СМО является книга [1].

В работах [2], [3] рассматривается класс СМО с «разогревом». Под «разогревом» понимается некоторая дополнительная работа, необходимая системе в начале обслуживания из свободного состояния, но не характерная для обслуживания заявки, поступившей в уже работающую систему. В транспортной отрасли таким примером является облачная компьютерная система, работающая в режиме разделения времени, где при первом под-

ключении после неактивности происходит кеширование данных в области оперативного доступа.

Существует несколько методов расчета вероятностно-временных характеристик СМО, их обзор достаточно полно изложен в литературе, например в [4], [5]. Для сравнительно простых систем применимы аналитические решения, но для систем более общего типа *GI*/*G*/*n*/*R* в аналитическом виде задача расчета вероятностно-временных характеристик СМО еще не решена. Для таких систем применяются численные методы решения: рекуррентный, итерационный, метод матрично-геометрической прогрессии и прочие. Наиболее существенные практические результаты в публикациях связаны с применением итерационных методов. Исходные немарковские распределения (длин интервалов между смежными заявками и длительности обслуживания) при названном подходе заменяются распределениями фазового типа. В работе [6] Коксом показано, что с использованием распределений фазового типа может быть получена аппроксимация произвольных немарковских вероятностных распределений.

Расчетная схема итерационного метода впервые была сформулирована японскими учеными Такахаши и Таками в работе [7] и затем детализирована и уточнена в работе [8]. На этапе получения данных результатов предоставляемые программисту возможности были ограничены как возможностями вычислительной техники, так и возможностями языков программирования. Основными языками на тот момент были алгол и фортран, поэтому расчетные программы делались на них и оптимизировались под особенности конкретных рассчитываемых моделей.

2 Программный комплекс

Таким образом, для расчета моделей СМО с «разогревом» потребовалось разработать отдельный программный комплекс, так как существующие комплексы либо позволяют рассчитывать только упрощенные марковские системы с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением длительности обслуживания [9], либо в силу ограничений времени написания оптимизированы под другие классы немарковских систем [10].

Для преодоления указанных недостатков при разработке одним из требований являлась максимальная применимость для расчета самого широкого класса моделей. С этой целью расчеты в программе проводятся в матричном виде, непосредственно по вычислительной итерационной схеме над абстрагированной СМО, а каждая конкретная модель СМО для расчета задается в отдельном классе, описывающем матрицы переходов над графом микросостояний данной модели и параметры, влияющие на расчет ее характеристик. За счет универсальности абстракции используемой объектной модели удалось обеспечить возможность расчета произвольных СМО, для которых применима используемая итерационная расчетная схема.

2.1 Назначение комплекса, входные данные

Программный комплекс обеспечивает расчет следующих характеристик:

– вероятности микросостояний СМО в произвольный момент времени, на момент прихода очередной заявки в систему, на момент обслуживания очередной заявки;

– вероятности числа заявок в СМО;

– среднее время пребывания заявки в СМО, среднее время ожидания заявки в СМО;

– ПЛС распределения времени ожидания заявок в СМО;

– ПЛС распределения времени пребывания заявок в СМО.

Входные данные для программы – это свойства рассматриваемой модели. Обозначим через S_j множество всех микросостояний системы, когда на обслуживании находится ровно j заявок, а через σ_j – количество элементов в S_j. Определим матрицы переходов внутри системы:

A_j $[\sigma_j \times \sigma_{j+1}]$ – в S_j (прибытие заявки),

B_j [$\sigma_j \times \sigma_{j-1}$] – в S_{j-1} (полное завершение обслуживания заявки),

C_j [$\sigma_j \times \sigma_j$] – в S_j (конец промежуточной фазы обслуживания),

D_j [$\sigma_j \times \sigma_j$] – ухода из состояний яруса j (диагональная матрица).

При составлении матриц переходов исходное немарковское распределение заменяется эквивалентным гиперэкспоненциальным, параметры аппроксимирующего распределения вычисляются с помощью метода моментов. Помимо матриц переходов, задающих схему микросостояний системы, для работы программы необходимо задать n – число каналов системы, а также эмпирически полученные параметры распределений длительности интервалов входящего потока заявок, «разогрева» и обслуживания.

2.2 Состав комплекса

Программы содержат следующие основные функции:

• *TakahashiTakami* – функция расчета вероятностей числа заявок в СМО, работающая с входными параметрами модели.

• *CalculateProb* – функция расчета вероятностей микросостояний СМО в произвольный момент времени, на момент прихода очередной заявки в систему, на момент обслуживания очередной заявки. Функция оперирует матрицами переходов модели и результатами расчетов функции *TakahashiTakami.*

• *CalculatePLS* – функция расчета ПЛС распределения времени ожидания и пребывания заявок в СМО. Функция оперирует параметрами модели и результатами расчетов функции *CalculateProb.*

• *CalculateMean* – функция расчета среднего времени пребывания заявки в СМО и среднего времени ожидания заявки в СМО. Функция оперирует параметрами модели и результатами расчетов функции *TakahashiTakami.*

Вычисления средних значений базируются на рассчитанных вероятностях заявок в системе и основываются на законе Литтла сохранения очереди в СМО.

Программный комплекс разработан на языке *Java* (сборка версии 1.6). Выбор этой системы продиктован ее популярностью и, следовательно, наличием в мире *Java* большого набора разнообразных внешних библиотек для работы с матрицами, которые тестируются между собой по показателям производительности. Для работы с матрицами используется библиотека *JAMA* [11], однако модульная структура предполагает возможность сравнительно легкого изменения используемой библиотеки при необходимости.

За счет использования объектной парадигмы *Java* и абстракции итерационных алгоритмов для работы напрямую с матрицами программный комплекс применим для расчета характеристик других видов распределений.

3 Пример расчета вероятностных характеристик оперативности обработки данных в узле сети

Для расчета модели СМО необходимо создать класс модели, содержащий входные данные, и подключить комплекс в качестве внешней библиотеки функций.

Получаемые результаты возвращаются в вызывающую программу и затем могут использоваться для визуализации или дальнейших расчетов.

При разработке комплекса его тестирование проводилось на моделях СМО с «разогревом». Примеры результатов расчетов в функции *CalculateProb* вероятностей микросостояний на момент прибытия заявки в модели $M/H_2/M/3$ (расчет выполнен с параметрами: $\lambda = 2{,}5$, $\mu = 2{,}0$, $f_{1p} = 0{,}6363$, $\upsilon_A = 1{,}4$) и вероятностей микросостояний на момент обслуживания заявки в модели $H_2/M/M/3$ (расчет выполнен с параметрами: $\mu_p = 1{,}5$, $\mu = 1{,}85$, $f_1 = 0{,}5977$, $\upsilon_A = 1{,}5$) приведены в табл. 1 и табл 2. соответственно.

Заключение

Реализованный комплекс приносит пользу в исследовательской и практической деятель-

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчетов в функции *CalculateProb* вероятностей микросостояний на момент прибытия заявки в модели $H_2/M/M/3$

Номер состояния / Номер слоя	1	2	3
0	0,2842		
1	0,0284	0,0633	0,1973
2	0,0116	0,0472	0,1226
3	0,0092	0,0563	0,0503
4	0,0076	0,0465	0,0330
5	1,1655E-10	7,4283E-4	0,0237
6	4,9164E-11	3,1334E-4	0,0099
7	2,0738E-11	1,3217E-4	0,0042
8	8,7479E-12	5,5754E-5	0,0018
9	3,6901E-12	2,3518E-5	7,4917E-4

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчетов в функции *CalculateProb* вероятностей микросостояний на момент обслуживания заявки в модели $H_2/M/M/3$

Номер состояния / Номер слоя	1	2	3	4
0	0	0	–	–
1	0	0	0,0178	0,3645
2	0	0	0,0363	0,2256
3	0	0	0,0283	0,1174
4	0	0	0,0210	0,0728
5	0	0	0,0202	0,0433
6	0	0	0,0092	0,0196
7	0	0	0,0042	0,0089
8	0	0	0,0019	0,0041
9	0	0	8,5817E-4	0,0018

ности по оценке быстродействия и оперативности многоканальных СМО с «разогревом». Комплекс также применим для расчета вероятностно-временных характеристик СМО других классов. Выгодными отличиями комплекса от его аналогов являются универсальные возможности по интеграции в аналитические программы и использование в расчетах многоканальных немарковских СМО, позволяющих преодолеть ограниченность

распространенных моделей с экспоненциальными аппроксимациями.

Дальнейшее развитие программного комплекса предусматривает добавление возможностей по работе с моделями, где распределения имеют комплексно-сопряженные параметры, расширение перечня рассчитываемых вероятностных характеристик и интеграционных возможностей комплекса.

Библиографический список

1. **Теория** массового обслуживания / Л. Клейнрок ; ред. В. И. Неймана ; пер. с англ. – Москва : Машиностроение, 1979. – 432 с.

2. **Модель** оценивания оперативности распределенной обработки данных с учетом затрат на обеспечение информационной безопасности / С. И. Гиндин, А. Д. Хомоненко, В. В. Яковлев, С. В. Матвеев // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2013. – № 4. – С. 59–67.

3. **Численный** расчет многоканальной системы массового обслуживания с рекуррентным входящим потоком и «разогревом» / С. И. Гиндин, А. Д. Хомоненко, С. Е. Ададуров // Известия ПГУПС. – 2013. – № 4 (37). – С. 92–101.

4. **Численные** методы анализа систем и сетей массового обслуживания / А. Д. Хомоненко. – Санкт-Петербург : МО СССР, 1991. – 179 с.

5. **Теория** очередей и управление запасами / Ю. И. Рыжиков. – Санкт-Петербург : Питер, 2001. – 384 с.

6. **Cox, D. R.** (1955). A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes. Proceedings of Cambr. Phil. Soc., 51 (2), 313–319.

7. **Takanashi, U.,** Takami, Y. (1976). A numerical method for the steady-state probabilities of a GI/G/c queuing system in a general class. Journal of the Operat. Res. Soc. of Japan, 19 (2), 147–157.

8. **Итеративный** расчет многоканальных систем с произвольным распределением времени обслуживания. / Ю. И. Рыжиков, А. Д. Хомоненко // Проблемы управления и теории информации. – 1980. – № 3. – С. 32–38.

9. **Canadilla, P.** (2013). Analysis of Queueing Networks and Models, available at: http://cran.r-project.org/web/packages/queueing/index.html

10. **Пакет** прикладных программ МОСТ для расчета стационарных режимов в системах массового обслуживания. – Эстонское НПИ ВТИ, 1988.

11. **Hicklin, J.,** Moler, C. (2008). A Java Matrix Package, available at: http://math.nist.gov/javanumerics/jama/

УДК 534.12

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

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАЦИОНАРНЫХ И ПОДВИЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Рассматриваются параметрические колебания стержней строительных конструкций, их взаимодействие с общими колебаниями конструкции. Для анализа используются декомпозиционные модели стержневых элементов. В качестве источников местных колебаний рассматриваются кинематические возмущения концов стержней при общих вынужденных колебаниях конструкций, вызванных стационарными и подвижными нагрузками, действующими на конструкцию.

Рассмотрен случай, когда кинематические возмущения заданы гармоническими и полигармоническими функциями времени. Произведена оценка степени возрастания амплитуд резонансных параметрических колебаний при воздействии на конструкцию подвижных динамических нагрузок. Исследовано взаимодействие вынужденных и параметрических колебаний стержневых элементов конструкций.

стержневой элемент, строительная конструкция, кинематическое возмущение, параметрический резонанс, декомпозиционная модель (расчетная схема), коэффициент возбуждения, линия влияния.

Введение

Вопросы динамической устойчивости и параметрических колебаний отдельных стержней, подвергающихся воздействию переменных продольных сил, достаточно полно представлены в научной литературе [1–3 и др.].

Однако при действии на некоторые строительные конструкции (например, решетчатые фермы) систем стационарных и подвижных переменных сил в стержневых элементах возникает возможность потери динамической устойчивости под воздействием кинематических возмущений концов стержня при общих колебаниях конструкции.

При исследовании этих динамических процессов перспективным представляется метод декомпозиции, позволяющий получить приближенные решения в замкнутой форме и проанализировать динамические процессы в строительных конструкциях с точки зрения динамической устойчивости стержневых элементов, входящих в их состав.

1 Исследование колебаний стержней конструкции при помощи декомпозиционных схем

Динамические расчеты строительных конструкций, производимые с помощью современных вычислительных комплексов, а также результаты натурных наблюдений показывают, что при рассмотрении высших форм свободных колебаний стержневых конструкций выделяются группы однотипных элементов, принимающих участие в определенной форме колебаний. При этом другие стержни не колеблются.

Это явление позволяет скорректировать декомпозиционные расчетные схемы стержневых элементов путем согласования значений основных частот колебаний стержня, рассчитанных по декомпозиционной модели и полученных в результате исследования общих свободных колебаний стержневой конструкции [4].

Декомпозиционная расчетная схема стержневого элемента в виде стержня представляется в виде стержня, упруго заделанного в подвижных узлах, колеблющихся вместе с конструкцией.

Колебания узлов являются кинематическими возмущениями для рассматриваемого стержня (рис. 1).

Кинематические возмущения от колебаний узлов можно разделить на поперечные по отношению к стержню v_i и продольные u_i:

$$v_i = h_i \cos\alpha_i + g_i \sin\alpha_i;$$

$$u_i = g_i \cos\alpha_i - h_i \sin\alpha_i,$$

где (i = 1, 2).

Продольное кинематическое возмущение эквивалентно силовому

$$S(t) = \frac{EF}{\ell}\left[u_2(t) - u_1(t)\right]. \qquad (1)$$

При учете поперечных смещений узлов колебания стержневых элементов конструкции описываются неоднородной системой дифференциальных уравнений, соответствующей однородной системе уравнений В. Н. Челомея [2]:

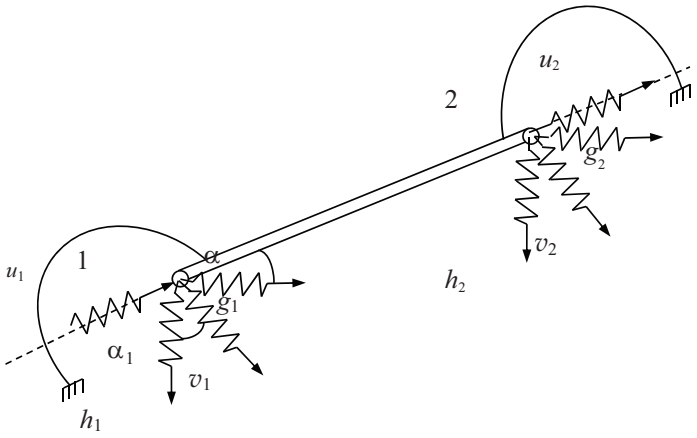


Рис. 1. Расчетная схема

$$\ddot{\varphi}_1 + \bar{\Omega}_i^2 \left[q_i - S(t) \sum_{k=1}^{\infty} a_{ik}\, q_k \right] = -\frac{\ddot{v}_1 + \ddot{v}_2}{2} \cdot \frac{\int_0^{\ell} \varphi_i(x)\, dx}{\int_0^{\ell} \varphi_i^2(x)\, dx}, \quad i = 1, 2, ..., \infty, \tag{2}$$

где $\bar{\Omega}_i^2 = \dfrac{EI}{m\ell^4}\,\Theta_i^2$;

Θ_i – собственное значение дифференциального оператора уравнения колебаний системы в отсутствие параметрической нагрузки $S(t)$;

$$a_{ik} = \frac{1}{\bar{\Omega}_i^2} \int_0^{\ell} \frac{d\bar{\varphi}_i(x)}{dx} \cdot \frac{d\bar{\varphi}_k(x)}{dx}\, dx;$$

$\bar{\varphi}_i(x) = \dfrac{\varphi_i(x)}{\sqrt{m \int_0^{\ell} \varphi_i^2(x)\, dx}}$ – нормированные собственные функции упомянутого выше оператора.

При стержне с упругим относительно угловых перемещений защемлением концов значения Θ_i определяются как корни трансцендентно-алгебраического значения

$$-\frac{\alpha_1\, \alpha_2}{\Theta_i^2} G_i(\Theta) + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\Theta_i} F_i(\Theta) + H_i(\Theta) = 0, \tag{3}$$

где $\alpha_j = \dfrac{c_j \ell}{EI}, j = 1, 2$; c_j – угловой коэффициент жесткости концевых защемлений; $G_i(\Theta)$, $F_i(\Theta)$, $H_i(\Theta)$ – функции Гогенмзера–Прагера вида

$$F_i(\Theta) = ch\,\Theta_i \sin\Theta_i - sh\,\Theta_i \cos\Theta_i;$$

$$G_i(\Theta) = ch\,\Theta_i \sin\Theta_i - 1;$$

$$H_i(\Theta) = 2sh\,\Theta_i \sin\Theta_i.$$

Соответствующие значениям Θ_i собственные функции имеют вид:

$$\varphi_i(x) = \sin\Theta_i \frac{x}{\ell} + A_i \left(ch\Theta_i \frac{x}{\ell} - \cos\Theta_i \frac{x}{\ell} \right) - B_i\, sh\,\Theta_i \frac{x}{\ell}, \tag{4}$$

где

$$B_i = \frac{\sin\Theta_i + \dfrac{\alpha_i}{2\Theta_i}\left(ch\Theta_i - \cos\Theta_i\right)}{sh\Theta_i + \dfrac{\alpha_i}{2\Theta_i}\left(ch\Theta_i - \cos\Theta_i\right)};$$

$$A_i = \frac{\alpha_i}{2\Theta_i}\left(1 - B_i\right).$$

На рис. 2 представлена зависимость собственных значений Θ_1 от коэффициентов α в случае $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$.

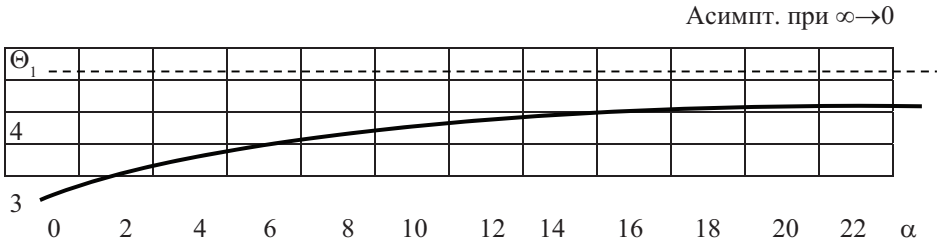


Рис. 2. Зависимость собственных значений Θ_1 от коэффициентов упругой заделки

Значения α_i можно приближенно определять по формуле [5], [6]:

$$\alpha_i \approx 3{,}5 \sum_{v=1}^{n} \frac{I_v}{I} \cdot \frac{\ell}{\ell_v}, \qquad (5)$$

где I_v и ℓ_v – соответственно, момент инерции и длина v-го стержня, защемляющего данный стержень в узле; n – число таких стержней в узле.

На рис. 3 показана одна из высших форм колебаний решетчатой фермы пролетного строения моста с расчетным пролетом ℓ = = 110 м.

Значения коэффициентов упругой заделки α_1, α_2, радианных частот θ_1 и $\tilde{\theta}_1$, полученных при рассмотрении декомпозиционной схемы и расчетной схемы общих вибраций фермы, соответственно, квадратов частот свободных колебаний стержней Ω^2_1 и соотношений между $\frac{\tilde{\theta}_1}{\theta_1}$, а также $\frac{\pi}{\theta_1}$, характеризующих степень упругой заделки и отличие реальной конструкции от классической схемы фермы с шарнирными узлами.

Приведенные в таблице значения параметров показывают удовлетворительное совпадение общих вибраций ферм с применением вычислительного комплекса COSMOS/M и декомпозиционной схемы отдельного стержневого элемента с учетом его упругой заделки в узлах фермы.

Если $\tilde{\theta}_1 < 3{,}70$, появляется возможность приближенного интегрирования уравнений системы (2) независимо друг от друга.

Следует иметь в виду, что в указанном случае и в ряде других, представляющих практический интерес, матрица коэффициентов a_{ik} близка к диагональной, это позволяет упростить интегрирование системы (2) и даже приближенно интегрировать уравнения системы независимо друг от друга [7].

2 Исследование режимов главных параметрических резонансов

Если стержень загружен переменной продольной силой $S(t) = S_0 + S_t$ и его шарнирные узлы совершают заданное поперечное движение $v_1(t)$ и $v_2(t)$, дифференциальное уравнение его колебаний в первом приближении имеет вид

$$\ddot{q} + \Omega^2 \left[1 \pm 2\mu(t)\right] q = -\frac{2}{\pi}\left(\ddot{v}_1 + \ddot{v}_2\right), \qquad (6)$$

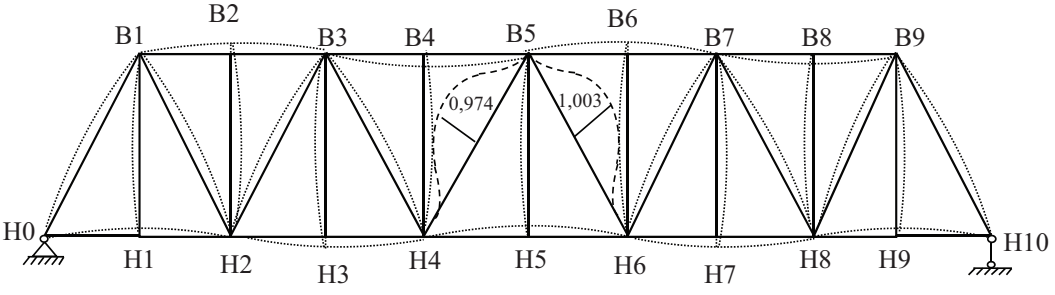


Рис. 3. Высшая форма колебаний фермы

ТАБЛИЦА. Динамические характеристики стержневых элементов

Обозначение стержня на рис. 3	α_1	α_2	θ_1	Ω_1^2 (рад/с) ^{2}	$\tilde{\theta}_1$	$\frac{\tilde{\theta}_1}{\theta_1}$	$\frac{\pi}{\theta_1}$
Н0–В1	0	7,94	3,65	2214,6	3,358	0,92	0,936
В1–Н2	23,08	32,71	4,37	4180,8	4,168	0,95	0,754
Н8–В9	32,71	34,08	4,37	4392,5	4,219	0,97	0,744
В9–Н10	7,94	0	3,65	2594,9	3,494	0,96	0,899
Н4–В5	89,81	77,39	4,40	2178,1	4,228	0,96	0,743
В5–Н6	77,39	89,81	4,40	2208,2	4,242	0,96	0,741
Н2–Н3	7,10	10,75	3,96	17590	3,662	0,92	0,858
Н8–Н9	10,75	7,10	3,96	15746	3,569	0,90	0,880
Н4–Н5	8,85	8,11	3,93	18905	3,728	0\.95	0,843
Н5–Н6	8,11	8,85	3,93	20289	3,794	0,97	0,828
В1–В2	9,19	8,10	3,94	12453	3,327	0,85	0,944
В8–В9	8,10	9,19	3,94	12171	3,308	0,84	0,950
В4–В5	8,10	8,92	3,93	9111,9	3,154	0,80	0,996
В1–Н1	340,0	318,0	4,71	1524,8	4,380	0,93	0,717
В5–Н5	346,2	363,6	4,71	1554,8	4,403	0,93	0,713
В9–Н9	340,0	318,0	4,71	1582,4	4,442	0,94	0,710

где

$$\Omega^2 = \frac{EI\,\pi^4}{m\ell^4}\left(1 \pm \frac{S_0}{S_{\text{кр}}}\right);$$

$$2\mu(t) = \frac{S_t}{S_{\text{кр}} \pm S_0},$$

причем знак «+» относится к случаю растянутого стержня, знак «–» – сжатого; $S_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EI}{\ell^2}$ – Эйлерова критическая сила; ℓ – длина стержня; m – его погонная масса.

Однородное уравнение, соответствующее уравнению (6) при $\mu(t) = \mu\cos\omega t$ является уравнением Матье и описывает параметрические колебания стержневого элемента конструкции

$$\ddot{q} + \Omega^2\left[1 - 2\mu\cos\omega t\right]q = 0. \qquad (7)$$

Как известно, при значении частоты возбуждения

$$\omega_* = 2\Omega\sqrt{1 \pm \mu} \qquad (8)$$

имеет место главный параметрический резонанс [6].

При этом амплитуда параметрических колебаний возрастает во времени по экспоненциальному закону

$$A = A_0\, e^{\nu t}. \qquad (9)$$

При отсутствии сопротивления максимальное значение показателя экспоненты $\nu_{\max} = \frac{\mu\,\Omega}{2}$. Следовательно,

$$A = A_0\, e^{\frac{\mu\Omega t}{2}}. \qquad (10)$$

При учете вязкого сопротивления дифференциальное уравнение Матье принимает вид

$$\ddot{q} + 2n\dot{q} + \Omega^2 \left[1 - 2\mu \cos \omega t\right] q = 0. \quad (11)$$

Значения критических частот, соответствующие границам первой (главной) области динамической неустойчивости при параметрическом резонансе:

$$\omega_* = 2\Omega \sqrt{1 \pm \sqrt{\mu^2 - \left(\frac{\Delta}{\pi}\right)^2}}, \quad (12)$$

где Δ – логарифмический декремент местных свободных колебаний стержня.

Значение экспоненциального показателя возрастания амплитуды в этом случае:

$$\begin{aligned} \nu_{\max} &= \frac{\mu\Omega}{2} - n = \frac{\mu\Omega}{2} - \frac{\Delta}{\pi} = \\ &= \frac{\Omega}{2}\left(\mu - \frac{\Delta}{\pi}\right) = \frac{\Omega}{2}\left(\mu - \mu_*\right), \end{aligned} \quad (13)$$

где $\mu_* = \dfrac{\Delta}{\pi}$ – критическое значение коэффициента возбуждения, при превышении которого наступает динамическая неустойчивость.

Если коэффициент $\mu(t)$, представленный рядом Фурье $\mu(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \mu_k \cos k\omega t$, носит периодический характер, критические значения частот, соответствующие параметрическим резонансам, определяются выражением [3]

$$\omega_* = \frac{2\Omega}{k} \sqrt{1 \pm \mu_k}. \quad (14)$$

При полигармоническом процессе возбуждения:

$$\mu(t) = \sum_{k=1}^{s} \mu_k \cos \omega_k t, \quad (15)$$

при котором значения ω_k не кратны k,

$$\omega_{*k} = 2\Omega \sqrt{1 \pm \mu_k}. \quad (16)$$

В последнем случае пренебрегли влиянием высших форм колебаний и комбинационных параметрических резонансов.

3 Вычисление продольных переменных усилий в стержнях при динамическом нагружении конструкции

При стационарном приложении гармонической нагрузки в узлах фермы усилие в стержне, колебания которого рассматриваются по декомпозиционной схеме, определяются выражением

$$S_j(t) = \sum_{k=1}^{n} \alpha_{jk} P_k(\omega t), \quad (17)$$

где α_{jk} – коэффициенты влияния, учитывающие воздействия в k-м узле фермы.

Учитывая характер формы колебаний фермы (рис. 3), значения α_{jk} определяются квазистатически.

Аналогично можно вычислить значения $S_j(t)$ в случае периодической узловой нагрузки общего вида, представляемой рядом Фурье.

Если в различных узлах фермы приложены узловые нагрузки (силы), изменяющиеся по гармоническому закону с различными частотами ω_k, то усилие в j-м стержне фермы описывается полигармоническим процессом

$$S_j(t) = \sum_{k=1}^{n} \alpha_{jk} P_k(\omega_k t). \quad (18)$$

При возбуждении параметрических колебаний стационарными силами, приложенными в узлах фермы и действующими в течение неопределенного промежутка времени, единственным способом виброзащиты является исключение возможности возникновения параметрических колебаний путем повышения параметров демпфирования (коэффициента затухания n) с тем, чтобы было обеспечено неравенство

$$\mu_* < \mu_k. \qquad (19)$$

Такими способами виброзащиты могут стать, например, лакокрасочное покрытие стержней материалами, обладающими высокой степенью поглощения энергии колебаний в поверхностном слое, а также совершенствование конструкций узлов – соединения стержней фермы в узлах на высокопрочных болтах вместо заклепочных соединений.

В случае воздействия подвижной нагрузки усилие в узлах фермы определяется выражением

$$S(t) = P\,\Psi(t)\,\eta(vt), \qquad (20)$$

где $\eta\,(vt)$ – ордината линии влияния усилия в стержне фермы от амплитудного значения движущейся переменной силы $P(t)$.

Разложим уравнение линии влияния $\eta\,(vt)$ в ряд Фурье по $\sin npt$, продолжив функцию нечетным образом:

$$\eta(vt) = \sum_{n=1}^{\infty} h_n \sin\, npt, \qquad (21)$$

где $p = \dfrac{\pi v}{\ell}$; ℓ – расчетный пролет фермы; $v = \text{const}$ – скорость движения нагрузки.

Значения коэффициентов Фурье:

• для однозначной линии влияния

$$h_n = \frac{2\eta}{n^2\pi^2\alpha_0\,(1-\alpha_0)} \sin\,\alpha_0\; n\pi; \qquad (22)$$

• для двузначной линии влияния

$$h_n = \frac{2}{n^2\pi^2\,(\beta_0-\alpha_0)} \times \times \left[\begin{array}{l} \left(\eta_1 \dfrac{\beta_0}{\alpha_0} + \eta_2\right) \sin\,\alpha_0\; n\pi - \\ -\left(\eta_1 + \eta_2 \dfrac{1-\alpha_0}{1-\beta_0}\right) \sin\,\beta_0\; n\pi \end{array} \right]. \qquad (23)$$

В выражениях (22) и (23): η, η_1, η_2 – абсолютные значения ординат вершин линии влияния, $\alpha_0 = \dfrac{\xi_1}{\ell}$, $\beta_0 = \dfrac{\xi_2}{\ell}$, ξ_1 и ξ_2 – соответствующие абсциссы вершин.

При движении по поясу фермы силы $P(t) = P(t)\cos\omega t$ переменное усилие в стержне фермы определяется выражением

$$\begin{aligned} S(t) &= P\cos\omega t \sum_{n=1}^{\infty} h_n \sin npt = \\ &= \frac{P}{2} \sum_{n=1}^{\infty} h_n \left(\sin\omega_{1n}t - \sin\omega_{2n}t\right), \end{aligned} \qquad (24)$$

где $\omega_{1n} = \omega + np = \omega + \dfrac{n\pi v}{\ell}$;

$\omega_{2n} = \omega - np = \omega - \dfrac{n\pi v}{\ell}$.

Значение коэффициента $\mu(t)$ в уравнении (6) в этом случае:

$$\begin{aligned} \mu(t) &= \frac{P}{4\left(S_{\text{кр}} \pm S_0\right)} \times \\ &\times \sum_{n=1}^{\infty} h_n \left(\sin\omega_{1n}t - \sin\omega_{2n}t\right) = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n \left(\sin\omega_{1n}t - \sin\omega_{2n}t\right), \end{aligned} \qquad (25)$$

где $\mu_n = \dfrac{P}{4\left(S_{\text{кр}} \pm S_0\right)}$.

Частоты ω_{1n} и ω_{2n} являются модулированными при несущей частоте ω.

В первом приближении критические частоты, соответствующие одночастотным параметрическим резонансам, определяются выражением

$$\omega_* = 2\Omega\sqrt{1 \pm \mu_n} \mp \frac{n\pi v}{\ell}. \qquad (26)$$

Несущие частоты пропорциональны скорости движения нагрузки, если источником возмущения являются силы инерции неуравновешенных вращающихся масс, связанных с перемещающимся по форме объектом (поездом – для ферм железнодорожных мостов, грузовыми тележками – для ферм мостовых

кранов и др.), т. е. $\omega = \frac{v}{R}$, где R – радиус колес.

В этом случае

$$\omega_{(1,2)n} = \omega\left(1 \pm \frac{n\pi R}{\ell}\right); \qquad (27)$$

и

$$\omega_* = \frac{2\Omega}{1 \pm \frac{n\pi R}{\ell}} \sqrt{1 \pm \mu_n}. \qquad (28)$$

Как правило, $\frac{\pi R}{\ell} << 1$. Например, при движении вагона (R = 0,525 м) для расчетных пролетов ферм ℓ = 33–110 м значение $\frac{\pi R}{\ell}$ составляет 0,005–0,015.

В этом случае области динамической неустойчивости концентрируются вокруг области $\omega_* = 2\Omega\sqrt{1 \pm \mu_1}$, ширина этих областей по мере разбегания вокруг значения $\omega_* = 2\Omega$ убывает с ростом n, так как существенно уменьшаются коэффициенты Фурье h_n.

4 Критические скорости подвижной нагрузки и оценка амплитуд параметрических колебаний

С помощью выражения (28) можно определить критические скорости движения груза по ферме:

$$v_* = \omega_* R = \frac{2\Omega R\sqrt{1 \pm \mu_n}}{1 \pm \frac{n\pi R}{\ell}}. \qquad (29)$$

Так как колебания стержней высших ферм являются высокочастотными, критические скорости движения нагрузки по железнодорожному мосту реализуются только в режиме высокоскоростного движения [4].

Возрастание во времени амплитуд резонансных параметрических колебаний происходит без учета сопротивления по экспоненциальному закону с показателем $\nu = \frac{\mu\Omega}{2}$:

$$A = A_0 e^{\nu t} = A_0 e^{\frac{\mu_n \Omega t}{2}}. \qquad (30)$$

Время движения груза по пролету фермы ограничено:

$$t = \frac{\ell}{v_{\text{кр}}} = \frac{\ell\left(1 \pm \frac{n\pi R}{\ell}\right)}{2\Omega R\sqrt{1 \pm \mu_n}}. \qquad (31)$$

Следовательно, значение показателя экспоненты при этом

$$\nu = \frac{\mu_n \ell}{4R} \frac{1 \pm \frac{n\pi R}{\ell}}{\sqrt{1 \pm \mu_n}} \approx \frac{\mu_n \ell}{4R}. \qquad (32)$$

Для пролетного строения с решетчатыми фермами большого железнодорожного моста при μ_n = 0,03, ℓ = 110 м, R = 0,525 м значение ν составляет 1,57 и $\frac{A}{A_0}$ = 4,806; для ферм мостового крана при μ = 0,03, ℓ = 36 м, R = 0,3 м значение ν = 0,9 и $\frac{A}{A_0}$ = 2,46.

В обоих случаях имеет место существенное возрастание амплитуд колебаний даже при относительно малом коэффициенте возбуждения μ_n.

Следует отметить, что параметрические резонансы стержневых элементов ферм могут реализовываться лишь в высших формах колебаний, так как являются высокочастотными.

При этом не происходит существенного наложения параметрических и вынужденных колебаний стержней, так как критические частоты в два раза превышают частоты колебаний стержня, при которых может возникнуть обычный резонанс ($\omega = \Omega$). Вынужденные колебания при этом происходят в закритической области, где динамический коэффициент меньше единицы (в рассматриваемом случае он составляет 0,33).

При исследовании вынужденных колебаний можно пренебречь влиянием переменной частоты свободных колебаний и вос-

пользоваться уравнением (6) при значении $\mu = 0$. Значения кинематических возмущений концов стержня можно определить из анализа общих вибраций фермы, для исследования которых следует применить известные методы динамики сооружений или воспользоваться соответствующими вычислительными комплексами (например, COSMOS/M).

Заключение

В итоге анализа полученных результатов исследования местных параметрических колебаний стержней:

1. Показана эффективность применения метода декомпозиции.

2. Получены оценки показателей возрастания амплитуд параметрических колебаний стержневых элементов конструкции при воздействии на нее подвижной динамической нагрузки в виде сосредоточенных сил. Эти показатели оказываются высокими даже с учетом малых значений коэффициентов возбуждения μ и ограниченного времени нахождения силовой нагрузки на конструкции $t = \frac{\ell}{v_{кр}}$.

3. Взаимодействие вынужденных и парметрических колебаний стержневых элементов в резонансных режимах существенным образом не выражено.

Библиографический список

1. **Устойчивость** призматических стержней под действием переменных продольных сил / Н. М. Беляев // Инженерные сооружения и строительная механика : сб. – Ленинград, 1924. – С. 149–167.

2. **Динамическая** устойчивость авиационных конструкций / В. Н. Челомей. – Москва : Аэрофлот, 1939.

3. **Динамическая** устойчивость упругих систем / В. В. Болотин. – Москва : ГИТТЛ, 1956.

4. **Indejkin, A. V.,** Fedotova, I. A. The rod elements oscillations of the railway truss bridge in the conditions of high-speed motion of the load. Proceedings of the third European conference on structural dynamics: Eurodyn`96, 1996, Florence, 783–789.

5. **Определение** характеристик защемления элементов сооружений методом частот / И. И. Казей // Тр. ЦНИИС. – Москва : Трансжелдориздат, 1955. – Вып. 3. – С. 60–75.

6. **Продольно-поперечный** изгиб гибких призматических стержней / В. П. Польевко // Тр. ЦНИИС. – Москва : Трансжелдориздат, 1955. – Вып. 16.

7. **Прочность,** устойчивость, колебания. Т. 3. – Москва : Машиностроение, 1968.

УДК 624.21.01

С. Ю. Каптелин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИСПЫТАНИЕ СООРУЖЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Для обеспечения безопасной эксплуатации мостового сооружения необходима достоверная информация о динамических воздействиях на несущие конструкции и их способности противостоять этим воздействиям. Такие данные можно получить только в процессе динамических испытаний. В статье описаны методы динамических испытаний транспортных сооружений, позволяющие получить необходимую информацию о работоспособности конструкции при условии воздействия на нее динамических нагрузок.

Результаты вибродиагностики служат обеспечению безопасной эксплуатации мостовых сооружений под воздействием современных транспортных нагрузок.

методы динамических испытаний, динамические характеристики, коэффициент динамики, резонанс, выносливость, безопасность эксплуатации.

Введение

Динамические испытания мостовых сооружений проводятся в соответствии с техническими нормами [1] с целью получения информации о динамических воздействиях, и способности несущих конструкций сооружений противостоять этим воздействиям.

Динамической называют нагрузку, быстро изменяющую свою величину во времени. Динамические воздействия на мостовое сооружение создаются движущимся транспортом и пешеходами, сейсмическими колебаниями грунтов основания, пульсацией ветрового давления, ударами колес транспортных средств о стыки рельсов или дефекты проезжей части, навалом льда во время ледохода на реках, нагрузками, возникающими в результате аварий транспортных средств и другими факторами.

На сооружения одновременно воздействуют динамические и статические нагрузки от собственного веса несущих элементов и дорожного полотна, и необходимо учитывать их суммарное воздействие на конструкции.

Деформации и изменение напряженного состояния конструкции под действием динамических нагрузок, как и в случае действия статических нагрузок, характеризуются перемещением в пространстве точек конструкции, деформациями волокон материала, поворотом сечений. Но при действии динамических нагрузок эти процессы протекают быстро, поэтому возникает необходимость измерения линейных и угловых компонентов с учетом их кратковременности специальным оборудованием [2].

При испытании конструкций динамической нагрузкой в зависимости от поставленной цели решаются следующие задачи:

• определение влияния динамической нагрузки на прочность материала конструкции, т. е. определение его предела выносливости;

• проверка напряженного состояния элементов конструкции, рассчитанных на воздействие динамических нагрузок, в реальных условиях эксплуатации;

• оценка влияния динамической нагрузки на несущую способность, жесткость и трещиностойкость конструкции;

• определение предела выносливости конструкции;

• определение влияния динамических нагрузок на условия безопасной эксплуатации мостовых сооружений;

• оценка условий движения по сооружению транспортных средств, создающих динамические воздействия, с целью недопущения резонансных эффектов, создающих угрозу безопасности движения;

• разработка мероприятий по увеличению диссипативных свойств конструкций и уменьшению амплитуд колебаний;

• изучение характера динамического воздействия на конструкцию особых нагрузок: ударной воздушной волны, сейсмических воздействий, импульсной составляющей ветрового напора, навала льда во время ледохода и т. п.;

• оценка влияния колебаний на условия безопасности движения по мостовому сооружению транспортных средств;

• определение динамических характеристик конструкции: частоты и формы собственных колебаний, коэффициентов затухания колебаний; величины динамического коэффициента;

• изучение характеристик динамической эксплуатационной нагрузки: направления, величины, частоты и периодичности возмущающих сил, с целью выяснения причин динамических процессов, протекающих в конструкции;

• запись параметров напряженно-деформированного состояния конструкции под воздействием быстро изменяющихся во времени нагрузок: виброграмм, велосиграмм, акселерограмм, тензограмм.

1 Напряженно-деформированное состояние конструкции при динамическом нагружении

Под воздействием динамических нагрузок в сооружениях возникают вынужденные колебания.

Колебания, которые совершает конструкция после прекращения действия на нее внешней нагрузки, называются свободными, или собственными.

Для работы конструкции очень важно соотношение частот вынужденных и собственных колебаний. При совпадении частоты собственных колебаний конструкции с частотой действия возбуждающей силы наступает явление резонанса, сопровождающееся резким возрастанием амплитуды колебаний, динамических усилий и напряжений в несущих элементах.

Этого явления следует избегать, принимая проектные решения, исключающие явление резонанса или устраивая демпфирующие элементы в конструкции.

Опасным следствием воздействия на конструкции динамических нагрузок является возникновение внезапных разрушений при нормальных условиях эксплуатации сооружений. Это связано с постепенным ростом в наиболее напряженных элементах конструкции микротрещин, увеличивающихся при пиковых значениях динамических усилий и сливающихся в макротрещину. В итоге выросшая трещина настолько ослабляет сечение элемента конструкции, что происходит его мгновенное хрупкое разрушение даже при незначительном усилии. Характерной особенностью данного вида разрушения является наличие в изломе конструкции двух четко выраженных зон: область трещины, гладкая, с притертыми поверхностями, и область окончательного хрупкого разрушения с присущей ей зернистой структурой.

Динамические нагрузки оказывают воздействие на механические свойства материала в конструкции, снижая его прочность. Сущность этого явления состоит в том, что материал конструкции в случае возникновения в нем периодически изменяющихся во времени напряжений, в особенности знакопеременных, после некоторого числа циклов хрупко разрушается при напряжениях намного ниже временного сопротивления или предела текучести. Чем больше усилия в элементах конструкции, тем меньше циклов нагружения выдерживает конструкция до разрушения. Напряжение, при котором материал конструкции способен выдерживать сколь угодно большое число циклов нагружения, называется пределом выносливости – R_v (рис. 1), определение которого является важнейшей задачей динамических испытаний.

