

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ, выпуск 4 (41), 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) 314-92-32

Адрес редакции

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

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

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

Журнал зарегистрирован

в Российском индексе научного цитирования РИНЦ

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

Журнал имеет институт рецензирования

Журнал распространяется

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

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

В. В. Сапожников, д-р техн. наук, профессор

Научный редактор

А. К. Канаев, д-р техн. наук, доцент

Выпускающий редактор

С. А. Зинченко

Ответственный секретарь

Е. В. Моисеева

Перевод на английский язык

О. В. Керханиди

Верстка

А. А. Стуканова

Редактор сайта

Л. А. Стрелкова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

Ситаж Марек, профессор, Силезский технический
университет, Польша

Христов Христо, профессор, Технический
университет, София, Болгария

РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Подписано в печать с оригинал-макета 30.12.2014.

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

Усл. печ. л. 14,75. Уч.-изд. л. 22,0. Установочный тираж 300 экз.

Заказ 1214. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ПГУПС

190031, СПб., Московский пр., 9.

© ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014

SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT
UNIVERSITY Issue 4 (41) – 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

e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

Mass media registration certificate number

П И Н Ф С 2 – 7499 dd. 06.04.2005 issued by the
Federal service for the monitoring of legislation
compliance in the sphere of mass communications
and the preservation of cultural heritage, North West
Federal district division

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

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

The Journal has the Peer-review division

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

JOURNAL STAFF

Editor-in-chief

A. Yu. Panychev, Cand. of Economics,
Associate Professor

Deputy chief editor

V. Sapozhnikov, D.Eng., Professor

Science editor

A. Kanayev, D.Eng., Associate Professor

Executive editor

S. Zinchenko

Executive secretary

E. Moiseeva

English translation

O. Kerkhanidi

Layout

A. Stukanova

Online content editor

L. Strelkova

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

Marek Sitazh, Professor, Silesian University
of Technology, Poland

Khristo Khristov, Professor, Technical University
of Sofia, Bulgaria

EDITORIAL TEAM

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© Petersburg State Transport University, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

→	ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	
Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев, Е. И. Морозова		
	Исследование магнитодинамической левитации и электродинамического торможения грузовой транспортной платформы	5
→	СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ	
А. В. Андреев, В. П. Бельтюков, А. В. Сенникова, И. А. Симонюк, А. А. Третьяков		
	Совершенствование методики прогнозирования развития остаточных деформаций верхнего строения железнодорожного пути	16
Л. С. Блажко, В. И. Штыков, Ю. А. Канцибер, А. Б. Пономарев, Е. В. Черняев		
	Защита от кольматирования геотекстильных материалов, применяемых в балластной призме в качестве разделительного слоя	22
А. М. Горбачёв		
	Автоматизация синтеза расписаний городского электрического транспорта	27
Ю. И. Ефименко, А. Г. Филиппов		
	Особенности обоснования развязок маршрутов в железнодорожных узлах в современных условиях	33
Р. А. Ковалёв		
	Описание алгоритма поиска маршрутов при синтезе таблиц взаимозависимостей по схематическому плану станции	40
Х. Р. Косимов		
	Анализ прочности рамы тепловоза UzTE16M и оценка ее остаточного ресурса	45
О. Б. Маликов, Е. К. Коровяковский, Д. И. Илесалиев		
	Логистика пакетных перевозок штучных грузов	51
А. А. Мигров		
	К вопросу об устранении внезапных отказов путевых машин во время «окна»	57
А. В. Парфёнова		
	Методика расчета схемы состава пассажирского поезда	61
Н. В. Поляничко		
	Исследование влияния степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках на сопротивляемость сдвигу шпал	67
А. А. Третьяков		
	Обоснование оптимальной толщины балласта при планово-предупредительном ремонте на базе цифровой модели пути	73

Х. К. Умаров, Е. С. Свинцов

- Строительство железнодорожной линии Ангрен – Пап и ее роль
в формировании сети железных дорог Республики Узбекистан 80

С. В. Чижов, Э. Т. Яхшиев

- О требованиях к мостам при высокоскоростном движении 87

→ **ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ****В. В. Большакова, Н. А. Кукин, Г. Я. Дымкин**

- О возможности применения магнитных методов неразрушающего контроля для оценки
напряженно-деформированного состояния трубопроводов 92

Д. В. Ефанов

- Синтез генераторов тестеров модифицированных кодов Бергера на основе свойств
линейных и простых симметричных функций 99

ABSTRACTS	110
АВТОРЫ СТАТЕЙ	115
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	118

Статья Е. Д. Веселовой, Е. И. Рычковой, А. Е. Стасишиной, А. И. Норкиной «Применение укрупненных показателей сметной стоимости строительства», напечатанная в № 3 за 2014 г. «Известия ПГУПС», опубликована при поддержке Петербургского государственного университета путей сообщения инициативных научных работ, выполняемых студенческими научными коллективами.



УДК 621.313.1

Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев, Е. И. МорозоваПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ
И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗОВОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Узел левитации грузовой транспортной платформы рассматривается как асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором обращенного исполнения. Бортовая магнитная система представляет собой обмотку статора с явно выраженными полюсами. Короткозамкнутой обмоткой ротора служит путевая трековая обмотка – катушка Грамма, беличья клетка, сплошная или перфорированная реактивная шина. Основные теоретические положения и расчетные формулы, разработанные для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, адаптированы для описания работы узла левитации. На основании сравнительного анализа электромагнитных процессов предложены наилучшие варианты исполнения путевых треков левитации и боковой стабилизации в виде поперечных кольцевых обмоток Грамма или распределенных беличьих клеток.

магнитная левитация, электродинамическое торможение, грузовой транспорт, асинхронный двигатель, беличья клетка.

Введение

Если использовать аналогию с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, то в устройстве левитации бортовая магнитная система представляет собой обмотку статора [1]. В ней явно выраженные полюса имеют чередующуюся полярность и состоят из сверхпроводниковых катушек или постоянных магнитов. Роль короткозамкнутой обмотки ротора выполняет беличья клетка, короткозамкнутые витки которой развернуты вдоль путепровода, либо реактивная шина – сплошная или с поперечными прорезями (рис. 1).

Узел левитации схож с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором не только по элементам конструкции, но и по физиче-

ским процессам и режимам работы. Поэтому основные теоретические положения, разработанные для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, и соответствующие расчетные формулы могут быть применены для описания работы узла левитации. Прежде всего, это касается развиваемого устройством левитации электромагнитного момента, который в рассматриваемом случае является тормозным. При этом – поскольку путевая трековая обмотка неподвижно закреплена – протекающие в устройстве левитации процессы схожи с теми, которые происходят в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором, находящимся в заторможенном состоянии.

Задача состоит в том, чтобы адаптировать известные из теории асинхронных машин расчетные соотношения для описания эффек-