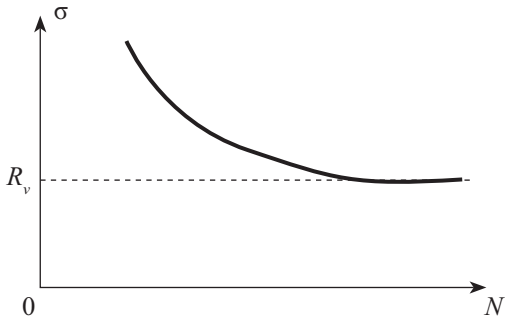


Рис. 1. Диаграммы испытаний предела выносливости стали

Предел выносливости зависит от характеристики цикла ρ, который выражается отношением минимального и максимального напряжений $\rho = \sigma_{min}/\sigma_{max}$.

Наименьшее значение предел выносливости имеет в случае равенства различных по знаку максимальных и минимальных напряжений.

На рис. 2 приведен вид экспериментальной зависимости отношения предела выносливости к пределу прочности бетона на сжатие R_b от характеристики цикла. Из графика

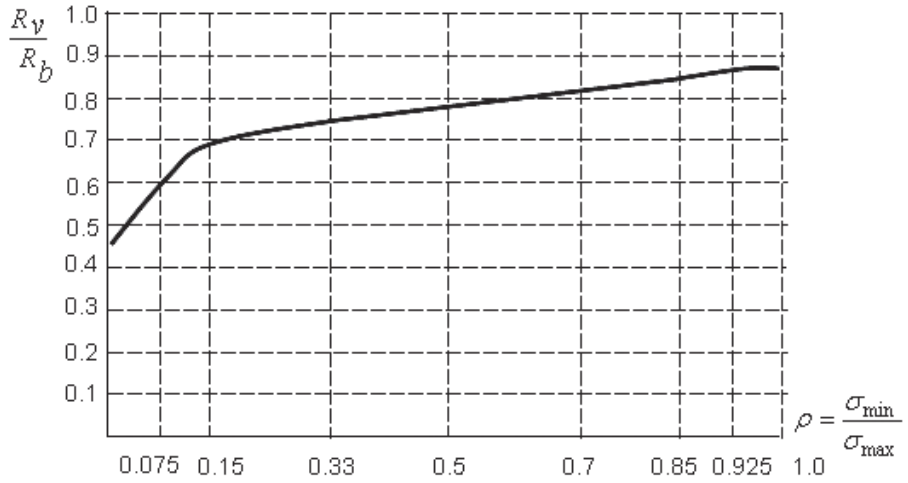


Рис. 2. Зависимость отношения предела выносливости к пределу прочности бетона на сжатие от характеристики цикла

видно, что предел выносливости бетона составляет 0,45 R_b при ρ = 0.

Предел выносливости также зависит от вида деформации (осевая деформация, изгиб, кручение); от статической прочности материала; от геометрической формы и размеров элемента; от агрессивности среды эксплуатации, в частности, вызывающей коррозию; от наличия и вида концентраторов напряжений в конструкции; от температурных условий работы сооружения и др. факторов.

На рис. 3 приведены диаграммы испытаний на выносливость титана в гладких образцах, в образцах с круглым надрезом и с трещиной. Очевидно, что наличие в материале концентратора напряжений, особенно дефектов в виде трещин, значительно снижает предел выносливости. При этом характер экспериментальных зависимостей остается неизменным.

Разрушение под воздействием динамических нагрузок при напряжениях меньше расчетного сопротивления называется усталостью. Усталость конструкций и материалов – грозное явление, способное привести к катастрофам. Предотвращение усталостных разрушений возможно путем снижения максимальных местных напряжений в конструкции до величин, не превышающих предела выносливости, за счет придания элементам и их сопряжениям скругленных, плавных изменений геометрических форм, не вызывающих больших концентраций напряжений. Большое значение имеет также специальная дробеметная или пескоструйная обработка поверхности изделия для придания ей гладкости.

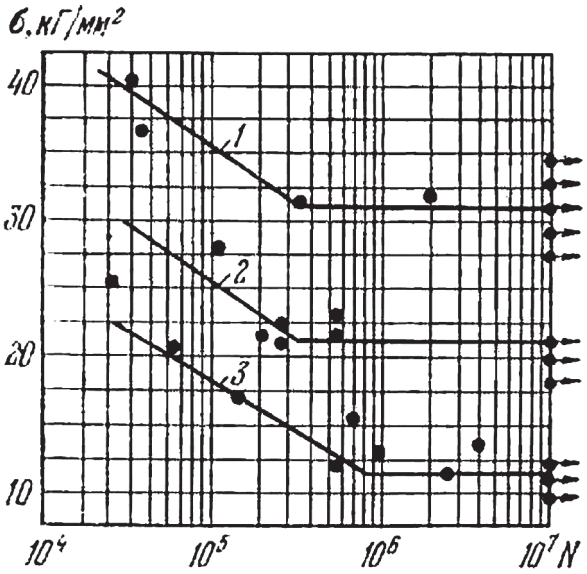


Рис. 3. Диаграммы испытаний предела выносливости титана: 1 – гладкие образцы, 2 – образцы с круглым надрезом, 3 – образцы с острым надрезом

2 Определение динамических характеристик мостовых сооружений

Важной задачей динамических испытаний является определение динамических характеристик мостового сооружения: периода, частоты и формы собственных и вынужденных колебаний опор и пролетных строений в целом или их отдельных элементов, декремента колебаний, динамического коэффициента.

Первостепенной задачей является исследование параметров динамических воздействий, создаваемых реальными подвижными нагрузками.

Для испытаний мостовых сооружений подвижными нагрузками используют груженые транспортные средства, которые обращаются по мосту и способны при неровностях пути или проезжей части вызывать появление в конструкциях колебаний, вибраций и местных перенапряжений.

При исследовании частот и форм вынужденных колебаний сооружений используются специальные испытательные поезда и вибрационные машины (рис. 4), способные создавать динамические нагрузки с заданными характеристиками.

Испытательная машина с вращающимися эксцентриковыми массами генерирует вибрационную нагрузку P_i, изменяющаяся по гармоническому закону:

$$P_i = m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin\omega t,$$

где m – масса эксцентрика; r – радиус вращения эксцентрика; ω – угловая частота вращения; t – текущее время. Меняя r, m и ω, можно получить различные периодические инерционные усилия в диапазоне вплоть до появления резонанса в испытываемой конструкции.

При этом могут быть инициированы вынужденные колебания различных видов: вертикальные, горизонтальные вдоль и поперек сооружения, изгибно-крутильные, галопирующие и т. д.

При определении параметров собственных колебаний для возбуждения в конструкции свободных затухающих колебаний применяется метод ударного воздействия, при котором с пролетного строения сбрасывается заранее подвешенный груз, или груз бросают на пролетное строение. Горизонтальные колебания можно возбудить «тараном». При этом принимаются меры, предохраняющие конструкцию от местных повреждений: устройство песчаных подушек, распределительного настила и т. п.

При изучении сейсмостойкости конструкций используют взрыв небольшой мощности.

При динамических испытаниях пешеходных мостов возбуждение колебаний конструкций производится посредством раскачки, сбрасывания грузов, ритмичного движения по мосту отдельных пешеходов или их групп.

Места приложения возмущающих нагрузок, а также места измерения деформаций

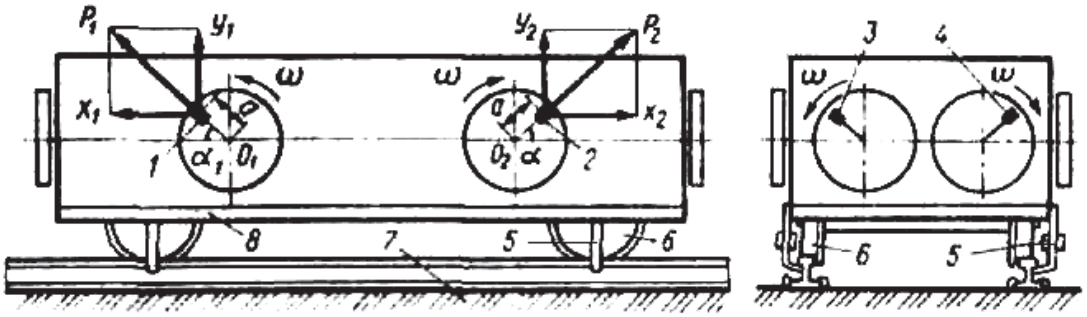


Рис. 4. Схема испытательного поезда:
1, 2, 3, 4 – продольные и поперечные эксцентриковые массы; 5 – крепления к рельсам; 6 – колеса платформы; 7 – исследуемая конструкция; 8 – платформа

выбираются с учетом ожидаемых видов и форм колебаний.

При динамических испытаниях автодорожных и городских мостов динамическое воздействие подвижной нагрузки усиливается проездом автомобилей по искусственно созданным неровностям на проезжей части, например, по доскам толщиной 50 мм, уложенным поперек проезда с шагом, равным колесной базе автомобиля.

Движение испытательной нагрузки осуществляется с различными скоростями, что позволяет выявить характер работы сооружения в диапазоне возможных скоростей движения транспорта. Нормативные требования [1] рекомендуют выполнять при разных скоростях не менее 10 заездов и повторять отдельные заезды, при которых наблюдается повышенное динамическое воздействие нагрузки.

Основным критерием надежной работы конструкции при динамических воздействиях служит динамический коэффициент $1+\mu$, который выражает, во сколько раз динамические перемещения, усилия или напряжения превышают аналогичные параметры при статическом действии нагрузки. Чем больше величина динамического коэффициента, тем меньше надежность конструкции при воздействии подвижных транспортных нагрузок.

Теоретическое значение динамического коэффициента принимается при проектировании сооружения в соответствии с нормативными требованиями [3].

Аналитическое выражение для коэффициента нарастания амплитуды вынужденных колебаний μ системы с одной сосредоточенной массой имеет вид

$$\mu = 1 / \sqrt{\left(1-\frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \left(\frac{\delta}{\pi}\right)^2 \left(\frac{\omega}{p}\right)^2},$$

где δ – логарифмический декремент колебаний, учитывающий диссипативные свойства конструкции; ω – частота динамического воздействия; p – собственная частота колебаний сооружения. При $\omega = p$ коэффициент μ стремится к бесконечности, вызывая резонанс в конструкции.

Собственная частота колебаний конструкции зависит от жесткости системы c и ее массы m:

$$\omega = \sqrt{c/m}.$$

Следовательно, на величину динамического коэффициента можно влиять, изменяя жесткость мостового сооружения, которая зависит от статической схемы конструкции, формы поперечного сечения элементов, характера сопряжения элементов и физико-механических характеристик материалов.

При испытаниях динамический коэффициент может быть определен отношением суммарного напряжения от воздействия статической и динамической нагрузок σ_{max} к напряжению от статической нагрузки $\sigma_{ст}$.

$$1+\mu = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ст}}.$$

Наибольшее значение ординаты σ_{max} принимается по тензограмме (рис. 5). Ординаты статического воздействия определяются по средней линии, делящей пополам экспериментальную зависимость.

Определить динамический коэффициент можно и по акселерограммам. В этом случае при известной массе конструкции m и измеренному акселерометром ускорению y'' динамические напряжения $\sigma_{дин}$ определяют по инерционной силе $F = m \cdot y''$. Максимальные напряжения: $\sigma_{max} = \sigma_{ст} + \sigma_{дин}$. Например, при действии осевой силы N в элементе с площадью сечения A $\sigma_{ст} = N/A$, $\sigma_{дин} = F/A$. При изгибе балки с моментом сопротивления сечения W сосредоточенной силой P, приложенной посередине пролета l $\sigma_{дин} = Pl/4W$, $\sigma_{дин} = Fl/4W$.

Задача определения частот собственных колебаний пролетных строений при динамических испытаниях может быть решена двумя способами:

Рис. 5. Тензограмма напряжений в поясе пролетного строения

1. Испытываемая конструкция подвергается удару, вызывающему свободные затухающие гармонические колебания, амплитуда которых уменьшается от a_i до a_n. По виброграмме затухающих колебаний (рис. 6а) определяют частоту собственных колебаний f_0, которая равна отношению числа колебании n к интервалу времени записи этих колебаний T: $f_0 = n/T$, Гц. Круговая частота $\omega = 2\pi/T$, 1/с;

2. На испытываемую конструкцию устанавливают вибромашину. Изменяя частоту вынужденных колебаний, доводят конструкцию до резонанса. Резонанс будет отмечен на виброграмме резким возрастанием амплитуды колебаний (рис. 6б). Частота колебаний при резонансе соответствует частоте собственных колебаний конструкции $f_0 = n/T_{рез}$, Гц.

При определении логарифмического декремента затухания собственных колебаний ψ с целью повышения точности измеряют амплитуды не соседних колебаний, а расположенных друг от друга на расстоянии m периодов. Тогда

$$\psi = \frac{1}{m} \ln \frac{a_i}{a_{i+m}},$$

где a_i и a_{i+m} – амплитуды i-го и $(i+m)$-го собственных колебаний системы; m – количество свободных колебаний конструкции между принятыми амплитудными значениями.

Чем больше декремент затухания, тем скорее затухают свободные колебания и лучше динамическая характеристика моста.

Заключение

Для обеспечения безопасной эксплуатации мостовых сооружений необходима достоверная информация о динамических воздействи-

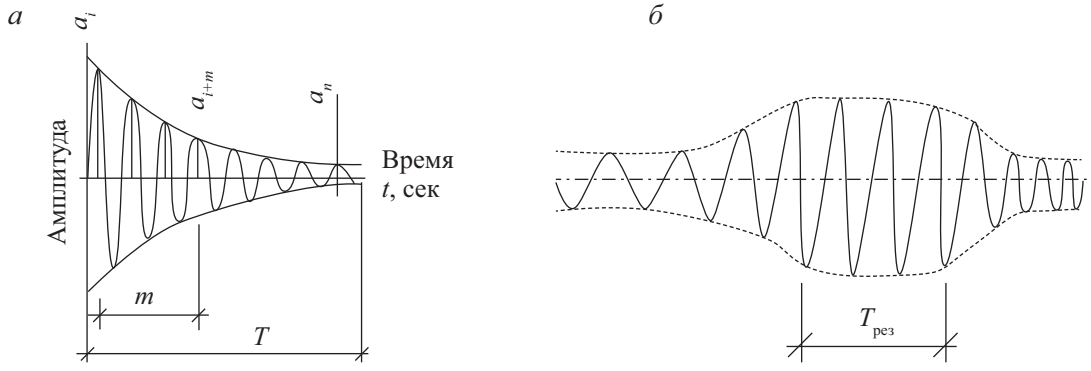


Рис. 6. Виброграммы:
а) свободных колебаний; б) вынужденных колебаний с зоной резонанса

ях на несущие конструкции и о способности транспортных сооружений противостоять ударным и быстродействующим циклическим нагрузкам.

Основные параметры, характеризующие работу конструкций в условиях воздействия на них переменных во времени нагрузок: собственная частота колебаний, логарифмический декремент колебаний, динамический коэффициент, предел выносливости достоверно определяются только при динамических испытаниях искусственных сооружений.

Результаты испытаний динамическими нагрузками позволяют предотвратить такие опасные для эксплуатационной надежности транспортных сооружений процессы, как резонансные колебания, продолжительные вибрации, усталостное разрушение, возникновение и рост трещин. Тем самым создаются условия для безопасной эксплуатации мостовых сооружений под воздействием современных транспортных нагрузок.

Библиографический список

1. **СП 79.13330.2012** (актуализированная редакция СНиП 3.06.07–86) Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Минрегион России. – Москва : ЦПП, 2012. – 40 с.

2. **Определение** динамических характеристик транспортных сооружений / С. Ю. Каптелин // Бюл. результатов научных исследований. – Санкт-Петербург : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – Вып. 1–2 (6–7). – С. 67–78.

3. **СП 35.13330.2011** (актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*) Мосты и трубы. Минрегион России. – Москва : ЦПП, 2011. – 214 с.

УДК 699.82

С. В. Николаев, Е. Р. Богданова
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОФИЛЬНЫХ СВОЙСТВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Выполнено комплексное исследование водопоглощающих свойств ряда бетонных смесей, предназначенных для использования в гидротехнических сооружениях. Доказана необходимость применения дополнительной влагозащиты посредством нанесения на поверхность исследуемого материала гидрофобизирующих растворов. Раскрыта проблема недостаточной глубины и равномерности проникновения гидрофобизирующего раствора в капилляры материала при поверхностной обработке. Предложено применение технологии «ультразвуковой пропитки» пористых строительных материалов гидрофобными растворами под воздействием избыточного давления, создаваемого направленными акустическими колебаниями.

водопоглощение пористых строительных материалов, гидрофобизация, гидрофобизирующий раствор, ультразвуковая пропитка.

Введение

Для эффективного подбора строительного материала при возведении сооружений необходимо знать его физико-механические свойства и учитывать условия, в которых он будет работать в строительной конструкции. Свойства строительных материалов разноо-

бразны и в зависимости от типа материала оказываются основополагающими в определенных условиях эксплуатации.

Подавляющее большинство современных строительных материалов содержит в своей структуре поры. Среди главных свойств пористых строительных материалов – показатели, характеризующие отношение строительного материала к воздействию воды. Высокая водопоглощаемость и водопроницаемость пористых строительных материалов отрицательно сказывается на их физико-механических характеристиках и обусловливает их достаточно быстрое разрушение в результате воздействия воды. Перемещение (миграция) влаги по порам и капиллярам (капиллярная миграция) способствует неравномерному распределению механических напряжений, что вызывает понижение прочности материала. При такой миграции вода, растворившая компоненты стройматериала в одних его участках, осаждает их в виде солей на других участках. Это приводит к развитию неконтролируемых процессов кристаллообразования и отложения солей, объем которых превышает первоначальный объем растворившихся компонентов, что вызывает механические разрушения части пористой структуры минерального строительного материала, создает условия вымывания его компонентов (появления высолов) и возникновения других дефектов внутренней и поверхностной структуры. При замерзании вода в порах увеличивается в объеме примерно на 9%, в результате возникает колоссальное давление на стенки пор, которое может привести к разрушению пористой структуры. Некоторые материалы, в том числе бетон, увеличивают свой объем при увлажнении, а при последующем высыхании дают усадку. Систематическое увлажнение и высыхание может вызвать знакопеременные напряжения в материале и со временем привести к потере им прочности и к его разрушению. Насыщение материала водой заметно ухудшает его теплофизические характеристики, что особо нежелательно для материала в ограждающих конструкциях. Попадание влаги в элементы конструкций также приводит к интенсивному развитию биологической флоры [1]–[3]. Таким образом, в условиях климата Северо-западного региона и Санкт-Петербурга в частности, где влажность воздуха может достигать 80 и более %, остро встает вопрос борьбы с пагубными воздействиями влаги и воды на пористые строительные материалы. Эти обстоятельства определяют большую значимость рассматриваемого в статье свойства пористых материалов – водопоглощения.

1 Гидрофильные свойства бетона

В 2013 г. в ИЛ «Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского» ПГУПС проведены исследования трех партий новых бетонных смесей, предназначенных для использования в гидротехнических сооружениях, по определению одного из важнейших показателей бетонов – водопоглощения. Следует отметить, что Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского ПГУПС на протяжении всей своей 160-летней истории является одним из лидеров в проведении уникальных испытаний по изучению свойств различных материалов и в применении новых методов экспериментальных исследований [4]–[6].

Испытания составов бетонных смесей производились по ГОСТ 12730.3–78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения» [7] с учетом рекомендаций по планированию экспериментов, изложенных в монографии [8]. Для определения водопоглощения образцы составов каждой партии предварительно были высушены в течение суток, замерена масса при естественной влажности после просушки, затем помещены в воду (Т +20 °С) до полного впитывания воды с фиксацией массы образца и расчетом водопоглощения. Наблюдения проводились в течение 27 часов, эксперимент был остановлен после того, как изменение массы образцов в течение длительного времени оставалось незначительным. Водопоглощение образцов лежит в диапазоне от 0,79 до 10,64% (рис. 1–3).

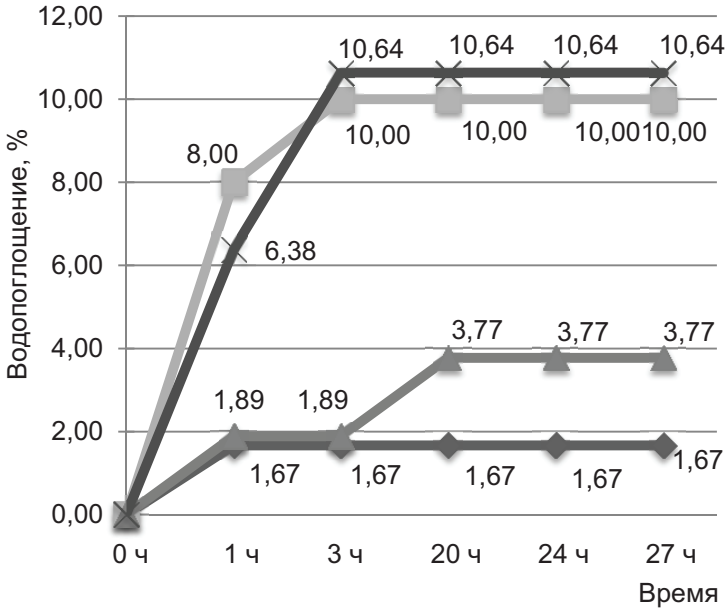


Рис. 1. Водопоглощение образцов 1-й партии

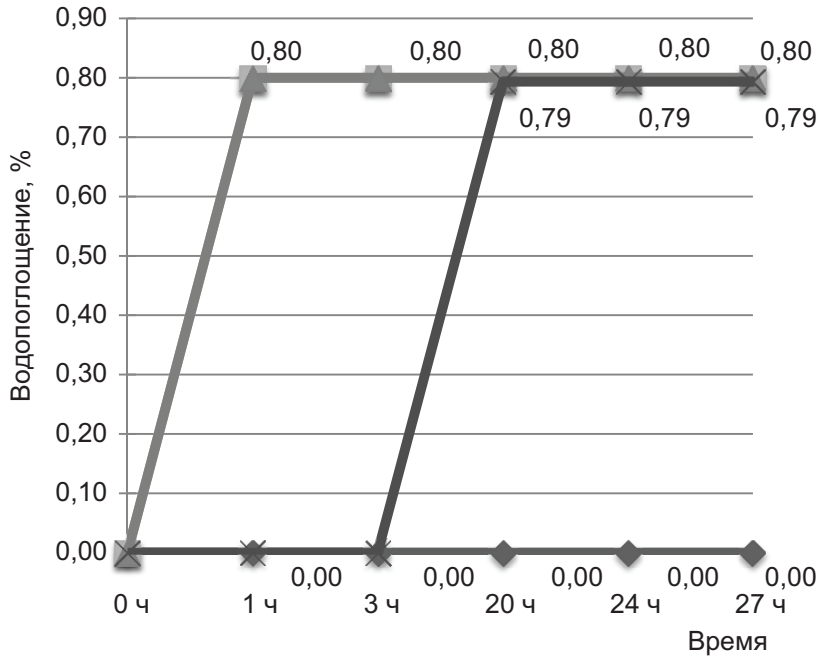


Рис. 2. Водопоглощение образцов 2-й партии

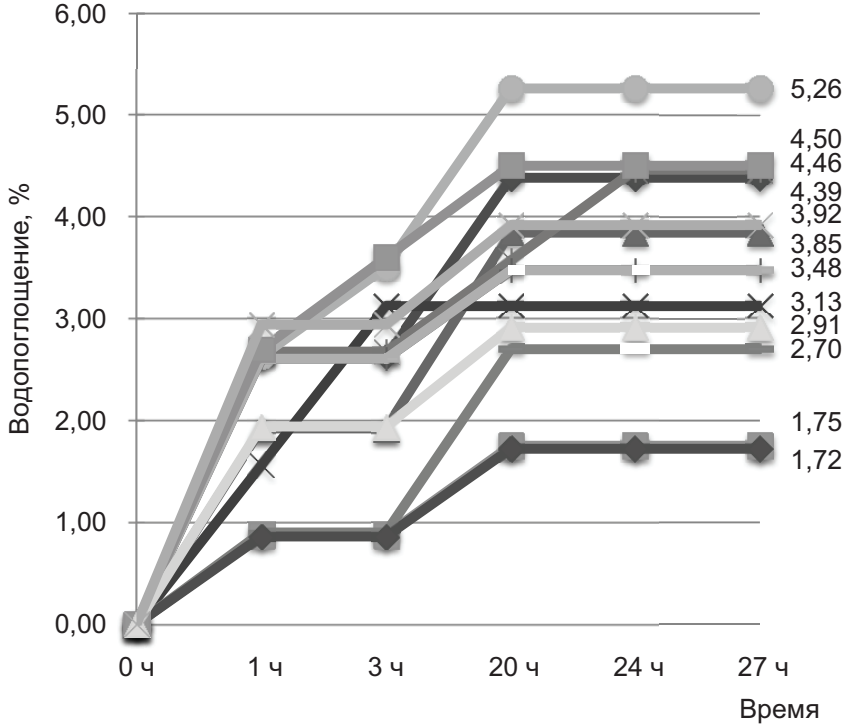


Рис. 3. Водопоглощение образцов 3-й партии

2 Гидрофобизация пористых материалов

Испытания бетонных смесей для гидротехнических сооружений показали, что предложенные для исследования материалы нуждаются в дополнительной защите от воды – гидрофобизации. Часто в качестве основного средства предупреждения проникновения воды в пористый материал, в частности в бетон, рассматривается увеличение плотности бетона – уплотнения содержащихся в нем пор и пустот. Но при капиллярном всасывании увеличение плотности не оказывает существенного влияния на перенос и проникновение воды в тело из пористого материала. Для гидрофобизации сооружений применяют покрывные, клеющие, цементирующие и другие составы, образующие на поверхности строительного материала водонепроницаемую изоляционную пленку, которая закупоривает поры материала. Однако подобные защитные средства приводят к изменению внешнего вида и фактуры поверхности строительного материала. Также отрицательным моментом в такой гидрозащите является то, что покрытия препятствуют циркуляции воздуха и испарению влаги из пор. Последнее приводит к отсыреванию и разрушению материала за счет капиллярного подсоса воды. Наиболее эффективным видом защиты пористых материалов от воздействия воды и влаги является гидрофобизация, заключающаяся в их пропитке специальными составами-гидрофобизаторами – химическими веществами, обладающими выраженными водоотталкивающими свойствами. Для этого на поверхность строительной конструкции наносится раствор гидрофобизатора. Глубина его проникновения тем больше, чем ниже его поверхностное натяжение и вязкость и чем выше пористость строительного материала. Стенки пор и все частицы материала, вошедшие в контакт с раствором, обволакиваются водоотталкивающей пленкой гидрофобизатора. При этом ни размеры пор, ни фактура поверхности твердого тела не изменяются. При гидрофобизации раствором все поры сохраняются открытыми, способность смачиваться водой теряют их стенки, в то же время материал теряет способность капиллярно всасывать воду [9–13].

Для обеспечения дополнительной защиты исследуемых образцов от воды и влаги авторы использовали гидрофобизаторы на основе водного раствора (с обозначением № 1), кремнийорганического полимера (№ 2) и гидрофобизирующий раствор Sikagard 703W (комбинация на основе силана и силоксана, № 3). После поверхностной обработки образцов бетона подвергли растворами проведены повторные эксперименты на водопоглощение. Водопоглощение гидрофобизированных образцов лежит в диапазоне от 0,00 до 3,77 % (рис. 4–6).

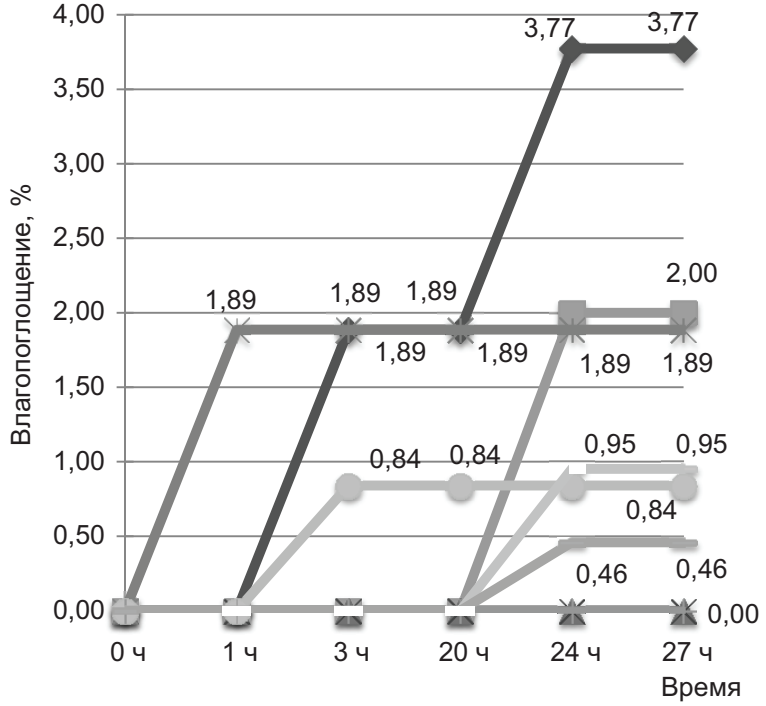


Рис. 4. Водопоглощение образцов после обработки гидрофобизатором № 1

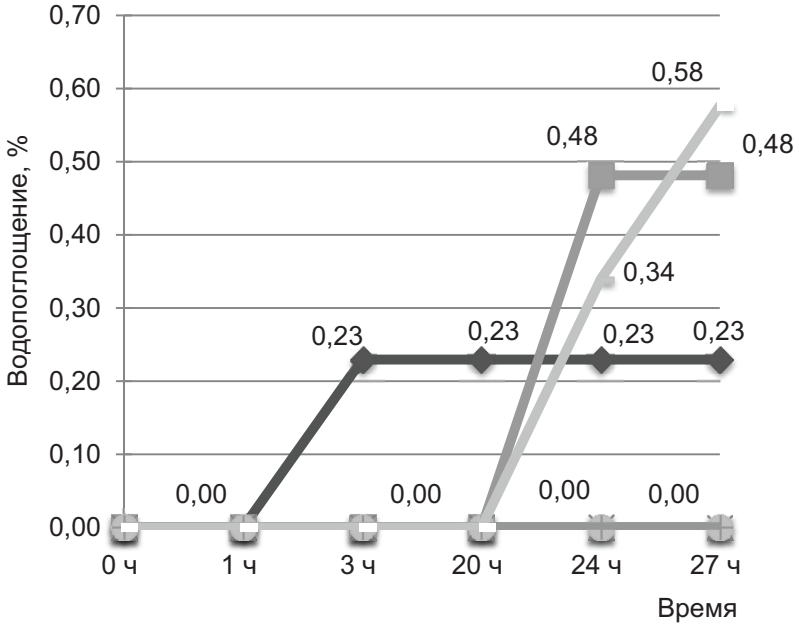


Рис. 5. Водопоглощение образцов после обработки гидрофобизатором № 2

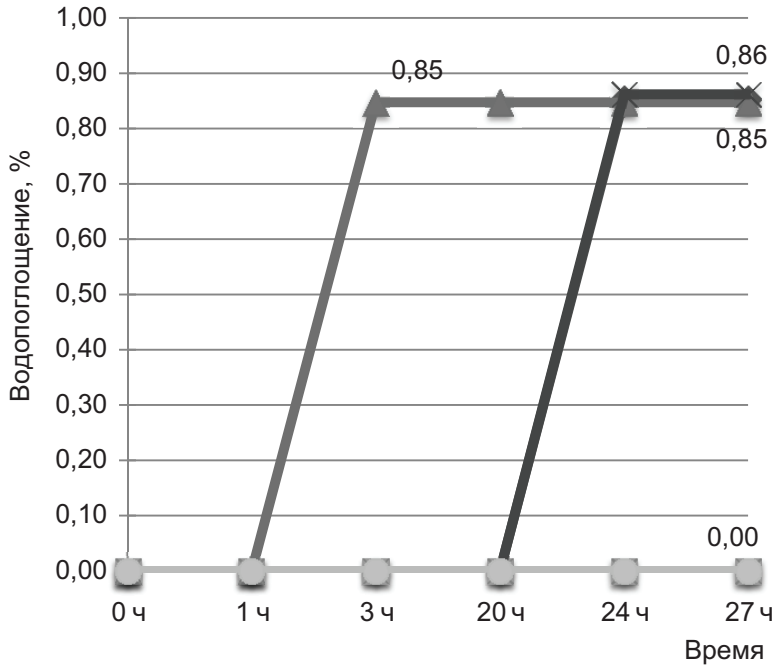


Рис. 6. Водопоглощение образцов после обработки гидрофобизатором № 3

Для определения глубины и равномерности проникновения гидрофобизирующих растворов авторы провели дополнительные исследования. Образцы составов бетона были распилены на части, подвергнуты капиллярному смачиванию, просушиванию при Т +20 °С, после чего по оставшейся границе раздела вода – гидрофобизирующий раствор замерена глубина проникновения раствора (рис. 7–9).

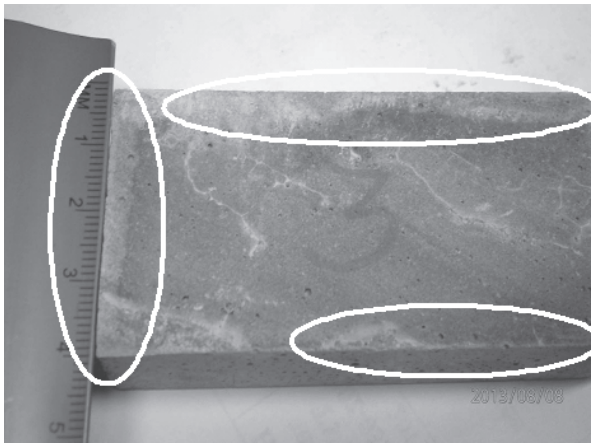


Рис. 7. Глубина проникновения гидрофобизирующего раствора в образец № 3

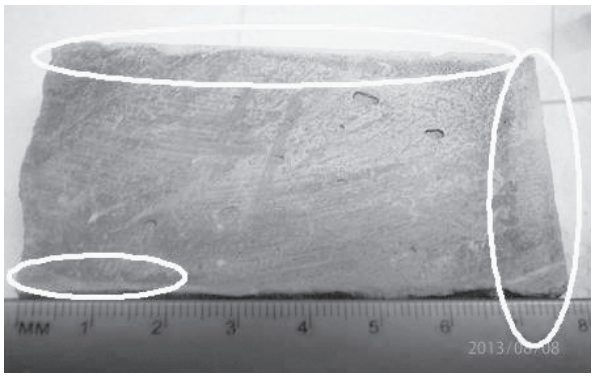


Рис. 8. Глубина проникновения гидрофобизирующего раствора в образец № 4

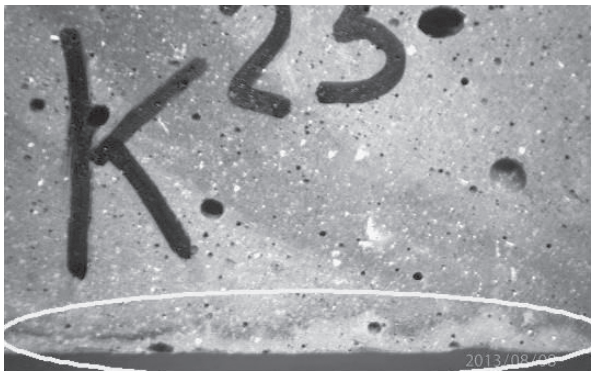


Рис. 9. Глубина проникновения гидрофобизирующего раствора в образец К23

3 Результаты исследований

Установлено, что при поверхностной обработке гидрофобизирующий раствор проникает в капилляры неглубоко. Глубина заполнения образцов бетонных смесей для гидротехнических сооружений раствором оказалась в пределах от 1 до 5 мм. Гидрофобизирующий раствор проникал в исследуемый материал неравномерно. Таким образом, небольшая глубина и неравномерность проникновения раствора в пористый строительный материал не позволяет обеспечить долговременную гидрозащиту, что может стать причиной скорого (в атмосфере – через 12–48 мес., в грунте – 3–12 мес., под водой – не более 1 мес.) нарушения влагозащиты и снижения прочности обработанных конструкций [14].

Заключение

Увеличение долговечности строительных материалов и улучшение эксплуатационных условий конструкции прежде всего связано с защитой от проникновения воды в строительные материалы. Гидрофобизация строительных материалов и сооружений в развитых странах широко используется, поскольку позволяет не только увеличить сроки эксплуатации, но и существенно снизить энергетические затраты на поддержание требуемого температурного режима в помещениях зданий, а также уменьшить материальные затраты на текущий ремонт и другие виды работ [15]. Влагозащита строительных материалов и конструкций остается актуальной задачей на протяжении многих десятилетий в двух ее аспектах: в технологии пропитки влагозащитными растворами и в способе оценки качества влагозащиты. Для увеличения влагозащитных свойств пористых материалов необходимо обеспечить увеличение глубины пропитки либо полное заполнение пористого материала гидрофобным раствором. Интенсификация процесса пропитки пористых строительных материалов гидрофобными растворами возможна под воздействием направленных акустических колебаний («ультразвуковая пропитка»), что является пока недостаточно развитым направлением [14]. При этом воздействие ультразвуковых колебаний на раствор не меняет его гидрофобных свойств и существенно сокращает время проведения контроля и обработки материала. Для оптимизации времени заполнения пористого материала и увеличения глубины проникновения гидрофобизирующих растворов необходимы дополнительные исследования в области разработки технологического процесса «ультразвуковой пропитки» пористого материала гидрофобизирующим раствором.

Библиографический список

1. **Строительные** материалы / В. Е. Байер. – Москва : Архитектура-С, 2004. – 240 с.

2. **Строительные** материалы / В. О. Воробьев, А. Г. Комар. – Москва : Стройиздат, 1971. – 496 с.

3. **Гидрофобизация** как способ повышения срока службы зданий / В. А. Войтович, И. Н. Хряпченкова, А. А. Яворский // Строительные материалы. – 2013. – № 12. – С. 15–17.

4. **Механическая** лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского (к 200-летию Петербургского государственного университета путей сообщения) / С. В. Елизаров, Ю. П. Кантелин, А. В. Бенин // Alma mater (Вестн. высш. шк.). – 2009. – № 9. – С. 58–64.

5. **Прогнозирование** потери устойчивости нагруженных элементов конструкций методом акустической эмиссии / В. С. Куксенко, Н. Г. Томилин, Х. Ф. Махмудов, А. В. Бенин // Письма в ЖТФ. – 2007. – Т. 33, № 2. – С. 31–35.

6. **Экспериментальные** исследования механических свойств узлов деревянного здания при сейсмических воздействиях / А. В. Бенин, Ж. В. Иванова // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2000. – № 2. – С. 19–21.

7. **ГОСТ 12730.3–78.** Бетоны. Методы определения водопоглощения. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 2004.

8. **Планирование** эксперимента / А. В. Бенин, В. В. Гарбарук. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2010. – 90 с.

9. **Гидрофобизация.** Теория и практика / В. Сураев // Технологии строительства. – 2002. – № 1. – С. 120–121.

10. **Гидрофобизация** / А. А. Пащенко. – Киев : Наук. думка, 1973. – 174 с.

11. **Кремнийорганические** гидрофобизаторы в строительстве / А. А. Пащенко. – Алма-Ата : Казахстан, 1968. – 178 с.

12. **Гидрофобизация** зданий / О. А. Лукинский // Жилищное строительство. – 2008. – № 11. – С. 21–23.

13. **Способы** оценки влияния поверхностной гидрофобизации бетона и модифицирующих его структуру добавок / Л. П. Орентлихер, И. П. Новикова, И. И. Лифанов, Э. Н. Юрченко // Бетон и железобетон. – 1991. – № 2 (431). – С. 28–30.

14. **Ультразвуковой** контроль глубины пропитки пористого материала гидрофобизирующим раствором : дис. … канд. техн. наук / С. В. Николаев. – Санкт-Петербург : СЗТУ, 2006. – 199 с.

15. **Обеспечение** эффективной гидрофобной защиты неорганических строительных материалов : дис. … канд. техн. наук / С. Г. Ершова. – Новосибирск : Сибстрин, 2006. – 174 с.

УДК 004.056.53

А. А. Привалов, Н. В. Евглевская
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

К. Н. Зубков
ООО «Телесофт»

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВСКРЫТИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОПЕРАТОРА IP–ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ РАЗВЕДКОЙ ОРГАНИЗОВАННОГО НАРУШИТЕЛЯ

Проведенный анализ показал, что информационные воздействия на технологические процессы организуются на основе данных, извлеченных организованным нарушителем из информации, циркулирующей в инфокоммуникационных сетях и обрабатываемой на объектах информатизации. Рассмотрена модель процесса вскрытия параметров сети передачи данных оператора IP-телефонной сети компьютерной разведкой организованного нарушителя. Данная модель позволяет учитывать особенности конфигурации IP-телефонных сетей и количественно оценивать длительность цикла управления, необходимого организованному нарушителю для получения всех требующихся разведданных, а также определить требования к периодичности контроля безопасности информации с целью обеспечения заданного уровня защищенности.

стохастическая сеть, эквивалентная функция, организованный нарушитель, метод топологического преобразования стохастических сетей.

Введение

Несанкционированные воздействия на компьютерные сети как коммерческих организаций и федеральных структур, так и крупных промышленных объектов осуществляются на основе данных, добываемых организованным нарушителем с использо-

ванием средств компьютерной и агентурно-технической разведки. В литературе встречаются статьи, в которых приведены модели компьютерной разведки, однако эти модели ориентированы на анализ защищенности объектовых локальных вычислительных сетей, а получаемые в ходе моделирования результаты не могут быть использованы для оценки информационной безопасности IP-телефонных сетей, получивших широкое распространение.

Для операторов IP-телефонной сети, обеспечивающих передачу голосового трафика, последствия компьютерных атак, успешно проведенных организованным нарушителем, могут привести не только к финансовым потерям, но и повлиять на репутацию компании путем нарушения доступности и качества предоставляемых услуг телефонной связи абонентам.

На объекте информатизации сталкиваются интересы двух противоборствующих сторон: организованного нарушителя и системы управления безопасностью. С одной стороны, организованный нарушитель воздействует на телекоммуникационную сеть в течение времени t_1 с целью осуществления основных этапов компьютерной разведки с последующей реализацией атаки. С другой стороны, система управления безопасностью обнаруживает несанкционированные действия нарушителя и осуществляет необходимые меры по противодействию за некоторое время t_2. Как показывает практика, воздействия со стороны системы управления безопасностью оказываются с задержкой, а чаще всего – постфактум, когда организованный нарушитель уже достиг поставленной цели.

Для получения данных об IP-сети организованный нарушитель реализует следующие этапы компьютерной разведки:

1. Обнаружение сети и осуществление первичного доступа к ней путем анализа сетевого трафика для определения паролей доступа, передаваемых по сети.

2. Сбор информации о сети, включающий в себя:

– идентификацию узлов сети;

– сканирование портов и идентификацию сетевых сервисов;

– установление типа и версии операционной системы;

– определение технической роли узла.

3. Получение привилегированных прав доступа к целевым узлам сети.

4. Скрытие следов проникновения в сеть посредством удаления соответствующих записей в журналах регистрации, а также организация постоянного доступа («черного хода») к объекту воздействия.

Авторами статьи разработана модель первых двух этапов компьютерной разведки, поскольку разведданные, полученные в результате ее успешной реализации, являются достаточными для осуществления выбора деструктивных воздействий на телекоммуникационную сеть организованным нарушителем.

С целью определения и последующей оценки времени, необходимого организованному нарушителю для получения всех разведданных об IP-сети, необходимо поставить и решить следующую задачу.

1 Постановка задачи

Пусть на объекте оператора IP-телефонной сети развернута имеющая в своем составе m узлов беспроводная сеть, к которой организованный нарушитель осуществляет первичный доступ посредством перехвата и анализа сетевого трафика за случайное время t_e с функцией распределения $E(t)$.

После успешной реализации перехвата сетевого трафика нарушитель с вероятностями P_d, P_n и P_v приступает к получению IP-адресов сетевых узлов, данных о портах и сетевых сервисах, а также типе и версии операционной системы за случайное время t_d, t_n, t_v с функциями распределения $D(t)$, $N(t)$ и $V(t)$ соответственно. Функции распределения $D(t)$, $N(t)$ и $V(t)$ определяются с использованием ранее разработанных моделей [1]. В противном случае указанные процессы возобновляются с вероятностями $(1 - P_d)$, $(1 - P_n)$ и $(1 - P_v)$ через некоторое случайное время паузы t_1, t_2, t_3 с функциями распреде-

ления $B_1(t)$, $B_2(t)$ и $B_3(t)$ соответственно. При успешном исходе нарушитель анализирует все полученные данные за некоторое случайное время t_a с функцией распределения $A(t)$ и принимает решение о технической роли сетевых узлов.

Требуется определить среднее время T и функцию распределения $F(t)$ времени вскрытия параметров сети передачи данных оператора IP-телефонной сети организованным нарушителем в условиях ведения компьютерной разведки.

2 Разработка модели процесса вскрытия параметров сети передачи данных оператора IP-телефонной сети

Представим описанный выше процесс в виде стохастической сети (рис. 1).

Эквивалентная функция стохастической сети (рис. 1), определяемая с использованием уравнения Мэйсона [2], имеет вид:

$$Q(s) = \frac{e(s)\cdot d(s)\cdot P_1\cdot n(s)\times}{1-x(s)-y(s)-z(s)+x(s)y(s)+} \quad (1)$$
$$\frac{\times P_2\cdot v(s)\cdot P_3\cdot a(s)}{+x(s)z(s)+y(s)z(s)-x(s)y(s)z(s)},$$

где $x(s) = d(s)\cdot(1-P_1)\cdot b_1(s)$;

$y(s) = n(s)\cdot(1-P_2)\cdot b_2(s)$;

$z(s) = v(s)\cdot(1-P_3)\cdot b_3(s)$;

$f(s) = \int_0^\infty F(t)\exp(-st)dt$ – преобразование Лапласа функций распределения времени реализации частных процессов.

Предполагая, что функции распределения времени реализации частных процессов относятся к классу экспоненциальных и проведя соответствующие преобразования, получим:

$$Q(s) = \frac{e\cdot d\cdot P_1\cdot n\cdot P_2\cdot v\cdot P_3\cdot a\times}{(a+s)\cdot(e+s)\cdot(s^6+A\cdot s^5+} \quad (2)$$
$$\frac{\times(b_1+s)\cdot(b_2+s)\cdot(b_3+s)}{+B\cdot s^4+C\cdot s^3+D\cdot s^2+E\cdot s+H)},$$

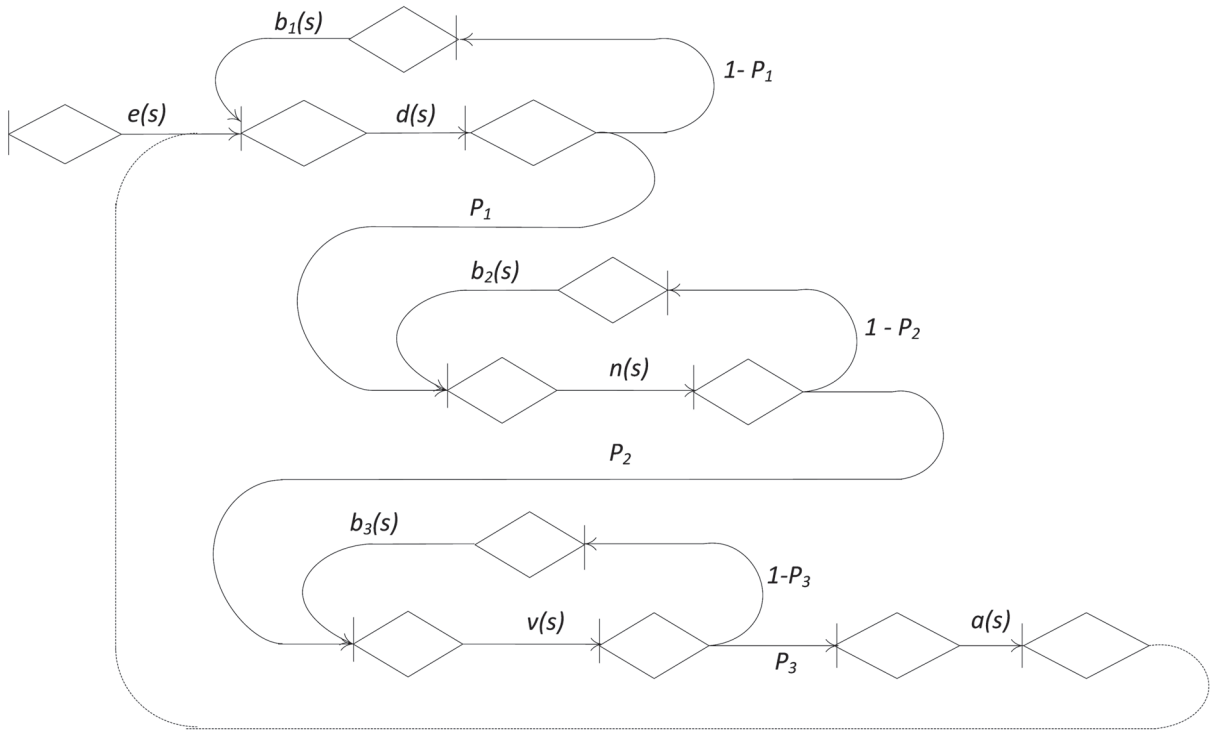


Рис. 1. Стохастическая сеть процесса вскрытия сети передачи данных оператора IP-телефонной сети нарушителем

где $e=1/t_e$; $d=1/t_d$; $n=1/t_n$; $v=1/t_n$; $a=1/t_a$; $b_1=t_1$; $b_2=1/t_2$; $b_3=1/t_3$ – среднее время перехвата и анализа сетевого трафика; установление IP-адреса узла сети; сканирования портов и идентификации сетевых сервисов; определения типа и версии операционной системы узла сети; анализа полученных данных и принятия решения о технической роли разведуемого узла сети, паузы перед повторной попыткой перехвата сетевого трафика, сканирования портов, определения типа ОС соответственно.

$$A := d + v + b_2 + b_3 + b_1 + n;$$

$$B := b_1 v + db_2 + vb_3 P_3 + db_1 P_1 + b_2 nP_2 + b_2 b_3 + b_2 v + db_3 + b_1 b_2 + nb_3 + b_1 n + b_1 b_3 + dn + nv + dv;$$

$$C := vb_3 P_3 (d + b_1) + db_1 P_1 b_3 + b_2 nP_2 (d + b_1) + b_2 nP_2 (b_1 + v + b_3) + db_2 (v + b_3) + b_1 b_2 b_3 + vb_3 P_3 (n + v) + dnv + nb_3 (b_1 + d) + db_1 P_1 (b_2 + v + n) + b_1 v (n + b_2);$$

$$D := b_2 nvP_2 P_3 + db_1 P_1 nv + db_1 P_1 (nb_3 + b_2 v) + vb_3 P_3 (db_2 + n + b_1 b_2 + dn) + db_1 b_2 P_1 P_2 (n + d) + db_1 vb_3 P_1 P_3 + b_2 nP_2 (db_3 + b_1 v + dv + b_1 b_3);$$

$$E := db_1 b_2 P_1 P_2 (nv + nb_3 + vb_3) + b_2 nvb_3 P_2 P_3 (d + b_1) + db_1 vb_3 P_1 P_3 n;$$

$$H := db_1 nb_2 vb_3 P_1 P_2 P_3 _$$

коэффициенты разложения

Для определения оригинала $Q(s)$ используем разложение Хевисайда, позволяющее при $s_1 \neq s_2$ представить выражение (2) в виде суммы вычетов в полюсах s_k, $k = \overline{1,8}$:

$$Q(s) = \sum_{k=1}^{8} \frac{f(s_k)}{\varphi'(s_k)} \cdot \frac{1}{s - s_k}, \qquad (3)$$

где $s_1 = -a$; $s_2 = -e$;

$$s_{3,4} = -\frac{1}{2}(b_3 + v \pm \sqrt{4vb_3 P_3 - (b_3 + v)^2};$$

$$s_{5,6} = -\frac{1}{2}(b_2 + n \pm \sqrt{4nb_2 P_2 - (b_2 + n)^2};$$

$$s_{7,8} = -\frac{1}{2}(d + b_1 \pm \sqrt{4db_1 P_1 - (d + b_1)^2};$$

$$f(s) = e \cdot d \cdot P_1 \cdot n \cdot P_2 \cdot v \times \times P_3 \cdot a \cdot (b_1 + s) \cdot (b_2 + s) \cdot (b_3 + s);$$

$$\varphi(s) = (a + s) \cdot (e + s) \cdot (s^6 + A \cdot s^5 + + B \cdot s^4 + C \cdot s^3 + D \cdot s^2 + E \cdot s + H).$$

Определив оригинал (3), используя таблицы соответствия [3], и проинтегрировав полученный результат с переменным верхним пределом, получим искомую функцию распределения:

$$F(t) = \sum_{k=1}^{8} \frac{f_k(s_k)}{\varphi'_k(s_k)} \cdot \frac{1 - e^{s_k t}}{-s_k}. \qquad (4)$$

В свою очередь, среднее время, затрачиваемое организованным нарушителем на получение всех разведданных об IP-телефонной сети:

$$\mathrm{T} = \int_0^{\infty} td\left[F(t)\right] = \sum_{k=1}^{5} \frac{f_k(s_k)}{\varphi'_{\ddot{e}}(sk) s_k^2}. \qquad (5)$$

3 Результаты моделирования

По формулам (4) и (5) произведены расчеты, результаты которых представлены в виде графиков на рис. 2 и 3.

При расчетах предполагалось, что среднее время добывания данных о сети передачи данных t_e = 120 мин; t_d = 60 мин; t_n = = 40 мин; t_a = 90 мин; $b_1 = b_2 = b_3$ = 30 мин. Указанные временные величины были получены на основе данных промежуточного моделирования [1]. Значения вероятностей установления IP-адреса узла сети, идентификации сетевых сервисов и определения типа

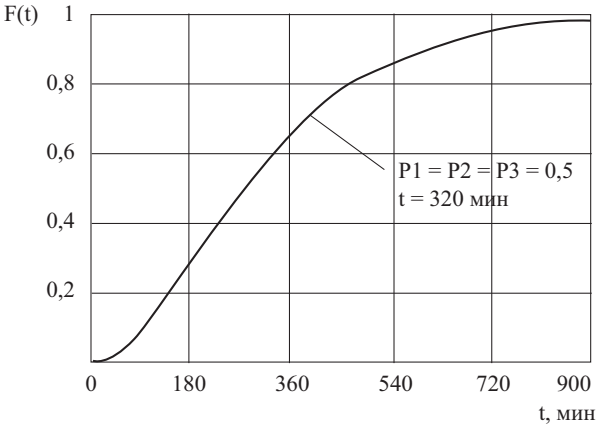


Рис. 2. Функция распределения времени, необходимого организованному нарушителю для получения данных о сети при одинаковых вероятностях осуществления этапов компьютерной разведки

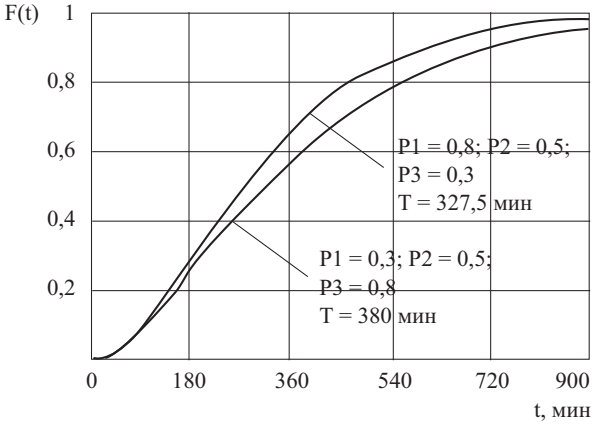


Рис. 3. Функция распределения времени, необходимого организованному нарушителю для получения данных о сети при различных вероятностях осуществления этапов компьютерной разведки

операционной системы сетевого узла с $P1$, $P2$ и $P3$ принимались равными 0,3; 0,5 и 0,8.

Анализ полученных результатов показал, что:

– разработанная модель является работоспособной, чувствительной к изменению исходных данных, адекватно отображает процесс вскрытия параметров сети передачи данных оператора IP-телефонной сети системой компьютерной разведки и позволяет определить вероятностно-временные характеристики процесса компьютерной разведки организованного нарушителя;

– полученные в ходе моделирования значения среднего времени, необходимого организованному нарушителю для осуществления компьютерной разведки, позволяют проводить оценку влияния различных параметров на защищенность сети передачи данных и количественно оценивать уровень ее защищенности после реализации предпринятых мер защиты сети от компьютерной разведки.

Заключение

Таким образом, в статье предложена математическая модель процесса вскрытия параметров сети передачи данных оператора IP-телефонной сети компьютерной разведкой организованного нарушителя, позволяющая учесть особенности проведения компьютерной разведки при вскрытии параметров IP-телефонных сетей с использованием ранее разработанных авторами моделей [5]. В общем случае предлагаемая модель может быть использована для анализа разведзащищенности и других, в том числе и мультимедийных TCP/IP, сетей при условии корректировки исходных данных, характеризующих анализируемую сеть.

Полученные в ходе моделирования результаты позволяют оценить время, необходимое нарушителю для оказания воздействия на защищаемую сеть, и определить требования к периодичности и глубине контроля информационной безопасности.

Библиографический список

1. **Метод** топологического преобразования стохастических сетей и его использования для анализа систем связи ВМФ / А. А. Привалов. – Санкт-Петербург : ВМА, 2001. – 186 с.

2. **IP-телефония /** В. С. Гольдштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. – Москва : Радио и связь, 2001. – 336 с.

3. **Таблицы** интегральных преобразований / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. Т. 1. Преобразования Фурье, Лапласа, Мелина ; пер. с англ. Н. Я. Вилей-

кина. Серия «Справочная математическая библиотека». – Москва : Наука, 1969. – 344 с.

4. **Компьютерные** сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов. 4-е изд. / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Санкт-Петербург : Питер, 2010. – 944 с.

5. **Моделирование** комплексов радиоразведки и радиоподавления вооруженных сил зарубежных государств / В. Н. Куделя, В. Е. Кузнецов, А. М. Лихачев, В. В. Масановец, А. А. Привалов. – Санкт-Петербург : Военный Университет Связи, 2004. – 156 с.

УДК 621.396.933.2

Е. В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е. А. Рубцов
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА И РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОМАЯКОВ VOR/DME В РЕСПУБЛИКЕ ИРАК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

Оценена степень покрытия воздушных трасс зонами действия сети маяков VOR/DME (при расчете зон действия учитывался сложный характер рельефа, влияющий на дальность действия РТС). По результатам анализа сделан вывод, что инфраструктура РТС навигации недостаточна для выполнения полетов по концепции зональной навигации. Предложено дооснастить аэродромы, на которых уже есть маяки VOR, дальномерным оборудованием DME, а также внедрить дополнительные навигационные маяки VOR/DME. Анализ зон действия для новой конфигурации маяков показал, что при этом обеспечивается стопроцентное покрытие воздушных трасс для высоты полета 10 000 м, а также трехкратное повышение степени покрытия воздушных трасс по сравнению с существующей ситуацией для высоты полета 6000 м.

зона действия, VOR/DME, зональная навигация.

Введение

Государство Ирак обладает большим экономическим потенциалом. На территории страны сосредоточено около 10 % мировых запасов нефти, имеются месторождения природного газа, велика площадь сельскохозяйственных земель, бассейны рек Тигр и Евфрат удовлетворяют потребность в водных ресурсах. Выгодное географическое положение страны способствует развитию внутренних и внешних воздушных сообщений.

Однако данный потенциал был практически полностью нивелирован политическими и социальными конфликтами последних десятилетий: Ирано-Иракской войной (1980–1988 гг.), оккупацией Кувейта (1990–1991 гг.), гражданской нестабильностью: репрессиями против шиитского и курдского населения со стороны правительства и последующей войной, закончившейся вводом в страну сил Коалиции и свержением режима Саддама Хусейна.

Сложная военно-политическая обстановка в Ираке сохраняется по сей день: экстремистские и террористические группировки продолжают совершать теракты и нападения.

Несмотря на это, в настоящее время идет полномасштабное восстановление экономики страны. Вследствие изменения полити-

ческого режима у граждан появилась возможность свободно перемещаться по стране и выезжать за границу. Это привело к росту пассажиропотока, поэтому актуальной проблемой, требующей особого внимания и серьезных затрат, стало восстановление и развитие гражданской авиации. При этом ставится задача наряду с ростом перевозок не допустить снижения уровня безопасности полетов.

1 Постановка задачи

Одним из требований обеспечения безопасности полетов является условие полного покрытия воздушных трасс зонами действия радиотехнических систем (РТС) навигации [1].

Внедряемая во всем мире и дающая большие преимущества, зональная навигация, предполагающая полеты по трассам без привязки к наземным РТС, возможна при использовании спутниковых систем навигации, наземных маяков VOR/DME и DME/DME, а также высокоточных бортовых инерциальных систем [2].

Большое количество ВС в мире оснащено аппаратурой GPS. Однако в сложившейся геополитической обстановке было бы неосмотрительным полностью полагаться на зарубежные спутниковые системы навигации. В связи с этим страны ищут альтернативные варианты: создают собственные системы спутниковой навигации (российская ГЛОНАСС, европейская Galileo, проектируемые системы других стран) либо внедряют наземные навигационные системы в количестве, достаточном для обеспечения безопасности полетов. Для Республики Ирак целесообразно использовать второй вариант.

На территории страны имеются два маяка VOR в Багдаде и Сулеймании, и один маяк VOR/DME в Басре. Еще 14 маяков VOR/DME расположены вдоль границы (рис. 1).

Для обеспечения зональной навигации необходимо использовать маяки VOR/DME. Так как аэродромы Багдада и Сулеймании еще не оснащены дальномерным оборудованием, в расчетах они не учтены.

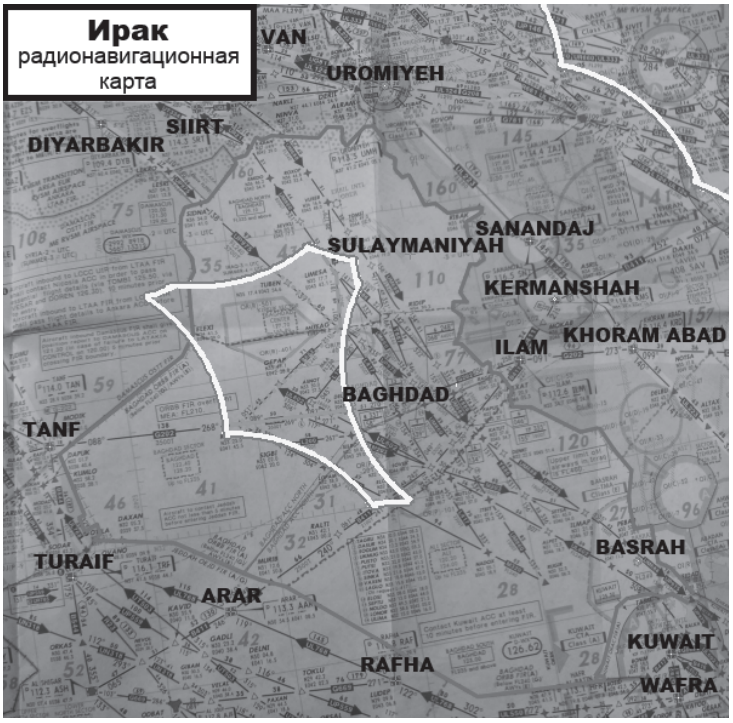


Рис. 1. Анализ покрытия воздушных трасс ЗД маяков VOR/DME по упрощенной методике для высоты полета 10000 м

Воздушные трассы, выбранные для анализа степени покрытия приведены на рис. 2, а их длина и маршрутные точки – в таблице.

Общая длина анализируемых трасс составляет 4819 км.

2 Оценка покрытия воздушных трасс зонами действия существующих маяков VOR/DME

Упрощенный анализ покрытия предполагает круглые зоны действия маяков VOR/

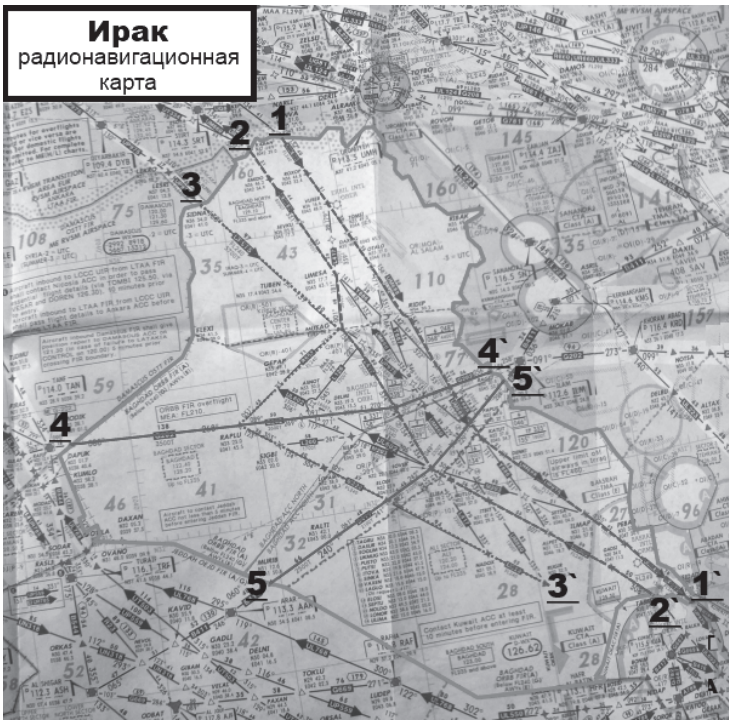


Рис. 2. Исследуемые трассы

ТАБЛИЦА. Анализируемые воздушные трассы

Трасса, длина	Марш. точки	Трасса, длина	Марш. точки	Трасса, длина	Марш. точки	Трасса, длина	Марш. точки
1–1′ 1128 км	NINVA VUSEB TOMSI OTALO RIDIP PAPUS KATUT DENKI ILMAP PEBAD SIDAD	2–2′ 1143 км	KABAN SEVKU UMESA MUTAG BAGHDAD LOVEK ITBIT ALPET GADSI TASMI	3–3′ 1212 км	SIDNA TUBEN MUTAG GEPAP RAPLU SIGBI LOPAM ELODI NADOX RUGIR	4–4′ 772 км	DAPUK RAPLU DELMI BAGHDAD RAGET
						5–5′ 564 км	MURIB RALTI ELODI LOVEK PAPUS PAXAT

DME. Нормативные документы [3] рекомендуют принимать дальность действия 380 км для верхнего воздушного пространства (выше 8100 м), и 170 км – для нижнего (до 1500 м). Производители радионавигационного оборудования [4, 5] заявляют о дальности в 340 км для высоты полета 12 000 м и 240 км – для 6000 м.

Используя эти данные, проанализируем степень покрытия воздушных трасс Республики Ирак зонами действия маяков VOR/DME. На рис. 1 представлен результат расчетов для высоты полета 10 000 м. Участки трасс, не покрытые зонами действия навигационных маяков, выделены оранжевым цветом. При этом покрывается 82,9% всех трасс (не покрыто 823 км); худшее навигационное обеспечение имеет трасса 3–3′ – 63,9%.

Упрощенный анализ покрытия не учитывает окружающий антенну рельеф, что для маяков, расположенных в горной местности, недопустимо [6]. На рис. 3 показаны места установки VOR/DME в точках ILAM и KHORAMABAD, и сложный рельеф данной местности.

С помощью цифровой модели рельефа SRTM были получены углы закрытия для исследуемых навигационных маяков (рис. 4, 5). Из рисунков видно, что закрытия, доходящие до нескольких градусов, существенно ограничивают дальность действия.

Анализ, проведенный с учетом сложного рельефа, показал, что для высоты полета 10 000 м обеспечивается 64,1% покрытия всех трасс (не покрыто 1728 км), худшее навигационное обеспечение имеет трасса 3–3′: 41,7%. Для высоты полета 6000 м этот показатель составляет 38,9% (не покрыто 2944 км), худшее навигационное обеспечение имеет трасса 3–3′: 8%.

Кроме того, из рисунков видно, что в настоящее время на территории Республики Ирак имеется только один маяк VOR/DME в Басре, позволяющий осуществлять полеты по маршрутам с учетом требований зональной навигации.

3 Оценка покрытия воздушных трасс зонами действия маяков VOR/DME учетом рекомендаций

Для устранения указанных недостатков предлагается дооснастить аэродромы Багдад и Сулеймания дальномерным оборудованием DME. Также предлагается установить маяки VOR/DME на аэродромах Таль-Афар и Аль-Асад, расположенных в равнинной местности. Результаты расчетов с учетом предлагаемых изменений в структуре РТС навигации представлены на рис. 6, 7.

Дооснащение аэродромов Багдада и Сулеймании дальномерным оборудованием, а также внедрение двух дополнительных маяков VOR/DME позволят повысить степень покрытия воздушных трасс ЗД до 100% для

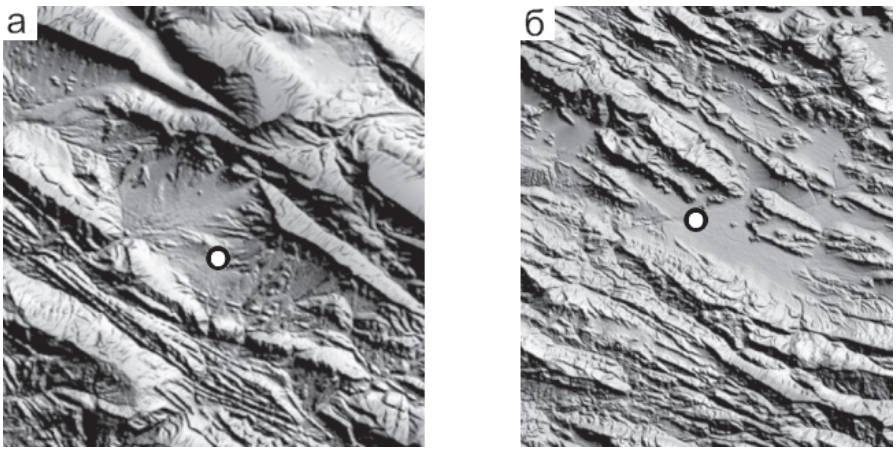


Рис. 3. Точка установки маяка VOR/DME:
а) ILAM; б) KHORAM ABAD

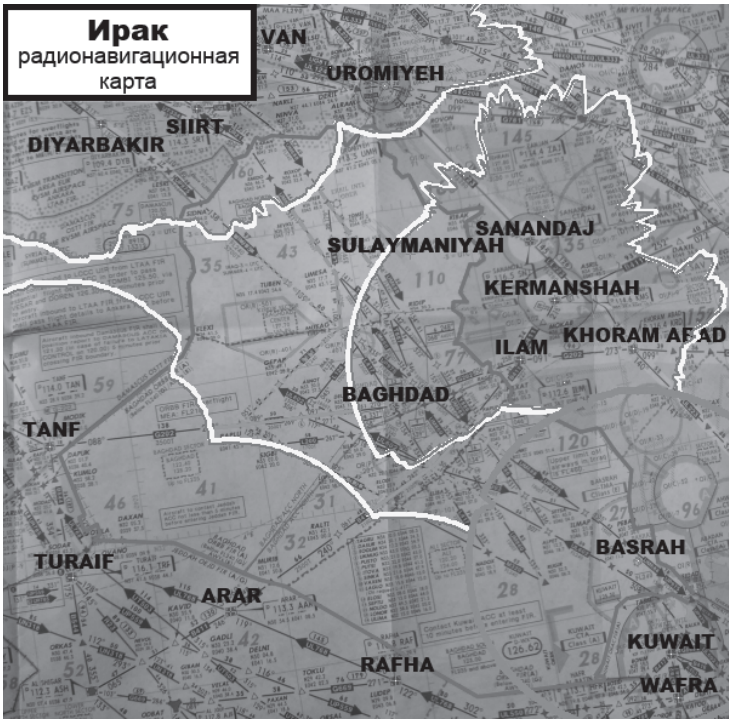


Рис. 4. Анализ покрытия воздушных трасс ЗД маяков VOR/DME
с учетом рельефа для высоты полета 10 000 м

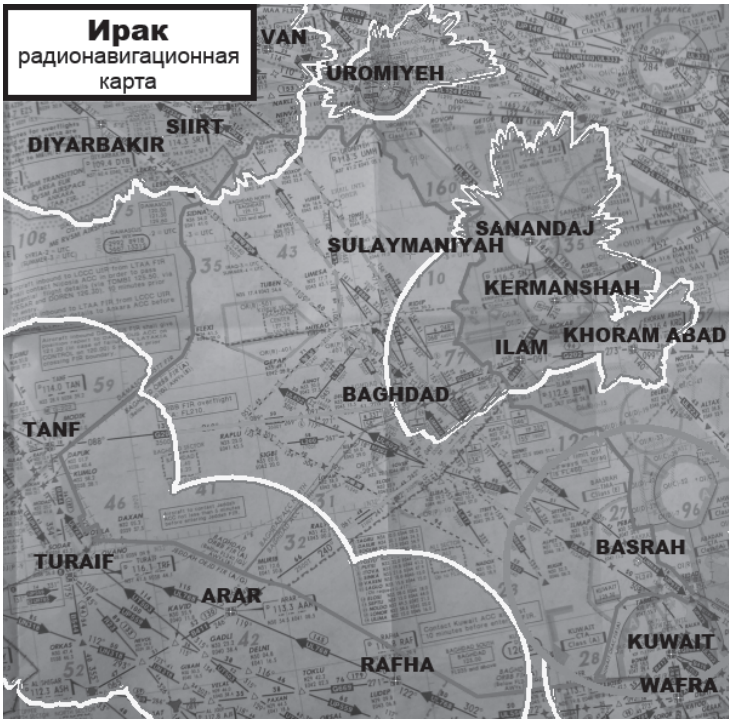


Рис. 5. Анализ покрытия воздушных трасс ЗД маяков VOR/DME
с учетом рельефа для высоты полета 6000 м

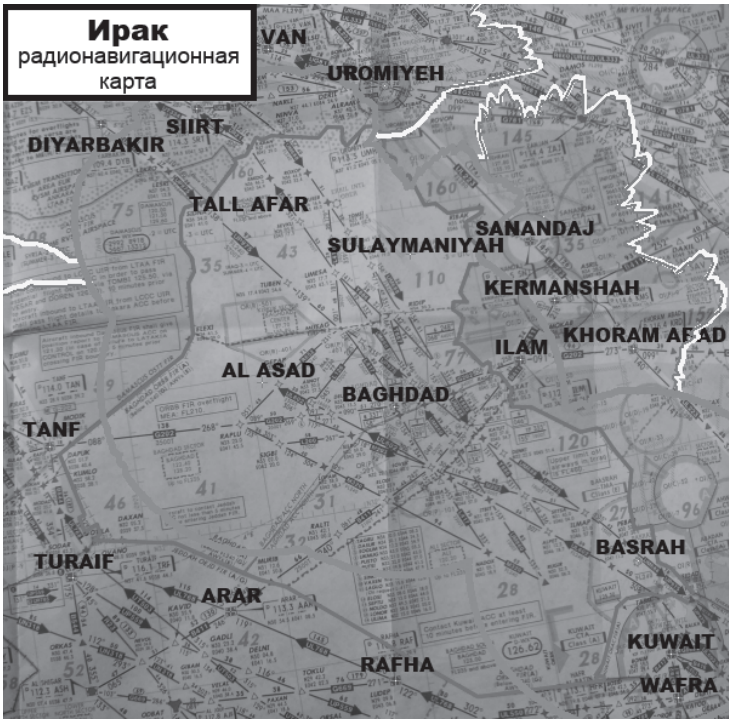


Рис. 6. Анализ покрытия воздушных трасс ЗД маяков VOR/DME с учетом рекомендаций для высоты полета 10 000 м

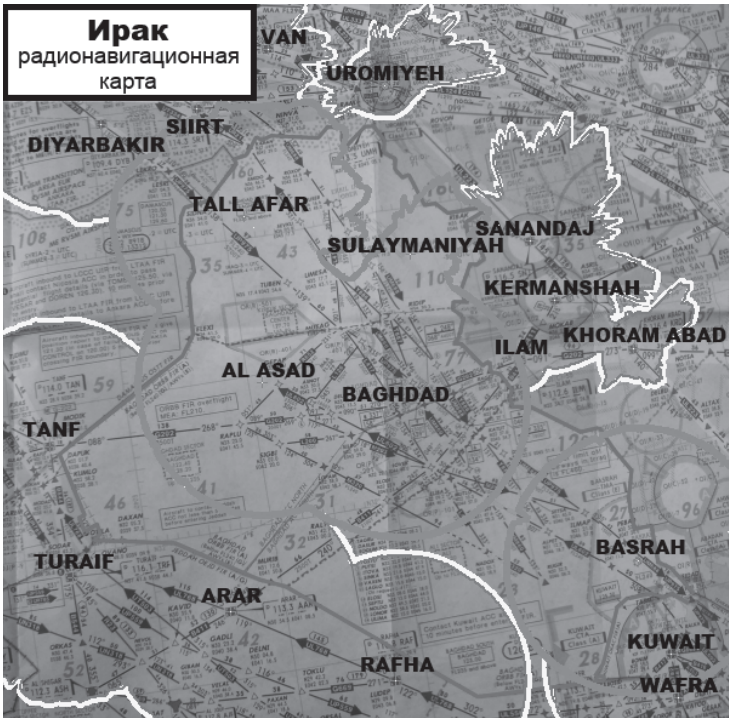


Рис. 7. Анализ покрытия воздушных трасс ЗД маяков VOR/DME с учетом рекомендаций для высоты полета 6000 м

высоты полета 10 000 м и до 95,4 % – для высоты полета 6000 м. Длина непокрытых участков трасс сократится до 0 км и 224 км, соответственно.

На рис. 6 и рис. 7 также выделены ЗД маяков, находящихся на территории Республики Ирак. Видно, что в особых ситуациях страна сможет собственными силами поддерживать должный уровень навигационного обеспечения на воздушных трассах.

Заключение

В рамках статьи проанализирована степень покрытия воздушных трасс Республики Ирак зонами действия маяков VOR/DME. Показано, что при расчете дальности действия маяков, расположенных в горных районах, необходимо учитывать сложный рельеф. Применение упрощенной методики приводит к существенным ошибкам и не позволяет достоверно оценить ситуацию в регионе.

При существующем навигационном обеспечении степень покрытия воздушных трасс зонами действия маяков VOR/DME составляет 64,1 % для высоты полета 10 000 м и 38,9 % для высоты полета 6000 м. При этом на территории Ирака находится только один маяк VOR/DME в Басре.

По результатам анализа рекомендовано дооснастить аэродромы Багдада и Сулеймании дальномерным оборудованием DME, а также внедрить маяки VOR/DME на аэродромах Таль-Афар и Аль-Асад. При этом степень покрытия воздушных трасс составит 100 % для высоты полета 10 000 м и 95,4 % для высоты полета 6000 м. Расположение маяков обеспечит страну независимой навигационной группировкой, что позволит обеспечить безопасность полетов в случае особых ситуаций.

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки Республики Ирак, а также сотрудникам посольства Республики Ирак за оказанную помощь и поддержку.

Библиографический список

1. **Организация** радиотехнического обеспечения полетов. Ч. 1. Основные эксплуатационные требования к авиационным комплексам навигации, посадки, связи и наблюдения : учеб. пособие / Е. В. Соболев. – Санкт-Петербург : СПбГУГА, 2007. – 120 с.

2. **Руководство** по навигации, основанной на характеристиках (PBN). ИКАО док. 9613 AN/937 : 3-е изд., 2008.

3. **Приказ** Росаэронавигации от 18 ноября 2009 г. № 234 «О Методических рекомендациях по созданию маршрутов обслуживания воздушного движения».

4. **Радиомаяк** азимутальный доплеровский DVOR 2000 [Электронный ресурс] : ОАО «Азимут». – URL: http://www.azimut.ru/catalogue/navigation /dvor2000.

5. **Радиомаяк** дальномерный DME 2000 [Электронный ресурс] : ОАО «Азимут». – URL : http://www.azimut.ru/catalogue/navigation/dme 2000.

6. **Расчет** дальности радиовидимости с учетом влияния рельефа и атмосферы / Е. В. Соболев, Н. В. Книжниченко, Е. А. Рубцов // Вестн. СПбГУГА. – 2012. – № 1 (3). – С. 44–54.

УДК 666.972.1

Ю. А. Сорвачева
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ВЛИЯНИЕ НАНО-КРЕМНЕЗЕМА НА КИНЕТИКУ ПРОТЕКАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ КОРРОЗИИ БЕТОНА

Исследование вопросов внутренней коррозии бетона и методов ее предотвращения является одним из направлений деятельности по обеспечению долговечности конструкций во всем мире. Известно, что активные минеральные добавки снижают расширение образцов, вызванное проявлением щелоче-силикатной реакции, однако механизм этого воздействия остается не исследованным до конца. С целью изучения воздействия нано-кремнезема на процесс протекания щелочной коррозии бетона и формирование цементной матрицы были проведены ускоренные испытания по оценке потенциальной реакционной способности одного из потенциально опасных в сочетании с высокощелочным цементом заполнителей с измерением линейных деформаций расширения; проанализировано влияние введения нано-кремнезема на кинетику набора пластической прочности цементного камня. Методом электронной микроскопии выявлено, что введение нано-кремнезема в бетонную смесь способствует образованию щелоче-силикатного геля в цементной матрице, а не в порах образца, что способствует замедлению протекания щелочной коррозии бетона.

щелоче-силикатная реакция, нано-кремнезем, внутренняя коррозия бетона.

Введение

В 1940 г. американский ученый Т. Стэнтон положил начало многочисленным исследованиям в области внутренней коррозии бетона. обнародовав информацию о разрушениях ряда сооружений, построенных в период с конца 1920-х до начала 1940-х годов в Калифорнии (шт. Вирджиния). Он назвал это явление щелоче-силикатной реакцией [1]. Поскольку одним из факторов, способствующим протеканию реакции, является повышенная температура окружающей среды, в таких странах, как Дания, Германия и Великобритания было высказано предположение, что эта проблема их не затронет в связи с географическим расположением и геологической ситуацией. Опубликованные позже отчеты о наблюдаемых повреждениях бетонных и железобетонных конструкций показывают, что предположение было неверным.

На севере Германии впервые был диагностирован случай щелоче-силикатной реакции в 1964 г. в городе Любек: разрушению были подвержены мостовые конструкции. Также разрушения отмечались в Дании (1950), Исландии (1960–1970), Великобритании (1971), Турции (1975), Австралии (1980), Швеции и Норвегии (1980–1990), Швейцарии (1995), Нидерландах (1995–1998) и Финляндии (2011). Разрушениям подвергались здания, мосты, автодорожные и аэродромные покрытия, плотины, водопропускные сооружения и железобетонные подрельсовые конструкции [2]–[11]. В Российской Федерации долгое время отсутствовали статистические сведения о подобных явлениях, однако в 2004 г. обследования, проведенные кафедрой «Строительные материалы и технологии» ПГУПС, позволили спустя 3 года после начала эксплуатации железобетонных подрельсовых конструкций выявить их разрушение, вызванное щелоче-силикатной реакцией [12].

Введение в состав бетона активных минеральных добавок, таких как микрокремне-

зем, зола-уноса, молотый гранулированный доменный шлак, эффективно предотвращает щелоче-силикатную реакцию, однако многие аспекты, связанные с их ингибирующим действием, остаются невыясненными [13]. Вместе с тем отдельные работы показывают, что некоторые виды добавок могут повышать нежелательное расширение образцов [14], [15].

В настоящее время не существует специального метода оценки влияния активных минеральных добавок на процесс протекания внутренней коррозии бетона, отсутствуют сведения об их оптимальной дозировке и размере частиц, поэтому было проведено исследование влияния нано-кремнезема на расширение образцов бетона вследствие внутренней коррозии.