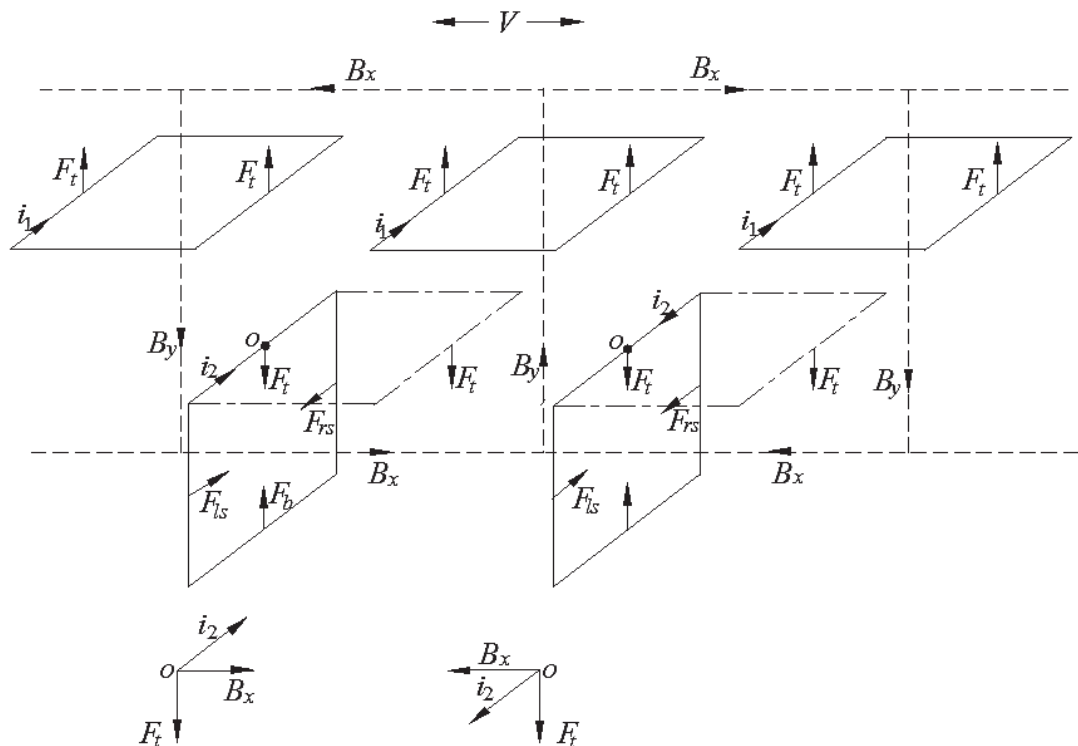


Рис. 1. Схема магнитодинамической левитации:

$\leftarrow V \rightarrow$ – скорость и направление движения транспортного средства; i_1 – ток в бортовой обмотке полюса системы левитации; i_2 – наведенный ток в путевой кольцевой обмотке Грамма [1]; B_x – составляющая магнитной индукции в горизонтальной плоскости по направлению движения транспортного средства; B_y – составляющая магнитной индукции в вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению движения транспортного средства; F_t – сила электромагнитного взаимодействия между бортовой обмоткой полюса системы левитации и путевой кольцевой обмоткой Грамма

та левитации и электродинамического торможения магнитолевитационных транспортных средств. На основании сравнительного анализа электромагнитных процессов можно предложить варианты конструктивного исполнения путевых дискретных треков левитации и боковой стабилизации, обеспечивающих эффективную левитацию при минимуме использования активных материалов.

1 Подъемная сила левитации

Путевые трековые обмотки левитации делятся на концентрированные и распределенные. Под обмоткой в данном контексте понимается система проводников или витков,

определенным образом уложенных и соединенных между собой в катушки или замкнутых на себя. К концентрированной обмотке можно отнести кольцевую обмотку Грамма, которая укладывается на активной путевой структуре в плоскости, перпендикулярной направлению движения транспортного средства (рис. 1, 2а). Примером распределенной обмотки является продольная развернутая беличья клетка (рис. 2б), которая укладывается в пазах зубчатой арматуры. Зубчатая арматура может выполняться в виде шихтованного сердечника из кремнистой электротехнической стали либо из стеклопластиковых материалов. Стеклопластиковую зубчатую арматуру целесообразно применять в случае использования бортовых сверхпроводниковых маг-

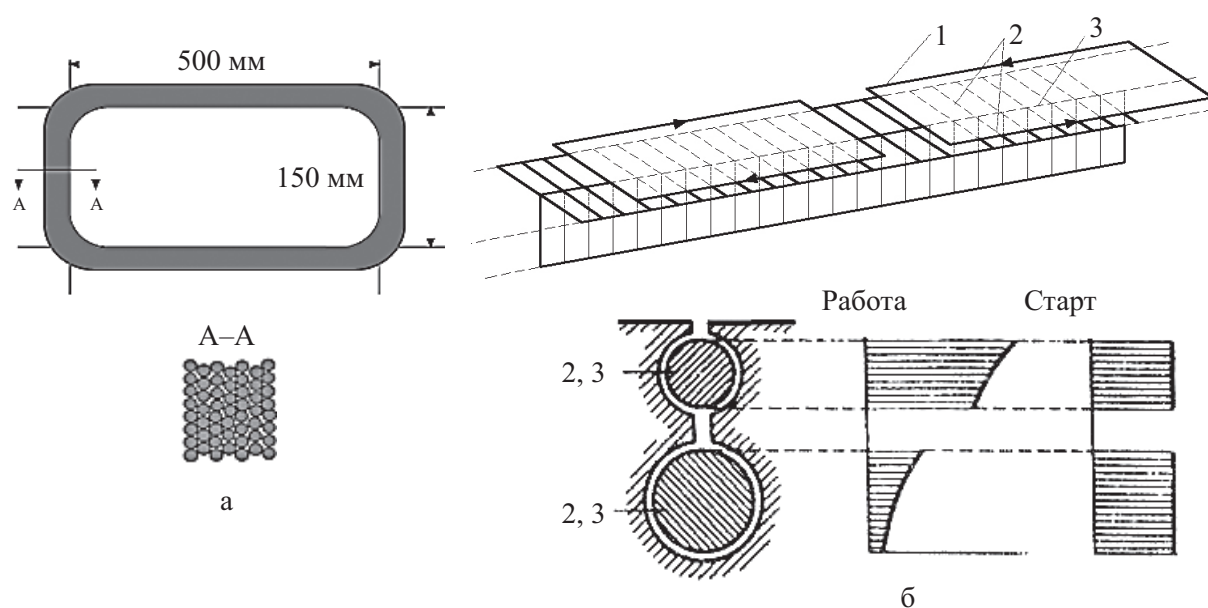


Рис. 2. Варианты исполнения путевых треков левитации:

а) поперечная короткозамкнутая кольцевая обмотка Грамма [2];

б) Т-образная двойная беличья клетка левитации 2 и боковой стабилизации 3; 1 – бортовые магнитные полюса левитации и боковой стабилизации

нитных систем левитации, создающих поля большой интенсивности.

Для определения подъемной силы левитации обратимся к рис. 2. Транспортное средство движется в плоскости рисунка слева направо или наоборот ($\leftarrow V \rightarrow$). Нетрудно убедиться в том, что направление движения не влияет на возникновение подъемной силы.

Изменяющийся во времени магнитный поток, созданный током i_1 в бортовой сверхпроводниковой обмотке полюса, работающей в режиме «незатухающего тока», проходя через плоскость, образованную элементарным витком, наводит в нем ток i_2 , который создает магнитный поток, противодействующий изменению потокосцепления с элементарным витком. В результате возникают силы F_r , F_b , F_{ls} и F_{rs} , действующие на каждую из сторон элементарного витка и стремящиеся сдвинуть их к центру. Эти силы воспринимает и компенсирует арматура. Одновременно с этим вертикально направленные силы F_r действуют на бортовые обмотки полюсов, причем независимо от их полярности.

Итак, взаимодействие магнитных полей, созданных токами i_1 и i_2 , приводит к возникновению силы отталкивания F_r между бортовой обмоткой полюса и элементарным витком обмотки Грамма. Для первой из них, имеющей три степени свободы, сила отталкивания становится подъемной.

В бортовых магнитных полюсах системы левитации (рис. 2а) вместо сверхпроводниковых обмоток можно применить постоянные магниты в сборке «array Halbach» (рис. 3). В схемах на рис. 3 стрелка указывает направление вектора намагниченности элементарного магнита.