1 Характеристика материалов

В ряде национальных и зарубежных норм установлено предельно допустимое содержание щелочей в цементе в пересчете на эквивалентное значение оксида натрия, равное 0,6 %. При проведении исследований использовался высокощелочной портландцемент (см. таблицу).

Анализ показывает, что цемент содержит 1,19 % щелочей в пересчете на Na_2O_{eq}, это в 2 раза превышает допустимую норму.

При изготовлении образцов использовался дробленный крупный заполнитель одного из южных месторождений России. По результатам петрографического анализа он состоял из кварца ~20–25 %, полевых шпатов ~20–25 %, халцедона ~18–20 %, амфиболов ~13–15 %, рудных минералов ~13–14 %, пироксенов ~3–4 %, слюды и гидрослюды ~3–4 % и $CaCO_3$ ~1–2 %. По результатам химического анализа выявлено, что заполнитель содержал 38,1 ммоль/л аморфного кремнезема, что на 24 % ниже предельной установленной границы в 50 ммоль/л.

С целью предупреждения возникновения щелоче-силикатной реакции и снижения деформаций расширения в бетонную смесь был введен коллоидный нано-кремнезем (содержание SiO_2 99,2 %) с удельной поверхностью 300 м^2/г в количестве 0,025 % и 0,125 % от массы цемента.

2 Результаты исследования

Для изучения формирования структуры цементного камня на его ранних стадиях была определена пластическая прочность в разные моменты времени с использованием конического пластометра. Было проанализировано влияние нано-кремнезема на кинетику набора пластической прочности цементного камня (рис. 1).

ТАБЛИЦА. Химико-минералогический состав цемента

Минералогический состав, %		Химический состав, %	
C_3S	52,9	SO_3	2,89
		SiO_2	20,7
C_2S	19,4	Al_2O_3	5,21
		Fe_2O_3	4,15
C_3A	6	CaO/CaO своб.	63,9/0
		MgO	1,75
C_4AF	12,5	K_2O	0,60
		Na_2O	0,80

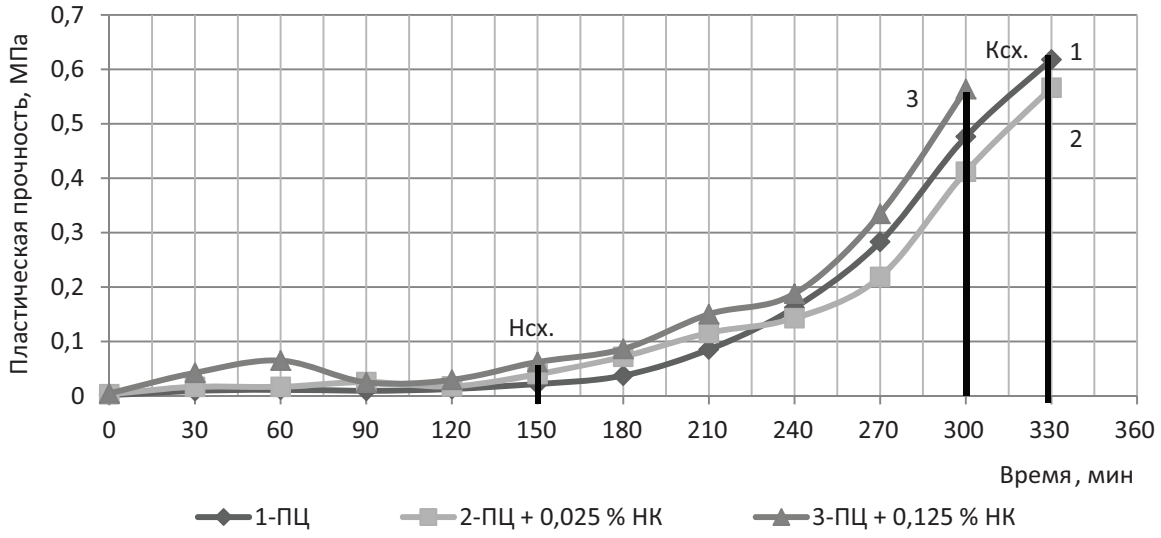


Рис. 1. Влияние нано-кремнезема на кинетику набора пластической прочности цементного камня

Анализ результатов показал, что введение нано-кремнезема оказывает незначительное влияние на сроки схватывания цементного камня: при сохранении времени начала схватывания неизменным (2 ч 30 мин) он незначительно сокращает время конца схватывания (с 5 ч 30 мин до 5 ч 00 мин) при увеличении его дозировки.

С целью определения влияния нано-кремнезема на процесс гидратации портландцемента был проведен качественный и количественный анализы проб цементного камня по стандартной методике с введением 20% оксида цинка кристаллической структуры, образованные в результате пики цинкита при качественном анализе принято не учитывать (рис. 2).

Результаты анализа позволяют сделать вывод о практическом отсутствии в представленных образцах эттрингита (значение колеблется в пределах от 0,97 до 0,46%), что объясняется малым количеством гипса

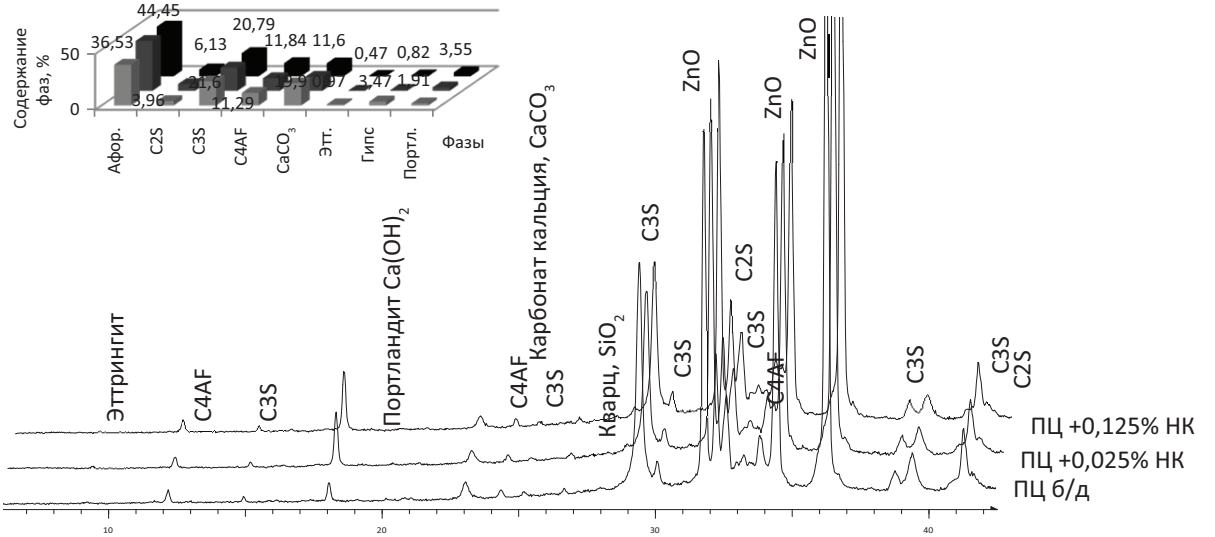


Рис. 2. Рентгенограммы образцов

в используемом цементе и исключает расширение образцов вследствие его увеличения в объеме. В свою очередь, введение нано-кремнезема способствует ускорению процесса гидратации и увеличению на 55 % содержания портландита.

Для проведения ускоренных испытаний по оценке потенциальной реакционной способности заполнителя были приготовлены бетоны из трех бетонных смесей с одинаковым водоцементным отношением, равным 0,42. Результаты средних значений относительных деформаций расширения представлены на рис. 3.

Несмотря на то, что в действующих нормативных документах установлена граница длительности испытаний 11 циклов, исследования были продолжены до 21 цикла.

При проведении испытаний после 11 циклов относительное расширение у контрольных образцов достигло значения 0,13 %, при введении нано-кремнезема в количестве 0,025 и 0,125 % от массы – 0,09 и 0,07 %, соответственно, т. е. было ниже критического значения.

На основе полученных результатов можно было сделать вывод, что введение нано-кремнезема в бетонную смесь предупреждает возникновение щелоче-силикатной реакции, однако при дальнейшем выдерживании образцов в одномолярном растворе гидрооксида натрия деформации расширения продолжали расти и на 21-й день превысили допустимую границу в 1,5–2 раза. Полученные результаты доказывают, что введение нано-кремнезема не предотвращает щелоче-силикатную реакцию, а лишь замедляет ее протекание.

Для подтверждения высказанного предположения и выявления наличия геля как продукта щелоче-силикатной реакции, были проведены микроскопические исследования образцов с помощью 3D-микроскопа (рис. 4).

Установлено, что в образце без добавок практически все поры полностью или частично заполнены щелоче-силикатным гелем, что говорит о продолжающейся внутренней коррозии бетона. Наличие геля в порах ускоряет процесс расширения образцов с последующим образованием микротрещин.

В свою очередь, образцы с введенным нано-кремнеземом характеризуются образованием щелоче-силикатного геля не в порах, а в цементной матрице, что объясняет замедление протекания химической реакции между щелочами цемента и кремнеземом

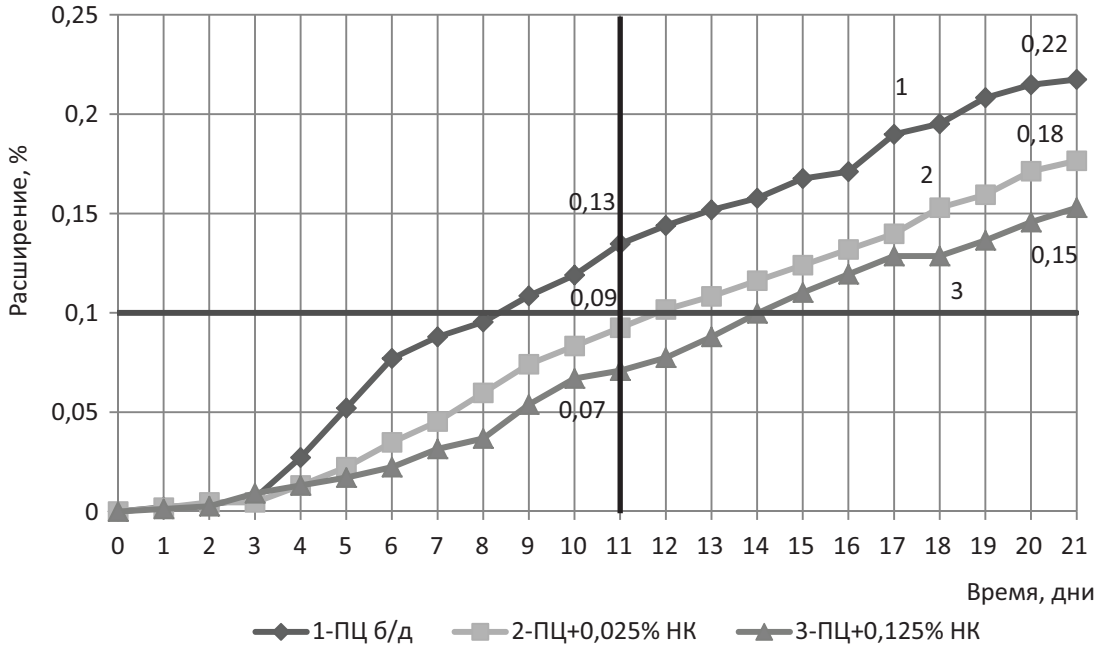


Рис. 3. Результаты оценки относительного расширения образов мелкозернистого бетона

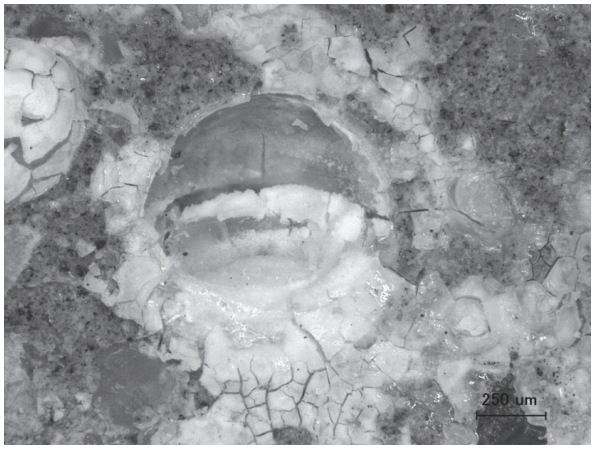


Рис. 4. Щелоче-силикатный гель в поре бездобавочного образца, ×75

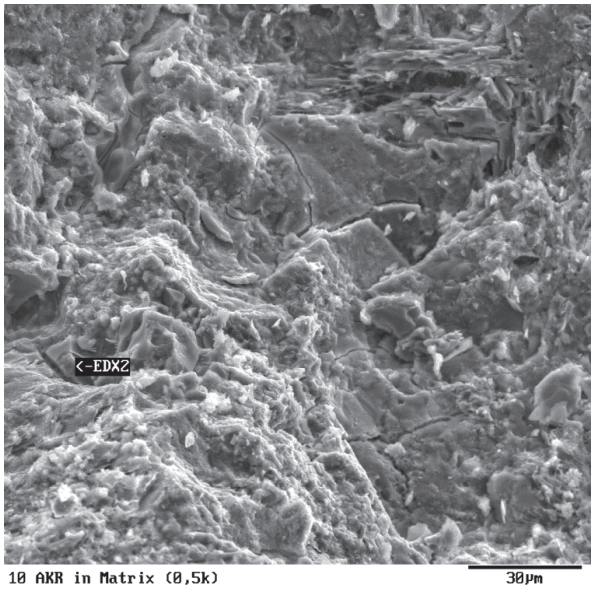


Рис. 5. Щелоче-силикатный гель в цементной матрице, ×500

заполнителя и, как следствие, замедление проявления расширения образцов. На рис. 5 представлен образец бетона с введением 0,125 % нано-кремнезема.

При проведении рентгеноспектрального микроанализа в точке EDX2 (рис. 5) было подтверждено протекание щелочной коррозии в цементной матрице. Поэлементный состав геля представлен на рис. 6.

С точки зрения количественного состава в представленном участке геля преобладает оксид кремния, который составляет примерно 64 %, а также присутствуют оксид натрия в количестве 9 %, оксид калия – 4 %, карбонат кальция – 23 %.

Заключение

Необходимым условием высокой долговечности бетонных и железобетонных конструкций является оценка факторов, влияющих на возможность возникновения щелоче-силикатной реакции в бетоне. Результаты, полученные в исследовании, позволяют сделать вывод, что использование нано-кремнезема позволяет лишь замедлить протекание щелоче-силикатной реакции, но не предотвратить ее полностью. Замедление реакции объясняется образованием геля не в порах, а в цементной матрице, в связи с чем в последнем случае требуется гораздо большее

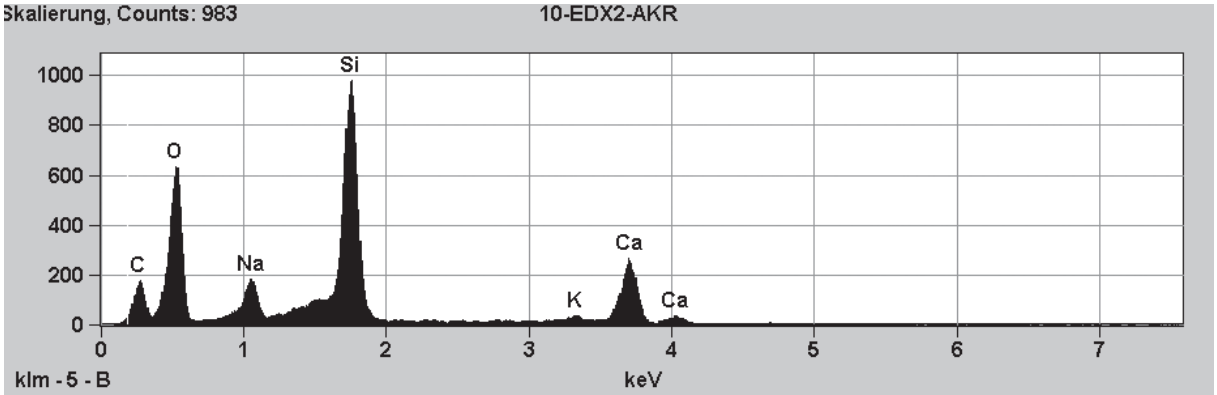


Рис. 6. Состав щелоче-силикатного геля

количество геля, способного повлечь нежелательное расширение образцов. Можно констатировать, что исследования по наиболее широко применяемой ускоренной методике не позволяют сделать достоверные выводы о действии нано-кремнезема на процесс разрушения бетона вследствие прохождения внутренней коррозии.

Для получения объективной оценки необходимо проведение дополнительных микроскопических исследований с целью обнаружения щелоче-силикатного геля или более длительные испытания.

Благодарность

Работа финансирована стипендией Президента Российской Федерации для обучения за рубежом в 2013/2014 учебном году и выполнена в Веймарском Институте строительных материалов им. Ф. А. Фингера Строительного Университета Германии.

Библиографический список

1. **Stanton, T. E.** (1940). Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. Proceedings American Society of Civil Engineers, 66, 1781–1811.

2. **Hobbs, D.W.** (1988). Alkali-silica reaction in concrete, London.

3. **Jensen, V.** (1993). Alkali aggregate reaction in Southern Norway: thesis, Trondheim.

4. **Jensen, V.,** Merz, C. (2008). Alkali-aggregate reaction in Norway and Switzerland – survey investigations and structural damage. Proceedings of the 13th ICAAR, Trondheim, 785–795.

5. **Bodeker, W.** (2003). Alkalireaktion im Bauwerksbeton – Ein Erfahrungsbericht. Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton (DAfStb), 539.

6. **Bakker, J. D.** (1999). ASR in 20 bridges in and over motorway 59 in the Netherlands. Proceedings of the 8th International Conference on Structural Faults and Repair, London, cd-rom, pp. 8.

7. **Andiç-Çakır, Ö.,** Çopuroğlu, O., Katayama, T. (2012). A Review of Alkali-Silica Reactivity in Turkey: A Case Study From Izmir, west Anatolia. Proceedings of the 14th ICAAR, Austin, 10 p.

8. **Nerenst, P.** (1957). Alment om Alkali Reaktioner i Beton. The Danish National Institute of Building Research and the Academy of Technical Sciences, Committee on Alkali Reactions in Concrete, Progress Report Al, Copenhagen.

9. **Gudmundsson, G.,** Asgeirsson, H. (1975). Some Investigation on Alkali Aggregate Reaction.

10. **Lagerblad & Trägårdh.** (1992). Alkali-silica reactions in Swedish Concrete, Stockholm.

11. **Pyy, H.,** Ferreira, M., Holt, E. (2012). Assessing the extent of AAR in Finland. Proceedings of the 14th ICAAR, Austin, 6 p.

12. **К вопросу** о долговечности железобетонных конструкций / Т. М. Петрова, Ю. А. Сорвачева // Сб. науч. трудов Sworld. – 2013. – Т. 43, № 1. – С. 68–76.

13. **Lindgard, J.** (2012). Alkali–silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing. Cement & Concrete Research, 42 (2), 223–243.

14. **Diamond, S.** (1983). Alkali-aggregate reactions in concrete – Pore solution effects. Proceedings of 6th International Conference on AAR in Concrete, Copenhagen, 155–167.

15. **Duchesne, J.,** Bérubé, M. A. (1994). Effectiveness of supplementary cementing materials in suppressing expansion due to ASR: Part 2 Effect on the pore solution chemistry. Cement & Concrete Research, 24, 221–230.

УДК 642.042.7

Ван Хайбинь
Dalian Maritime University

С. С. Ваничева
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

УЧЕТ ОТВЕТСВЕННОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПРИ ЗАДАНИИ РАСЧЕТНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Проведен анализ методов учета ответственности сооружения на величину расчетной сейсмической нагрузки. Рассмотрены четыре способа учета ответственности сооружения, применяемых в сейсмостойком строительстве. Показано, что эти способы дают разные результаты при расчете сейсмических нагрузок. Для сближения этих результатов рекомендовано использование новых карт общего сейсмического районирования. Вместе с тем совпадение результатов, полученных указанными методами, в принципе невозможно, и собственник должен принимать решение о задании уровня расчетной нагрузки исходя их поставленных задач проектирования и строительства.

сейсмическая нагрузка, степень ответственности сооружения, способы учета, сейсмический риск.

Введение

Задание расчетной нагрузки является одной из классических задач теории принятия решений. Это значит, что уровень нагрузки определяется целью расчета, например, простотой задания информации, минимумом стоимости проекта или риска, максимумом прибыли и т. д. В зависимости от целей расчета получаются разные расчетные уровни воздействия. Этот вопрос детально рассмотрен в монографии [1], где отмечается, например, что если в качестве критерия принимать срок строительства, то сейсмические нагрузки вообще не следует учитывать. К сожалению, решения принимаются в условиях ограниченной информации об их последствиях. Целью настоящей статьи является получение информации о последствиях распространенных решений по заданию уровня расчетной сейсмической нагрузки на сооружения различной степени ответственности.

Учитывая мировой опыт нормирования сейсмостойкого строительства, в статье рассматривается два уровня расчетного воздействия с двумя предельными состояниями. Здесь следует отметить путаницу в терминологии, проанализированную в статье [2]. Ниже по аналогии с нормами расчета АЭС [3] и мостов [4], а также учебников [5, 6] проектными землетрясениями (ПЗ) будем называть относительно частые землетрясения, не вызывающие нарушения нормальной эксплуатации сооружения. Для обычных сооружений повторяемость ПЗ принимается примерно раз в 100 лет или один раз за срок службы сооружения [2]. Кроме ПЗ в расчет вводится максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), при котором допускаются повреждение и неупругая работа сооружения. Повторяемость таких воздействий составляет примерно один раз в 1000 лет.

Отметим, что, например, в Своде правил РФ [7] и нормах Украины [8] под ПЗ подразумевается сильное землетрясение с повторяемостью раз в 500 лет (по карте А карт ОСР-97), а под МРЗ также подразумевается сильное, но более редкое землетрясение, которое принимается в расчет для сооружений повышенной ответственности. По упомянутой выше и используемой в статье терминологии оба эти воздействия относятся к МРЗ.

1 Способы учета ответственности

Обратимся к применяемым способам учета ответственности при оценке уровня воздействия.

Самый простой способ – это введение при расчете малоответственных сооружений понижающего коэффициента. Такой подход реализован в нормах КНР. В табл. 1–4 приведены коэффициенты ответственности для мостов различного назначения. Ускорения в таблицах приведены в долях ускорения силы тяжести *g*, а риски – в долях от стоимости сооружения.

Второй способ – это задание повторяемости расчетного воздействия. В российских нормах это задание расчетной карты ОСР. Например, мосты длиной менее 200 м считаются на МРЗ по карте А (повторяемость раз в 500 лет), а мосты повышенной ответственности – по карте В (повторяемость раз в 500 лет).

Третий способ – это задание вероятности отказа (превышения воздействием расчетного значения). При этом расчетный уровень ускорений А определяется из решения трансцендентного уравнения:

$$\sum_{I=6}^{10} P(I)\cdot q\left(A > A_p \middle| I\right) = \varepsilon, \qquad (1)$$

где $P(I)$ – вероятность возникновения землетрясения силой I на площадке строительства; $q\,(A>A_p|I)$ – вероятность того, что ускорение A превысит расчетное значение ускорения A_p при условии, что землетрясение силой I произошло; ε – допустимая вероятность превышения ускорением расчетного значения.

Детальный анализ уравнения 1 имеется в статье [9].

Для вероятности $P\,(I)$ мы использовали традиционное распределение Пуассона; для вероятности q использовано соотношение, полученное к. т. н. А. А. Долгой [10] и приведенное в Рекомендациях [11].

Четвертый способ состоит в задании допустимого риска, т. е. расчетное ускорение определяется из условия

$$\sum_{I=6}^{10} D(K_S, I)\cdot K(I) = [R]. \qquad (2)$$

где $D(K_S, I)$ – ущерб сооружению с классом сейсмостойкости K_S от землетрясения силой I.

В соответствии с [12] величина ущерба оценивается по формуле

$$D(K_S, I) = 1 - e^{-\left(\frac{I - I_0(K_S)}{\beta(K_S) - I_0(K_S)}\right)^{\nu}}. \qquad (3)$$

В соответствии с [4], класс сейсмостойкости связан с расчетным уровнем сейсмического воздействия (ускорений основания) соотношением

$$A = 2^{K_S - 7}. \qquad (4)$$

Отсюда можно определить класс сейсмостойкости как непрерывную величину:

$$K_S = 7 + \frac{Ln(A)}{Ln(2)}. \qquad (5)$$

Для иллюстрации указанных выше способов учета ответственности сооружения в табл. 1–2 приведены значения расчетных ускорений для сооружения, проектируемого по СНИП по карте В.

Заключение

Приведенные таблицы позволяют сделать следующие выводы:

1. Использование различных подходов для учета ответственности сооружения приводит к совершенно разным техническим решениям сейсмозащиты сооружения. Например, при проектировании объекта с ситуационной сейсмичностью $I_A = 8$, $I_B = 8$, $I_C = 8$ изменения расчетной карты общего сейсмического районирования вообще не меняет уровня сейсмических нагрузок, а введение понижающего коэффициента существенно меняет эти нагрузки.

2. Сложившийся в РФ учет ответственности путем назначения карты общего сейсмического районирования приводит к тому, что

ТАБЛИЦА 1. Учет ответственности сооружения на базе нормативных ускорений для расчетной сейсмичности по карте В 8 баллов

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчетное ускорение по СНиП, g	Вероятность превышения	Риск	Пере×од к другой карте			Введение коэффициента 0,5		
I_A	I_B	I_C				Расчетное ускорение, g	Вероятность превышения	Риск	Расчетное ускорение, g	Вероятность превышения	Риск
8	8	9	0,2	0,0370	$5{,}905\times10^{-5}$	0,2	0,0370	$5{,}905\times10^{-5}$	0,1	0,2032	$6{,}015\times10^{-5}$
7	8	9	0,2	0,0268	$3{,}589\times10^{-5}$	0,1	0,1101	$3{,}856\times10^{-5}$	0,1	0,1101	$3{,}856\times10^{-5}$
8	8	8	0,2	0,0212	$4{,}445\times10^{-5}$	0,2	0,0212	$4{,}445\times10^{-5}$	0,1	0,1872	$4{,}192\times10^{-5}$
7	8	8	0,2	0,0110	$2{,}129\times10^{-5}$	0,1	0,09455	$2{,}032\times10^{-5}$	0,1	0,09455	$2{,}032\times10^{-5}$

ТАБЛИЦА 2. Учет ответственности сооружения на базе заданной вероятности превышения ускорениями расчетного значения

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчетное ускорение с заданным отказом	Вероятность превышения	Риск	Повышение вероятности превышения			Введение коэффициента 0,5		
I_A	I_B	I_C				Расчетное ускорение	Вероятность превышения	Риск	Расчетное ускорение	Вероятность превышения	Риск
8	8	9	0,446918	0,001	$3{,}746\times10^{-5}$	0,3231617	0,01	$5{,}531\times10^{-5}$	0,2238	0,0250	$5{,}969\times10^{-5}$
7	8	9	0,44691	0,001	$2{,}332\times10^{-5}$	0,3223781	0,01	$3{,}316\times10^{-5}$	0,2238	0,0199	$3{,}600\times10^{-5}$
8	8	8	0,28918	0,001	$4{,}472\times10^{-5}$	0,2213004	0,01	$4{,}532\times10^{-5}$	0,1445	0,1490	$4{,}106\times10^{-5}$
7	8	8	0,26963	0,001	$2{,}169\times10^{-5}$	0,2026984	0,01	$2{,}135\times10^{-5}$	0,1348	0,0789	$1{,}961\times10^{-5}$

ТАБЛИЦА 3. Учет ответственности сооружения на базе нормативных ускорений для расчетной сейсмичности по карте В 9 баллов

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчетное ускорение по СНиП, g	Вероятность превышения	Риск	Пере×од к другой карте			Введение коэффициента 0,5		
I_A	I_B	I_C				Расчетное ускорение, g	Вероятность превышения	Риск	Расчетное ускорение, g	Вероятность превышения	Риск
9	9	10	0,4	0,03705	$1{,}482\times10^{-4}$	0,4	0,03705	$1{,}482\times10^{-4}$	0,2	0,21095	$1{,}945\times10^{-4}$
8	9	10	0,4	0,02690	$9{,}165\times10^{-5}$	0,2	0,11398	$1{,}212\times10^{-4}$	0,2	0,11398	$1{,}212\times10^{-4}$
9	9	9	0,4	0,02122	$1{,}931\times10^{-4}$	0,4	0,02122	$1{,}931\times10^{-4}$	0,2	0,19505	$2{,}512\times10^{-4}$
8	9	9	0,4	0,01103	$9{,}034\times10^{-5}$	0,2	0,09810	$1{,}178\times10^{-4}$	0,2	0,09810	$1{,}178\times10^{-4}$

ТАБЛИЦА 4. Учет ответственности сооружения на базе заданной вероятности превышения ускорениями расчетного значения

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчетное ускорение с заданной вероятностью	Вероятность превышения	Риск	Повышение вероятности превышения			Введение коэффициента 0,5		
I_A	I_B	I_C				Расчетное ускорение	Вероятность превышения	Риск	Расчетное ускорение	Вероятность превышения	Риск
9	9	10	0,893822	0,001	$5{,}533\times10^{-6}$	0,646390	0,01	$6{,}563\times10^{-5}$	0,446911	0,02517	$1{,}341\times10^{-4}$
8	9	10	0,893822	0,001	$5{,}118\times10^{-6}$	0,644740	0,01	$4{,}343\times10^{-5}$	0,446911	0,02070	$8{,}331\times10^{-5}$
9	9	9	0,578346	0,001	$8{,}984\times10^{-5}$	0,442630	0,01	$1{,}691\times10^{-4}$	0,289173	0,15008	$2{,}395\times10^{-4}$
8	9	9	0,539293	0,001	$5{,}276\times10^{-5}$	0,405432	0,01	$8{,}898\times10^{-5}$	0,269646	0,07881	$1{,}142\times10^{-4}$

проектируемые сооружения имеют различные надежность и риск, что ранее отмечалось в литературе [13].

3. В настоящее время Институт физики Земли разработал карты общего сейсмического районирования, в которых сейсмичность задается с точностью до 0,25 балла. В этом случае переход на другую карту для учета ответственности сооружений должен давать результаты, близкие к способу задания вероятности превышения нагрузки расчетного уровня. По нашему мнению, способ перехода на другую карту районирования при детализации карт был бы достаточно удобным и понятным с инженерной точки зрения.

4. Равнонадежное проектирование не обеспечивает одинаковых рисков, которые в зависимости от ситуационной сейсмичности могут изменяться более чем в 2 раза при сохранении вероятности превышения нагрузкой расчетного значения. Однако менее надежные сооружения всегда находятся в зоне большего риска.

Библиографический список

1. **Модели** сейсмостойкости сооружений / И. И. Гольденблат, Н. А. Николаенко, С. В. Поляков, С. В. Ульянов. – Москва : Стройиздат, 1979. – 251 с.

2. **К вопросу** о развитии нормативной базы сейсмостойкого строительства и используемой в нормах терминологии / Т. А. Белаш, Э. Симборт, А. М. Уздин, Ван Хайбинь // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2013. – № 2. – С. 23–28.

3. **Расчет** конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – Санкт-Петербург : Наука, 1998. – 254 с.

4. **Инструкция** по оценке сейсмостойкости эксплуатируемых мостов на сети железных и автомобильных дорог (на территории Туркменской ССР). – Ашхабад : Ылым, 1988. – 106 с.

5. **Сейсмостойкое** строительство : учебник / О. Н. Елисеев, А. М. Уздин. – Санкт-Петербург : ПВВИСУ, 1997. – 371 с.

6. **Железнодорожные** здания для районов с особыми природно-климатическими условиями и техногенными воздействиями. Учебник / Т. А. Белаш, А. М. Уздин. – М. : Учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. – 372 с.

7. **Строительные** нормы и правила. СНиП II-7–81*. – Москва : Госстрой России, 2000. – 45 с.

8. **Проектирование** зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / Ю. И. Немчинов, Н. Г. Марьенков, А. К. Хавкин, К. Н. Бабик. – Киев, 2012. – 384 с.

9. **К вопросу** задания сейсмического воздействия при многоуровневом проектировании сейсмостойких конструкций / О. А. Сахаров // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2004. – № 4. – С. 7–9.

10. **Моделирование** сейсмического воздействия коротким временным процессом / А. А. Долгая // Э-И. ВНИИНТПИ. Сер. «Сейсмостойкое строительство». – 1994. – Вып. 5–6. – С. 56–63.

11. **Рекомендации** по заданию сейсмических воздействий для расчета зданий разной степени ответственности. – Санкт-Петербург : Петропавловск-Камчатский : КамЦентр, 1996. – 12 с.

12. **Оценка** сейсмического риска и эффективность антисейсмического усиления железнодорожных мостов / С. С. Огнева // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2013. – № 5. – С. 49–51.

13. **Оценка** статистических характеристик расчетного воздействия при заданной сейсмичности площадки строительства / А. М. Уздин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2000. – № 2. – С. 3–6.

УДК 539.3:4

А. В. Якушев, Я. О. Рузметов, С. О. Комиченко
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ОБРАЗЦА С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ЛИТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ВНУТРЕННИХ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ

Рассмотрены основные причины снижения усталостной прочности боковых рам в эксплуатации и в стендовых испытаниях. Отмечено, что значения критических коэффициентов интенсивности напряжений для литых сталей с учетом внутренних литейных дефектов подлежат определению.

Предложен и обоснован оригинальный образец с центральным инициирующим надрезом для получения критических коэффициентов интенсивности напряжений, отражающий поведение внутреннего литейного дефекта в стенке боковой рамы.

внутренний литейный дефект, боковая рама, коэффициент интенсивности напряжения.

Введение

В настоящее время на сети железных дорог России и некоторых стран СНГ сформировалась чрезвычайно неблагоприятная ситуация в сфере безопасности движения, связанная со значительным увеличением числа случаев изломов боковых рам тележек грузовых вагонов [1]. Эти изломы боковых рам происходят исключительно по радиусу R55 внутреннего угла буксового проема (рис. 1).

Причинами изломов исследователи отмечают в основном недопустимые внутренние и наружные литейные дефекты, нарушения режимов термообработки боковых рам на заводах-изготовителях, условий эксплуатации. Если наружные литейные дефекты и несоответствующие режимы термообработки можно устранить путем ужесточения технологической дисциплины на предприятиях, то обнаружение внутренних литейных дефектов возможно не всегда. Зачастую внутренние дефекты залегают в галтелях, границах ребер жесткости, Т-образных сечениях элементов боковых рам (рис. 2), обладающих низкой контролепригодностью для методов неразрушающего контроля.

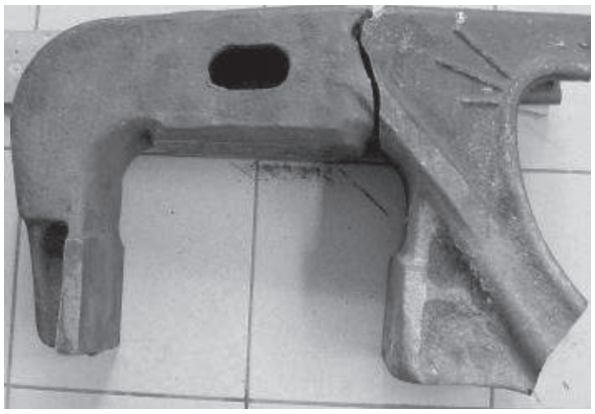


Рис. 1. Излом боковой рамы по внутреннему углу буксового проема

На практике именно такие дефекты в виде усадочных раковин и песочных засоров, с острыми границами, локализованные в нагруженных зонах боковых рам, приводят к повышенной концентрации напряжений в острых вершинах. Возникновение нормальных напряжений в острых вершинах внутреннего литейного дефекта сводится к симметричному (относительно линии трещиноподобного внутреннего литейного дефекта) деформированию, т. е. к трещине отрыва.

Практические исследования изломов боковых рам в стендовых испытаниях под-

Рис. 2. Излом боковой рамы с внутренним литейным дефектом

тверждают, что усталостные трещины зарождаются в острых вершинах внутренних литейных дефектов при симметричном деформировании [2]. Обратносимметричное деформирование (т. е. поперечный и продольный сдвиг) не способствует зарождению и развитию усталостных трещин в вершинах внутренних литейных дефектов.

Исследования трещиностойкости литых сталей типа 20Л позволяют установить критерии разрушения для боковых рам тележек грузовых вагонов при наличии поверхностных трещин и симметричного деформирования [3–5]. Вопрос применимости установленных критериев при попадании внутреннего литейного дефекта в нагруженную зону боковой рамы подлежит изучению, поэтому определение экспериментальных значений критических коэффициентов интенсивности напряжений для литых сталей с учетом внутренних остроугольных дефектов весьма актуально. Это позволит уточнить имеющиеся методики расчета запаса сопротивления усталости боковых рам с внутренними литейными дефектами.

1 Постановка задачи

В настоящей работе поставлена задача: разработать и обосновать конфигурацию образца с инициирующим надрезом для испытаний на центральное растяжение, который позволит имитировать напряженное состояние в вершине остроугольного внутреннего литейного дефекта, расположенного в характерном сечении боковой рамы.

2 Выбор типа образца

Базовая конфигурация образцов с инициирующими надрезами для определения параметров кинетической диаграммы усталостного разрушения приведена в ГОСТ 25.506. Однако только два типа образцов позволяют получить значения порогового коэффициента интенсивности напряжений K_{th} и циклической вязкости разрушения K_{fc} (рис. 3), необходимых в расчетах боковых рам с внутренними литейными дефектами. Эти образцы имеют надрез для внецентренного и центрального растяжения (рис. 4).

В научных трудах установлена необходимая для расчетов критериальная величина K_{th} на образцах с внецентренным растяжением [3–5]. Эти данные можно использовать для прогнозирования допустимых длин поверхностных трещин в боковых рамах, обнару-

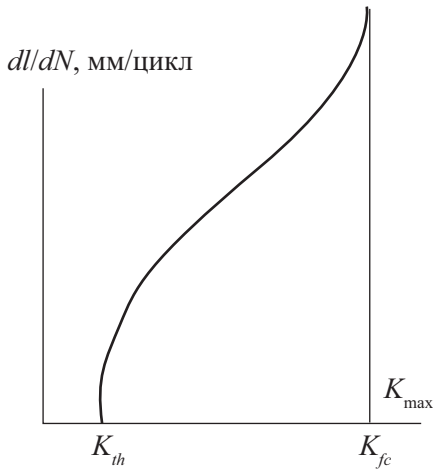
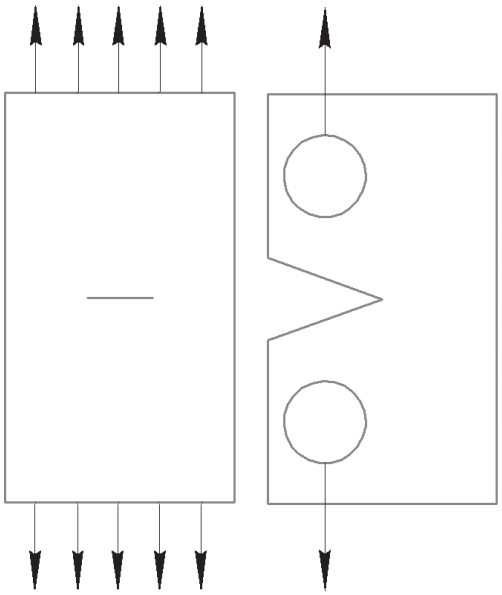


Рис. 3. Типовая кинетическая диаграмма усталостного разрушения образца



а) б)

Рис. 4. Схемы нагружения образцов с инициирующим надрезом при центральном (а) и внецентренном (б) растяжении по ГОСТ 25.506

живаемых при эксплуатации. Отметим, что условия нагружения в зоне острых вершин внутреннего дефекта отличаются от поверхностного дефекта, так как имеется больший запас упругой энергии вокруг дефекта в теле и отсутствуют изгибающие моменты.

Поэтому предполагается различие параметров K_{th} и K_{fc} при центральном и внецентренном растяжении. Исследования K_{th} и K_{fc} при наличии внутреннего литейного дефекта в сечениях боковых рам целесообразно проводить на плоских прямоугольных образцах с центральным надрезом и испытывать их на осевое растяжение.

3 Обоснование основных размеров образца

Требование ГОСТ 25.506 к ширине образца с инициирующим надрезом пересмотрены в сторону уменьшения до толщины стенки боковой рамы, в которой наиболее часто встречался внутренний литейный дефект, обнаруживаемый в ходе испытаний на усталость. Изучено 70 изломов боковых рам. На рис. 5 приведено распределение внутренних литейных дефектов по толщине стенок обследованных боковых рам.

Из рис. 5 видно, что толщина стенки боковой рамы, в которой наиболее часто встречался внутренний дефект, составила 17,5 мм. Общее число дефектов, выявленное на этой толщине, составило 21 шт., поэтому ширина образца для испытаний принимается с округлением до 18 мм.

Конфигурация центрального инициирующего надреза в образце, подобного остроугольному внутреннему литейному дефекту в стенке боковой рамы, сохранена по ГОСТ 25.506.