Характерной особенностью кольцевой обмотки Грамма (рис. 2а) является то, что удаленные от магнитного полюса стороны витка не являются активными в том смысле, что они неэффективно обеспечивают потокосцепление витка с внешним магнитным полем. Другими словами, объемная плотность энергии магнитного поля, которая в любой области пространства (в отсутствие ферромагнетиков) равна

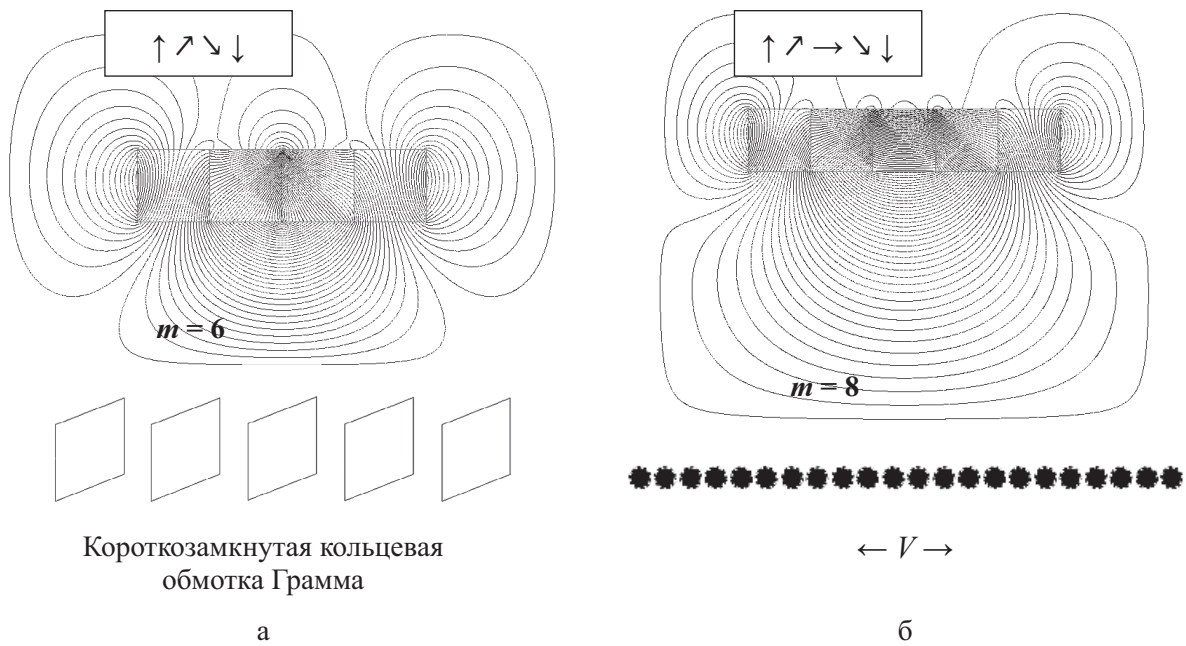


Рис. 3. Линии равного магнитного потенциала полюса левитации (а) и боковой стабилизации (б). Расчеты выполнены для коэрцитивной силы $H_c = 8$ кА/м; $m = 6; 8$ – период сборок «array Halbach» ($\uparrow \nearrow \searrow \downarrow$), ($\uparrow \nearrow \rightarrow \searrow \downarrow$) [2]; $\bullet\bullet\bullet\bullet$ – верхние стороны короткозамкнутых витков кольцевой обмотки Грамма; $\leftarrow V \rightarrow$ – скорость и направление движения транспортного средства

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0} \text{ [Дж/м}^3\text{]}, \quad (1)$$

с уменьшением плотности магнитного потока – индукции B – снижается, уменьшается магнитное давление, ответственное за создание магнитной левитации. Так, магнитное поле с индукцией $B_1 = 1$ Тл создает магнитное давление $\frac{B^2}{2\mu_0} = \frac{1 \cdot 1}{2 \cdot 4\pi 10^{-7}} = 3,98 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ($\sim 40 \text{ т/м}^2$). То есть для обеспечения левитации транспортного средства массой 40 т номинально требуется установка на его борту магнитной системы площадью 1 м^2 . Уменьшение значения магнитной индукции вдвое приводит к четырехкратному снижению магнитного давления и, соответственно, силы левитации. Магнитные поля высокой интенсивности можно получить, изготавливая бортовые левитационные полюса из сверхпроводника. Таким образом, задача повышения левитацион-

ного зазора имеет комплексное решение через оптимизацию бортовых магнитных полюсов и путевых треков левитации.

Для анализа и поиска рациональных схем системы левитации рассмотрим случай бортового магнитного полюса, образованного круговым витком радиуса R , по которому течет незатухающий ток I . Магнитная индукция B в произвольной точке, расположенной на оси кругового витка на расстоянии h от его геометрического центра, равна

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{IR^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}}. \quad (2)$$

Если $h \ll R$, то $B \approx \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{I}{R}$, т. е. магнитная индукция с приближением к круговому витку

по оси стремится к своему значению в геометрическом центре кругового витка B_0 .

$$\text{Если } h \gg R, \text{ то } B \approx \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{IR^2}{h^3} \text{ или } B \sim \frac{1}{h^3},$$

т. е. магнитная индукция с удалением от кругового витка по оси убывает пропорционально третьей степени расстояния от геометрического центра. Поскольку магнитная индукция в нижней части витка значительно ниже, чем в его верхней части, большая часть магнитного потока, создаваемого бортовым магнитным полюсом, проходит через верхнюю часть площади поверхности апертуры путевой трековой обмотки. Полное использование магнитного потока требует увеличения размера витка кольцевой обмотки и, соответственно, расхода активных материалов на ее изготовление. Высоту путевой трековой обмотки можно уменьшить, что повлечет за собой увеличение магнитных потоков рассеяния, не участвующих в создании левитации.

Как и в традиционных электрических машинах, в транспортной системе на основе магнитной левитации кольцевую обмотку Грамма можно заменить более эффективной обмоткой барабанного типа, примером которой является развернутая беличья клетка (рис. 2б). Нижняя сторона витка беличьей клетки должна быть уложена в путевой арматуре на расстоянии от верхней стороны, почти равном полюсному делению магнитной системы левитации, чтобы находиться под полюсом полярности, противоположной полярности верхней стороны витка. Такое расположение витка показано на рис. 1 штрихпунктирным контуром. При одинаковом магнитном потоке и скорости движения транспортного средства в витке барабанной обмотки наводится вдвое большая электродвижущая сила (ЭДС), чем в витке кольцевой обмотки. Однако для размещения развернутой беличьей клетки барабанного типа имеется более ограниченное пространство, чем для кольцевой обмотки Грамма (рис. 3б). Напрашивающийся в связи с этим переход от дискретной беличьей клетки к сплошной реактивной шине не оправдан

из-за повышенных потерь на вихревые токи в шине.

Как указано выше, конструкция путевого трека левитации в виде поперечной кольцевой обмотки Грамма металлоемка. Однако с учетом высокой левитационной эффективности такие треки могут устанавливаться, например, на остановочных пунктах – там, где требуется переход в левитационный режим на малой скорости во время разгона транспортного средства и его замедления по прибытии на станцию. Этим достигается малая начальная скорость возникновения левитации, а вместе с ней – и повышенный левитационный зазор. Протяженные скоростные участки трассы могут снабжаться менее металлоемкими путевыми треками из развернутых беличьих клеток, образующих Т-образную конфигурацию (см. рис. 2б сверху). Кольцевая обмотка Грамма имеет катушечное исполнение (см. рис. 2а). Развернутые беличьи клетки изготавливаются из медных или алюминиевых стержней, замкнутых накоротко боковыми шинами. Стержни размещаются в пазах несущей немагнитной конструкции путепровода.

Т-образный путевой трек по эффективности может конкурировать с поперечной короткозамкнутой кольцевой обмоткой Грамма, если выполнен глубокими пазами или с двойной беличьей клеткой (рис. 2б внизу). Как и у асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, отношение высоты к ширине глубокого паза составляет 9:10.