Площадь описанного прямоугольника инициирующего надреза в образце выбира-

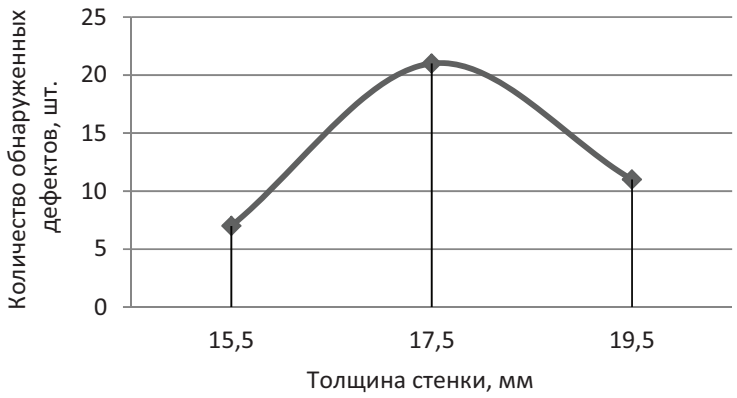


Рис. 5. Распределение внутренних литейных дефектов по толщине стенок разрушенных боковых рам

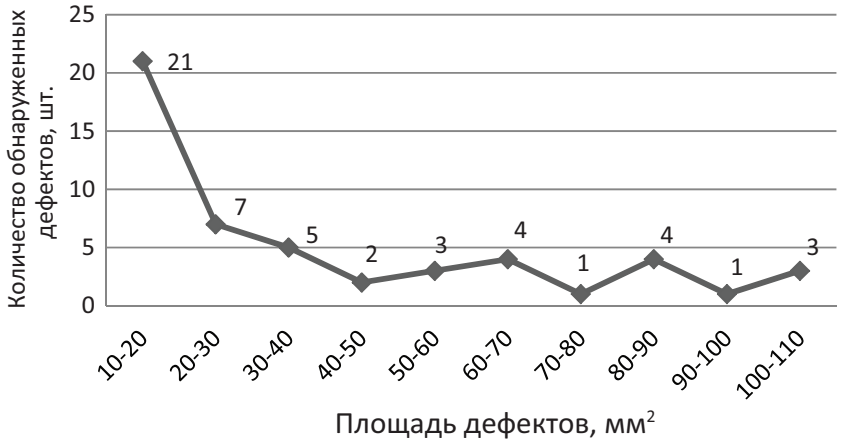


Рис. 6. Распределение дефектов по площади

лась таким образом, чтобы она была эквивалентна средней площади описанного прямоугольника для наиболее часто встречающихся дефектов в изломах боковых рам (рис. 6).

Толщина образца выбрана согласно ГОСТ 25.506 – 2 мм. Захватные части образца адаптированы к испытательной машине УРС-2000. Схема нагружения образца с инициирующим надрезом в испытаниях эквивалентна нагружению стенки боковой рамы, содержащей внутренний литейный дефект, в эксплуатации (рис. 7).

В результате выполненных обоснований разработан чертеж образца (рис. 8), твердотельная модель образца в программе Solid Works. По компьютерной модели образца специалисты испытательной лаборатории «Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского» ФГБОУ ВПО ПГУПС написали программу изготовления для обрабатывающего центра с ЧПУ, изготовили специальный режущий инструмент для протяжки инициирующего надреза и опытную партию образцов для испытаний в условиях центрального растяжения.

Выводы

Разработанный и обоснованный образец с инициирующим надрезом для испытаний на центральное растяжение позволит опре-

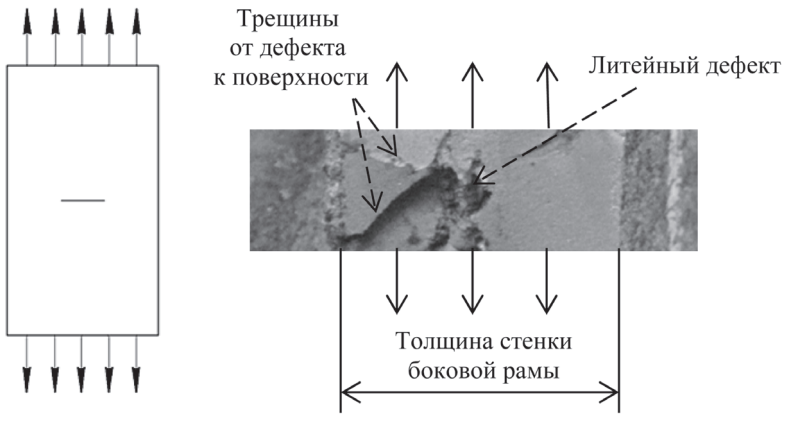


Рис. 7. Эквивалентные схемы нагружения образца с инициирующим надрезом в испытаниях (а) и стенки боковой рамы с внутренним литейным дефектом в эксплуатации (б)

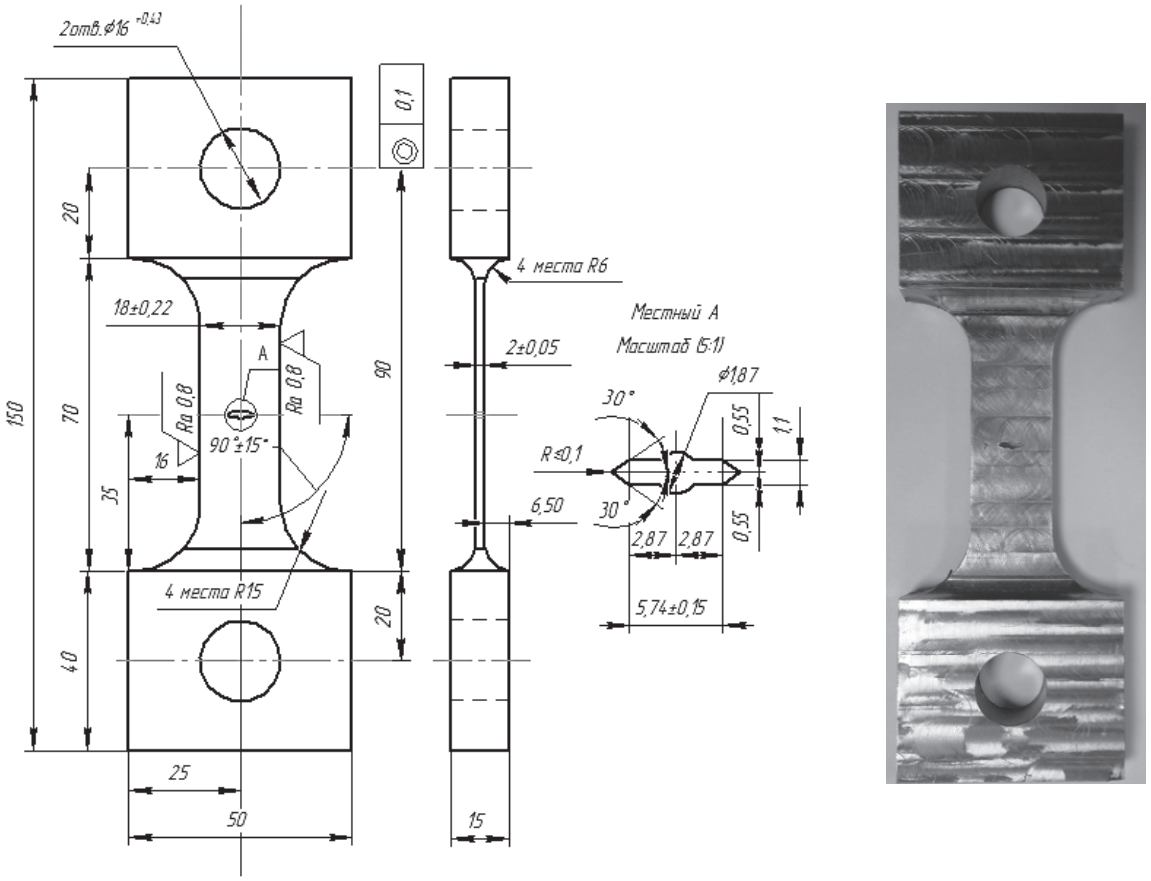


Рис. 8. Опытный образец для испытаний на центральное растяжение

делить значения порогового коэффициента интенсивности напряжения K_{th} и циклической вязкости разрушения K_{fc} для литых сталей с учетом внутренних остроугольных дефектов.

Образец имеет ширину, согласованную с толщиной стенки боковой рамы, в которой наиболее часто попадается внутренний дефект.

Площади описанных прямоугольников инициирующего надреза образца и реальных внутренних дефектов среднего размера в изломах боковых рам эквивалентны.

Библиографический список

1. **Моделирование** напряженного состояния боковых рам грузовых тележек с внутренними литейными дефектами / А. Е. Карибжанов, А. В. Якушев, Я. О. Рузметов // Науч. журн. министерства образования и науки Республики Казахстан «Поиск». – 2011. – № 4 (1). – С. 290–294.

2. **О путях** повышения эксплуатационной надежности стальных литых деталей тележек грузовых вагонов / Т. Е. Конькова, В. Б. Беловодский, А. В. Великанов // Вестн. ВНИИЖТ. – 2009. – № 1. – С. 22–26.

3. **Исследование** трещиностойкости сталей литых деталей тележек грузовых вагонов после длительного периода эксплуатации / Т. П. Северинова // Вестн. ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С. 35–40.

4. **Вероятностное** прогнозирование длительности развития усталостных трещин в литых сталях деталей грузовых вагонов / В. Н. Змеева, С. Г. Лебединский // Вестн. ВНИИЖТ. – 2000. – № 2. – С. 44–47.

5. **Статистические** закономерности развития усталостных трещин в литых сталях деталей грузовых вагонов / В. Н. Змеева, С. Г. Лебединский // Вестн. ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С. 26–31.

→ СОЦИАЛЬНО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 347.214.2:656

С. В. Коланьков
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОЦЕНКА АРЕНДНОЙ СТАВКИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Рассмотрены особенности оценки рыночной ставки арендной платы для специализированных объектов недвижимости, аналоги которых отсутствуют в рыночном обороте. Рекомендован к применению метод обратной капитализации. Дана характеристика теоретических предпосылок применения данного метода. Уточнена методика оценки рассчитываемых ценообразующих показателей. Приведен пример расчета одной из групп показателей – потерь от недозагрузки объекта и неплатежей и дополнительных доходов. Указаны источники информации для оценки сметной стоимости строительства объекта недвижимости.

арендная плата, доходный подходы к оценке недвижимости, затратный подход к оценке недвижимости, чистый операционный доход, капитализация дохода, метод обратной капитализации, стоимость строительства.

Введение

Законодательством Российской Федерации по оценке [1, ст. 8] определено, что проведение независимой оценки недвижимости является обязательным в случае вовлечения в сделку объектов, принадлежащих полностью или частично РФ и ее субъектам либо муниципальным образованиям, в том числе в целях передачи их в аренду.

Этой же статьей закона [1] определено, что ее действие не распространяется на отношения, возникающие в случаях, установленных Федеральным законом [2]. Однако документами ОАО «РЖД» также устанавливается обязательность оценки рыночной арендной ставки путем привлечения независимых оценщиков.

Также [1, ст. 8] определено, что установление рыночной стоимости государственного или муниципального имущества, передаваемого по концессионному соглашению концедентом концессионеру, не является обязательным, если иное не установлено федеральным законом [3]. Вместе с тем при оценке эффективности предполагаемой концессии практически всегда исходят из величины рыночной арендной платы за объекты недвижимости.

Как правило, при оценке арендной ставки независимые оценщики используют сравнительный подход, что в отношении специализированных объектов недвижимости железнодорожного транспорта (например, железнодорожных путей, станций, депо, разгрузочных эстакад, пассажирских и грузовых платформ, трансформаторных подстанций, водонапорных башен, постов ЭЦ и т. д.) зачастую не представляется возможным. Поэтому следует рассмотреть степень применимости подходов к оценке рыночной арендной платы

для объектов недвижимости, аналоги которых отсутствуют в рыночном обороте.

1 Теоретические предпосылки

Известно, что одним из методов доходного подхода является метод прямой капитализации, которым рыночная стоимость недвижимости (С) определяется как

$$C = \frac{ЧОД}{E}, \quad (1)$$

где ЧОД – чистый операционный доход, руб./год (в англ. терминологии – NPV, net present value); Е – ставка дисконта, 1/год (% годовых).

Следовательно, величину чистого операционного дохода (годовой ставки чистой арендной платы) можно определить следующим образом:

$$ЧОД = C \cdot E. \quad (2)$$

Подобный способ оценки величины арендной платы можно назвать методом обратной капитализации.

Поскольку величину С для специализированных объектов недвижимости железнодорожного транспорта сравнительным подходом установить не представляется возможным (из-за отсутствия рыночного оборота таких объектов), ее оценку целесообразно осуществлять затратным подходом. В рамках затратного подхода возможно применение двух методов: затратного метода [4] и (или) метода дисконтирования сметной стоимости [5]. Для обеспечения большей достоверности оценки желательно применение обоих методов (что не всегда возможно из-за отсутствия надежных исходных данных) с последующим согласованием результата расчета.

Кроме того следует иметь в виду следующее обстоятельство. Ставка арендной платы, указываемая в договоре арендодателя с арендатором, является потенциальным валовым доходом (ПВД, в англ. терминологии – PGI, potential gross income), что требует перерасчета ЧОД, определенного по формуле (2) для получения значения ПВД.

2 Методика применения метода обратной капитализации

Для оценки величины рыночной арендной ставки методом обратной капитализации необходимо последовательно осуществить следующие этапы расчета:

a. Оценить величину рыночной стоимости объекта недвижимости затратным походом;

b. Оценить величину нормы дисконта;

c. Выполнить расчет ЧОД и определить на его основе величину ПВД, учитывая ряд ценообразующих показателей: операционные расходы, земельный налог и налог на имущество, расходы на страхование и управление собственностью, резерв на замещение быстроизнашивающихся элементов, потери от недозагрузки и неплатежей и дополнительные (прочие) доходы.

d. Определить ставку арендной платы как удельной величины ПВД, приходящейся на 1 кв. м объекта.

Оценка рыночной стоимости объекта указанными выше методами затратного подхода потребует последовательного определения следующих показателей:

– стоимости затрат инвестора как суммы сметной стоимости строительства объекта, учитывающей элементы строения, являющиеся неотъемлемой частью недвижимости и косвенных издержек [6];

– нормы накопленного износа с учетом функционального и внешнего устареваний;

– рыночной стоимости земельного участка, в качестве которой в отношении специализированных объектов железнодорожного транспорта можно принимать значение кадастровой стоимости земли;

– величины предпринимательской прибыли (при применении затратного метода) или нормы дисконта для строения (при применении метода дисконтирования сметной стоимости).

Оценка нормы дисконта, как известно, является одним из наиболее спорных моментов

в оценочной деятельности, поскольку она не обеспечена каким-либо удовлетворительным алгоритмом расчета. Как правило, в нормативных документах и научных публикациях дается ссылка на некие «рыночные» источники информации, необходимость «анализа рынка», «учета уровня риска», принятие во внимание «доходности альтернативных инвестиций» и т. д.

В отношении специализированной железнодорожной недвижимости норму дисконта с достаточной степенью надежности и обоснованности, возможно, определить не удастся. В этом случае оценщику необходимо использовать т. н. метод граничных оценок, которым определяются наиболее вероятные минимальная и максимальная величины нормы дисконта по принципу: меньше нижней и больше верхней границ норма дисконта в сложившихся экономических условиях быть не может. В этом случае расчет ЧОД по формуле (2) выполняется дважды: при E_{min} и E_{max}, с последующим согласованием результата оценки.

После определения ЧОД последовательно рассчитываются величины действительного (эффективного) валового дохода (ДВД, в англ. терминологии – EGI, effective gross income) и ПВД. Расчеты выполняются в следующей последовательности:

$$\text{ДВД} = \text{ЧОД} + \text{ОР} + З_{упр} + \\ + З_{стр} + Н_{нед} + Р_{зам}, \quad (3)$$

где ОР – величина операционных расходов, связанных с объектом недвижимости, руб./год; $З_{упр}$ – величина затрат на управление объектом недвижимости, руб./год; $З_{стр}$ – величина затрат на страхование объекта недвижимости, руб./год; $Н_{нед}$ – величина налогов, связанных с недвижимостью, руб./год; $Р_{зам}$ – величина резерва на замещение быстроизнашивающихся элементов строения, руб./год.

Как известно [6], величины действительного и потенциального валовых доходов отличаются на величины двух видов потерь и прочие доходы. Поэтому ПВД определяется как

$$\text{ПВД} = \text{ДВД} + П_{ндз} + П_{нпл} - Д_{проч}, \quad (4)$$

где $П_{ндз}$ – среднегодовая величина потерь от недозагрузки объекта, руб./год; $П_{нпл}$ – среднегодовая величина потерь от неплатежей при аренде производственно-складской недвижимости, руб./год; $Д_{проч}$ – величина прочих доходов, руб./год.

Особенности оценки указанных элементов выражений (3) и (4) определены в ряде опубликованных ранее работ [6], [7]. Следует уточнить, что, во-первых, ставка ПВД будет определена без НДС, во-вторых, если в составе ОР не учитываются расходы на уплату коммунальных платежей (электроэнергии, водоснабжения, канализации и т. д.), то ставка аренды определена без этих расходов и арендатору предстоит их оплачивать дополнительно. Если же обязанность оплаты коммунальных услуг возлагается на арендодателя, то данный вид расходов должен быть учтен в составе ОР.

Кроме того, следует обратить внимание на то, что используемые нормативы оценки $П_{ндз}$, $П_{нпл}$ и $Д_{проч}$ применяются относительно не ДВД, а ПВД. Поэтому для использования их относительно действительного валового дохода требуется корректировка величины указанных нормативов. Так, например, скорректированная величина норматива потерь от недозагрузки объекта (П/), применяемая к ДВД в формуле (4), будет определена как

$$П' = \frac{П_{ндз}}{1 - П_{ндз}}. \quad (5)$$

Например, если величина ПВД составляет 100 ед., а норматив недозагрузки, определенный по данным рынка, – 5 %, то, ДВД (потерями от неплатежей и прочими доходами пренебрегаем) будет равен: $100 \cdot (1 - 0{,}05) = 95$ ед. Если потребуется выполнить обратный расчет по выражению (4), скорректированная величина Пндз будет равна:

$$П' = \frac{0{,}05}{1 - 0{,}05} = 0{,}052632.$$

Тогда ПВД = $95 \cdot (1 + 0{,}052632) = 100$ ед.

Последний этап расчетов (*d*) потребуется только в том случае, если по условиям договора указывается не арендная плата за объект в целом, а удельный показатель – ставка аренды:

$$А_{ст} = \frac{ПВД}{S}, \quad (6)$$

где *S* – площадь объекта, кв. м.

При определении значения S возможны следующие варианты:

i. В случае если недвижимость сдается в аренду целиком одному арендатору по единой ставке, то в знаменателе расчетного выражения необходимо учитывать общую площадь объекта;

ii. В случае если имущество сдается в аренду целиком одному арендатору по различным ставкам, учитывающим различную ценность отдельных частей недвижимости, то в знаменателях расчетных выражений необходимо учитывать общие площади соответствующих частей объекта;

iii. В случае если недвижимость сдается в аренду нескольким арендаторам по различным ставкам, то в знаменателях расчетных выражений необходимо учитывать арендопригодные площади соответствующих частей объекта (площади, фактически занимаемые каждым арендатором).

3 Оценка сметной стоимости недвижимости

При применении метода обратной капитализации сметную стоимость недвижимости целесообразно оценивать по укрупненным показателям, состав которых достаточно разнообразен [4], [6]: укрупненные показатели восстановительной стоимости (УПВС), укрупненные показатели сметной стоимости (УПСС), укрупненные показатели базисной стоимости на виды работ (УПБС ВР), показатели стоимости на виды работ (ПВР), укрупненные показатели базисной стоимости 2001 г. (УПБС-2001), укрупненные расценки (УР-2000), прейскуранты на строительство зданий и сооружений (ПРЗС), удельные показатели стоимости строительства в текущих ценах (УдПС).

Указанные укрупненные показатели отличаются как по уровню цен, для которых они разработаны, так и по составу стоимости. В частности, в сборниках УПВС [9] приведены показатели стоимости строительства в ценах 1969 г., при этом уточнено, что в восстановительную стоимость включены все прямые затраты, накладные расходы, плановые накопления (сметная прибыль), а также расходы по отводу и освоению строительной площадки, стоимость проектно-изыскательских работ, затраты, связанные с производством работ в зимнее время, затраты по сдельно-премиальной оплате труда, стоимость содержания дирекции строящегося предприятия, убытки от ликвидации временных зданий и сооружений, расходы по перевозке рабочих на расстояние свыше 3 км при отсутствии коммунального транспорта, расходы по выплате работникам строительно-монтажных организаций надбавок за подвижной характер работ и др. В то же время сборник УПБС ВР разработан в ценах 1991 г. и содержит только величину элементов прямых затрат, что требует в дальнейшем расчетов по определению сметной стоимости строительства, соответствующей уровню сводного сметного расчета. Особенности индексации сметной стоимости в текущий уровень цен при применении различных укрупненных показателей достаточно хорошо известны [6], поэтому не будем здесь на них останавливаться.

Следует уточнить, что величина сметной стоимости строительства должна быть определена с учетом НДС.

Возникает вопрос, можно ли в современных условиях применять укрупненные показатели, которые были разработаны на основе строительных технологий более чем 40-летней давности? Да, можно, учитывая следующие оговорки. Во-первых, если оцениваются объекты тех лет постройки, т. е. возведенные по технологиям, применявшимся в 1960–1980 гг. В этом случае будет определена стоимость восстановления объекта оценки.

Во-вторых, при оценке объектов, построенных в довоенный период или с 1990-х гг. и позднее, применение укрупненных показателей, разработанных в ценах 1969 г., может рассматриваться как вынужденная мера в случае отсутствия иных источников информации. В этом случае следует говорить об определении стоимости замещения объекта оценки. В-третьих, как показано в работе [10], можно учесть накладные расходы, сметную прибыль и лимитированные затраты в размере и по методике, действующим на дату оценки недвижимости. В среднем данная счетная операция приводит к увеличению сметной стоимости строительства объекта на 9–11%. Данное увеличение обосновано А. С. Забродиной с учетом страховых взносов на заработную плату в размере 30% и страхового тарифа от несчастных случаев в размере 1%, входящих в состав современной нормы накладных расходов. При этом нормы накладных расходов, сметной прибыли, лимитированных затрат и страховых тарифов от несчастных случаев в настоящее время дифференцированы, чем и объясняется указанный интервал значений данного коэффициента.

Наконец, можно рекомендовать выполнять оценку сметной стоимости объекта дополнительно с использованием иных укрупненных показателей, а также, если имеется возможность, использовать современные издания, например УПСС в ценах 2001 г. [12], в текущих ежеквартальных ценах, издаваемых ФЦЦС [13], и сборники УПСС, периодически издаваемые в серии «Справочник оценщика» ООО «КО-ИНВЕСТ», с последующим согласованием результата расчетов. Следует отметить, что УПСС [12] и [13] применимы только к весьма ограниченной номенклатуре объектов оценки. Этой же особенностью (ограниченностью применения) обладают и прейскуранты, которые разработаны в основном для объектов инженерного обеспечения, например, СНиП IV-15–83 «Прейскурант на строительство городских электрических сетей», прейскурант на элементы внешнего благоустройства зданий и сооружений «Малые архитектурные формы» (1984 г.) или прейскурант № 26-06-19 «Паровые котлы и вспомогательное котельное оборудование. Часть 1» (в ценах 1990 г.).

Заключение

Метод обратной капитализации является по существу результатом комплексного применения двух подходов: доходного и затратного. В соответствии с существующей классификацией подходов [8] целесообразно его относить в состав доходного подхода, т. к. он базируется на основной формуле метода прямой капитализации. Затратный подход носит вспомогательный характер и используется для определения отдельных ценообразующих показателей, используемых при выполнении расчетов.

Как и вся теория оценки рыночной стоимости недвижимости, метод обратной капитализации применяется при условии некоторых предположений и допущений, поскольку обычно нет или недостаточно информации для точного определения ряда ценообразующих показателей, принимаемых в расчет. В частности, зачастую выдвигаются предположения о норме предпринимательской прибыли, ставках дисконта (для использования в формуле (2) и для расчета резерва на замещение), нормах недозагрузки и неплатежей и т. д. Однако данные предположения должны быть основаны на рыночных аналогиях, сложившихся пропорциях функционирования рынка, мнениях экспертов, а не быть результатом фантазий оценщика. Всегда следует помнить о главном правиле оценочной деятельности: результат оценки недвижимости является не просто профессиональным мнением оценщика, но мнением обоснованным, для чего обязательно должны быть указаны источники информации.

Наконец, следует обратить внимание на то, что в рассматриваемом методе расчета величины арендой платы (ставки) дважды может потребоваться дисконтирование: при применении метода дисконтирования сметной стоимости для оценки рыночной стоимости недвижимости С и при определении

ЧОД с использованием выражения (2). Это различные ставки: в методе дисконтирования сметной стоимости применяется норма дисконта для улучшений, при расчете ЧОД – общая норма дисконта (для недвижимости в целом). Особенности процедуры дисконтирования рассматриваются рядом авторов, в частности, в работах [5], [11].

Библиографический список

1. **Федеральный** закон от 29 июля 1998 г. № 135-ФЗ «Об оценочной деятельности в Российской Федерации».

2. **Федеральный** закон от 27 февраля 2003 г. № 29-ФЗ «Об особенностях управления и распоряжения имуществом железнодорожного транспорта».

3. **Федеральный** закон от 21 июля 2005 г. № 115-ФЗ «О концессионных соглашениях».

4. **Затратный** подход в оценке стоимости недвижимости / С. В. Коланьков // Известия ПГУПС. – 2012. – № 4. – С. 174–178.

5. **Метод** дисконтирования сметной стоимости / С. В. Коланьков // Наука и техника транспорта. – 2006. – № 3. – С. 48–54.

6. **Экономика** недвижимости / С. В. Коланьков: учеб. пособие – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на же-лезнодорожном транспорте, 2013. – 478 с.

7. **Область** применения методов доходного подхода при оценке рыночной стоимости недвижимости / С. В. Коланьков // Известия ПГУПС. – 2010. – № 4. – С. 243–251.

8. **Приказ** Минэкономразвития РФ от 20 июля 2007 г. № 256 «Об утверждении федерального стандарта оценки „Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО № 1)“».

9. **Сборники** укрупненных показателей восстановительной стоимости зданий и сооружений различных отраслей народного хозяйства для переоценки основных фондов (УПВС). – Москва : Госстрой СССР, 1970.

10. **Определение** комплексного индекса изменения сметной стоимости строительства / А. С. Забродина // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – № 5 (132). – С. 82–85.

11. **Оценка** эффективности инвестиций в транспортное строительство с учетом неопределенности и риска / С. Г. Опарин // Научно-технические ведомости СПб ГТУ. Экономические науки. – 2010. – № 4 (102). – С. 60–65.

12. **Укрупненные** показатели стоимости строительства на пролетные строения железнодорожных мостов (УПСС). – Санкт-Петербург : ЗАО «ИНиК», 2007. – 20 с.

13. **Сборник** укрупненных показателей стоимости строительства (УПСС) по субъектам Российской Федерации // Электронная справочная система «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

УДК 656.22

А. Р. Норбоев, Г. М. Грошев, В. Л. Белозеров, В. И. Ковалев
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ЗАРЯДКИ И ОПРОБОВАНИЯ ТОРМОЗОВ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ПРОСТОЕВ ПОЕЗДОВ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Изложены результаты исследования сокращения простоев поездов и вагонов на технических станциях за счет применения устройств зарядки и опробования тормозов (УЗОТ). Разработана расчетная модель установки УЗОТ в приемо-отправочном парке станции. Описаны техническая характеристика и технология работы с применением УЗОТ. Приведены расчеты экономии эксплуатационных расходов за счет применения УЗОТ, разработана смета инвестиционных затрат и определены показатели инвестиционного проекта. Расчеты подтверждают быструю окупаемость затрат на такие устройства.

устройство зарядки и опробования тормозов, простой поездов и вагонов, эффективность, сокращение, эксплуатационные расходы, инвестиции, срок окупаемости.

Введение

В ходе исследований процессов пропуска поездов на технических станциях международных транспортных коридоров (МТК) установлено, что для стабилизации пропуска поездов по графику могут быть рекомендованы как организационные, так и технические мероприятия по внедрению прогрессивных средств автоматизации и механизации производственных процессов на станциях [1].

На сети железных дорог увеличивается число технических станций, на пунктах технического обслуживания (ПТО) вагонов которых внедрены или внедряются устройства зарядки и опробования тормозов (УЗОТ) в составах поездов [2], в том числе на станциях смены видов тяги и родов тока.

Это делает актуальными исследования эксплуатационной и экономической эффективности применения таких устройств.

1 Техническая характеристика устройства зарядки и опробования тормозов (УЗОТ-РМ)

1.1 Устройство УЗОТ-РМ

Устройство УЗОТ-РМ предназначено для зарядки и опробования тормозов подвижного состава железных дорог на ПТО вагонов в парках отправления с формированием и сохранением в электронном виде отчетов по обработке тормозов поезда, справок ВУ-45, суточных отчетов и передач данных в систему АСУ ПТО (рис. 1).

Установка УЗОТ-РМ предназначена для круглосуточной работы. УЗОТ позволяет производить одновременно и независимо зарядку и полное опробование тормозов пяти составов с автоматической регистрацией (на бумажной ленте и в электронном виде) измеренных значений давления сжатого воздуха в

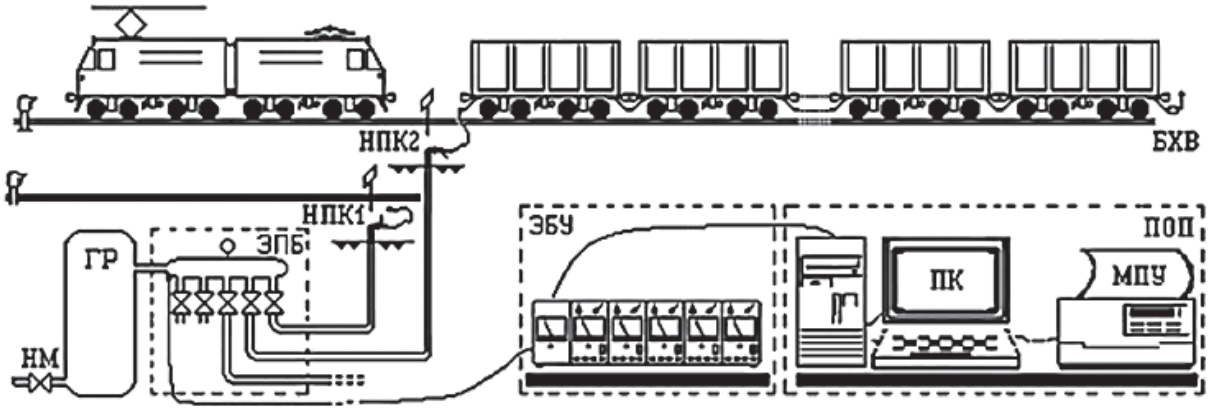


Рис. 1. Схема УЗОТ-РМ

питательной и тормозной магистралях (ТМ) и ее неплотности.

Основные составные части УЗОТ:

1) ЭБУ (электронный блок управления);

2) ЭПБ (электропневматический блок);

3) Пульт оператора парка, включающий персональный компьютер (ПК), и печатающее устройство (МПУ).

ЭБУ, БР и МПУ размещаются на рабочем месте оператора ПТО; ЭПБ – в специально выделенном помещении.

УЗОТ-РМ обеспечивает:

1) управление с одного пульта оператора парка (ПОП) несколькими устройствами УЗОТ;

2) одновременную обработку до пяти поездов с одного устройства УЗОТ;

3) контроль пневматической части тормозов локомотива;

4) продувку ТМ состава сжатым воздухом под давлением 1,6–1,9 кгс/см² при соединении тормозных рукавов;

5) ускоренную (за 8–20 минут) зарядку ТМ завышенным давлением с последующей автоматической ликвидацией его не приводящим к срабатыванию тормозов темпом;

6) проверку тормозов на мягкость с контролем срабатывания при ликвидации сверхзарядного давления темпом мягкости (0,2 кгс/см² за 80–120 сек);

7) выявление самопроизвольного срабатывания;

8) проверку плотности ТМ состава длиной до 500 осей в автоматическом и ручном режимах и ее целостности при продувке открыванием концевого крана хвостового вагона;

9) проверку автоматических тормозов на торможение ступенями и на отпуск зарядным давлением;

10) непрерывный контроль плотности и давления воздуха в ТМ и в напорной магистрали парка с сигнализацией снижения давления;

11) регистрацию хода опробования и параметров тормозных процессов в составе;

12) формирование и сохранение в электронном виде отчетов по обработке тормозов поезда, справок ВУ-45, суточных отчетов;

13) печать форм отчетности на бумажном носителе;

14) передачу форм отчетности в АСУ ПТО.

1.2 Порядок работы УЗОТ-РМ

Действие УЗОТ основано на принципе регулирования давления воздуха, поступающего в ТМ с головы поезда, в соответствии с алгоритмами зарядки и опробования тормозов. Устройство УЗОТ имеет следующие основные режимы работы:

• продувка тормозной магистрали поезда сжатым воздухом под давлением 1,8–2,0 кгс/см^2;

• ускоренная зарядка тормозной сети состава сжатым воздухом сверхзарядным давлением с последующей автоматической ликвидацией его темпом мягкости, не приводящим к срабатыванию тормозов;

• выполнение автоматической ступени торможения с поддержанием заданной величины давления (перекрыша с питанием);

• выполнение отпуска тормозов поездным давлением;

• контроль неплотности ТМ состава;

• контроль самопроизвольных срабатываний тормозов по цифровому индикатору;

• регулирование величин поездного давления и ступени торможения с пульта управления.

Осмотрщики вагонов перед подключением состава к питательной колонке продувают ее путем открытия концевого крана, подключают ТМ состава к питательной колонке и открывают концевые краны. При этом резко увеличится утечка сжатого воздуха, что отражается на диаграмме: это можно наблюдать при нажатии кнопки ПЛОТНОСТЬ на ПУ.

По окончании продувки ТМ перекрывается концевой кран хвостового вагона. Затем хвостовой осмотрщик вагонов сообщает оператору о наличии воздуха в хвосте состава.

Для работы по обслуживанию составов давление в ресивере должно быть не менее 6.5 атм. Оператор контролирует давление на выходе компрессора по показаниям датчика напорной магистрали.

1.3 Технология опробования тормозов в поездах с учетом применения УЗОТ

О заходе поездного локомотива под поезд оператор ПТО заранее предупреждает по двухсторонней парковой связи осмотрщиков – ремонтников вагонов (ОРВ).

После прицепки поездного локомотива к составу, соединения рукавов и открытия концевых кранов между локомотивом и первым вагоном ОРВ производится сокращенное опробование тормозов, по окончании которого машинисту вручается справка ВУ-45 как при полном опробовании тормозов. Головной ОРВ докладывает ДСП о готовности поезда к отправлению.

2 Нормы времени на техническое обслуживание составов поездов своего формирования с использованием УЗОТ (на примере станции смены родов тока Свирь Октябрьской железной дороги)

При проведении полного опробования тормозов от установки УЗОТ затраты времени составляют:

• включение (снятие) ограждение состава – 1,16 мин;

• зарядка тормозной магистрали – 17 мин (состав поезда 71 вагон) (табл. 1);

• полное опробование тормозов от УЗОТ (табл. 2).

Если состав в ожидании локомотива не подключен к колонке воздушной магистрали, требуется дополнительное время на зарядку ТМ состава.

ТАБЛИЦА 1. Время зарядки тормозной магистрали от УЗОТ-РМ

Кол-во вагонов в составе	50	55	60	65	71	75	80	85	87
Затраты времени, мин	12	13	14	16	17	18	19	20	21

ТАБЛИЦА 2. Время полного опробования тормозов от УЗОТ-РМ

Кол-во вагонов / Кол-во осмотрщиков вагонов, чел	50	55	60	65	71	75	80	85	87
2	25	26	27	29	30	31	32	34	34
4	18	19	20	20	21	22	22	23	23

3 Оценка эффективности инвестиций в устройства УЗОТ на ПТО вагонов

3.1 Общие методические положения

Для оценки экономической эффективности инвестиционных проектов, в соответствии с [3], [4], должна использоваться система показателей. Основными из них являются чистый дисконтированный доход или интегральный эффект, индекс и внутренняя норма доходности (рентабельности) затрат, срок окупаемости.

При оценке эффективности проекта соизмерение разновременных показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к ценностям в начальном периоде. Приведение разновременных затрат, результатов и эффектов к начальному периоду осуществляется с помощью нормы дисконта.

Минимальное значение нормы дисконта соответствует банковскому депозитному проценту.

3.2 Определение экономии эксплуатационных расходов

Основными факторами доходности инвестиций в УЗОТ являются сокращение простоев поездных локомотивов и составов поездов в процессе зарядки ТМ составов и опробования тормозов.

Согласно «Типовым нормам оперативного времени и норматива численности рабочих на пунктах технического обслуживания грузовых вагонов», время на полное опробование тормозов состава от поездного локомотива составляет 40 минут: 16 минут – на соединение тормозных рукавов и зарядку ТМ; 22 минуты – на полное опробование тормозов; 2 минуты – на выписку справки формы ВУ-45.

Если полное опробование тормозов произведено с помощью установки УЗОТ и в ходе его устранены выявленные неисправности, с помощью поездного локомотива производится лишь сокращенное опробование тормозов. При этом затраты времени составят: 4 минуты – на соединение тормозных рукавов и зарядку ТМ; 10 минут – на сокращенное опробование тормозов и 1 минута – на выписку справки о тормозах. Итого – 15 минут.

Следовательно, время стоянки поездного локомотива при техническом обслуживании состава за счет применения УЗОТ сокращается на 25 минут (40 минут – 15 минут = 25 минут) или 0,4 часа.

Среднее количество поездов, которым производится опробование тормозов с применением УЗОТ, в сутки, – 45.

• Экономия эксплуатационных расходов от сокращения простоя поездных локомотивов составит:

$$Э_{\text{л-ч}} = N \cdot \Delta t_{\text{от}} \cdot e_{\text{л-ч}} \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \text{ тыс. руб.},$$

где N – количество поездов, 45; $\Delta t_{\text{от}}$ – сокращение времени простоя поездного локомотива (состава поезда), 0,4 часа; $e_{\text{л-ч}}$ – расходная ставка на 1 локомотиво – час, 5600 руб.

$$Э_{\text{л-ч}} = 45 \cdot 0,4 \cdot 5600 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 36\,792,0 \text{ тыс. руб.}$$

• Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения простоя составов поездов может быть определена по формуле:

$$Э_{\text{в-ч}} = n \cdot \Delta t_{\text{от}} \cdot N \cdot e_{\text{в-ч}} \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \text{ тыс. руб.},$$

где n – среднее количество вагонов в составе, 71; $e_{\text{в-ч}}$ – расходная ставка на 1 вагоно-час, 10,85 руб.

$$Э_{\text{в-ч}} = 71 \cdot 0,4 \cdot 45 \cdot 10,85 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 5061,2 \text{ тыс. руб.}$$

• Общая годовая экономия эксплуатационных расходов от сокращения простоя поездных локомотивов и составов составляет:

$$Э_{\text{общ}} = Э_{\text{л-ч}} + Э_{\text{в-ч}} = 36792,0 + 5061,2 = 41\,853,2 \text{ тыс. руб.}$$

3.3 Определение инвестиционных затрат в устройства УЗОТ

$$К_{уст} = К_{баз} \cdot j \cdot К_{Т},$$

где $К_{баз}$ – базисная стоимость объекта (табл. 3); j – индекс удорожания по отношению к стоимостным показателям (равен 1,04); $К_{Т}$ – территориальный коэффициент для определения реальной стоимости строительства в конкурентных условиях (равен 1,18).

$$К_{уст} = 2976,3 \cdot 1,04 \cdot 1,18 = 3652,5 \text{ тыс. руб.}$$

3.4 Дополнительные текущие эксплуатационные расходы

Дополнительные текущие эксплуатационные расходы $Э_{доп.тек}$ при внедрении УЗОТ включают:

• затраты на оплату труда дополнительных работников ПТО вагонов $Е_{ФОТ}$;

• амортизационные отчисления $Е_{ам}$;

• затраты на оплату электроэнергии для работы УЗОТ $Е_{эл}$.

$$Э_{доп.тек} = Е_{ФОТ} + Е_{ам} + Е_{эл}.$$

Расчет расходов по отдельным элементам.

1. Затраты на оплату труда составляют:

$$Е_{ФОТ} = \sum Ч_i \cdot СЗП_i \cdot 12 + Н_{сн},$$

где $Ч_i$ – численность дополнительных работников ПТО, 2 человека; $СЗП_i$ – среднемесячная заработная плата, 17293 руб; $Н_{сн}$ – социальные начисления.

Социальные начисления устанавливаются в процентах от фонда заработной платы:

$$Н_{сн} = ФЗП \cdot К_{сн},$$

где ФЗП – фонд заработной платы за год; $К_{сн}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды.

$$ФЗП = \sum Ч_i \cdot СЗП_i \cdot 12 \cdot 10^{-3} =$$
$$= 2 \cdot 17293 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 415,0 \text{ тыс. руб.}$$

$$Н_{сн} = 415 \cdot \frac{31}{100} = 128,6 \text{ тыс. руб.}$$

$$Е_{ФОТ} = 415,0 + 128,6 = 543,6 \text{ тыс. руб.}$$

2. Амортизационные отчисления определяются по действующим нормам для основных производственных фондов:

$$Е_{ам} = К_{уст} \cdot \frac{q_{ам}}{100},$$

где $К_{уст}$ – капитальные вложения в устройства; $q_{ам}$ – норма амортизационных отчислений, 10,8 %.

$$Е_{ам} = 3652,5 \cdot \frac{10,8}{100} = 394,4 \text{ тыс. руб.}$$

3. Затраты на электроэнергию для работы устройств рассчитываются по формуле:

$$Е_{эл} = W \cdot t \cdot Ц_{эл} \cdot 365 \cdot 10^{-3},$$

ТАБЛИЦА 3. Смета инвестиционных затрат

№ п/п	Наименование оборудования	Единица измерения оборудования	Количество единиц оборудования	Единичная стоимость, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
1	Установка УЗОТ-РМ	шт.	1	1235,3	1235,3
2	Модульная компрессорная установка	шт.	1	1741,0	1741,0
	Итого:				2976,3

где W – суммарная мощность устройств, 3 кВт·ч; t – количество часов работы устройств за сутки, 24 ч; $Ц_{эл}$ – цена 1 кВт·ч электроэнергии, 2,75 руб.

$$Е_{эл} = 3 \cdot 24 \cdot 2,75 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 72,3 \text{ тыс. руб.}$$

Дополнительные текущие эксплуатационные расходы составят:

$$Э_{доп.тек} = 543,6 + 394,4 + 72,3 = $$
$$= 1010,3 \text{ тыс. руб.}$$

3.5 Оценка экономической эффективности затрат

Эффективность проекта целесообразно оценивать совокупностью показателей. Однако предпочтение следует отдавать таким показателям, как интегральный эффект и срок окупаемости.

При одноэтапных единовременных затратах, постоянном во времени результате реализации проекта, а также сравнительно небольших значениях горизонта расчета (до 3-х лет) дисконтирование результатов и затрат может не производиться.

Интегральный эффект (чистый доход – ЧД) может быть определен по формуле:

$$Э_{инт} = \frac{Э_{общ} - Э_{доп.тек}}{Е} - К_{доп} = $$
$$= \frac{41853,2 - 1010,3}{0,15} - 3652,5 = $$
$$= 268633,5 \text{ тыс. руб.,}$$

где $К_{доп}$ – дополнительные единовременные инвестиционные затраты; E – норма дисконта, 0,15.

Индекс рентабельности (доходности) $Э_К$ определяется как отношение суммы приведенного результата к размерам инвестиционных затрат:

$$Э_К = \frac{Э_{общ} - Э_{доп.тек}}{Е \cdot К_{доп}} = $$
$$= \frac{41853,2 - 1010,3}{0,15 \cdot 3652,5} = 74,5.$$

Индекс рентабельности тесно связан с интегральным эффектом. Если интегральный эффект $Э_{инт}$ положителен, то $Э_К > 1$, и наоборот. При $Э_К > 1$ проект считается экономически эффективным.

При постоянном результате и единовременных затратах *внутренняя норма их рентабельности* (доходности) равна:

$$Е_{вн} = \frac{Э_{общ} - Э_{доп.тек}}{К_{доп}} = $$
$$= \frac{41853,2 - 1010,3}{3652,5} = 11,2.$$

Срок окупаемости при этих же условиях:

$$Т_О = \frac{К_{доп}}{Э_{общ} - Э_{доп.тек}} = $$
$$= \frac{3652,5}{41853,2 - 1010,3} = $$
$$= 0,1 \text{ года.}$$

Заключение

Выполненные исследования, разработки и расчеты позволяют заключить, что применение на ПТО вагонов технических станций устройств УЗОТ-РМ для зарядки и опробования тормозов в составах грузовых поездов позволяет сократить эксплуатационные расходы, связанные с простоями поездных локомотивов и составов поездов.

При этом обеспечивается быстрая окупаемость инвестиционных затрат на такие устройства.

С увеличением количества обслуживаемых поездов с использованием УЗОТ-РМ эффективность затрат возрастает.

Библиографический список

1. **Исследование** роли технических станций в пропуске поездопотоков по транспортным коридорам / Г. М. Грошев, А. Р. Норбоев // Ак-

туальные проблемы управления перевозочным процессом : сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 12. – С. 27–35.

2. **Устройство** зарядки и опробования тормозов с регистрацией модернизированное (УЗОТ-РМ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tormo.su/products/25_uzot-r.htm.

3. **Методические** рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. Утв. МПС РФ. – 1998. Утверждены Указанием МПС России от 31.08.1998 г. № В-1024у.

4. **Оценка** эффективности мероприятий по автоматизации и реформированию оперативного управления перевозками на железных дорогах. Ч. 2. Примеры расчетов : учеб. пособие / Г. М. Грошев, А. Г. Котенко и др. ; ред. Г. М. Грошев. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – 79 с.

УДК 656.07

Я. В. Соколова
Научно-образовательный центр инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок ПГУПС

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ В ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

Определены понятия инноваций, процессных инноваций, инновационных процессов, рассмотрены теоретические и практические аспекты управления инновационными процессами. Описаны основные направления и рассмотрена структура управления инновационным развитием транспортной компании на примере ОАО «ФПК». Также даны рекомендации по изменению организационной структуры компании, использование которых позволит увеличить эффективность деятельности, производительность труда, решить проблемы технологического отставания, а также задачи опережающего развития техники, технологий и сферы услуг.

инновация, процессная инновация, инновационный процесс, инновационная деятельность, инновационное развитие, управление, экономика.

Введение

Инновации сегодня являются центральным фактором роста производства и производительности труда, уровень которой в свою очередь определяет конкурентоспособность конкретного производителя, отрасли или страны в целом в борьбе за экономическое лидерство.

Благодаря прогрессу в технологиях и перманентной интенсификации информационных потоков, знания рассматриваются как центральная движущая сила экономического роста и инноваций.

Проектное управление инновационным развитием компании призвано упорядочить инновационные процессы, повысить скорость и эффективность внедрения инноваций, важной задачей при этом является выбор оптимальной организационной структуры управления для обеспечения работоспособности системы.

1 Системный подход к управлению проектами инновационного развития

Инновацией является материализация изобретений и научно-технических разработок в производстве с целью получения прибыли и удовлетворения актуальных запросов потребителей. Инновацией можно назвать про-

цесс, направленный на получение знаний и их внедрение в материальное производство, сферу услуг или в другие сферы общественной жизни [1].

Инновации как процесс преобразования научного знания в реальность, в готовый продукт рассматриваются в трудах Дж. Брайта, Б. Санто, Б. Твисса, Д. Тисса и других. По мнению Дж. Брайта, «процесс, объединяющий науку, технику, экономику, предпринимательство и управление, – это процесс научно-технических инноваций». Б. Санто в своих трудах определяет инновации как «общественно-технико-экономический процесс, который через практическое использование идей или изобретений приводит к созданию лучших по свойствам изделий и технологий, и в случае, если инновация ориентирована на экономическую выгоду, прибыль, то ее появление на рынке сможет принести добавочный доход» [2]. Б. Твисс отмечает, что инновации – «процесс, в котором изобретение или новая идея приобретает экономическое содержание, творческий характер инновационной деятельности» [3].

Потребителем процессной инновации в большинстве случаев является сама организация, заинтересованная в совершенствовании своей деятельности. Внедрение процессных инноваций оказывает непосредственное влияние на рост производительности труда, экономию издержек и, как следствие, на увеличение прибыли. Инновации представляют собой важнейший источник финансирования расширенного воспроизводства. Полученная за счет реализации инновации прибыль может быть использована в качестве капитала, направляемого на разработку и внедрение новых видов продукции и технологий, что определяет инвестиционную функцию инноваций.

Увеличение прибыли служит стимулом для инновационной активности, побуждает предпринимателей отслеживать уровень спроса, изучать и прогнозировать изменение потребностей клиентов, совершенствовать организацию маркетинговой деятельности, применять новые методы управления финансами. Успешно внедренные в одной организации процессные инновации впоследствии могут распространяться и в других организациях. Чем большее число организаций использовало конкретную инновацию, тем выше скорость ее распространения.

Инновационная деятельность может быть определена как совокупность усилий, необходимых для осуществления инновационных процессов. Инновационный процесс представляет собой логически связанную последовательность событий (от возникновения идеи до внедрения результатов ее реализации), итогом которой является инновация. Стимулирование инновационной деятельности хозяйствующих субъектов предполагает создание государством таких условий для предпринимательской деятельности, при которых становится возможным естественный процесс возникновения и распространения экономически эффективных инноваций.

Государство осуществляет регулирование инновационной деятельности как непосредственно через инициирование инноваций, так и опосредованно, стимулируя инновации косвенными методами с помощью создания соответствующего экономического механизма.

Схема государственной поддержки инновационной деятельности представлена на рис. 1.

В ходе инновационных процессов при активной государственной поддержке и достаточном финансировании на базе результатов фундаментальных и прикладных исследований создаются новые технологии, высокотехнологичные производства, наукоемкая продукция.

Рассмотрим обобщенный вариант структуры инновационного процесса – так называемую линейную модель инновационного процесса [4].

Формирование потребности на потенциальном рынке является первой начальной стадией инновационного процесса. Как правило, инновационная идея рождается в сфере потребления, а не в научной среде, которая подключается позже для продвижения идеи и доведения ее до стадии реализации. В общем виде инновационный процесс

Рис. 1. Государственная поддержка инновационной деятельности

можно описать как замкнутый цикл, который зарождается и завершается (реализуется) на рынке.

Вторая стадия заключается в проведении фундаментальных и прикладных исследований, которые ведутся в рамках государственных программ, финансируются из государственного бюджета или за счет частного капитала на безвозвратной основе. Фундаментальные исследования создают интеллектуальную базу, их экономическую эффективность часто невозможно измерить. Результатом прикладных исследований является документальная проработка создания нового товара или процесса.

Третья стадия приближает инновацию к реализации путем проведения опытно-конструкторских и проектных работ.

На четвертой стадии происходит запуск в серийное производство. Промышленным предприятиям в инновационном процессе отводится доминирующая роль, поскольку научные исследования оказывают косвенное влияние, продуцируют знания, позволяющие предложить новые технологии, но реализацию инноваций осуществляют предприятия, вкладывая значительные средства в модернизацию и развитие. На этой стадии инновационного процесса еще нет гарантии принятия рынком нового продукта, инвестиции носят рисковый характер.

Пятая стадия – это процесс коммерциализации, продвижение инновационного продукта на рынок. По расчетам специалистов, финансирование работ, связанных с освоением масштабного производства новой продукции и последующим совершенствованием технологии, на этом этапе в 6–8 раз больше, чем расходы на исследования и разработки.

Инновационный процесс в современных условиях становится перманентным, приобретает массовый характер, изменяет понимание и направления инвестиций.

Инициированные инновации целесообразно организационно выделять в отдельные проекты, это позволит повысить ско-

рость и эффективность внедрения, назначить ответственных лиц, оперативно реагировать на изменения внутренней и внешней среды компании в процессе реализации проекта инновационного развития.

2 Пример организации управления проектами инновационного развития в ОАО «Федеральная пассажирская компания» (ОАО «ФПК»)

Инновационное развитие ОАО «ФПК» осуществляется в соответствии со следующими документами:

– Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года;

– Концепция единой технической политики ОАО «ФПК»;

– Стратегия инновационного развития ОАО «ФПК» до 2030 года;

– Стратегия и программа инновационного развития ОАО «РЖД» до 2015 года;

– Энергетическая и экологическая стратегии холдинга «РЖД» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года;

– Стандарты, методические рекомендации и регламенты, обеспечивающие инновационную деятельность в ОАО «РЖД» и ОАО «ФПК».

Основными стратегическими направлениями инновационного развития ОАО «ФПК» являются:

– подвижной состав;

– система управления и обеспечения безопасности движения поездов;

– повышение надежности работы и увеличение эксплуатационного ресурса технических средств;

– корпоративная система управления качеством;

– повышение экономической и энергетической эффективности основной деятельности;

– охрана окружающей среды;

– система технического регулирования;

– внедрение инновационных спутниковых и геоинформационных технологий.

Основываясь на мировом опыте управления инновационными процессами, можно утверждать, что инновации требуют создания «питательной среды» внутри компании – стимулирования работников к инновационной активности.

Для систематизации и актуализации инновационного развития компании необходимо определить как части единого процесса управления проектом проектирование и разработку каждого инновационного проекта, а также ввести четкую систематизацию требований для стратегического выбора инновационного проекта при планировании. Необходимо определить цели для каждого инновационного проекта путем декомпозиции показателей достижения целей компании до конкретных процессов, установить и использовать обязательные и рекомендуемые показатели эффективности деятельности для мониторинга и измерения инновационных процессов, постоянно актуализировать цели в сфере инноваций путем проведения планового анализа изменений во внешней и внутренней среде.

Управление инновационным развитием железнодорожной компании включает следующие этапы: определение стратегических целей инновационного развития на основе текущих и прогнозных данных в рамках выбранной стратегии, разработку системы планирования мероприятий, обеспечивающих достижение целей, обоснование перечня необходимых для реализации проектов ресурсов, объемных и качественных показателей, позволяющих осуществлять учет, контроль и мотивировать персонал, выбор оптимального варианта инновационного развития и разработку организационной структуры управления инновациями.

На всех этапах управленческого цикла необходимо осуществлять мониторинг научно-технического развития отрасли, проводить непрерывный бенчмаркинг по наиболее развитым компаниям отрасли, постоянный отбор и применение новых практик инновационного развития, оценку параметров внешней и внутренней среды, в наибольшей степени влияющих на возможность и необходимость осуществления проектов.

При формировании системы проектного управления инновационным развитием железнодорожной компании необходимо использовать комплексный подход, предполагающий взаимоувязанную и скоординированную работу участвующих в этом процессе подразделений и исполнителей. Отсутствие эффективного взаимодействия участников проекта приводит к значительному замедлению сроков реализации проекта, ухудшению их качества и дополнительным расходам.

Основной недостаток существующего процесса регулирования инновационной деятельности ОАО «ФПК» состоит в том, что инновационная деятельность в компании имеет аналогичное другим видам деятельности управление. Научно-технический совет формируется из специалистов, делегируемых Управлениями, отвечает за принятие к исполнению проектов, инициируемых Управлениями. Существующая организационная структура приведена на рис. 2.

В настоящее время Управление инновационного развития ОАО «ФПК» находится на одной вертикали с другими Управлениями, подчиняется непосредственно генеральному директору, при этом функциональные связи между Управлениями направлены на обеспечение повседневных задач в организации пассажирских перевозок дальнего следования. В то же время вопросам инновационного развития в этих Управлениях не уделяется достаточно внимания, хотя в положениях об этих структурных единицах такие функции обозначены. Предлагается эти функции конкретизировать в виде процессов, установить их владельцев, руководителей и участников, определить конкретные продукты в виде предложений и разработок.

Выявленные недостатки системы требуют изменений. Для повышения эффективности проектного управления инновационным развитием ОАО «ФПК» необходимо реализовать структуру, представленную на рис. 3, наделить Научно-технический совет функциями стратегического управления, а Управление инновационного развития – полномочиями по корректировке программ инновационного развития остальных Управлений.

Предлагаемые изменения не увеличивают численность персонала, напротив – при введении системы эффективных коммуникаций между Управлениями появляется возможность сокращения численности работников за счет исключения дублирующих функций сотрудниками различных Управлений, что повысит производительность труда в компании.

Заключение

Основными направлениями совершенствования управления проектами инновационного развития транспортной компании следует считать применение процессного подхода к упорядочению деятельности управленческих структур как непосредственно отвечающих за инновационное развитие, так и подразделений, обеспечивающих текущую деятельность.

С целью активизации инновационного развития в компании в организационной структуре целесообразно установить приоритет для Управления инновационного развития более высокий, чем эксплуатационным и обеспечивающим подразделениям.

Библиографический список

1. **Руководство** Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям : 3-е изд. – Москва : ГУ «Центр исследований и статистики науки», 2006. – 192 с.

2. **Инновация** как средство экономического развития / Б. Санто ; пер. с венг. ; ред. Б. В. Сазонов. – Москва : Прогресс, 1990. – 296 с.

3. **Управление** нововведениями / Б. Твисс. – Москва : Экономика, 2009. – 272 с.

4. **Методология** инновационного развития железнодорожного транспорта России: монография / М. О. Сураева. – Москва : Изд-во Моск. фин.-юрид. акад., 2011. – 200 с.

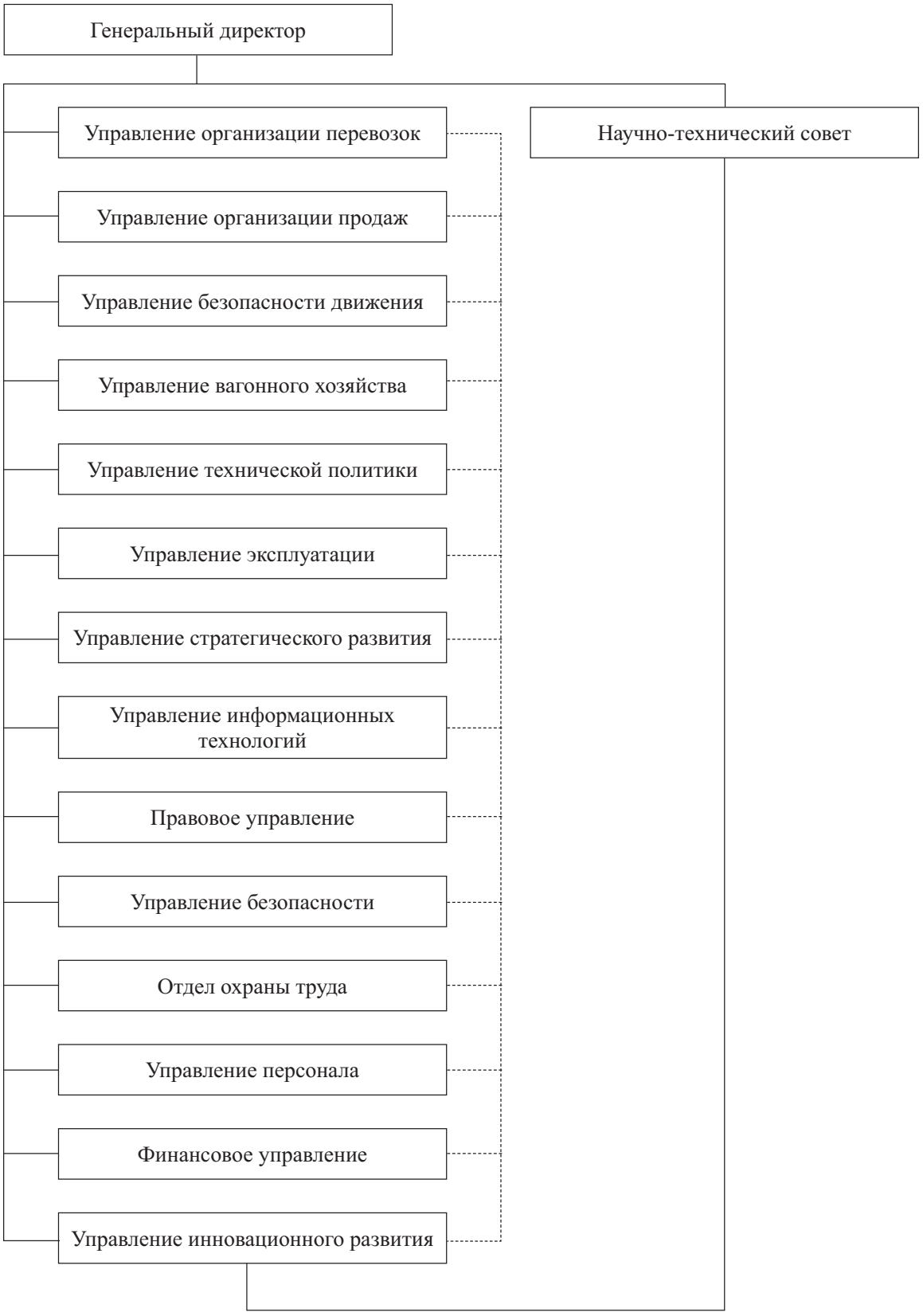


Рис. 2. Существующая организационная структура управления инновационным развитием ОАО «ФПК»

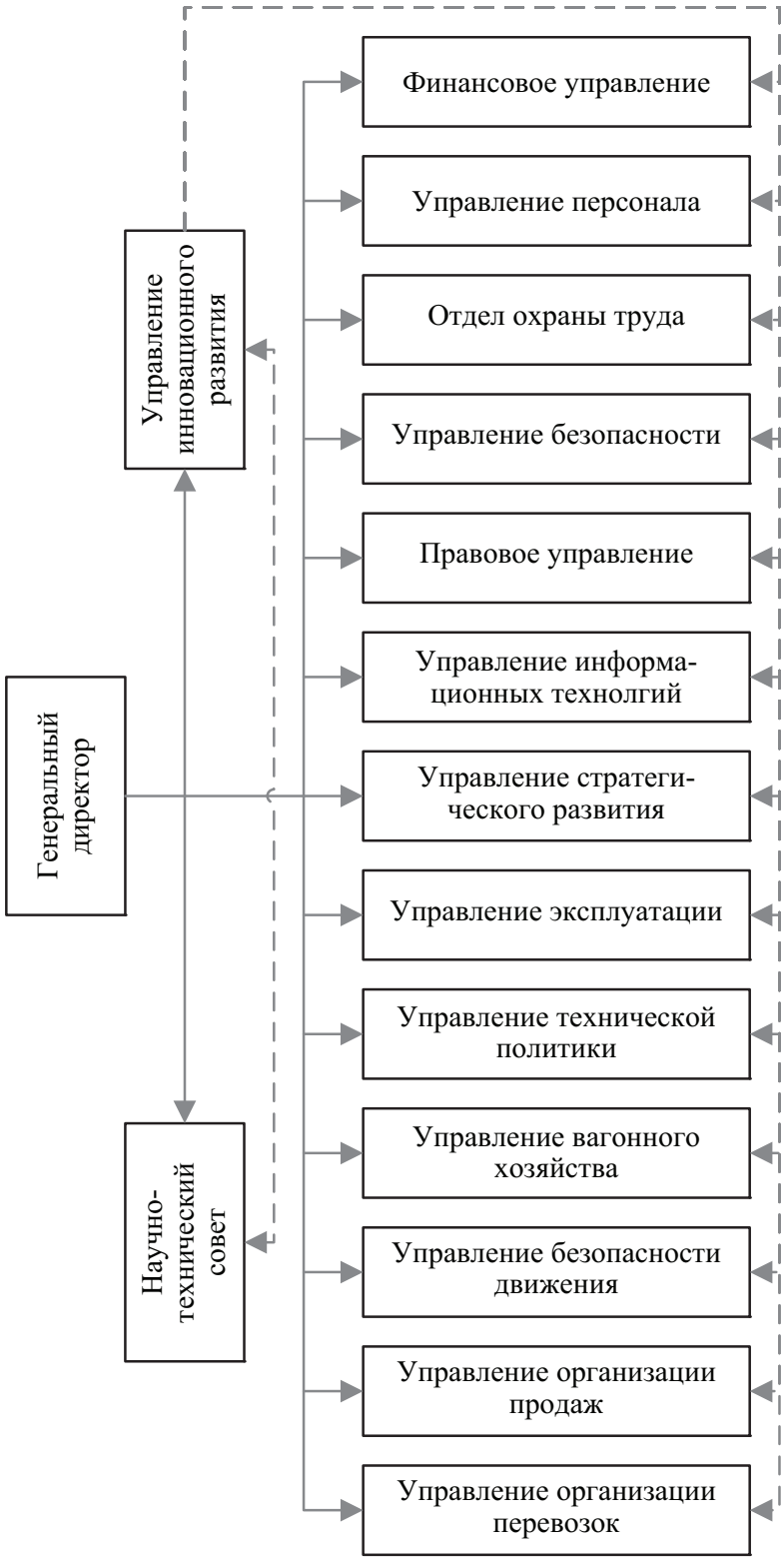


Рис. 3. Предлагаемая организационная структура проектного управления инновационным развитием ОАО «ФПК»

УДК 338.47–656: 629.437

М. В. Фёдорова
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

РЕШЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОБЛЕМ МЕГАПОЛИСОВ ЗА СЧЕТ РАЗВИТИЯ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Определены основные транспортные и экологические проблемы мегаполисов, а также описаны недостатки существующих городских транспортных систем. Рассмотрен один из путей решения обозначенных проблем – внедрение нового вида транспорта на основе магнитной левитации. Описан принцип работы такого транспорта и выполнено сравнение магнитолевитационной технологии с традиционной, основанной на принципе взаимодействия в системе колесо-рельс. Предложена методика расчета цены билета легкорельсового трамвая с магнитолевитационной поддержкой «Петро-ТрамМаглев».

общественный пассажирский городской транспорт; магнитная левитация, экология, безопасность, энергоэффективность.

Введение

В настоящее время население концентрируется в крупных городах, городские окраины активно застраиваются, вокруг городов развиваются зоны рекреации, производства выносятся за городскую черту.

Для мегаполисов характерна социальная напряженность, связанная с транспортной и экологической обстановкой, усугубляющаяся ростом населения и увеличением его плотности, ростом количества автомобилей на душу населения и затрат времени в пути.

В связи с этим необходим поиск решения транспортных, а вместе с ними и экологических проблем [1].

1 Характеристики традиционных рельсовых видов городского транспорта

1. *Метрополитен* – городская железная дорога с курсирующими по ней маршрутными поездами для перевозки пассажиров, инженерно отделенная от любого другого транспорта и пешеходного движения (внеуличная), с регулярным движением поездов согласно графику, с высокой маршрутной скоростью (до 80 км/ч) и провозной способностью (до 60 тыс. пассажиров в час в одном направлении).

2. *Трамвай* – вид уличного и частично уличного рельсового общественного транспорта для перевозки пассажиров по заданным маршрутам, используемый преимущественно в городах. Большинство трамваев используют электротягу с подачей электроэнергии через воздушную контактную сеть с помощью токоприемников, однако существуют также трамваи с питанием от контактного третьего рельса или аккумуляторов.

3. *Легкорельсовый транспорт* (также легкий рельсовый транспорт, ЛРТ) – это обособленная рельсовая высокоскоростная пассажирская система, построенная по облегченным стандартам с использованием более экономичных инженерных решений по сравнению с железной дорогой и классическим метро.

Традиционные рельсовые виды городского транспорта не могут обеспечить высокое качество пассажирских перевозок в связи с интенсивным ростом их объема.

Основные недостатки существующих городских транспортных систем:

– низкая комфортабельность, регулярность и пропускная способность, особенно в условиях пиковых нагрузок;

– низкая скорость сообщения;

– негативное воздействие на экологическую обстановку в городе: шум (при интенсивной работе транспорта достигает 120 дБ) и загрязнение воздуха (ежегодно возрастает в 1,5 раза);

– высокая аварийность.

Одним из путей решения транспортных и экологических проблем является применение транспорта на основе магнитной левитации.

Магнитолевитационный транспорт – вид городского транспорта, основанный на принципах магнитной левитации (магнитного подвеса), движение осуществляется линейным тяговым двигателем. Новая технология получила распространенное название маглев (от англ. magnetic levitation – «магнитная левитация»). Магнитолевитационные транспортные средства в процессе движения не касаются путевого полотна, вследствие чего исключается трение и единственной тормозящей силой является сила аэродинамического сопротивления.

2 Технико-экономические характеристики городского маглева

Принципы работы городского маглева:

– Принцип магнитной левитации.

Магнитная сила возникает, когда к электромагнитам, расположенному под рельсами и прикрепленному к поезду, поступает электричество. Намагниченные рельсы и электромагнит образуют силу притяжения, которой управляет поезд. Зазор между рельсами и поездом постоянно поддерживается с помощью регулирования мощности и использования датчика измерения зазора и контроллера.

– Принцип приведения транспортного средства в движение.

В маглеве используется линейный двигатель (в форме роторного двигателя), который может совершать прямолинейные перемещения. При подаче электричества к линейному двигателю вагона поезда ток воздействует на рельсы вследствие электромагнитной индукции и создается момент с помощью электромагнитной силы. Кроме того, скорость движения поезда можно регулировать, изменяя частоту входного тока линейного двигателя.

Маглев – это экономически обоснованная система по части строительства и эксплуатационных расходов. Стоимость строительства маглева примерно такая же, как у легкорельсового транспорта благодаря облегченным конструкциям без бетонного покрытия. По данным Корейского института машиностроения и материалов эксплуатационные расходы маглева составляют примерно 60–70% от затрат на технологию колесо-рельс [4].

Существенное снижение затрат на техническое обслуживание и персонал, которые составляют примерно 80% всех эксплуатационных затрат, происходит за счет долговечной бесконтактной технологии (отсутствия трущихся поверхностей). Сторонники магнитных дорог полагают, что при широком распространении таких систем стоимость их строительства будет значительно снижаться, как это всегда бывает с выходом продукта в массовое производство.

Системы с магнитным подвесом отличаются низким уровнем воздействия на окружающую среду по сравнению с другими транспортными системами. Это относится как к площади, требуемой для размещения инфраструктуры, так и к удельным энергозатратам, выбросам углекислого газа и шумовой нагрузке.

В связи с тем, что маглев удерживается над полотном дороги, он представляет собой экологическую систему городского транспорта, не создающую тех шума, вибрации и пыли, которые появляются при трении колес о рельсы.

Маглев – безопасная транспортная система без риска схода с рельсов, столкновения с пешеходами и другими видами транспорта. Магнитолевитационная технология исклю-

чает опасность переворота и прокола, так как корпус поезда покрывает рельсы, а воздействие электромагнитных волн то же, что и в обычном метро.

В табл. 1 приведена сравнительная стоимость строительства 1 км двухпутного полотна по технологиям колесо-рельс и маглев по данным немецкой компании Siemens. Данные показывают, что стоимость строительства линий ВСМ и маглев-трасс является вполне сопоставимой.

В мире всего два коммерческих проекта городского маглева: Linimo в Японии, вблизи города Нагоя, и трасса Шанхай – Пудонг в Китае. Первую в мире коммерческую дорогу Шанхай – Пудонг длиной 30,5 км с максимальной скоростью 430 км/ч и стоимостью примерно 1 млрд долларов, ввели в эксплуатацию в Китае по разработкам немецких специалистов в 2004 г.

Из табл. 2 видно, что маглев выгодно отличается от железнодорожного и автомобильного транспорта по всем позициям: энергопотреблению, выбросу вредных веществ в атмосферу, уровню шума и по времени нахождения пассажира в пути.

3 Городской маглев для Санкт-Петербурга

В Санкт-Петербурге рассматривается проект создания коммерческой внутригородской транспортной системы, функционирующей с применением магнитолевитационной технологии. Головной участок системы целесо-

ТАБЛИЦА 1. Стоимость строительства 1 км двухпутного полотна (по данным немецкой компании Siemens)

Традиционная технология «колесо-рельс»: «ICE», Франкфурт-Кельн	31,0 млн евро
Технология магнитной левитации: «SMT» Шанхой – Пудонг, Китай (2004)	23,8 млн евро

ТАБЛИЦА 2. Сравнительная характеристика магнитолевитационного и других видов транспорта (по данным компании Transrapid)

Параметры	Магнитолевитационная трасса	Железная дорога	Автомобильная трасса
Энергопотребление при загрузке транспорта 75 %, Вт·ч/пасс.-км	130 (скорость 150 км/ч)	180 (скорость 150 км/ч)	330 (скорость 150 км/ч)
Выброс вредных веществ в атмосферу, г/пасс.-км	0,4	0,4	2,8
Уровень шума, Дб, при скорости, км/ч 100 160	 65 70	 83 86	 76 80
Время нахождения пассажира в пути (от двери до двери), ч, при расстоянии, км: 20 200	 0,5 1,6	 1,0 1,6	 0,8 3,1

образно проложить от дворца Конгрессов в поселке Стрельна до многофункционального транспортного узла Обухово (с ответвлением на комплекс «Балтийская жемчужина»), на линии, отведенной под наземный скоростной экспресс (рис. 1).

12 марта 2013 г. научно-технический совет при правительстве Санкт-Петербурга рассмотрел предложение о создании в Санкт-Петербурге внутригородской транспортной магнитолевитационной системы и принял решение поддержать работы инициаторов проекта: ОАО «Национальные Скоростные Дороги», ЦМКБ «Рубин», НИИЭФА, ИМАШ РАН и ПГУПС.

Реализация головного участка транспортной системы, проходящего по густонаселенным районам города, не имеющим надежной транспортной связи, на магнитолевитационной технологии обеспечит:

1. Безопасность пассажиров и пешеходов, так как конструкция не допускает схода подвижного состава с рельс, а трасса поднята над поверхностью и не пересекается в одном уровне с другими видами транспорта или пешеходными переходами.

2. Отсутствие раздражающих население факторов:

– шума и загрязнения от трущихся о рельсы колес, так как механический контакт отсутствует;

– видеозагрязнения от опор и контактной электросети, так как транспорт на магнитном подвесе в них не нуждается.

Строительство легкорельсового скоростного трамвая «Петро-трам Маглев» с магнитолевитационной поддержкой позволит решить следующие задачи:

1. Соединить воедино пассажирской связью всю южную часть города с эффективной коммерческой средней скоростью 60 км/ч или 75 км/час, в зависимости от выбранного варианта ускорения (a = 1,0 м/с^2 или a = 1,6 м/с^2), разгрузить от потоков личного легкового наземного транспорта перенапряженную в настоящее время трассу дуговой магистрали (Ленинский пр. – пр. Типанова – пр. Славы), так как, благодаря высокой комфортности и скорости передвижения, ожидается снижение выездов индивидуального легкового транспорта на 170–250 тыс. автомашин в рабочие дни в зоне влияния трассы.

2. Соединить станции Кировско-Выборгской, Московско-Петроградской и Невско-Василеостровской линий метрополитена: ст. Проспект Ветеранов, Звездная, Обухово, – обеспечив кратчайшую доставку жителей из прилегающих к трассе районов жилой застройки и промышленно-деловых зон юго-западной части города ко всем существующим линиям метрополитена.

3. Полностью компенсировать отсутствие в Красносельском районе, за пределами станции пр. Ветеранов, линии метрополитена, требующей огромных бюджетных затрат, которые можно направить на решение многих других задач администрации города, и повысить уровень транспортного обслуживания этой зоны до комфортности, недостижимой ни для одной из существующих технологий пассажирских перевозок, включая метро.

4. Обеспечить транспортное соединение всех этих районов города с пригородными железнодорожными платформами РЖД, в том числе Дачное, Пулково, Купчино и Обухово, являющимися крупными объектами тяготения пригородных пассажиропотоков.

5. Намеченная на уже зарезервированной трассе легкорельсового трамвая линия имеет перспективы развития в Западном направлении (г. Ломоносов и порты Финского залива), в Северо-Западном направлении (Невский и Красногвардейский районы), а затем в Выборгском и Приморском районах, окраинные территории которых в настоящее время малодоступны. Реально соединение в кратчайшие сроки с расширяющимися аэропортами (Пулково 1 и Пулково 2), новым Экспоцентром и Газпромом-сити в Лахте в зависимости от целей и приоритетов, которые установит администрация города.

Конструкции, применяемые городским маглевом, отличаются от существующих наземных конструкций, гармонично вписываясь в городской пейзаж (рис. 2), поэтому маглев не только дополнит архитектурный ансамбль города, но и станет достопримечательностью для туристов.

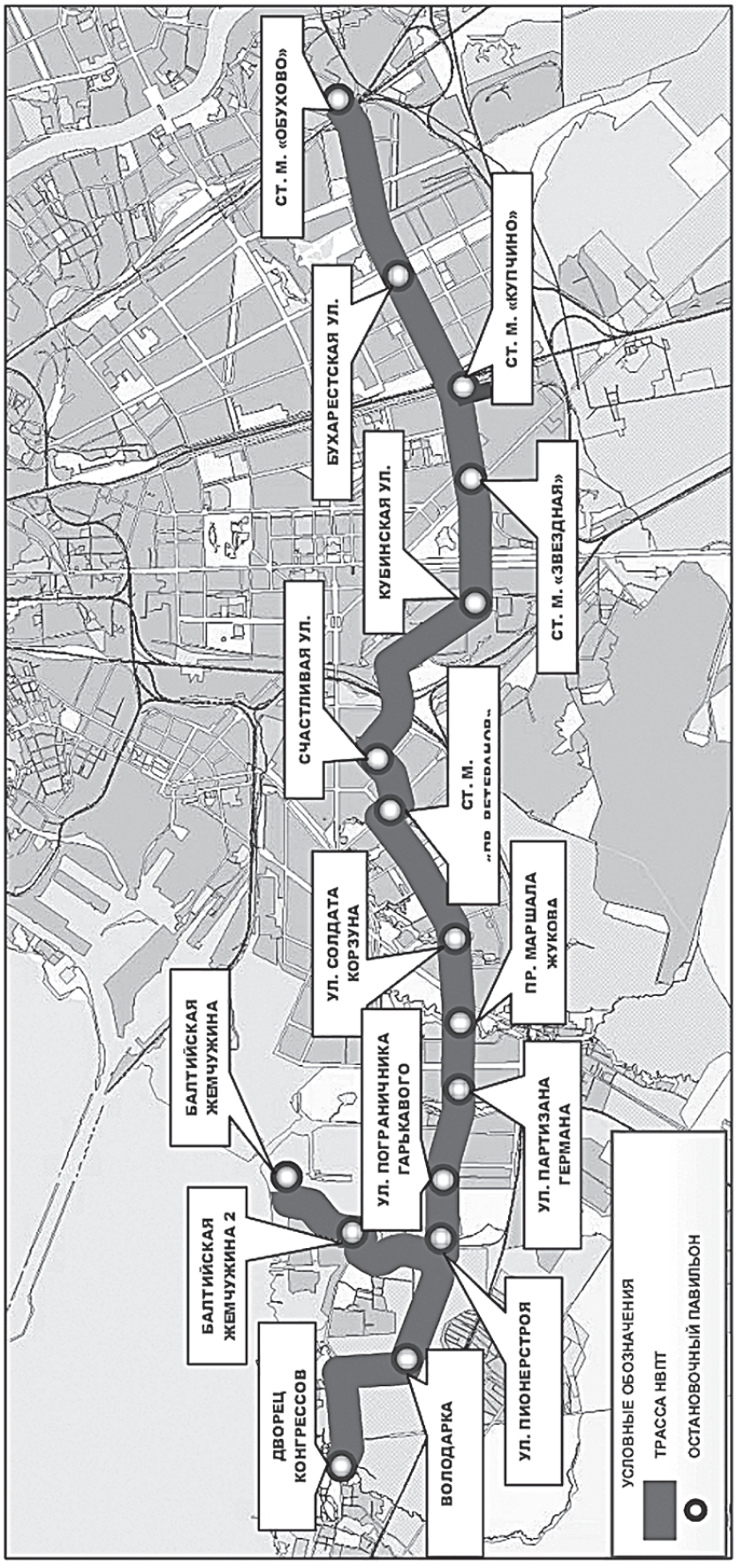


Рис. 1. Дуговая магистраль от дворца Конгрессов до станции метро «Обухово» на магнитолевитационной технологии

Рис. 2. Магнитолевитационная трасса

4 Методика расчета цены билета легкорельсового трамвая с магнитолевитационной поддержкой «Петро-ТрамМаглев»

Расчет цены билета легкорельсового трамвая с магнитолевитационной поддержкой «Петро-ТрамМаглев» произведен ОАО «Национальные Скоростные Дороги» затратным методом. Для этого в качестве исходных данных были рассмотрены необходимые затраты:

– фонд оплаты труда, учитывающий среднюю заработную плату по Санкт-Петербургу в 2013 г., численность персонала, а также коэффициент, учитывающий сложность и ответственность обязанностей, от 1,2 до 2,0;

– социальные отчисления;

– расходы на электроэнергию в зависимости от заданного ускорения;

– расходы, включающие экологическую безопасность и обслуживание инфраструктуры;

– прочие расходы и материалы;

– ежегодное погашение кредита.

При расчетах были приняты следующие допущения:

1. При расчете необходимых капитальных вложений принята заявленная поставщиками и исполнителями работ усредненная стоимость работ для одного км трассы вместе с подвижным составом и всей инфраструктурой приблизительно 620–650 млн руб. за 1 км.

2. Был учтен рост выручки от роста стоимости билета ниже темпов инфляции, не более 5% в год.

3. Рост условно-переменных расходов: зарплаты персонала при непрерывном увеличении платежеспособного пассажиропотока, стоимости энергоресурсов, прочих расходов – принят на 0,8% на каждый процент роста объема перевозок.

4. Налоговое бремя учтено по ставкам 2013 г. (применено к 2018 г. с индексированием): ставки на недвижимое имущество – 2,2% с индексированием 10% в год, но и с амортизацией 6%, налог на прибыль – 20%, налог землю – 2,2% от кадастровой стоимости, социальные платежи – 34% от фонда зарплаты, подоходный налог – 13%. Налоги в расчет могут не включаться, так как стратегический объект в течение 5 лет налогом не облагается (более 10 млрд руб.).

5. Численность персонала (400 человек на 2018 г.) с ростом перевозок не увеличивается.

Пассажирооборот в базовом году составит 130 млн человек в год. Находим сумму расходов применительно к базовому году и определяем непосредственно цену билета. Цена билета изменяется согласно инфляции, но не более чем на 5% в год.

Заключение

Транспорт на магнитном подвесе имеет ряд преимуществ перед другими транспортными системами с точки зрения стоимости строительства, эксплуатации, доступности, экологии и безопасности.

Магнитолевитационная технология представляет собой крупную инновационную сферу и может дать мощный импульс для выхода из транспортного тупика, к которому приближаются российские города-миллионники.

Библиографический список

1. **Транспорт** на магнитном подвесе : монография / А. А. Зайцев, Г. Н. Талашкин, Я. В. Соколова. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2010. – 160 с.

2. **Дорога** на магнитном подвесе : второе дыхание в России / А. Гурьев // РЖД-партнер. – 2009. – № 19. – С. 54–58.

3. **Интервью** с В. П. Заниным [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://polit.pro/news/2013-06-17-15941.

4. **Особенности** городского маглева и его применение в условиях городской транспортной системы / Шин Бён-Чхон. – Тэджон : Корейский институт машиностроения и материалов, 2012.

→ ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК: 372.851

М. М. Воронина
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Рассматриваются некоторые аспекты кризиса в среднем и высшем профессиональном образовании, в области математических наук. Подобные проблемы обсуждаются на всех уровнях, в том числе на международной конференции, проведенной в республике Армения Научно-методическим советом по математике Министерства образования и науки Российской Федерации. История технического обучения показывает, что качественное инженерное образование базируется именно на тщательном изучении математических, в широком смысле этого слова, наук. В настоящий момент лучшая инновация – это консерватизм.

математика, обучение, история, образование.

Введение

В последнее время все чаще обсуждаются проблемы обучения и развития международного образовательного пространства. В марте 2014 г. в республике Армения был проведен научный форум на тему «Образование, наука и экономика в вузах и школах. Интеграция в международное образовательное пространство». Форум был организован Научно-методическим советом по математике Министерства образования и науки РФ [1].

1 О школьном обучении

Ученые и преподаватели из тринадцати стран обсуждали проблемы, связанные с улучшением качества высшего и среднего профессионального образования, а также некоторые вопросы из различных областей математики, физики, информатики и экономики.

Много докладов было посвящено проблеме падения интереса к получению математических знаний в молодежной среде. Хотя очевидно, что фундаментальные науки являются основой научно-технического прогресса и процветания страны, в последнее время все чаще наблюдается тенденция к негативному отношению к математике. Это следствие недостаточного понимания роли фундаментального, в частности, математического образования, не всегда качественного преподавания в школе, а также недостаточной мотивации. Такая тенденция наблюдается не только в России. Например, в Польше школьники обратились к члену государственного совета с просьбой посодействовать в отмене преподавания математики.

В европейском союзе поддержка науки и образования, в том числе математического, осуществляется через различные фонды. В нашей стране это довольно проблематично.

Президент России В. В. Путин 7 мая 2012 г. подписал Указ, в котором поручил правительству разработать и утвердить Концепцию математического образования в РФ

на основе аналитических данных о состоянии математического образования на различных уровнях. Может быть, благодаря этому указу и стало возможным говорить о некоторых преобразованиях в школе.