В отличие от пуска и выхода на номинальный режим работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, левитационный процесс развивается в обратной последовательности. В начале движения транспортного средства частота изменения магнитного поля, создаваемого бортовыми магнитными полюсами левитации 1 (см. рис. 2б), в беличьей клетке левитации 2 относительно мала. Плотность тока, наведенного в верхней и нижней беличьих клетках, практически одинаковая (см. «Старт» на рис. 2б). По мере набора скорости транспортным средством частота изменения магнитного поля в обла-

сти расположения двойной беличьей клетки возрастает. Индуктивное сопротивление нижней беличьей клетки становится больше, чем верхней, поскольку она сцеплена с большей частью магнитного потока. Наведенный ток вытесняется в верхнюю беличью клетку. Это равноценно увеличению суммарного активного сопротивления двойной беличьей клетки, что в конечном итоге сказывается на росте электродинамического сопротивления движению транспортного средства. Номинальному режиму работы системы левитации соответствует диаграмма на рис. 2б (см. «Работа»).

Из технологических соображений вместо двойной беличьей клетки можно применять глубокопазную. Наиболее эффективна бутылочная форма стержня глубокопазной беличьей обмотки: она позволяет уменьшить расход активного материала.

На рис. 3б жирными черными точками условно показаны сечения верхних сторон витков поперечной кольцевой обмотки Грамма. Элементарные короткозамкнутые витки могут изготавливаться массивными, подобно стержневой беличьей клетке, либо в виде катушечных групп с поперечным сечением, показанным внизу на рис. 2а.

2 Электродинамическое торможение

Рассмотрим процесс возникновения электродинамического торможения на примере конструкции устройства левитации с путевой трековой обмоткой в виде развернутой беличьей клетки. Во время движения транспортного средства магнитное поле бортовых полюсов перемещается вдоль беличьей клетки. Поскольку она всегда остается неподвижной, относительная частота f_1 бегущего магнитного поля зависит от линейной скорости V транспортного средства и полюсного деления τ . Магнитное поле индуцирует в беличьей клетке ЭДС E_2 , имеющую частоту $f_2 = f_1 \equiv f$ и направление, определяемое по правилу «ладони левой руки». В короткозамкнутых витках беличьей клетки, находящихся в

бегущем магнитном поле, наводится ток I_2 , направление которого совпадает с ЭДС E_2 . Взаимодействие магнитного потока, созданного индуцированным током, с магнитным потоком бортовых полюсов образует суммарный магнитный поток, градиент индукции которого направлен противоположно линейной скорости V транспортного средства (см. рис. 2). Возникающая в результате этого сила, действующая на полюс, направлена против направления движения транспортного средства, т.е. является тормозящей. Совокупность сил электродинамического торможения, созданных отдельными проводниками, образует суммарный электромагнитный момент, для преодоления которого требуется затрачивать часть мощности тягового линейного электродвигателя.

Предположим, что результирующий магнитный поток в левитационном зазоре постоянен, $\Sigma\Phi = \text{const}$. Если собственная индуктивность беличьей клетки – L_2 , то ее индуктивное сопротивление $x_2 = 2\pi f L_2$.

В отличие от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором устройство левитации всегда работает при скольжении $s = 1$, поэтому при всех скоростных режимах транспортного средства

$$E_{2s} = E_2 \frac{f_2}{f_1} = E_2 s = E_2; \quad (3)$$

$$x_{2s} = x_2 \frac{f_2}{f_1} = x_2 s = x_2. \quad (4)$$

Отсюда находим наведенный в беличьей клетке ток:

$$I_2 = \frac{E_2 s}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} \quad (5)$$

и

$$\cos \psi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad (6)$$

где r_2 – активное сопротивление беличьей клетки; ψ_2 – угол сдвига между ЭДС E_2 и током I_2 .

Тормозной электромагнитный момент M , возникающий в результате взаимодействия магнитного потока $\Sigma\Phi$ и активной составляющей тока в беличьей клетке $I_2 \cos \psi_2$, определяется как

$$M = k \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} \cdot \frac{E_2 s}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} = k \frac{E_2 s r_2}{r_2^2 + (x_2 s)^2}, \quad (7)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Поскольку $s = 1 > 0$, из (7) следует, что момент M является положительным, т.е. стремится сдвинуть стационарно закрепленный путевой трек левитации в направлении движения транспортного средства. В конечном итоге это отражается на создании тормозной силы по отношению к транспортному средству.

Для дальнейшего анализа воспользуемся уравнением для нахождения максимального значения момента $M_{\max}$:

$$\frac{dM}{ds} = k E_2 \frac{r_2 [r_2^2 + (x_2 s)^2] - s r_2 2 s x_2^2}{[r_2^2 + (x_2 s)^2]^2} = 0. \quad (8)$$

Откуда следует, что

$$s_{\max} = \pm \frac{r_2}{x_2}. \quad (9)$$

Комбинируя (8) и (9), имеем

$$M_{\max} = \pm k \frac{E_2}{2 x_2}. \quad (10)$$

Следовательно, максимальное значение момента $M_{\max}$ не зависит от активного сопротивления r_2 путевой трековой обмотки (беличьей клетки). Он прямо пропорционален наводимой ЭДС E_2 и обратно пропорционален индуктивному сопротивлению x_2 .

Подставив в (10) соответствующие выражения величин, получим

$$M_{\max} = \pm k \frac{f_2 \Sigma\Phi}{2 \cdot 2\pi f_2 L_2} = \pm k \frac{\Sigma\Phi}{4\pi L_2} = \pm \frac{k}{4\pi} \cdot \frac{\Sigma\Phi}{L_2}. \quad (11)$$

Из (11) видно, что максимальное значение момента $M_{\max}$ не зависит от линейной скорости V транспортного средства (от частоты f) и определяется результирующим магнитным потоком $\Sigma\Phi$ в левитационном зазоре и собственной индуктивностью L_2 путевой трековой обмотки. Чем больше магнитный поток $\Sigma\Phi$, тем больше тормозной момент. Наоборот, чем больше собственная индуктивность L_2 , тем меньше момент. Из этого следует вывод о целесообразности использования дискретных путевых трековых обмоток с большим числом элементарных короткозамкнутых витков (контуров). Применение шихтованного сердечника в данном случае проблематично. Однако если это имеет место, то для уменьшения высших гармонических ЭДС, вызванных пульсациями магнитного потока из-за наличия зубцов, магнитное сопротивление которых существенно ниже магнитного сопротивления путевой трековой обмотки, а также для снижения шума, вызываемого магнитными причинами, пазы сердечника, в которых располагаются стержни (витки) обмотки, делают скошенными.

Поскольку $s = 1$, то $r_2 = x_2$ и выражение (5) приобретает вид

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{E_2}{r_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{E_2}{x_2} = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi} \cdot \frac{\Sigma\Phi}{L_2}. \quad (5a)$$

Сопоставляя (11) и (5a), видим, что правые части уравнений различаются практически только коэффициентом пропорциональности k , размерность которого $[(\text{м}^2 \cdot \text{кг})/(\text{А} \cdot \text{с}^2)]$.

Из (7) следует выражение

$$M = k \frac{E_2}{2r_2} = k \frac{E_2}{2x_2}, \quad (7a)$$

которое при предельном переходе $r_2 \rightarrow 0$ (путевая трековая обмотка выполнена из сверхпроводника) имеет неопределенность, поскольку $E_2 = 0$. Вместе с тем, из-за отсутствия потокоцепления со сверхпроводниковой путевой трековой обмоткой физически детерминированным является нулевое значение тормозного момента, $M = 0$.

Дополнительная мощность тягового линейного электродвигателя P_D , необходимая для преодоления тормозного момента, зависит от частоты наводимой в беличьей клетке ЭДС, которая равна частоте f_1 бегущего магнитного поля, зависящей от линейной скорости V транспортного средства и полюсного деления τ :

$$\begin{aligned} P_D &= 2\pi f_1 M = k 2\pi f_2 \frac{E_2}{2x_2} = \\ &= k 2\pi f \frac{E_2}{2 \cdot 2\pi f L_2} = \\ &= k \frac{E_2}{2L_2} = k \frac{f\Phi}{2L_2} = \frac{k V \Phi}{2 \tau L_2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Выражение (12) отличается от аналогичных соотношений, полученных, например, исходя из начального рассмотрения потерь на вихревые токи в реактивной шине [3]. Поскольку величины L_2 и τ постоянны, дополнительная мощность P_D находится в прямо пропорциональной зависимости от скорости V транспортного средства и результирующего магнитного потока $\Sigma\Phi$ в левитационном зазоре. Ранее принятое предположение $\Sigma\Phi = \text{const}$ не совсем корректно. С ростом скорости V увеличивается продольная размагничивающая «реакция якоря», вследствие чего $\Sigma\Phi \rightarrow 0$ и $P_D \rightarrow 0$.

Аналогичный результат, однако при любой скорости V транспортного средства, по-

лучим в случае исполнения беличьей клетки из сверхпроводника – благодаря свойству сверхпроводящих контуров сохранять потокоцепление неизменным, в том числе нулевым.

Дополнительная тяговая сила, необходимая для компенсации силы торможения, определяется как

$$F_D = \frac{P_D}{V}. \quad (13)$$

Анализ ее зависимости от параметров системы левитации и режима движения транспортного средства аналогичен представленному выше.

3 Пути снижения начальной скорости появления левитации и повышения зазора

Начальную скорость появления левитации можно снизить за счет малого полюсного деления бортовых магнитных полюсов. Одним из возможных путей оптимизации бортовых магнитных полюсов левитации для достижения малого полюсного деления τ при умеренной магнитной индукции в рабочем зазоре является использование постоянных магнитов с высокой коэрцитивной силой, устанавливаемых по одной из схем «array Halbach» [2]. Периодическую структуру «array Halbach» из однородно намагниченных постоянных магнитов можно реализовать четырьмя способами (рис. 4): $(\uparrow \rightarrow \downarrow)$, $(\uparrow \nearrow \downarrow)$, $(\uparrow \searrow \downarrow)$ и $(\uparrow \downarrow)$. В этих схемах векторы намагниченности (стрелки) последовательно повернуты на соответствующий угол. 1-я: $\pi/2 - \pi/2$, 2-я: $\pi/4 - \pi/2 - \pi/4$, 3-я: $\pi/4 - \pi/4 - \pi/4 - \pi/4$, 4-я: $\pi/4 - \pi/4$. Обозначив период сборки m , имеем для 1-й и 4-йборок $m_1 = 4$, для 2-й – $m_2 = 6$, для 3-й – $m_3 = 8$. По аналогии с обмотками электрических машин полюсное деление сборки $\tau = m \cdot l$, где l – длина элементарного магнита (в направлении движения транспортного средства).

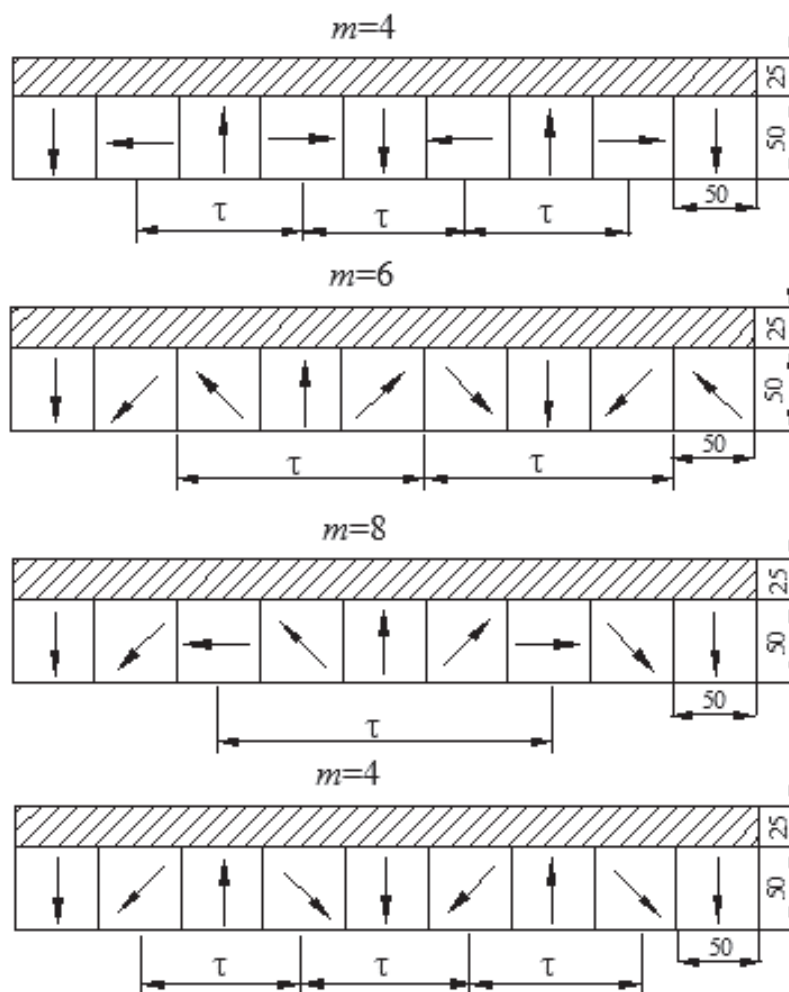


Рис. 4. Основные схемы сборки «array Halbach» постоянных магнитов

Если транспортное средство движется со скоростью V , то магнитное поле, создаваемое бортовым магнитным полюсом левитации, наводит в путевой беличье клетке (реактивной шине) ЭДС с частотой $f_2 = V/\tau$. Например, для случая простейшей сборки «array Halbach» ($\uparrow \rightarrow \downarrow$) из однотипных элементарных магнитов с габаритами $50 \times 50 \times 50$ мм и при скорости $V = 10$ м/с (36 км/ч) частота наводимой ЭДС $f_2 = 10/(4 \cdot 50 \cdot 10^{-3}) = 50$ Гц. В начальный период набора скорости транспортным средством, например, при $V = 1$ м/с (3,6 км/ч), частота наводимой ЭДС на порядок ниже и равна 5 Гц.

Приведенные оценки указывают, что на начальном участке набора скорости транспортным средством наведенный ток распре-

деляется практически равномерно по всему сечению проводника, и таким образом вся обмотка Грамма или беличья клетка эффективно участвуют в создании подъемной силы. В результате левитация возникает практически сразу же после начала движения транспортного средства.

Это подтверждают результаты расчетов и экспериментов на адекватной модели (рис. 5), выполненных независимо в Лоуренсовской ливерморской национальной лаборатории (LLNL, США) [4] и в Научно-исследовательском институте электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова (НИИЭФА, Россия) [5].