За последние десятилетия изменилась ментальность молодежи, упал престиж научного творчества и заинтересованности в знаниях. Постоянно снижается уровень школьной математической подготовки. Проверкой служат пробные тестирования, проводимые на первом занятии у первокурсников. Тесты не меняются, но средний балл постоянно снижается, это отметили преподаватели всех вузов, присутствовавшие на форуме.

В настоящее время, в связи с резким сокращением часов, отводимых на математические предметы, и с ухудшением качества среднего образования, студенты не только не получают теоретических знаний, но и не приобретают умения решать задачи. А ведь у этих наук есть еще одно замечательное свойство – они учат думать. Эти предметы воспитывают умение понимать смысл поставленной задачи и находить способы ее решения. Для этого надо уметь логично рассуждать. Самый простой пример: с помощью циркуля и линейки надо опустить перпендикуляр из точки, находящейся вне прямой, на прямую. Даже такие простейшие задачи заставляют думать, приучают к усидчивости, помогают познать радость творчества. К сожалению, сейчас это проблема – научить студентов думать, анализировать, вспоминать.

Надо срочно искать эффективные пути и средства повышения качества математической подготовки школьников и студентов. Относительно первого вопроса на форуме были сделаны следующие предложения:

– Пересмотреть школьную программу, ввести единый учебник – аналог знаменитого учебника Киселева.

– Исключить элементы высшей математики, что позволит увеличить часы на изучение элементарной математики, в том числе стереометрии.

– ЕГЭ не должно заменять выпускной экзамен, а служить лишь одной их форм школьного тестирования.

– Восстановить систему вступительных экзаменов в вузах.

2 Высшее техническое образование

Если в школе пытаются вернуться к системе, принятой в 60-е годы XX столетия, почему бы и нам не попробовать этот вариант. Конечно, вернуться к старому сейчас невозможно, но кто мешает воспользоваться опытом прошлого. Не учитывать опыт прошлого просто глупо; здесь уместно вспомнить слова, приписываемые Ш. М. Талейрану: «Это хуже, чем преступление – это ошибка».

Обратимся к опыту нашего университета.

Известный русский математик В. В. Бобынин (1849–1919), профессор Московского университета, первый историк математики в России (он читал курс истории математики с 1882 г.) дал интересное толкование понятия «математика». Это определение он написал для словаря Брокгауза и Эфрона в конце XIX в. Он считал, что математика это не наука или знание, как переводили с греческого языка ранее, а это слово восходит к глаголу «монтана» – что можно перевести как «*учусь через размышление*». Именно эти слова В. В. Бобынина как нельзя лучше характеризуют процесс обучения в Университете путей сообщения.

Надо отметить, что политику в области технического образования в России почти на всем протяжении XIX в. определял Петербург, а своеобразным техническим центром в нем являлся институт Корпуса инженеров путей сообщения, основанный в 1809 г. Целями обучения в нем были 1) сформировать ответственных работников для Корпуса инженеров путей сообщения, который проводил все строительные работы в Империи, 2) получить образованных инженеров, 3) выпускать людей, способных к управлению производством.

Техническое образование в институте строилось на базе общенаучной подготовки по математике, механике, физике по образцу, парижской Политехнической школы.

Немного о Политехнической школе. Она была основана в 1794 г., в ее создании участвовали самые знаменитые люди Франции, поэтому неудивительно, что при открытии школы были приняты два положения, определивших принципы всего технического образования:

1. Различные области техники требуют одинаковой для всех подготовки в таких областях, как математика, механика, физика и химия. Если студент получает хорошую подготовку в этих основных науках, то это ему облегчало усвоение в дальнейшем необходимых познаний в любой специальной области техники.

2. Люди, склонные к математическим наукам, способны и ко всем остальным наукам, в том числе к чисто гуманитарным, обратное утверждение – неверно. Это предложение было принято в Конвенте большинством.

В Политехнической школе, обучение в которой длилось два года, усиленно занимались именно математическими науками. Математические науки в то время включали в себя математику, физику, начертательную геометрию, химию, аналитическую механику, чуть позже и прикладную механику. При этом меры строгости, игра на честолюбии, перспектива в будущем – все отвечало поставленной цели – достигнуть полного овладения предметом. После двух лет обучения студенты поступали в специализированные технические школы, например в Школу мостов и дорог, Горную школу и т. п. Отбор учащихся проводился по всей Франции. В результате такого обучения Франция вышла на самые передовые позиции в области математики, механики, математической физики и т. п.

Эти установки были приняты вновь созданным институтом Корпуса инженеров путей сообщения. В институте частично переняли и систему обучения: количество лекционных часов и практических занятий, их распределение в течение дня и в течение недели, поощрительные меры.

Можно отметить, что подобные учебные заведения в начале XIX в. существовали только во Франции и в России. В Австрии Политехнический институт был открыт в 1815 г., Ремесленный институт в Берлине – в 1821, Политехнические институты в Карлсруэ – в 1825 г., в Мюнхене – в 1827 г., в Дрездене – в 1828 г., что позволило Германии к концу XIX века выйти на одно из первых мест в промышленном и инженерном отношениях. Английские инженеры в то время не интересовались теоретическими проблемами и игнорировали занятия математикой. До 40-х гг. XIX в. в Англии не было специальных технических учебных заведений, что в конечном итоге привело к ее отставанию.

В институт Корпуса инженеров путей сообщения приглашались лучшие преподаватели и специалисты: академики, профессора и французские инженеры. И эта традиция сохранялась на протяжении почти двух столетий. Так, в 1830 г. в институт были приглашены академики М. В. Остроградский и В. Я. Буняковский, которые стали преподавать математику и механику, основываясь на работах О. Коши. Кстати, В. Я. Буняковский стал впервые факультативно читать курс теории вероятностей в высшей школе. Интересно, что участие в лотереях он называл налогом на невежество. При Буняковском в институте было принято положение о разделении всех преподаваемых наук на 3 разряда [2]:

1. Науки, которые имеют непосредственное влияние на инженерную часть;

2. Науки, способствующие к образованию инженера;

3. Науки, необходимые для юношества во всяком роде службы.

В I разряде на первом месте стояла «математика как первоначальная, так и высшая». Интересно, что к III разряду относили: знание языков, российскую словесность, историю открытий в точных науках. Таким образом, в техническом образовании предусматривалось комплексность знаний. При этом даже учитывался тот момент, что знание истории, литературы приучает воспитанников к «удовольствиям, более изысканным», что позволяло еще больше поднять престиж инженера.

Математическое образование в институте всегда ставилось во главу угла. Так в 1834 г.

на Конференции (Совете) института постановили отнести высшую математику к первому разряду наук, то есть к наукам, необходимым каждому инженеру.

В это же время был определен высокий статус профессора математики: «Право главного экзаменатора принадлежит профессору дифференциального и интегрального исчисления» [3]. Среди архивных материалов имеется любопытное дело – «Расписание предметов наук, преподаваемых в учебных заведениях». В нем находится пояснительная записка под названием «Система учения, принятая в институте путей сообщения», в которой говорится о важности курса математики для инженеров: «Те, кои удовлетворяют на экзамене всем условиям и имеют в математике менее ¾ наибольшего числа баллов, назначаются в строительное отделение. Прочие – в инженерное» [4]. Позже эта идея приобрела более конкретную форму: «Тех воспитанников, которые не осилят высшую математику инженерами не выпускать, а только архитекторами». При этом экзамены по математике были, видимо, достаточно сложными. В 1838 г. экзамен по дифференциальному исчислению сдавал 61 человек. Из них 17 не выдержали экзамен, а 12 сдали на отлично [5].

В 1859 г. на заседании Совета института отмечалось: «Стремление к анализу усвоено ими (учащимися. – *М. В.*) через изучение высших математических наук» [6]. Здесь речь идет о том, что инженеры ответственно подходят к порученному делу, тщательно анализируют его и лишь потом принимают решения.

После В. Я. Буняковского высшую математику в институте стал преподавать профессор, впоследствии академик О. И. Сомов. В РГИА сохранились его программы по аналитической геометрии и интегральному исчислению, составленные специально для воспитанников института инженеров путей сообщения. Позже в институте работали известные математики: К. А. Поссе, Е. И. Золотарев, Д. А. Граве, Н. М. Гюнтер.

До середины 20-х гг. XX столетия институт сохранял свое лидирующее положение в области технического образования. В эти годы в нем работали: В. И. Смирнов, Г. М. Фихтенгольц, Я. Д. Тамаркин, Я. В. Успенский и др.

К середине 20-х гг. XX столетия программа по математике была сокращена, что через несколько лет вызвало резкое возражение крупнейших ученых и практиков. Строитель Днепрогэса И. Г. Александров говорил, что сокращать курсы математики – это преступление, ведущее к тому, что будут выпускаться монтеры, а не инженеры [7]. Положение было исправлено.

Дальнейшее увеличение объема курса высшей математики произошло в 1950–60-е гг., так как война показала недостаточный уровень инженерных знаний среди молодого поколения. В результате наша страна смогла добиться лидирующего положения во многих областях науки и техники.

В последнее время, к сожалению, наблюдается существенное сокращение числа часов курса высшей математики. Но зачем повторять прошлые ошибки. Не надо думать, что изучение математики – это самоцель. Цель – дать представление о математических методах, о различных математических моделях, которые пригодны для решения вопросов в самых различных областях; развить логическое мышление; отсеять неспособных студентов. Сакраментальный вопрос: для чего мне нужна математика. Да, может быть, не для повседневной работы, но если студент не может освоить основы логических знаний, понятий моделей, вероятности, статистики, он не сможет понять и другие вещи, значит его голова недостаточно развита. Человек, способный к абстрактному мышлению, способен ко всему, но не наоборот. Если великий математик Коши говорил, что более строгие методы не самые трудные, так как они сокращают время обучения, то почему сейчас мы боимся трудности и все время сокращаем и облегчаем курс?

У нас постепенно происходит американизация образования, в основе которой лежит принцип не широты образования, а узости, то есть обучения тому, что нужно для практики. Тогда мы постепенно придем к тому,

что математика вообще не нужна. Кстати, увлечение компьютерами не способствует развитию мышления, то есть умению думать. Например, во французских элитных школах запрещено пользование калькуляторами: они развивают умение считать тем путем, который был для нас стандартным энное количество лет тому назад.

Основатель московского технического училища (впоследствии МВТУ имени Баумана) А. С. Ершов в статье о высшем техническом образовании писал: «Легче построить железные дороги и сделать некоторые экономические реформы, нежели образовать специалистов по всем частям». Инженер путей сообщения А. Г. Добронравова в предисловии к своей книге о теории паровых машин подчеркивает: «Цель высших технических школ – доставить государству таких деятелей в области промышленности, которые должны обладать основательными знаниями математики и естественных наук и всех их разнообразных приложений».

Итак, несмотря на все громкие слова о том, что изменились мышление и менталитет, резко увеличился объем получаемой информации, а использование интернета делает ненужным изучение многих предметов, в основе созидательного процесса всегда лежит тяжелый труд. Можно вспомнить слова Эйнштейна: «Гений – это один процент таланта и девяносто девять процентов пота». Надо формировать общественное мнение, что учеба – это тяжелый труд. Нельзя студентов лишать возможности делать выбор: будет ли он простым ремесленником, воплощающим чужие идей, или сможет стать изобретателем, исследователем, ученым.

Заключение

Приведу слова академика О. А. Маддисона о нашем институте, написанные в 1958 г. Он родился в 1879 г. в Таллине, окончил ИИПС в 1906 г., был первым студентом выпуска, затем стал профессором института.

«В ИИПСе во мне были заложены те основные положения, которые являются необходимыми для правдивого, сознательного и осмысленного решения любого вопроса и, я бы сказал, в любой даже области знания. ИИПС развил во мне способность точно и осмысленно охватывать при решении каждого вопроса его идейную сущность, его исходные положения и затем развивать таковые на основании строгой логики (аналитически или экспериментально) вплоть до получения искомого нового научного результата. За развитие во мне такого осмысленного отношения ко всем проявлениям окружающего меня бытия и его закономерности я благодарен самому духу преподаваемых в институте научно-инженерных знаний, который был заложен еще первыми французскими профессорами из знаменитой Школы Мостов и дорог» [8]. Вспомните слова В. Бобынина: «*учусь через размышление*».

Результат такого образования широко известен. Инженер путей сообщения славился по всей стране своими знаниями, широтой интересов, нестандартностью мышления, умением управлять огромными массами людей, дальновидностью принятых решений, благородством и честью. Он мог ставить и решать не только узкотехнические задачи, но и увязывать их со всем комплексом возникающих проблем. И все это явилось следствием продуманной, добротной системы и методики преподавания.

Библиографический список

1. **Труды** международной научной конференции. Образование, наука и экономика в вузах и школах. Интеграция в международное образовательное пространство. – Цахкадзор, 2014. – 593 с.

2. **Журналы** Конференции института. – 1836. – № 56. Рукопись, библиотека ПГУПС.

3. **Журналы** Конференции института. – 1836. – № 63. Рукопись, библиотека ПГУПС.

4. **РГИА**. Ф. 200. 1833. Оп. 1. Д. 2033. Л. 13.

5. **Журналы** Конференции института. 1838 г., № 1. Рукопись, библиотека ПГУПС.

6. **Отчет** о состоянии ИКИПС с 1809 по 1859 г. – Санкт- Петербург, 1859. – С. 9.

7. **За математическое** образование инженера / И. Г. Александров // Техника. –1932. – № 118.

8. **Фрагментарные** воспоминания академика О. А. Маддисона о времени его пребывания в ИИПС студентом, преподавателем и профессором за промежуток с 1899 по 1921 г. – Таллин, 1958. – 18 с. Рукопись, библиотека ПГУПС.

УДК 004.94

А. П. Ледяев, В. П. Быков, Я. С. Ватулин, А. А. Мигров
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время на предприятиях наблюдается значительный дефицит квалифицированных специалистов, знающих современные правила и технологии информационной поддержки производства, для его устранения необходима трансформация инженерного образования. С помощью современных систем автоматизированного проектирования (САПР) представляется возможным осуществить переход на новый качественный уровень подготовки инженерных кадров в соответствии с высокими требованиями, предъявляемыми промышленностью к молодым специалистам.

В статье описано, как решаются вопросы изучения средств автоматизации проектирования в Петербургском университете путей сообщения.

информационные технологии, системы автоматизированного проектирования, учебный процесс, подготовка специалистов, исследовательское проектирование.

Введение

Информационные технологии в современном мире являются одной из основ развития любой производственной деятельности, ее эффективности и безопасности. Во всех ведущих индустриальных странах создаются международные кооперации, объединяющие поставщиков, производителей и потребителей продукции. Производители сходных видов продукции создают так называемые виртуальные предприятия и технопарки. Отставание отечественных предприятий от западных в области применения современных информационных технологий делает проблемным их участие в международной кооперации и снижает конкурентоспособность производимой продукции, что является причиной потери определенных сегментов рынка. В настоящее время предприятия испытывают значительный дефицит квалифицированных специалистов, которые бы знали современные правила и технологии информационной поддержки производства. Для устранения этого дефицита необходимо трансформировать инженерное образование [1].

1 Автоматизация исследовательского проектирования

В последнее время довольно часто можно встретиться с понятием наукоемкое изделие. Оно характеризует объекты, воплощающие достижения науки. Для создания таких объектов используются наукоемкие технологии, включая технологии проектирования, базирующиеся на достижениях многих классических и постклассических наук, включая синергетику. В современном проектировании значительное место занимают информационные технологии вплоть до технологий, ими-

тирующих мыслительную деятельность человека. В них используются нечеткая логика, нейронные сети, применяются системы для работы со знаниями, для принятия решений в сложных ситуациях и для интеллектуальной обработки данных. Все это имеет место при проектировании, связанном с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), предваряющих осуществление проекта, а также при определении перспектив развития техники при выполнении процедур на ранних стадиях проектирования. Однако для создания наукоемкого продукта необходимы исследования на всех этапах проектирования. Учитывая, что автоматизация стала неотъемлемой чертой современного проектирования, дальнейшее развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) можно увидеть в Системе Автоматизированного Исследовательского Проектирования (САИП) [2].

Какие же процедуры на стадиях проектирования в современных условиях оказываются связанными с исследованиями? Для составления технического задания необходимо исследование рынка и анализ требований научно-технической, экономической, конкурентной, социальной сфер и заказчика. На основе этих исследований формируются цели проектирования, определяются признаки объекта. Все это требует системного анализа.

На стадии технического предложения приходится исследовать состояние соответствующей объекту проектирования отрасли техники, прогнозировать пути ее развития, заниматься поиском технических решений, принимать решение на многокритериальной основе, анализировать принятое решение.

На стадиях конструирования объекта (эскизный и технический проекты, рабочая документация) применительно к машиностроению проводятся структурный, кинематический и динамический анализы, выполняются проектировочные и поверочные расчеты, на моделях (физических, математических, виртуальных) оцениваются работоспособность, управляемость, эргономичность, эстетичность, безопасность. Все этапы анализа служат для оптимизации параметров объекта. Прямое обращение к научно-исследовательской работе происходит в процессе испытания опытного образца объекта. На научной основе разрабатывается методика проведения экспериментов: планирование, организация, обработка полученных данных. Исследования необходимы для разработки эксплуатационной документации. Они могут включать анализ опыта эксплуатации аналогичных изделий и их составных частей. На основании исследований разрабатывают и ремонтную документацию. К исследованиям следует отнести и определение безотказности, ремонтопригодности, долговечности, сохраняемости изделия. Таким образом, практически все процедуры проектирования связаны с исследованиями и дело лишь в том, в какой мере они проводятся и проводятся ли вообще. Для создания наукоемких изделий исследования нужны в полной мере. Исследовательский характер имеют практически все проектировочные и поверочные расчеты, в частности расчеты на прочность методом конечных элементов.

Какие же программные средства поддерживают исследовательское проектирование? Начнем с технического задания. Главное в нем – установить требования к объекту со стороны всех сфер его окружения. Процесс формирования требований и управления ими закладывает основу успешного создания современных сложных систем и изделий. Нередко даже одно плохо сформулированное требование может привести к не соответствующему первичной потребности заказчика результату. Законченные требования позволяют сформулировать цели проектирования, определяющие, в свою очередь, необходимые свойства (признаки) будущего объекта. Наиболее распространенной в мире, занимающей более 60% рынка аналогичных программных продуктов является система IBM Rational DOORS. Она нашла применение при разработке новых моделей автомобилей, самолетов, различных устройств авиационной техники, приборов, индикаторов, навигаторов. Что же касается других процедур на стадии технического задания: выбора и оптимизации целей проектирова-

ния, определения признаков будущих объектов, отвечающих поставленным целям, – то здесь пока нет общепризнанных программных средств.

На стадии технического предложения из готовых программных продуктов пока можно использовать базы данных в соответствующей объекту проектирования области техники. Для принятия решения о выборе оптимального варианта существуют программные средства для оценки альтернатив. Одним из таких средств, используемых в ПГУПС, является программа «Свирь», созданная под руководством профессора С. В. Микони. Современные компьютерные технологии позволяют уже на стадии технического предложения исследовать объект проектирования с помощью виртуальных моделей. Для этого могут быть использованы программы ADAMS, Универсальный механизм (UM), ModelVision Studium (MVS) и другие. Хуже обстоит дело с поддержкой поиска технических решений, для этого создаются системы работы со знаниями, экспертные системы, но они пока не вышли за пределы лабораторий.

Для конструирования объектов существуют многочисленные программные средства, включая интегрированные (CAD/CAM/CAE), предназначенные для графических и расчетных работ, для всех видов анализа с возможностью оптимизации параметров на всех стадиях от эскизного проекта до рабочей документации и подготовки производства.

САИП включает все средства обеспечения САПР: техническое, математическое, информационное, программное, лингвистическое, методическое. Кроме того, автоматизированное исследовательское проектирование тесно связано с автоматизированной системой научных исследований (АСНИ).

Для того чтобы в полной мере использовать уже имеющиеся средства и выполнять исследовательское проектирование, нужны квалифицированные специалисты [3]. Подготовки таких специалистов только на профилирующих кафедрах недостаточно. Несмотря на то, что все кафедры высших учебных заведений в настоящее время используют информационные технологии и обучают этому студентов, общую, единую для разных специальностей, концепцию автоматизированного исследовательского проектирования должна представлять отдельная кафедра. В ПГУПС такой кафедрой является «Автоматизированное проектирование». На ней в содружестве с кафедрой «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» ведутся работы по развитию методического обеспечения САПР и САИП. Создан и используется в учебной работе Программно-методический комплекс для начальных стадий проектирования.

2 Организация учебного процесса на кафедре «Автоматизированное проектирование» для подготовки специалистов, отвечающих современным требованиям наукоемкого производства

В настоящее время наблюдается неполная согласованность концепции и балансировки учебных планов подготовки бакалавров и инженеров по отдельным направлениям и специальностям. Причина этого – недостаточный учет значимости междисциплинарных связей в формировании профессиональных навыков и умений обучающихся. Необходимо на разных стадиях подготовки специалиста использовать унифицированные педагогические технологии и приемы для представления различных дидактических материалов. Таким образом, учащийся может приступать к изучению новой информации, четко представляя себе все этапы процесса, поскольку методика уже неоднократно использовалась им ранее.

Освоение учащимся на младших курсах технологии информационной поддержки процесса конструирования изделий может стать стержнем, на основе которого системно формируются профессиональные навыки будущего специалиста.

В основу инфраструктуры учебного процесса с применением PLM-технологий положены принципы построения информацион-

ных систем с архитектурой открытого типа, обеспечивающие переносимость данных и технологических приемов между различными специальностями, их взаимодействие за счет использования стандартных интерфейсов между программными компонентами информационных систем и работы в едином информационном пространстве.

В настоящее время структура учебного процесса построена по многоуровневому принципу. Для бакалавриата и специалитета в качестве базовых программных CAD/CAE функционалов используются средства инженерного уровня [4]:

– Для специальностей механического направления – SolidWorks (Система автоматизированного проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения), а также «Программно-методический комплекс для начальных стадий проектирования», созданный на кафедре «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» ПГУПС.

– Для строительных специальностей – AutoCAD Revit, AutoCAD Civil 3D, Autodesk Robot Structural Analysis (архитектурные решения в строительстве, статические, динамические, тепловые и др. расчеты конструкции, картография, изыскания и землеустройство).

Подготовка специалистов высшей квалификации осуществляется с привлечением систем автоматизированного проектирования более высокого класса, например: Creo Parametric 2.0 (Pro/ENGINEER) или Sofistik. Creo Parametric 2.0 (Pro/ENGINEER) – это приложение для сбора и управления требованиями к изделию, а также для анализа соответствия изделия нормам и экологическим требованиям (в т. ч. требованиям государственных и отраслевых стандартов). Программный комплекс Sofistik предназначен для высококвалифицированных инженеров-расчетчиков конструкций и может использоваться для создания шаблонов, решения сложных расчетных и исследовательских задач различных видов конструкций.

С целью укрепления междисциплинарных связей, решения проблем стыковки и преемственности дисциплин на младших курсах в учебный процесс включены вопросы изучения различных средств автоматизации процесса проектирования. В дальнейшем учащийся может значительно сократить время, оптимизировать трудозатраты на усвоение нового материала, поскольку рутинные вычислительные и оформительские процедуры выполняются компьютером.

Машинная графика систем автоматизированного проектирования может использоваться в учебном процессе уже на начальном этапе (дисциплина «Инженерная графика»), когда рассматриваются вопросы представления графической информации, введение в систему единой конструкторской документации. На следующем этапе обучения (дисциплина «Теория механизмов машин») применяются средства графических решателей SolidWorks Motion, которые позволяют проводить исследования взаимного перемещения элементов конструкции на теоретическом уровне, когда элементы представлены условным изображением (блоками) [4].

Встроенная интерактивная справочная система и лабораторные работы позволяют пользователю самостоятельно выполнять конструктивное исполнение деталей, создавать собственные сборочные решения в процессе курсового проектирования по курсу «Детали машин».

Подготовка учащихся на общеобразовательных кафедрах завершается изучением технологий инженерного анализа разработанной конструкции (дисциплина «Компьютерный инжиниринг»). На занятиях изучаются вопросы предварительного определения размеров компонентов сборки методом конечно-элементного анализа, осуществляются статические и динамические расчеты на прочность в линейном и нелинейном приближении, расчеты на устойчивость, решение контактных задач.

Описанный методологический подход справедлив при проектировании любых образцов техники и, следовательно, может быть использован при обучении проектированию не только инженеров-механиков, но и студентов электротехнических, информационных и других специальностей.

На специализированных кафедрах учащийся может решать поставленные тех-

нические задачи на уже значительно более высоком профессиональном уровне: это комплексный кинематический и динамический анализы узлов и агрегатов, моделирование технологического процесса на основе PLM-технологий [5], – а также выносить решения об экономической целесообразности проекта в целом.

Таким образом, в рамках перехода на новые образовательные и отраслевые стандарты обучения дипломированных бакалавров и магистров представляется возможным с помощью современных САПР осуществить переход на новый качественный уровень подготовки инженерных кадров в соответствии с самыми высокими требованиями, предъявляемыми промышленностью к молодым специалистам.

Вопросы построения учебного процесса в ВУЗе, разработку актуальных для производства тем курсовых и дипломных проектов целесообразно решать с привлечением компаний – разработчиков программного обеспечения. В сотрудничестве с такими лидерами промышленного развития, как корпорация SolidWorks Russia [6], компания ПСС (Gold Partner Autodesk AEC), компания АСКОН, Parametric Technology Corporation (PTC) определяется структура учебного процесса в вузе, корректируются пути его дальнейшего совершенствования.

Задания на проектирование устанавливаются представителями профильных предприятий, заинтересованных в квалифицированных специалистах, которые знают современные правила и технологии информационной поддержки производства. Таким образом, учащиеся получают практический опыт работы над выполнением реального проекта в команде разработчиков, взвешенно выбирают направление дальнейшего обучения в магистратуре, проходят проверку на достаточность имеющихся у них знаний для успешной работы в отрасли.

Заключение

В заключение приведем высказывание из книги «Синергетика и прогнозы будущего»: «Чтобы у страны было будущее, ее институты и университеты не должны отражать реалии государства, отбрасываемого в третий мир. Разумно действовать, следуя принципам «опережающего отражения» или «генерации будущего», планируя возрождение России. Следует действовать, имея в виду, прежде всего, потребности «информационного общества» и «постиндустриальной эпохи»*.

Именно на это должна быть направлена трансформация инженерного образования в подготовке специалистов, владеющих автоматизированным исследовательским проектированием. И возглавить такую подготовку сможет кафедра «Автоматизированное проектирование», имеющая для этого общую для всех специальностей методологическую базу.

Библиографический список

1. **Трансформация** инженерного образования / А. П. Ледяев, И. Г. Морчиладзе, М. М. Соколов, А. П. Кузнецов. – Москва : ВИНИТИ РАН, 2012. – 448 с.

2. **Исследовательское** проектирование в машиностроении / В. В. Быков, В. П. Быков. – Москва : Машиностроение. 2011. – 256 с.

3. **Проектирование** в машиностроении на современном уровне / В. П. Быков // Вестник машиностроения. – 2012. – № 12. – С. 67–70.

4. **Автоматизированное** проектирование в ИПИ-технологиях : учеб. пособие / Я. С. Ватулин, С. Г. Подклетнов, В. В. Свитин и др. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2010. – 126 с.

5. **Синергетика** и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. – Москва : Наука, 1997. – С. 285.

6. **Моделирование** и техническая визуализация в 3DStudio Max : учеб. пособие / Я. С. Ватулин. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – 40 с.

7. **Практикум** по SolidWorks : метод. указ. / Я. С. Ватулин, М. С. Коровина, Ю. В. Попов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – 17 с.

* Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. – Москва : Наука, 1997. – С. 285.

ABSTRACTS

Grishchenko, A. V., Khrushchev, A. S., Khamidov, O. R., Yashkin, M. S. (2014). Mathematical model of bearing cage for locomotive induction motors. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 5–10 .

Abstract

This article describes the developed mathematical model of bearing cage for locomotive induction motors. It includes the assessment of efficiency of developed diagnostic method, that allows to detect the bearing cage defects. The article also shows that with the help of developed 3D model it is possible to calculate the influence of bearing cage parameters on its dynamic characteristics. For this the adequate dynamic equations for these system, that was solved using finite-element method via SolidWorks 2013.

References

Klyuyev, V. (Ed.) (2005). Nondestructive examination: Handbook [*Nerazrushayushchiy control*], Moscow, 828 p.

Losev, A. V. (1972). Examination of railroad roller bearing cages operation under high speed of motion : thesis [*Issledovaniye raboty separatorov zheleznodorozhnykh rolikovykh podshipnikov pri vysokikh skorostyakh dvizheniya*], Moscow, 21 p.

Ilesaliyev, D. I., Korovyakovskiy, Ye. K., Malikov, O. B. (2014). Export-import cargo transportation in the Republic of Uzbekistan. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 11–17.

Abstract

In the Republic of Uzbekistan, because of accelerated small- and medium business development, it leads to the stable trend for the growth of export and internal transportation volume for unitized cargo: for the railroad transportation different cargoes come in medium transportation batches. The article shows the study of freight traffic of unitized cargoes and preliminary detect the directions of transportation. It also reviews the transportation and handling problems of these cargoes, considering its special features.

References

Abdikerimov, G. S. (2009). Optimization of container flow progress in logistic process at the line “Republic of Uzbekistan – Russian Federation” : thesis [*Optimizatsiya prodvizheniya konteyneropotokov v logisticheskoy tsepi na napravlenii Respublika Kazakhstan – Rossiyskaya Federatsiya*], Moscow, 24 p.

Official web-site of State Committee of the Republic of Uzbekistan on Statistics [*Ofitsialnyy sayt Gosudarstvennogo komiteta Respubliki Uzbekistan po statistike*], available at: http://stat.uz

Karapetov, E. S., Shestovitskiy, D. A. (2014). Service life prediction for reinforced concrete bridges, considering external factors and special features of the concrete of protection layer. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 17–29 .

Abstract

The article covers the problem of vigorous growth of the number of unsafe reinforced concrete bridges in not a few countries. The article pays particulate attention to the necessity of developing the models and methods for reinforced concrete bridges service life prediction, that take into account different factors and effects. The model, offered in this article, is based on the estimation of chloridization time for protection layer, taking into account a vast number of factors: temperature, ambient humidity, stressed conditions, binding capacity and saturation capacity of the concrete.

References

Brunauer, S., Skalny, J., Bodor, E. (1969). Adsorption in nonporous solids. *Journal of Colloid Interface Science*, 30, 546–552.

Maage, M., Helland, S., Carlsen, J. E. (1994). Chloride penetration in high performance concrete exposed to marine environment. *Proceedings of RILEM international Workshop on Durability of High Performance Concrete*, Wien, 194–207.

Mangat, P.S., Molloy, B. T. Predicting of long term chloride concentration in concrete. *Materials and Structures*, 27, 338–346.

Martin-Perez, B., Pantazopoulou, S., and Thomas, M. (2001). Numerical solution of mass transport equations in concrete structures. *Computers and Structures*, 79, 1251-1264.

Papadakis, V.G. (2000). Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress. *Cement and Concrete Research,* 30(3), 1215-1223.

Pukhonto, L. M. (2004). Durability of reinforced concrete engineering structures construction: (silo towers, bunkers, reservoirs, water tanks, sustainer walls) [*Dolgovechnost*

zhelezobetonnykh konstruktsiy inzhenernykh sooruzheniy: (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, podpornykh sten)], Moscow, 424 p.

Saetta, A., Scotta, R., and Vitaliani, R. (1993). Analysis of chloride diffusion into partially saturated concrete. *ACI Materials Journal*, 90(5), 441–451.

SNiP 2.03.11-85. (1985). Construction structures corrosion protection, Moscow.

Takewaka, K., Mastumoto, S. (1988). Quality and Cover Thickness of Concrete Based on the Estimation of Chloride Penetration in Marine Environments. ACI SP 109-17, American Concrete Institute, 381–400.

Tingcheng, Y., Chunhua, Lu, Zhiren, Wu, Ronggui, Liu. (2008). Durability of Pre-stressed Concrete Structure Suffering from Chloride Ions' Invasion. *International Journal of Nonlinear Science,* 5 (2), 184–192.

Xi, Y., Bazant, Z., Jennings, H. (1994). Moisture diffusion in cementiousmaterials adsorption. *Advanced Cement Based Materials*, 1(6), 324–325.

Kolos, A. F., Morozova, A. A. (2014). Distribution survey for vibrational acceleration of ballast particles under condition of train traffic with increased axial loads. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 29–35 .

Abstract

The article describes the results of the survey of the level and behavior of vertical and horizontal vibrational accelerations of ballast particles under the sleeper sole and over the depth of ballast section at the zone of splice joints, for the experimental rolling stock with axial loads up to 30 t and 70 km/h speed at the Experimental loop of VNIIZhT. The article shows the obtained correlations of vibrational acceleration values and the axial load and attenuation of accelerations over the depth of the ballast section.

References

Berezantsev, V. G. (1952). Axially symmetric problem of Coulomb's wedge theory for loose medium [*Osesimmetrichnaya zadacha teorii predelnogo ravnovesiya sypuchey sredy*], Moscow, 120 p.

Kolos, A. F., Morozova, A. A. (2013). Providing load-carrying capacity of ballast layer and roadbed under increased axial loads. Theses of International scientific and technical conference «Rolling stock of the XXI century: concepts, requirements, projects» [*VIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty»*], St. Petersburg, 209–211.

Kolos, A. F., Nikolaytist, D. S., Morozova, A. A. (2013). Evaluation of vibrational and dynamic load susceptibility of track crushed stone. Current problems in design, construction and operation of railroad tracks: proceedings of Xth Scientific and technical conference with international participants (readings from 190th anniversary of Prof.Shakhunyants) [*Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti*], Moscow, 164–166.

Prokudin, I. V. (1982). Strength and deformability of railway roadbed of clayey soil, taking up vibrational and dynamic load : thesis [*Prochnost i deformativnost zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna iz glinistykh gruntov, vosprinimayushchikh vibrodinamicheskuyu nagruzku*], Leningrad, 455 p.

Sokolovskiy, V. V. (1960). Loose medium statics [*Statika sypuchey sredy*], Moscow, 241 p.

Transport strategy of Russian Federation, for the preiod till 2013 [*Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda*], available at: http://www.zakonprost.ru/content/base/part/581185

Tsytovich, N. A. (1963). Soil mechanics [*Mekhanika gruntov*], Moscow, 636 p.

Zakharov, S. M. (Ed.) (2012). Best practice in heavy loaded traffic. Construction and composition of railroad infrastructure. Trans. from Eng. [*Obobshcheniye mirovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya. Konstruktsiya i soderzhaniye zheleznodorozhnoy infrastruktury*], Moscow, 568 p.

Komarova, A. N., Boronenko, Yu. P. (2014). Shock absorber type and characteristics influence on the resistance to motion of the carriage. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 35–41 .

Abstract

The article describes the influence of shock absorber types and characteristics on the resistance to motion of the carriage and the power consumption for its movement. It also includes the analysis of specific resistance to motion of the carriage, caused by the power dissipation in shock absorbers of dry and viscous friction. The article presents the results of the survey that for low speed the carriage resistance to motion, determined by the energy dissipation in the dry friction shock absorber, is less than the resistance to motion with the viscous friction shock absorber.

References

Grebenyuk, P. T. (1985). Train performance rules [*Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty*], Moscow, p. 4.

Komarova, A. N., Boronenko, Yu. P. (2013). Evaluation of power efficiency for non-traction rolling stock. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport [*Nauka ta progress transportu*], 1(43), 149–153.

Komarova, A., Boronenko, Yu., Orlova, A., Romen, Yu. (2013). Calculating rolling resistance of freight wagons using multibody simulation. *Program and abstracts of 23rd International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*, Qingdao, paper 15.3.

Koshelev, V. A., Vasilenko, D. A., Saidova, A. V. (2013). Dynamic characteristics and oscillations of the carriages [*Dinamicheskiye svoystva i kolebaniya vagonov*], St. Petersburg, 86–93.

Vershinskiy, S. V., Danilov, V. N.,Chelnokov, I. I. (1978). Carriage dynamics. Textbook for railway transport universities [*Dinamika vagona*], Moscow, 119–130.

Kostrominov, A. M., Kriuchkova, T. V., Korolev, M. Iu. (2014). Operational algorithm for the traffic management system of metro electric stock based on RFID-technology. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 42–48 .

Abstract

The article covers the issues of RFID-technology application in the system of non-contact tie in the head train cars to the track (SBPP), that is an integral part of automatic railroad traffic management system. There is a description of developed SBPP structure and determination of its functions. The article also presents the developed operation algorithm of automatic railroad traffic management system. Implementation of SBPP on the base of radio frequency identification is focused on increasing the efficiency, reliability and safety of automatic railroad traffic management system operation.

Presented electric stock traffic management system was successfully development tested and put into operation in Saint Petersburg metro.

References

Kostrominov, A. M. Korolev, M.Iu., Gavrilov, V.V., Kriuchkova, T.V. (2009). RFID-technology application for automatic metro train operation. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 3, 91–97.

Kostrominov, A. M., Kriuchkova, T. V. (2012). Regression model of radio coverage zone of marks for the system of non-contact tie in the head train cars to the track of metro rolling stock. *Transport* of the Urals [*Transport Urala*], 3, 49–53.

Kruchek, V. A., Kruchek, V. V., Dvorkin, P. V. (2014). Reliability improvement of hydraulic system of diesel electric locomotive. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 49–53.

Abstract

Today compliance with the traffic schedule for all types of transportation, including passenger and cargo transportation, should be performed with high accuracy and within the shortest possible time. Quite often even small damages of diesel electric locomotive control system forces to stop operation of the diesel or its section. Emergency stop of the diesel during the train movement and impossibility of fast troubleshooting provoke the water freezing hazard. So it is necessary to improve the reliability of diesel electric locomotive operation, by equipping it with the piping protection device against the defrosting the hydraulic system. This article provides the structure and operational description of automatic drain of diesel electric locomotive hydraulic system, without moving the stock, based on the heavy water (D_2O) and using the weather conditions, provided the piping protection from frosting without human input.

References

Patent RU № 2037605, E03B7/10, 19.06.1995.

Patent RU № 2343247, E03B7/10, 12.04.2007.

Malikov, O. B., Sogrin, I. Iu. (2014). Methods analysis for railway cargo delivery. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 53–58.

Abstract

The cargo can be delivered with railroad by different methods: in maintrackers, grouped, carloads and part-loads in different containers. To organize the cargo traffic based on the principle of business logistics the experts – representatives of the companies-owners of the cargo – should select and substantiate one of this method is the most efficient. However, for the employers, that do not work at railway transportation, the calculation of freight charge is a hard going problem. The article includes the survey results, that allows to reasonably select the most effective transportation

methods, without any precise calculations for each competitive options of railroad cargo delivery.

References

Komina, O. A., Kustov, V. N., Semerkin, A. A., Sergeeva, T. G. (2004). Cargo transportation rates [*Tarify na perevozki gruzov*], St. Petersburg, p. 80.

Rate guide, P. 1 and 2. [*Tarifnoe rukovodstvo*] (2003), Moscow, Part 1 – 160 p., Part 2 – 464 p.

Smekhov, A. A. (Ed.) (1990). Railroad cargo and commercial operations management [*Upravlenie gruzovoi i kommercheskoi rabotoi na zheleznodorozhnom transporte*], Moscow, p. 351.

Khrushchev, A. S., Orlov, S. V., Iashkin, M. S., Tikhomirov, G. I. (2014). Development of dozer with improved strength parameters for multi-purpose vehicle. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 58–66.

Abstract

Modern trends for increasing the efficiency of manufacturing and service domain is inextricable connected with the implementation of multi-purpose vehicles, that allow to solve a vast range of problems using only one chassis. The article describes the newest trends of multi-purpose equipment and the options of existing dozer, and the demerits of some devices are analyzed. The article also shows the examples of dozers for equipment modernization, that were developed using computer aided design for machines and mechanism.

The results of this work allows to evaluate the production efficiency possibilities of the market of home made dozers as an advanced.

References

«Ural» vehicle line [*Modelnyi riad gruzovikov*] «Ural» , available at: http://sak77.ru/ural-bortovie/

Cleaning equipment «Dulevo» [*Kliningovaia tekhnika «Dulevo»*], available at: http://dulevo-rus.ru/

Dozers live for multi-purpose vehicles [*Modelnyi riad navesnykh ustroistv dlia multifunktcionalnoi tekhniki*], available at: http://www.tehnopark21.ru/catalog/bobcat/naveska/

Multi-purpose truck models [*Modeli multitraktorov*], available at: http://multione-rus.ru/

Solid Works [*Programmnoe obespechenie «Solid Works»*], available at: http://www.solidworks.spb.ru/

Alekseev, S. I., Khisamov, R. R. (2014). Sheet pike block application for increasing the carrying capacity of the base of foundation. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 67–73 .

Abstract

The article includes the estimation of the influence of the structural sheet pile block on to the carrying capacity of the base, as well as the description of performed simulation of the base work within the sheet pile block at the sandy ground and the conditions for strain-stress state analysis simulation for the base. The article shows that the carrying capacity of the reinforced foundation base increases proportionally to the length of sheet pile block used. It includes the results of analytical and numerical decisions,that has a satisfactory precision, that allows to consider the developed engineering calculation method of the block, used in the base, being reasonable.

References

Borlikov, G. M., Arinina, E. V. (1969). Shell-like foundation examination for multi-storey frame structure building construction [*Issledovanie fundamentov s obolochkami dlia stroitelstva mnogoetazhnykh karkasnykh zdanii*], Novocherkassk.

Evdokimov, P. D. (1956). Basement strength and hydrotechnical constructions competence at soft soils [*Prochnost osnovanii i ustoichivost gidrotekhnicheskikh sooruzhenii na miagkikh gruntakh*], Moscow, 271 p.

Florin, V. A. (1948). Base calculations for hydrotechnical constructions [*Raschet osnovanii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii*], Moscow, 188 p.

Murzenko, Iu. N. (1989). Computer aided base calculation for buildings and structures at elastic-plastic phase [*Raschet osnovanii zdanii i sooruzhenii v uprugo-plasticheskoi stadii raboty s primeneniem EVM Leningrad*], 135 p.

Shashkin, K. G., Shashkin, V. A., Dunaeva, M. V. (2011). Solution for the Coulomb's wedge theory using finite-element method. Town development and hydrotechnical construction [Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitelstvo], 13, 81–95

Simulation environment for stress-strain state of loose medium under loading through a rigid stamp. Examination of bases, foundations and hydrotechnical constructions : Proceedings of NPI. T. 216. [Trudy NPI] (1970). Novocherkassk, 12–22.

Tcytovich, N. A. (1963). Soil mechanics [*Mekhanika gruntov*], Moscow, 636 p.

Usmanov, R. A. (1982). Deformations of model and full-sized reservoirs on soft soils. Oil field construction [*Deformatcii modelnykh i naturnykh rezervuarov na slabykh gruntakh. Neftepromyslovoe stroitelstvo*], 5, 5–7.

Allakhverdov, B. M., Polinkevich, K. Iu. (2014). Iteration method of strength calculation for anisotropic beam. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 73–79.

Abstract

The article offers the method of strength calculation for anisotropic beams, based on the iteractive method of consequent satisfaction of the balance and strain compatibility conditions. Numerical example shows the results and allows to estimate its closeness to the decision, obtained using an accurate analytical method. The article covers the determination of anisotropic elastic constants depending on the binding substance reinforcement lines. It also includes the characteristics of modern carbon-fiber composite and determines its scope.

References

Allakhverdov, B. M. (2002). Iteration method of calculation for beams with ranging over its height characteristics. Research for materials and constructions mechanics (collection of papers) [*Issledovaniia po mekhanike materialov i konstruktcii*], 12, 30–34.

Ambartcumian, S. A. (1967). Anisotropic plate theory (strength, oscillation resistance) [*Teoriia anizotropnykh plastin (prochnost, ustoichivost i kolebaniia)*], Moscow, 268 p.

Lekhnitckii, S. G. (1957). Anisotropic plates [*Anizotropnye plastinki*], Moscow, 463 p.

Polinkevich, K. Iu. (2013). Iteration method for laminated beam strength calculation. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 148–153.

Smerdov, A. A., Buianov, I. A., Chudnov, I. V. (2012). Analysis of optimal combination of requirements for designed carbon-fiber composites for large space structures. News of Higher Educational Institutions. Mechanical engineering [*Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie*], 8, 70–77.

Gindin, S. I. (2014). Software package for calculation of probability and time characteristics of multiserver systems with «warming up». Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 80–84.

Abstract

A software package for multiserver systems (SMO) with «warming up» was developed to allow the calculation of probability and time characteristics, based on the transfer rate matrix between the system states. The particular feature of this package is using the input data in form of matrix, that allows to enlarge the scope of application for this package from models with phase type distribution to the vast range of general type models. The article describes the composition and the purpose of the package, and it includes examples of the calculation of window time distribution in the systems with «warming up» and approximation of two-phase hyperexponential distribution.

References

Canadilla, P. (2013). *Analysis of Queueing Networks and Models*, available at: http://cran.r-project.org/web/packages/queueing/index.html

Cox, D.R. (1955). A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes. *Proceedings of Cambr. Phil. Soc*., 51 (2), 313−319.

Gindin, C. I., Khomonenko, A. D., Adadurov, S. E. (2013). Numerical calculation of multiserver systems with recurrent input and “warming up”. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 4, 92–101.

Gindin, C. I., Khomonenko, A. D., Iakovlev, V. V., Matveev, S. V. (2013). Model for operativity estimation of distributed data processing, considering the expenses for information security. Information security problems. Computer systems [*Problemy informatcionnoi bezopasnosti. Kompiuternye sistemy*], 4, 59–67.

Hicklin, J., Moler, C. (2008). *A Java Matrix Package*, available at: http://math.nist.gov/javanumerics/jama/

Khomonenko, A. D. (1991). Numerical analysis methods for multiserver systems and networks [*Chislennye metody analiza sistem i setei massovogo obsluzhivaniia*], St. Petersburg, 179 p.

Ryzhikov, Iu. I. (1988). Set of applications MOST for stationary modes calculation for multiserver systems. NPI VTI of Estonia [*Estonskoe NPI VTI*].

Ryzhikov, Iu. I. (2001). Theory of queue and stock management [*Teoriia ocheredei i upravlenie zapasami*], St. Petersburg, 384 p.

Ryzhikov, Iu. I., Khomonenko, A. D. (1980). Iterative calculation of multiserver systems with random distribution of service time. Management and theory of information problems [*Problemy upravleniia i teorii informatcii*]. , 3, 32–38.

Takanashi, U., Takami, Y. (1976). A numerical method for the steady-state probabilities of a GI/G/c queuing system in a general class. *Journal of the Operat. Res. Soc. of Japan*, 19 (2), 147–157.

Indeikin, A. V. (2014). Parametric oscillations of rod elements for construction structures in case of stationary and non-stationary dynamic loads.

Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 84–92.

Abstract

The article describes the parametric oscillations of rods for construction structures, its interaction with overall oscillation of the structure. To analyze the decomposition models for rod elements are used. Kinematic perturbation of the rod ends under the overall forced oscillations of the structures, caused by stationary and non-stationary loads, effecting the structure, is considered as the source of local oscillations.

The article shows the case, where kinematic perturbations are defined by the harmonic and poly-harmonic time functions. It also include the estimation of the level of resonance of parametric oscillation amplitude under the condition of non stationary dynamic loads effect to the structure. The interaction of forced and parametric oscillations of structure rod elements is examined.

References

Beliaev, N. M. (1924). Stiffness of prismatic bars under the influence of varying axial forces, collection. Engineering structures and construction mechanics [*Inzhenernye sooruzheniia i stroitelnaia mekhanika*], Leningrad, 149–167.

Bolotin, V. V. (1956). Dynamic stability of elastic systems [*Dinamicheskaia ustoichivost uprugikh system*], Moscow, 600 p.

Chelomei, V. N. (1939). Dynamic stability of air facilities [*Dinamicheskaia ustoichivost aviatcionnykh konstruktcii*], Moscow.

Indejkin, A. V., Fedotova, I. A. (1996). The rod elements oscillations of the railway truss bridge in the conditions of high-speed motion of the load. Proceedings of the third European conference on structural dynamics: Eurodyn`96, Florence, 783–789.

Kazei, I. I. (1955). Determination of fixing characteristics of structure elements by analysis method. Proceedings of VNIIX [*Trudy TcNIIS*], Moscow, 3, 60–75.

Polevko, V. P. (1955). Transverse-longitudinal bending of flexible prismatic bards. Proceedings of VNIIX [*Trudy TcNIIS*], Moscow, 16.

Strength, stability, oscillation [*Prochnost, ustoichivost, kolebaniia*] (1968). Vol. 3, Moscow.

Kaptelin, S. Yu. (2014). Structure dynamic load test. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 92–99.

Abstract

To provide safe operation of bridge structures it is necessary to have the accurate information about dynamic effects to the load-carrying structures and its capacity to resist this effects. The article describes the methods of transport structures dynamic tests, that allow to obtain such information.

Vibration based diagnostics results provides the safe operation of bridge structures under the effect of modern transportation loads.

References

Kaptelin, S. Yu. (2013). Determination of dynamic characteristics of transport structures. Bulletin of Scientific Research Results [*Byulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy*], 1–2, 67–78.

SP 35.13330.2011 (undated SNiP edition 2.05.03-84*) Bridges and pipes. Bridges and pipes. Minregion of Russia (2011). Moscow, 214 p.

SP 79.13330.2012 (undated SNiP edition 3.06.07-86) Bridges and pipes. Examination and test rules. Minregion of Russia (2012). Moscow, 40 p.

Nikolayev, S. V., Bogdanova, Ye. R. (2014). The survey of water-retentive parameters of the concrete mixes for hydro-engineering structures. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 99–106.

Abstract

The article includes the complex research for water-absorbing characteristics of certain concrete mixtures, that are intended to use in hydro-engineering structures. It also includes the evidence for necessity of additional water control by application of hydrophobic waterproofing solutions at the surfaces of examined material. There is a showing of the problem for insufficient depth and uniformity of hydrophobic waterproofing solution penetration to the material capillaries during the surface application. It is suggested to use ultrasonic impregnation technology for porous construction materials with hydrophobic waterproofing solution, using excessive pressure, provided by directed acoustic oscillations.

References

Bayer, V. Ye. (2004). Construction materials [*Stroitelnyye materialy*], Moscow, 240 p.

Benin, A. V., Garbaruk, V. V. (2010). Experimental planning [*Planirovaniye eksperimenta*], St. Petersburg, 90 p.

Benin, A. V., Ivanova, Zh. V. (2000). Experimental examination of mechanical parameters of the timber building units under the seismic effects. Antiseismic construction. Structural safety [*Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*]. 2, 19–21.

Elizarov, S. V., Kantelin, Yu. P., Benin, A. V. (2009). Mechanical laboratory of prof. N.A.Belelyubskogo (to the 200th anniversary of Petersburg state transport university. Alma mater (Bulletin for higher educational institutions). *Alma mater*, 9, 58–64.

Ershova, S. G. (2006). Providing effective hydrophobic protection of nonorganic construction materials : thesis [*Obespecheniye effektivnoy gidrofobnoy zashchity neorganicheskikh stroitelnykh materialov*], Novosibirsk, 174 p.

GOST 12730.3-78. Concretes. Water absorption determination methods.

Kuksenko, V. S., Tomilin, N. G., Makhmudov, Kh. F., Benin, A. V. (2007). Predicting the loss of stability for loaded structural elements by the acoustic emission method . Letters to the Technical physics journal [*Pisma v Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*], 33 (2), 31–35.

Lukinskiy, O. A. (2008). Hydrophobic waterproofing of buildings. Housing construction [*Zhilishchnoye stroitelstvo*], 11, 21–23.

Nikolayev, S. V. (2006). Ultrasonic test for impregnation depth of porous material by hydrophobic waterproofing solution : thesis [*Ultrazvukovoy kontrol glubiny propitki poristogo materiala gidrofobiziruyushchim rastvorom*], St. Petersburg, 199 p.

Orentlikher, L. P., Novikova, I. P., Lifanov, I. I., Yurchenko, E. N. (1991). Methods of assessment of the concrete surface hydrophobic waterproofing and structure modifying admixtures influence. Concrete and reinforced concrete [*Beton i zhelezobeton*], 2, 28–30.

Pashchenko, A. A. (1973). Hydrophobisation [*Gidrofobizatsiya*], Kiev, 174 p.

Pashchenko, A. A. (1968). Organosilicon hydrophobic waterproofing agents in construction [*Kremniyorganicheskiye gidrofobizatory v stroitelstve*], Almaty, 178 p.

Surayev, V. (2002). Hydrophobic waterproofing . Construction technologies. [*Tekhnologii stroitelstva*], 1, 120–121.

Vorobyev, V. O., Komar, A. G. (1971). Construction materials [*Stroitelnyye materialy*], Moscow, 496 p.

Voytovich, V. A., Khryapchenkova, I. N., Yavorskiy, A. A. (2013). Hydrophobic waterproofing as a method for increasing the building service life. Construction materials [*Stroitelnyye materialy*], 12, 15–17.

Privalov, A. A., Yevglevskaya, N. V., Zubkov, K. N. (2014). Model of the process for cracking the parameters pf data transmission network of IP-telephone system operator by the computer intelligence of organized intruder. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 106–111.

Abstract

The article presents the analysis, that shows that informational effects to the technological processes are organized on the base of data, drawn by the organized intruder upon the information, circulating in the information and communication networks, and treated by using the objects of information object. The article describes the model of the process for cracking the parameters pf data transmission network of IP-telephone system operator by the computer intelligence of organized intruder. This model allows to consider special features of IP-telephone networks and quantitatively estimate the control loop duration, that the organized intruder need to obtain all required intelligence data, as well as to stipulate the requirements for information security inspection frequency to obtain required security level.

References

Beytmen, H., Erdeyi, A. (1969). Integral transformation tables. Vol. 1. Fourier, Laplace and Mellin transformations. Trans. from Eng. by N.Y.Vileikin. [*Preobrazovaniya Furye, Laplasa, Melina*], Moscow, 344 p.

Goldshteyn, B. C., Pinchuk, A. V., Sukhovitskiy, A. L. (2001). IP-TEL [*IP-telefoniya*], Moscow, 336 p.

Kudelya, V.N., Kuznetsov, V.E., Likhachev, A.M., Masanovets, V.V., Privalov, A.A. (2004). Simulating of complexes for radio intelligent and suppression of foreign countries armies [*Modelirovaniye kompleksov radiorazvedki i radiopodavleniya vooruzhennykh sil zarubezhnykh gosudarstv*], St. Petersburg, 156 p.

Olifer, V. G., Olifer, N. A. (2010). Computer networks. Concepts, technology, protocols [*Kompyuternyye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly*], St. Petersburg, 944 p.

Privalov, A. A. (2001). Stochastic network topological deformation method and its application for Navy communication control systems [*Metod topologicheskogo preobrazovaniya stokhasticheskikh setey i yego ispolzovaniya dlya analiza sistem svyazi VMF*], St. Petersburg, 186 p.

Sobolev, Ye. V., Mudar, Al-Ruboy, Rubtsov, Ye. A. (2014). Selection of rational composition and arrangement of radio beacons VOR/DME in the Republic of Irac to provide area navigation.

Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 111–117.

Abstract

The article describes the coverage of air routs by the surveillance of VOR/DME beacon (the complex nature of relief, that influence the radius of RTS was used considered for coverage estimation). Based on the analysis results the conclusion was made about the fact that RTS navigation is insufficient to provide flight under the area navigation concept. It is recommended to upgrade the airports, where already there are VOR beacons, and also implemented additional navigation VOR/DME beacons. Coverage analysis for the new arrangement plan shows that at this a 100% coverage of air routs are provided for the flight altitude 10 000 m, as well as triple increasing the coverage of air routs, comparing to the existing situation, with the altitude up to 6000 m.

References

Distance measuring equipment DME 2000 [*Radiomayak dalnomernyy DME 2000*] ,available at: http://www.azimut.ru/catalogue/navigation/dme2000

Federal Air Navigation Service order dd 18.11.2009 №234 «Concerning methodological recommendations for air traffic service routes developing» [*O Metodicheskikh rekomendatsiyakh po sozdaniyu marshrutov obsluzhivaniya vozdushnogo dvizheniya*].

PBN navigation guide. ICAO document # 9613 AN/937 [*Rukovodstvo po navigatsii, osnovannoy na kharakteristikakh*] (2008).

Sobolev, Ye. V. (2007). Organization of radio technical support of the flights. Part 1. Basic operational requirements for aircraft navigation, landing, communication and detection system: training manual [*Organizatsiya radiotekhnicheskogo obespecheniya poletov*], St. Petersburg, 120 p.

Sobolev, Ye. V., Knizhnichenko, N. V., Rubtsov, Ye. A. (2012). Radio visibility range calculation considering terrain and atmosphere effects. Bulletin of Saint Petersburg State University of Civil Aviation [*Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii*], 1, 44–54.

Zenithal Doppler radio beacon DVOR [*Radiomayak azimutalnyy doplerovskiy DVOR 2000*], available at: http://www.azimut.ru/catalogue/navigation /dvor2000

Sorvacheva, Yu. A. (2014). The influence of nano-silica to the kinetics of alkaline attack of the concrete. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 118–123.

Abstract

The study of the concrete internal corrosion problem and methods of its prevention are one of activities to provide for the structural durability in the whole world. It is well-know, that active mineral admixtures decrease the specimen expansion, caused by the alkaline-silica reaction, but the mechanism of this influence is still not tracked down. To study the the influence of nano-silica to the process of alkaline attack of the concrete and producing the concrete matrix the accelerated tests were made to evaluate the potential reactive capacity of one of the potential dangerous, in combination with highly alkaline cement, the aggregations with measuring the expansion linear strain. It is also includes the analysis of nano-silica influence to kinetics of of the cement stone plastic strength. The method of electronic microscoping reveals that introduction of nano-silica to the concrete mixture helps to formation of alkaline-silicate gel in cement matrix, and not in the pores of the specimen, that allows to decelerate the concrete alkaline attack behaviour.

References

Andiç-Çakır, Ö., Çopuroğlu, O., Katayama, T. (2012). A Review of Alkali-Silica Reactivity in Turkey: A Case Study From Izmir, west Anatolia. *Proceedings of the 14th ICAAR*, Austin, 10 p.

Bakker, J. D. (1999). ASR in 20 bridges in and over motorway 59 in the Netherlands. *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Faults and Repair*, London, cd-rom, pp. 8.

Bodeker, W. (2003). Alkalireaktion im Bauwerksbeton – Ein Erfahrungsbericht. *Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton (DAfStb),* 539.

Diamond, S. (1983). Alkali-aggregate reactions in concrete – Pore solution effects. *Proceedings of 6th International Conference on AAR in Concrete*, Copenhagen, 155–167.

Duchesne, J., Bérubé, M. A. (1994). Effectiveness of supplementary cementing materials in suppressing expansion due to ASR: Part 2 Effect on the pore solution chemistry. *Cement & Concrete Research*, 24, 221–230.

Gudmundsson, G., Asgeirsson, H. (1975). *Some Investigation on Alkali Aggregate Reaction.*

Hobbs, D.W. (1988). *Alkali-silica reaction in concrete*, London.

Jensen, V. (1993). *Alkali aggregate reaction in Southern Norway* : thesis, Trondheim.

Jensen, V., Merz, C. (2008). Alkali-aggregate reaction in Norway and Switzerland – survey investigations and structural damage. *Proceedings of the 13th ICAAR*, Trondheim, 785–795.

Lagerblad & Trägårdh. (1992). *Alkali-silica reactions in Swedish Concrete*, Stockholm.

Lindgard, J. (2012). Alkali–silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing. *Cement & Concrete Research,* 42 (2), 223–243.

Nerenst, P. (1957). *Alment om Alkali Reaktioner i Beton*. The Danish National Institute of Building Research and the Academy of Technical Sciences, Committee on Alkali Reactions in Concrete, Progress Report Al, Copenhagen.

Petrova, T. M., Sorvacheva, Yu. A. (2013). Concerning concrete steel structures durability. Collection of studies Sworld, 43 (1), 68–76.

Pyy, H., Ferreira, M., Holt, E. (2012). Assessing the extent of AAR in Finland. *Proceedings of the 14th ICAAR*, Austin, 6 p.

Stanton, T. E. (1940). Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Proceedings American Society of Civil Engineers*, 66, 1781-1811.

Haibin, V, Vanicheva, S. S. (2014). Structure significance reporting for assignment of calculated seismic loads. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 124–128.

Abstract

The article describes the analysis of the methods for structure significance reporting for the values of calculated seismic load. There are 4 methods of reporting, using in antiseismic construction, described there. The article shows the application of all those methods, that leads to the different values of seismic loads. For its approximation it is recommended to use a new maps of seismic zoning. At that the agreement of the results, obtained by these methods, is impossible at all, and the owner should make a decision to indicate the level of calculated load based on the design and construction problem assigned.

References

Belash, T. A., Simbort, E., Uzdin, A. M., Khaybin, V. (2013). Concerning the problem of regulatory base development for seismic resistance construction and vocabulary used in it. Natural and technology related risks. Structure safety [*Prirodnyye i tekhnogennyye riski. Bezopasnost sooruzheniy*], 2, 23–28.

Belash, T. A., Uzdin, A. M. (2007). Railroad buildings for regions with special natural and climate conditions and technology-related effects [*Zheleznodorozhnyye zdaniya dlya rayonov s osobymi prirodno-klimaticheskimi usloviyami i tekhnogennymi vozdeystviyami*], Moscow, 372 p.

Birbrayer, A. N. (1998). Structure seismic resistance design [*Raschet konstruktsiy na seysmostoykost*], St. Petersburg, 254 p.

Construction norms and rules. SNiP II-7-81* (2000). Moscow, 45 p.

Dolgaya, A. A. (1994). Seismic exposure simulation by short-run temporary process. E-I. VNIINTPI. [*E-I. VNIINTPI*]. 5–6, 56–63.

Eliseyev, O. N., Uzdin, A. M. (1997). Seismic resistance construction. Textbook. [*Seysmostoykoye stroitelstvo*], St. Petersburg, 371 p.

Goldenblat, I. I., Nikolayenko, N. A., Polyakov, S. V., Ulyanov, S. V. (1979). Structure seismic resistance models [*Modeli seysmostoykosti sooruzheniy*], Moscow, 251 p.

Instruction for seismic resistance evaluation of railroads and motor roads network bridges (Turkmen SSR territory) [*Instruktsiya po otsenke seysmostoykosti ekspluatiruyemykh mostov na seti zheleznykh i avtomobilnykh dorog (na territorii Turkmenskoy SSR*] (1988). Ashgabat, 106 p.

Nemchinov, Yu. I., Maryenkov, N. G., Khavkin, A. K., Babik, K. N. (2012). Building design with specified level of seismic resistance [*Proyektirovaniye zdaniy s zadannym urovnem obespecheniya seysmostoykosti*], Kiev, 384 p.

Ogneva, S. S. (2013). Seismic risk evaluation and efficiency of antiseismic reinforcement of railroad bridges, Natural and technology related risks. Structure safety [*Prirodnyye i tekhnogennyye riski. Bezopasnost sooruzheniy*], 5, 49–51.

Recommendations for specifying the seismic exposures for building design with different significance level [*Rekomendatsii po zadaniyu seysmicheskikh vozdeystviy dlya rascheta zdaniy raznoy stepeni otvetstvennosti*] (1996). St. Petresburg, Petropavlovsk-Kamchatsky, 12 p.

Sakharov, O. A. (2004). Concerning the problem of specifying the seismic exposure for multi-level design of seismic resistance constructions. Seismic resistance construction. Structure safety [*Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*], 4, 7–9.

Uzdin, A. M. (2000). Assessment of statistics characteristics of design exposure under specified seismic risks of the site. Seismic resistance construction. Structure safety [*Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*], 2, 3–6.

Yakushev, A. V., Ruzmetov, Ya. O., Komichenko, S. O. (2014). Development and substantiation the specimen form to develop kinetic diagram of fatigue failure for cast steels in presence of

internal cast flaws. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 129–133.

Abstract

The article describes the main reasons to decrease the fatigue strength of the side frames during operation and bench tests. It is noted that the values of the stress intensity factor for cast steels, considering the internal cast flaws, should be determined. The article includes the suggestion and substantiation of original specimen with central initiating notch to obtain critical stress intensity factors, that reflect the behaviour of internal cast flaw in the side frame wall.

References

Karibzhanov, A. Ye., Yakushev, A. V., Ruzmetov, Ya. O. (2011). Simulation of stressed condition for trolley side frames with internal cast flays / // Scientific journal of the Ministry of Education and Science of Kazakhstan, "Poisk" [*Nauchnyy zhurnal ministerstvo obrazovaniya i nauki Kazakhstana «Poisk»*], 4, 290–294.

Konkova, T. Ye., Belovodskiy, V. B., Velikanov, A. V. (2009). Concerning the method for operational reliability increasing of steel cast parts of the freight car trolley. Railway Research Institute bulletin [Vestnik VNIIZHT], 1, 22–26.

Severinova, T. P. (1999). Examination of crack resistance of cast parts of the freight car trolleys after long time of operation. Railway Research Institute bulletin [Vestnik VNIIZHT], 3, 35–40.

Zmeyeva, V. N., Lebedinskiy, S. G. (1999). Statistical rules for fatigue cracking in cast steel parts of the freight cars. Railway Research Institute bulletin [Vestnik VNIIZHT], 3, 26–31.

Zmeyeva, V. N., Lebedinskiy, S. G. (2000). Probabilistic forecasting of the fatigue cracking period in cast steels of the freight car parts. Railway Research Institute bulletin [Vestnik VNIIZHT], 2, 44–47.

Kolankov, S. V. (2014). Rental rate evaluation for the railroad real estate. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 134–139.

Abstract

The article describes special features of the evaluation of market rate of rental payment for the specific real estate objects, that have no analogues at the market. It is recommended to use the reverse capitalization method. The article includes the characteristics of theory background for application of this method. It specifies the evaluation technique for the calculated pricing parameters. It is also includes the calculation example for one of the parameters groups – losses for unutilized object and payment failures and additional returns. Information sources are indicated in the article to make the evaluation of estimate construction costs.

References

Federal law dd. 21.07. 2005 N 115- FZ "Concerning Concession Agreements".

Federal law dd. 27.02.2003 N 29- FZ "On management features and full administration of the estate for railroad transport".

Federal law dd. 29.07. 1998 № 135-FZ "On Appraisal Activity in the Russian Federation".

Kolankov, S. V. (2006). Estimate costs discounting method. Science and technology for transport - NTT [*Nauka i tekhnika transporta*], 3, 48–54.

Kolankov, S. V. (2010). Scope of income approach for real estate market evaluation. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 4, 243–251.

Kolankov, S. V. (2012). Cost approach for real estate cost appraisal. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 4, 174–178.

Kolankov, S. V. (2013). Real estate economics: training manual [*Ekonomika nedvizhimosti*], Moscow, 478 p.

Oparin, S. G. (2010). Investment assessment of efficiency for transport construction, considering uncertainties and risks. St. Petersburg State Polytechnical University Journal [*Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*], 4, S. 60–65.

The Ministry of Economic Development and Trade of the Russian Federation , Order dd. 20.07.2007 № 256 "*Concerning ratification of federal valuation standard "General terms of evaluation, evaluation approaches and requirements for evaluation performance* (FSO № 1)".

UPSS. Aggregated of construction costs for railroad bridge frameworks [*Ukrupnennyye pokazateli stoimosti stroitelstva na prolet-nyye stroyeniya zheleznodorozhnykh mostov*] (2007). St. Petersburg, 20 p.

Volume of consolidated index of construction cost (UPSS) for the Russian Federation regions [*Sbornik ukrupnennykh pokazateley stoimosti stroitelstva po subyektam Rossiyskoy Federatsii*], available at: http://www.consultant.ru/

Volumes of of consolidated index of reinstatement costs for buildings and structures of different sectors of national economy for

revaluation of fixed assets (UPVS) [*Sborniki ukrupnennykh pokazateley vosstanovitelnoy stoimosti zda-niy i sooruzheniy razlichnykh otrasley narodnogo khozyaystva dlya pereotsenki os-novnykh fondov*] (1970), Moscow.

Zabrodina, A. S. (2011). Determination of complex index of alteration of estimated cost of construction. St. Petersburg State Polytechnical University Journal [*Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*], 5, 82–85.

Norboyev A. R., Groshev G. M., Belozerov V. L., Kovalev V. (2014). Determination of technical-and-economic efficiency application of battery charging and brake test devices to reduce train stopping at train stations . Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 140–146.

Abstract

The article includes the results of the survey for reducing the train stopping at train stations due to application of battery charging and brake test devices (UZOT). It describes the developed model of UZOT unit in receiving-departure yard. The article describes the technical characteristics and operation techniques using UZOT. There are calculations of operational fees economy due to UZOT application, the developed estimation of investment expenses as well as the investment project performance figures. The calculations prove the short payback period for the expenses for these devices.

References

Battery charging and brake test device with registration, ungraded (UZOT-RM) [*Ustroystvo zaryadki i oprobovaniya tormozov s registratsiyey modernizirovannoye (UZOT-RM)*], available at: http://www.tormo.su/products/25_uzot-r.htm

Groshev, G. M., Kotenko, A. G. (2011). Efficiency evaluation of measures for automation and reformation of railroad transportation operational management. P. 2. Calculation examples: training manual [*Otsenka effektivnosti meropriyatiy po avtomatizatsii i reformirovaniyu operativnogo upravleniya perevozkami na zheleznykh dorogakh*], St. Petersburg, 79 p.

Groshev, G. M., Norboyev, A. R. (2013). Examination the role of train stations for train low capacity by transport corridors. Topical issues of transportation process management [*Aktualnyye problemy upravleniya perevozochnym protsessom*], 12, 27–35.

Methodological recommendations for railroad transportation investment project assessment. Approved by MPS of Russia dd. 31.08.1998 г. № B-1024y [*Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke investitsionnykh proyektov na zheleznodorozhnom transporte. Utverzhdeny Ukazaniyem MPS Rossii*].

Sokolova, Ya. V. (2014). Theory and practice aspects of innovative process management in the transportation agency. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 146–152 .

Abstract

The article stipulates the definitions of innovation, process innovations and innovation processes. It also demonstrate the theory and practice aspects of innovation processes management. The article describes the main directions and the structure of innovative development structures for transportation company based on the example of e OAO «FPK». The article also provides the recommendations for alteration of the company organization structure, that allows to increase the efficiency of the companies activity, labor productivity, and to solve the problem of the lack in technology, as well as the problems of the rapid development of machinery, technology and services.

References

Oslo Manual guidelines for collecting and interpreting innovation data. Trans from Eng. (2010), Moscow.

Santo, B. (1990). Innovacio a gazdasag fejlestesenek eszkoze. Trans from Hung. [*Innovatsiya kak sredstvo ekonomicheskogo razvitiya*], Moscow, 296 p.

Surayeva, M. O. (2011). Railroads in Russia - innovation development methodology. Monograph [*Metodologiya innovatsionnogo razvitiya zheleznodorozhnogo transporta Rossii: monografiya*], Moscow, 200 p.

Tviss, B. (2009). Innovation management [*Upravleniye novovvedeniyami*], Moscow, 272 p.

Fedorova, M. V. (2014). Megalopolis transportation problems solution by developing magnetic levitation transport. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 153–159.

Abstract

The article describes main transportation and environmental problems of big cities as well as the disadvantages of existing transportation

systems. There is one of the methods of solution of thees problems – introduction the brand new type of transport, using the principle of magnetic levitation. The article includes the description of operation principle for this transport, as well as the comparison of magnetic levitation technology with conventional*, based on the wheel-rail system. There is a suggestion for the method of ticket price calculation for light-rail tramway with magnetic levitation support* - «Petro-TramMaglev».

References

Guryev, A. (2009). Magnetic levitation road: new lease of life for Russia. RZhD partner [RZhD-partner], 19, 54–58.

Shin Beng Chkhon (2012). eatures of metropolitan maglev and its application within metropolitan transport system [Osobennosti gorodskogo magleva i yego primeneniye v usloviyakh gorodskoy transportnoy sistemy], Daejeon.

Zanin V.P interview [Intervyu s V.P. Zaninym], available at: http://polit.pro/news/2013-06-17-15941

Zaytsev, A. A., Talashkin, G. N., Sokolova, Ya. V. (2010). Magnetic levitation transport: Monograph [Transport na magnitnom podvese], St. Petersburg, 160 p.

Voronina, M. M. (2014). About mathematical education. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 160–165.

Abstract

The article describes some aspects of the crisis in secondary and high professional education, in mathematical science domain. Such problems now discussed at all levels, including the international conference in the Republic of Armenia by the Methodological board for mathematics of Ministry of Education and science of the Russian Federation. The history of technical education demonstrates that a high quality engineering education is based on the thorough study of mathematics science. For now the best innovation is conventionality.

References

Aleksandrov, I. G. (1932). For mathematical education of the engineer. *Tekhnika*, 118.

Journals of the Institute Conference. Manuscript, PGUPS library (1836). №56.

Journals of the Institute Conference. Manuscript, PGUPS library (1836). №63.

Proceedings of International scientific conference. Education, science and economics in the universities or schools. Integration into the international academic field *[Trudy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Obrazovaniye, nauka i ekonomika v vuzakh i shkolakh. Integratsiya v mezhdunarodnoye obrazovatelnoye prostranstvo*] (2014),Tsaghkadzor, 593 p.

Report about IKIPS, 1809 - 1859 [Otchet o sostoyanii IKIPS s 1809 po 1859 g.] (1859), St. Petersburg, p. 9.

Russian State Historical Archive. F. 200. 1833. Op. 1. D. 2033. L. 13.

Sketchy memories of academic O. A. Maddison about the time of his studentship in IIPS, his working as a lecturer and professor within 1899 - 1921 g. [*Fragmentarnyye vospominaniya akademika O. A. Maddisona o vremeni yego prebyvaniya v IIPS studentom, prepodavatelem i professorom za promezhutok s 1899 g. po 1921 g.*] (1958), Tallinn, – 18 p. Manuscript, PGUPS library.

Zhurnaly Konferentsii instituta. 1838 g., № 1. Rukopis, biblioteka PGUPS

Ledyayev, A. P., Bykov, V. P., Vatulin, Ya. S., Migrov, A.A. (2014). Design study automation. Proceedingsof Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 2, 165–169.

Abstract

Right now enterprises feel the significant lack of qualified experts, that are aware of modern rules and technology for production data support. And to eliminate this the transformation of engineering education is essential.

By using up-to-date CAD systems it is possible to shift to the next level of quality in engineering training in accordance with high requirements, stipulated by the industry .

The article describes the methods to solve the problem of CAD training in Petersburg state transport university.

References

Bykov, V. P. (2012). Modern design in manufacturing engineering. Proceedings of mechanical engineering [*Vestnik mashinostroyeniya*], 12, 67–70.

Bykov, V. V., Bykov, V. P. (2011). Manufacturing engineering design study [*Issledovatelskoye proyektirovaniye v mashinostroyenii*], Moscow, 256 p.

Kapitsa, S. P., Kurdyumov, S. P., Malinetskiy, G. G. (1997). Synergistic and future forecasting [*Sinergetika i prognozy budushchego*], Moscow, p. 285.

Ledyayev, A. P., Morchiladze, I. G., Sokolov, M. M., Kuznetsov, A. P. (2012). Transformation of engineering education [*Transformatsiya inzhenernogo obrazovaniya*], Moscow, 448 p.

Vatulin, Ya. S. (2011). Simulation and technical visualization in 3DStudio Max : training manual [*Modelirovaniye i tekhnicheskaya vizualizatsiya v 3DStudio Max*], St. Petersburg, 40 p.

Vatulin, Ya. S., Korovina, M. S., Popov, Yu. V. (2011). SolidWorks: guidelines [*Praktikum po SolidWorks*], St. Petersburg, 17 p.

Vatulin, Ya. S., Podkletnov, S. G., Svitin, V. V. (2010). Computer-aided design in IPI – technologies: training manual [*Avtomatizirovannoye proyektirovaniye v IPI*], St. Petersburg, 126 p.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Алексеев Сергей Игоревич
доктор технических наук, профессор
кафедры «Основания и фундаменты»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
asi-spb12@yandex.ru

Аллахвердов Борис Михайлович
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Прочность материалов и конструкций»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Ал–Рубой Мудар Валхан Хамид
аспирант кафедры «Радиоэлектронные
системы» ФГБОУ ВПО СПбГУ ГА,
г. Санкт-Петербург, mudher@mail.ru

Белозеров Владимир Леонидович
доктор экономических наук, профессор
кафедры «Экономика транспорта»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
v.belozerov@mail.ru

Богданова Екатерина Романовна
магистр, инженер кафедры «Методы
и приборы неразрушающего контроля»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
univer006@mail.ru

Бороненко Юрий Павлович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное
хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, boron49@yandex.ru

Быков Владислав Павлович
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Подъемно-транспортные, путевые
и строительные машины»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
vlad_bykov@mail.ru

Ваничева Светлана Сергеевна
инженер кафедры «Теоретическая механика»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
ogneva07@mail.ru

Ватулин Ян Семенович
кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой
«Автоматизированное проектирование»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
yan-roos@yandex.ru

Воронина Маргарита Михайловна
доктор технических наук, профессор
кафедры «Высшая математика»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
margo@TV2662.spb.edu

Гиндин Сергей Игоревич
аспирант кафедры «Информационные
и вычислительные системы» ФГБОУ ВПО
ПГУПС, г. Санкт-Петербург, sgindin@gmail.com

Грищенко Александр Васильевич
доктор технических наук, профессор
кафедры «Локомотивы и локомотивное
хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, kaf_lok@mail.ru

Грошев Геннадий Максимович
доктор технических наук, профессор
кафедры «Управление эксплуатационной
работой» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, spbgroshev@gmail.com

Дворкин Павел Вадимович
Ассистент кафедры «Локомотивы
и локомотивное хозяйство»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
aohara@rambler.ru

Евглевская Наталья Валерьевна
аспирант кафедры «Электрическая связь»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
n.evglevskaya@gmail.com

Косимов Хусан Рахматуллаевич
аспирант кафедры «Локомотивы
и локомотивное хозяйство»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
qosimov_husan@mail.ru

Зубков Кирилл Николаевич
Инженер ООО «Телесофт», г. Москва,
kirillzubkoff@gmail.com

Илесалиев Дауренбек Ихтиярович
аспирант кафедры «Логистика и коммерческая работа» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, ilesaliev@mail.ru

Индейкин Андрей Викторович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Теоретическая механика» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург,
andrey.indeykin@mail.ru

Каптелин Сергей Юрьевич
кандидат технических наук, доцент,
заведующий лабораторией кафедры «Мосты» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург,
kaps1962@yandex.ru

Карапетов Эдуард Степанович
кандидат технических наук, профессор кафедры «Мосты» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, eskar@yandex.ru

Ковалев Валерий Иванович
доктор технических наук,
профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой»
ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург

Коланьков Сергей Вячеславович
доктор экономических наук, доцент кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве», ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, kolankov@mail.ru

Колос Алексей Федорович
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Управление и технология строительства»
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
kolos2004@inbox.ru

Комарова Анна Николаевна
научный сотрудник ООО «Центр трансфера технологий», г. Санкт-Петербург,
An-komarova@mail.ru

Комиченко Станислав Олегович
аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, komichenko@gmail.com

Коровяковский Евгений Константинович
кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Логистика и коммерческая работа» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
logist@pgups.ru

Королев Михаил Юрьевич
кандидат технических наук, главный инженер ГУП «Петербургский метрополитен»,
г. Санкт-Петербург, korolev@metro.spb.ru

Костроминов Александр Михайлович
доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург, triak@wplus.mail.net

Кручек Виктор Александрович
доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург,
kaf_lok@mail.ru

Кручек Вячеслав Викторович
кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург

Крючкова Татьяна Валентиновна
старший преподаватель кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург,
t.kruchkova@mail.ru

Ледяев Александр Петрович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Тоннели и метрополитены» ФГБОУ ВПО ПГУПС,
г. Санкт-Петербург

Маликов Олег Борисович
доктор технических наук, профессор кафедры «Логистика и Коммерческая работа» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Мигров Александр Алексеевич
старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, amigrov@gmail.com

Морозова Анастасия Андреевна
ассистент кафедры «Управление и технология строительства» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, morozova_a@bk.ru

Николаев Сергей Викторович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Методы и приборы неразрушающего контроля» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, nikol_ndt@mail.ru

Норбоев Азизжон Равшанович
аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, azabaza86@mail.ru

Орлов Сергей Васильевич
кандидат технических наук, директор Монетный двор ФГУП «Гознак», sor.kr@mail.ru

Полинкевич Константин Юрьевич
аспирант кафедры «Прочность материалов и конструкций» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, 110237@mail.ru

Привалов Андрей Андреевич
доктор военных наук, профессор кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, aprivalov@inbox.ru

Рубцов Евгений Андреевич
аспирант кафедры «Радиоэлектронные системы» ФГБОУ ВПО СПбГУ ГА, г. Санкт-Петербург, rubtsov.spb.guga@rambler.ru

Рузметов Ядгор Озодович
аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, Yadgor.Ruzmetov@yandex.ru

Соболев Евгений Владимирович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиоэлектронные системы» ФГБОУ ВПО СПбГУ ГА, г. Санкт-Петербург, sobolev061649@yandex.ru

Сорвачева Юлия Андреевна
аспирант кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, ksmit_pgups@mail.ru

Согрин Иван Юрьевич
ассистент кафедры «Логистика и коммерческая работа» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, cympak2004@mail.ru

Соколова Яна Викторовна
аспирант, заместитель руководителя НОЦ ПП ПГУПС, г. Санкт-Петербург, yana.bar@mail.ru

Тихомиров Геннадий Иванович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, gi-tihomirovd@yandex.ru

Фёдорова Мария Владимировна
аспирант кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, tale19quale@mail.ru

Хайбинь Ван
кандидат технических наук, преподаватель Даляньского морского университета, haibin_81@mail.ru

Хамидов Отабек Рустамович
аспирант кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, Le_grand8687@mail.ru

Хисамов Ремир Рауфович
аспирант кафедры «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, remir.kz@mail.ru

Хрущев Антон Сергеевич
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, djerda@mail.ru

Шестовицкий Дмитрий Александрович
ассистент кафедры «Мосты» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, diamond0110@mail.ru

Якушев Алексей Вячеславович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, av-yakushev@yandex.ru

Яшкин Михаил Сергеевич
инженер-конструктор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, mihail.j@gmail.com

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алексеев С. И. **67**
Аллахвердов Б. М. **73**
Ал-Рубой Мудар Валхан Хамид **111**
Белозеров В. Л. **140**
Богданова Е. Р. **99**
Бороненко Ю. П. **35**
Быков В. П. **165**
Ваничева С. С. **124**
Ватулин Я. С. **165**
Воронина М. М. **160**
Гиндин С. И. **80**
Грищенко А. В. **5**
Грошев Г. М. **140**
Дворкин П. В. **49**
Евглевская Н. В. **106**
Зубков К. Н. **106**
Илесалиев Д. И. **11**
Индейкин А. В. **84**
Каптелин С. Ю. **92**
Карапетов Э. С. **17**
Ковалев В. И. **140**
Коланьков С. В. **134**
Колос А. Ф. **29**
Комарова А. Н. **35**
Комиченко С. О. **129**
Коровяковский Е. К. **11**
Королев М. Ю. **42**
Костроминов А. М. **42**
Кручек В. А. **49**
Кручек В. В. **49**
Крючкова Т. В. **42**
Ледяев А. П. **165**
Маликов О. Б. **11**, **53**
Мигров А. А. **165**
Морозова А. А. **29**
Николаев С. В. **99**
Норбоев А. Р. **140**
Орлов С. В. **58**
Полинкевич К. Ю. **73**
Привалов А. А. **106**
Рубцов Е. А. **111**
Рузметов Я. О. **129**
Соболев Е. В. **111**
Сорвачева Ю. А. **118**
Согрин И. Ю. **53**
Соколова Я. В. **146**
Тихомиров Г. И. **58**
Федорова М. В. **153**
Хайбинь Ван **124**
Хамидов О. Р. **5**
Хисамов Р. Р. **67**
Хрущев А. С. **5**, **58**
Шестовицкий Д. А. **17**
Якушев А. В. **129**
Яшкин М. С. **5**, **58**