В опытных поездках MLU-001 и MLU-002 (Япония) сверхпроводниковые магнитные

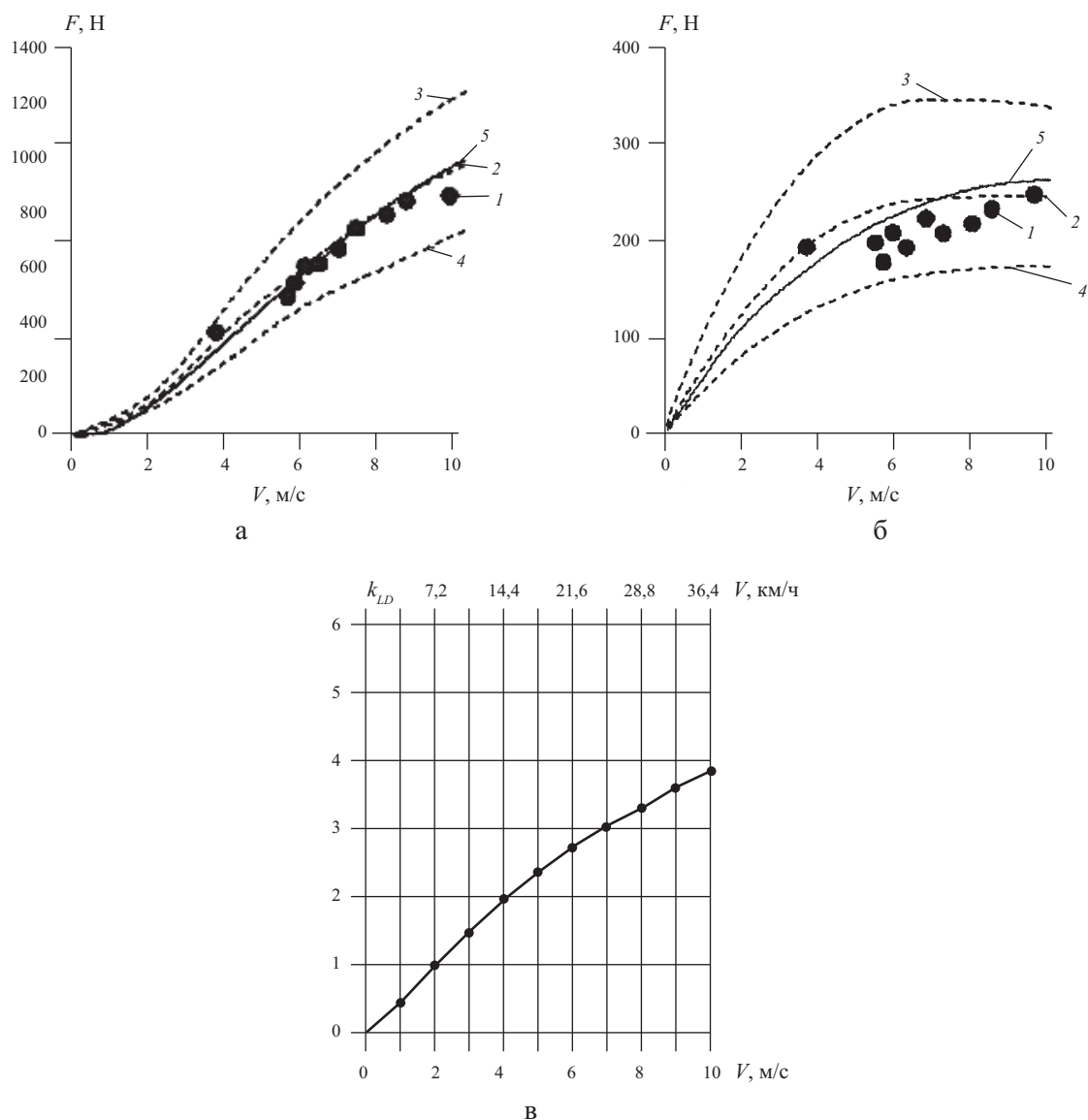


Рис. 5. Зависимость силы левитации F_L (а), электродинамического торможения F_D (б) и коэффициента эффективности левитации $k_{LD} = F_L/F_D$ (в) от скорости движения V транспортного средства: 1 – эксперимент LLNL [4]; 2 – расчет LLNL; 3, 4 – расчет LLNL при отклонении пути вверх/вниз на ± 1 мм; 5 – расчет НИИЭФА по модели TORNADO [5]

полюса левитации имеют полюсное деление $\tau = 2,1$ м. Левитация в этих поездах наступает в диапазоне скоростей $V = 80\text{--}100$ км/ч (22,2–27,8 м/с). Соответствующая частота наводимой ЭДС находится в пределах $f_2 \approx 11\text{--}13$ Гц. Магнитная индукция, создаваемая сверхпроводниковым магнитным полюсом, $B = 4,7$ Тл, что в 4 раза выше остаточной магнитной индукции B_r постоянного магнита

NdFeB. Таким образом, в отношении создания левитации повышенное значение полюсного деления (примерно в 4 раза) «компенсируется» 4-кратным повышением значения магнитной индукции.

Представленные на рис. 5 результаты расчетов и эксперимента получены для левитационной системы с двумя магнитными полюсами [3, 4]. Параметры «array Halbach»:

элементарный однородно намагниченный магнит NdFeB имеет остаточную магнитную индукцию $B_r = 1,2$ Тл, длина $\times$ ширина $\times$ высота верхнего полюса – $425 \times 125 \times 25$ мм, нижнего – $425 \times 75 \times 25$ мм, $m_1 = 4$. Воздушный зазор между магнитными полюсами 35 мм. Полюсное деление $\tau_1 = m_1 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,1$ м. Путь трек левитации на экспериментальном стенде представляет собой пакет (ламинат) из 10 изолированных медных листов толщиной 0,5 мм, шириной 200 мм. Медные листы имеют поперечную (относительно направления движения транспортного средства) перфорацию шириной 0,5 мм, длиной 150 мм с шагом 3 мм.

Как следует из рис. 5в, для рассматриваемых схем коэффициент эффективности левитации $k_{LD} = F_L/F_D$ на участке разгона транспортного средства достаточно высок. По этому показателю все схемы сборки «array Halbach» примерно равны (см. рис. 4). Выбор в пользу той или иной схемы системы левитации и боковой стабилизации обусловлен противоречивыми требованиями – потребностью увеличения подъемной силы и сокращения расхода элементарных магнитов, идущих на изготовление соответствующих магнитных полюсов.

Заключение

Выполненные исследования показывают возможность применения теории и инженерных методов расчета, разработанных для асинхронных машин с короткозамкнутым ротором для анализа систем левитации. Приве-

денные соотношения и сделанные на их основании числовые оценки параметров систем левитации показывают эффективность магнитных полюсов, собранных по схеме «array Halbach». Наименьшую начальную скорость возникновения левитации обеспечивает простейшая схема сборки «array Halbach» постоянных магнитов с малым полюсным делением. Такие сборки постоянных магнитов по эффективности конкурентоспособны с магнитными полюсами, выполненными из сверхпроводников.

Библиографический список

1. **Электрические** машины / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. Ч. II. – Москва : Ленинград : Госэнергоиздат, 1958. – 651 с.
2. **Gurol S.**, Baldi B., Post R. F. General Atomics Low Speed Maglev Technology Development Program. – URL : <http://www.monorails.org/pdfs/General%20Atomsics%202003.pdf>.
3. **Сверхпроводящие** машины и устройства / пер. с англ. ; под ред. С. Фонера, Б. Шварца. – Москва : Мир, 1977. – 763 с.
4. **Hoburg J. F.**, Post R. F. A Laminated Track for the Inductrack System : Theory and Experiment // Lawrence Livermore National Laboratory. – URL: <http://www.askmar.com/Inductrack/2004-10%20Inductrack%20Laminated%20Track.pdf>.
5. **Вычислительные** модели для анализа и оптимизации электродинамического подвеса магнитолевитационных транспортных систем / В. М. Амосков, Ю. Ф. Антонов, Д. Н. Арсланова и др. // Транспортные системы и технологии. – 2013. – Вып. 3. – URL : <http://www.transssyst.ru/vypusk-3-2013.html>.



УДК 625.172

**А. В. Андреев, В. П. Бельтюков, А. В. Сенникова,
И. А. Симонюк, А. А. Третьяков**

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Предложены принципы выбора участков железнодорожного пути, подлежащих ремонту, на основании прогнозируемых значений показателей состояния пути. Произведены практические расчеты интенсивности нарастания дефектности элементов конструкции пути и неисправностей геометрических параметров рельсовой колеи. В методике прогнозирования рассмотрены последовательность отбора данных, их обработки для формирования статистики, алгоритм расчета показателей местной интенсивности нарастания неисправностей рельсовой колеи и дефектности элементов конструкции. Обоснован механизм учета интенсивности развития остаточных деформаций при прогнозировании на конкретных участках.

железнодорожный путь, прогнозирование, интенсивность нарастания остаточных деформаций, дефектность элементов верхнего строения пути, неисправности геометрии рельсовой колеи, безопасность эксплуатации, ресурсный элемент пути.

Введение

В нынешней системе содержания железнодорожного пути для принятия решения о необходимости назначения ремонта требуется достижение предельного состояния пути. Предельное состояние пути наступает при выработке срока службы ресурсными элементами пути.

Ресурсный элемент пути – элемент пути, окончание сроков службы которого вызывает необходимость ремонта определенного вида. Выделение различных ресурсных элементов (рельсы, шпалы, крепления, балласт) позволяет разделять ремонты по назначению и устраняемым неисправностям.

По техническому состоянию отдельных ресурсных элементов выбирают участки, подлежащие ремонту определенного вида. В конце срока их службы в объектах пути резко возрастает интенсивность отказов ресурсных элементов. При этом сохранение объема затрат на техническое обслуживание повышает вероятность нарушения критериев безопасности и делает дальнейшую эксплуатацию экономически нецелесообразной. Предельное состояние пути определяется износом, усталостью и старением отдельных элементов конструкции и железнодорожного пути в целом.

Поскольку железнодорожный путь является многоэлементной восстанавливаемой

системой и его отказы связаны с комплексным сочетанием неблагоприятных факторов, для предупреждения предельного состояния всей конструкции железнодорожного пути важно учитывать влияние каждого элемента на предотказы и отказы пути.

Таким образом, комплексная задача путевого хозяйства в настоящее время состоит в обеспечении непревышения:

- допустимой вероятности отказа (интенсивности отказа);
- допустимых расходов на обслуживание пути.

Но для этого необходимо владеть информацией, отражающей процессы износа, усталости и старения верхнего строения пути с точки зрения:

- текущего состояния в заданные моменты времени в прошлом;
- развития в процессе эксплуатации в будущем.

Будущие значения показателей по заданным факторам на основании модели можно получить посредством их прогнозирования. Это подтверждает актуальность и необходимость обеспечения путевой инфраструктуры эффективными алгоритмами оценки и прогнозирования изменения технического состояния пути.

Методика прогнозирования изменения технического состояния участков пути, эксплуатируемая в настоящее время на сети железных дорог ОАО «РЖД», описывает теоретические основы этого процесса, однако недостаточно полно раскрывает их практическую реализацию [1].

1 Среднесрочное прогнозирование остаточных деформаций

Работа над прогнозированием как областью исследований проводится сравнительно давно и прослеживается в работах В.Б. Тихомирова, Е.С. Ашпиза, З.Л. Крейниса, А.А. Сеньковского и других.

Из числа последних исследований по выявлению нестабильных участков пути и прогнозированию их состояния особо стоит отметить труд А.В. Дворникова, который затрагивает преимущественно определение показателей стабильности геометрических показателей рельсовой колеи, их прогнозирование и использование при оценке потребности в проведении путевых работ [2]. В то же время работоспособность железнодорожного пути определяется не только отступлениями рельсовой колеи, но и уровнем дефектности его элементов.

Нормативные документы по комплексной оценке состояния пути регламентируют ее проведение после весеннего и осеннего генеральных осмотров пути и предназначены преимущественно для оптимизации распределения фондов затрат на текущее содержание и ремонты пути [3]. Но крайне важно учитывать также перспективное планирование затрат и объемов путевых работ.

В исследованиях кафедры «Железнодорожный путь» рассмотрена возможность количественной оценки текущего технического состояния железнодорожного пути [4]. Источником данных для прогнозирования интенсивности нарастания остаточных деформаций (ИНОД) является автоматизированная система управления путевым хозяйством (АСУ-П), в перспективе – единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой. Однако положения данной методики, как отмечалось ранее, недостаточно полно раскрывают их практическую реализацию [1].

Подробнее методика практического прогнозирования ИНОД рассматривается в работе, выполненной на кафедре «Железнодорожный путь» [5], где преимущественное внимание уделяется учету среднесетевых зависимостей развития процессов ИНОД в конструкции верхнего строения пути при увеличении наработки тоннажа. Совершенствование методики требует более подробного рассмотрения развития ИНОД и прогнозирования их изменения на отдельных участках

железнодорожного пути на основе статистики о дефектности элементов конструкции и отступлениях рельсовой колеи.

Зарубежный опыт оценки и прогнозирования состояния пути сосредоточен на комплексной оценке состояния пути по критериям безопасной эксплуатации с установленными скоростями. При неблагоприятных показателях безопасности управляющие решения направлены на уменьшение эксплуатационных скоростей либо на определение потребных объемов ремонта, которые потенциально снижают значения ИНОД.

Таким образом, задача практического прогнозирования изменения технического состояния пути для качественного планирования ремонтов остается незавершенной, несмотря на важность и актуальность.

2 Методические цели и задачи исследования

На предшествующих этапах разработки методики прогнозирования технического состояния участков пути были определены ключевые показатели технического состояния верхнего строения пути, количественная оценка которых определяет потребность ремонтов железнодорожного пути [1]. Был установлен среднесетевой алгоритм их оценки и прогнозирования. При этом использовалась статистика по всей сети железных дорог.

При оценке и прогнозировании параметров технического состояния отдельного участка пути ключевая задача состоит в получении максимально достоверных и актуальных данных при недостатке статистики и вариативности эксплуатационных условий.

Требуется решение подзадач, направленных на разработку алгоритмов:

- фактической оценки технического состояния отдельного участка пути (подробнее п. 2.1);
- прогнозирования интенсивности нарастания дефектности элементов конструкции и отступлений рельсовой колеи на участке

пути с учетом их предшествующего изменения (подробнее п. 2.2);

- совершенствования системы планирования ремонтов пути и путевых работ (подробнее п. 2.3).

В основе методики исследования лежит статистическая обработка массивов данных о состоянии элементов конструкции железнодорожного пути и их аппроксимация с заданным шагом.

2.1 Фактическая оценка технического состояния участка пути

При решении подзадачи необходимо было построить эффективный аналитический алгоритм, позволяющий получить достаточно достоверные данные об интенсивности нарастания дефектности и неисправностей железнодорожного пути при недостатке статистики.

При определении среднесетевых зависимостей изменения технического состояния пути для однотипных конструкций и условий эксплуатации пути объем статистической выборки, как правило, превышает несколько сотен записей. При покилометровой оценке зависимостей изменения технического состояния пути объем статистики сокращается до одной записи на каждый год эксплуатации, при этом многократно увеличивается количество отдельных расчетных циклов ввиду множества участков. Укрупнение анализируемых участков позволяет повысить количество и качество статистики для прогнозирования, при этом сокращая объем расчетов.

Из множества аппроксимаций линейная позволяет оценить тенденцию развития дефектности или неисправности на километре (участке).

Уравнение линейной функции имеет вид:

$$y = m \cdot x + b, \quad (1)$$

где y – интенсивность нарастания дефектности и неисправностей, шт./км; x – пропущенный тоннаж (срок эксплуатации), млн т

брутто или лет; m – наклон прямой, местная скорость изменения интенсивности нарастания дефектности и неисправностей, шт. в год, в месяц или на млн т брутто; b – параметр линейной зависимости, точка пересечения прямой с осью ординат Y , шт.

Параметры m и b определяются регрессионным анализом.

В методику расчета вводится ограничение: состояние пути при нормальной эксплуатации не стабилизируется без внешнего воздействия, т.е. в расчете используются значения m больше нуля, предполагающие нарастание остаточных деформаций по мере эксплуатации.

2.2 Прогнозирование параметров технического состояния пути с учетом предшествующего изменения его состояния

В основу методики прогнозирования положен совместный учет соотношения, скорости изменения и весовых коэффициентов местных и среднесетевых интенсивностей на основании достоверности статистики и расчетов.

При этом решение подзадачи имеет вид:

$$\Omega_{\text{прогн}} = \Omega_{\text{ср.сет}} \cdot K + \gamma \cdot m \cdot T + (1 - \gamma) \cdot K \cdot \sum_{i=1}^n J_{\text{ср}i} \cdot \beta \cdot T, \quad (2)$$

где $\Omega_{\text{прогн}}$ – местная прогнозируемая интенсивность нарастания дефектности и неис-

правностей, шт.·i/км; $\Omega_{\text{ср.сет}}$ – прогнозируемая интенсивность нарастания дефектности и неисправностей в среднем по сети, шт.·i/км; K – поправочный коэффициент, связывающий местные и среднесетевые интенсивности нарастания дефектности и отступлений рельсовой колеи; T – прогнозируемый пропущенный тоннаж, млн т-км брутто; $J_{\text{ср}i}$ – среднесетевая скорость изменения интенсивности, шт. в год, в месяц или на млн т брутто; m – местная интенсивность нарастания дефектности или неисправностей, шт. в год, в месяц или на млн т брутто; γ – коэффициент доверительной вероятности, определяющий долю местной интенсивности нарастания дефектности и неисправностей при их прогнозировании; β – табличный поправочный коэффициент к $J_{\text{ср}i}$, зависящий от конструкции пути и условий эксплуатации.

Таким образом, решение выделенной подзадачи приобретает комплексную структуру, дающую тем более достоверный и точный результат, чем надежнее исходные статистические данные.

2.3 Совершенствование системы планирования ремонтов пути и путевых работ

На момент планирования ремонтов пути и затрат будущего года используется статистика, собранная по состоянию на предыдущий год, в то время как планы составляются на будущий год (см. рисунок).



Поскольку интенсивность нарастания дефектности элементов конструкции и отступлений рельсовой колеи в методике определяется как среднее за год, то к началу проведения ремонтов пути статистические данные отчетных баз данных устаревают на два года. То есть показатели состояния пути должны прогнозироваться на два года.

3 Прогнозирование

Для прогнозирования интенсивности нарастания дефектности элементов конструкции и отступлений геометрических показателей рельсовой колеи необходимо:

- выбрать для прогнозирования данные о конструкции железнодорожного пути, об эксплуатационных условиях и прогнозируемых

дефектных элементах или неисправностях по геометрическим показателям рельсовой колеи;

- укрупнить данные путем объединения участков с однотипными условиями эксплуатации, конструкцией пути;
- спрогнозировать интенсивность нарастания дефектности и неисправностей.

Практическое использование методики продемонстрировано на основе данных, выбранных для пути с различающимися эксплуатационными условиями (пропущенный тоннаж, последний вид ремонта). Источником является база данных автоматизированной системы управления путевым хозяйством АСУ-П.

В табл. 1 приведены параметры конструкции пути и эксплуатационных условий для выбранного участка, на основании которых

ТАБЛИЦА 1. Параметры конструкции пути и эксплуатационные условия

Номер укрупненного участка	Путь	Километр	Грузонапряженность	Тип рельса	Признак укладки	Длина рельсов	Пропущенный тоннаж	Подрельсовое основание	Тип скрепления	Балласт	Класс	Группа	Тип последнего ремонта	Год последнего ремонта
1	1	166	29,95	P65	Н	б. п.	318,87	ШЖБ	КБ	Ще-бенъ	1	В	КРН	1997
1	1	167	29,95	— —	— —	— —	318,87	— —	— —	— —	1	— —	— —	1997
2	1	169	29,95	— —	— —	— —	296,77	— —	— —	— —	1	— —	ППВ	2008
2	1	171	29,95	— —	— —	— —	296,77	— —	— —	— —	1	— —	— —	2008
3	1	172	29,95	— —	— —	— —	296,77	— —	— —	— —	1	— —	КРН	1998
4	1	179	29,95	— —	— —	— —	796,47	ЖБП	— —	— —	1	— —	Шли-фовка поверх-ности	2008
4	1	180	29,95	— —	— —	— —	796,47	— —	— —	— —	1	— —	— —	2008
4	1	181	29,95	— —	— —	— —	796,47	— —	— —	— —	1	— —	— —	2008
4	1	182	29,95	— —	— —	— —	796,47	— —	— —	— —	1	— —	— —	2008
4	1	183	29,95	— —	— —	— —	796,47	— —	— —	— —	1	— —	— —	2008

ТАБЛИЦА 2. Параметры конструкции пути и эксплуатационные условия

Номер укрупненного участка	Путь	Группа км	Пропущенный тоннаж	Грузонапряженность	Ω на текущий год, n	$\Omega_{\text{прогн}}$ на год $(n+1)$	$\Omega_{\text{прогн}}$ на год $(n+2)$
1	1	166–167	318,87	29,95	0,5	1,100	1,665
2	1	169–171	296,77	29,95	0,5	1,189	1,740
3	1	172	296,77	29,95	0	0,219	0,444
4	1	179–180–181–182–183	796,47	29,95	0,2	0,263	0,301

дифференцированы данные по отдельным участкам.

Для каждого километра по отчетной статистике АСУ-П вычислена интенсивность одиночного выхода рельсов на каждый километр (табл. 2). Километры с одинаковыми условиями эксплуатации и конструкцией пути разделены на укрупненные участки (столбец 1 табл. 2).

Интенсивность нарастания одиночного выхода рельсов Ω по состоянию на отчетный год приведена в столбце 6 табл. 2. По формуле прогнозирования подробнее в пункте 2.2. Для двух последующих лет эксплуатации вычисленные значения интенсивности приведены в столбцах 7 и 8 табл. 2, соответственно.

Заключение

Совершенствование механизмов прогнозирования технического состояния пути позволит качественно повысить точность управленческих решений, принимаемых по результатам диагностики и комплексной оценки состояния железнодорожной инфраструктуры.

Реализация положений методики в перспективе позволит:

- снизить вероятность развития отказов и предотказов железнодорожного пути за счет заблаговременного выявления потенциально опасных участков;

- повысить эффективность расходования средств на ремонты и текущее обслуживание железнодорожного пути;

- заложить теоретические основы для определения остаточного ресурса железнодорожного пути на основе прогнозирования показателей экономичности и безопасности его обслуживания.

Библиографический список

1. **Технические** условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 75 р. от 18 января 2013 г.
2. **Выявление** нестабильных участков пути и прогнозирование их состояния : дис. ... канд. техн. наук (05.22.06) / А. В. Дворников. – Москва, 2008. – 146 с.
3. **Руководство** по комплексной оценке состояния участка пути (километра) на основе данных средств диагностики и генеральных осмотров пути: распоряжение ОАО «РЖД» № 2536 р. от 14 декабря 2009 г.
4. **Оптимизация** среднесрочных перспективных планов ремонтов железнодорожного пути / В. П. Бельтюков // Транспорт РФ. – 2011. – № 3 (34). – С. 71–74.
5. **Прогнозирование** интенсивности накопления остаточных деформаций верхнего строения железнодорожного пути для среднесрочного планирования путевых работ : дис. ... канд. техн. наук (05.22.06) / И. А. Симонюк. – Санкт-Петербург, 2014. – 147 с.

УДК 625.14

**Л. С. Блажко, В. И. Штыков, Ю. А. Канцибер,
А. Б. Пономарев, Е. В. Черняев**

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ЗАЩИТА ОТ КОЛЬМАТИРОВАНИЯ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЕ В КАЧЕСТВЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО СЛОЯ

Изложены условия, при которых геотекстильный материал сохраняет свои фильтрационные свойства в течение нормативного срока службы. При несоблюдении этих условий материал будет интенсивно кольматироваться. Кольматация геотекстиля приводит к потере его водопроницаемости. Поскольку не каждый геотекстиль обладает требуемым размером фильтрационного хода, в некоторых случаях срок его службы можно продлить с помощью слоя песка, методика подбора которого изложена в статье. Приводится экспериментальное подтверждение теоретических положений.

геотекстильный материал, кольматирование, фильтрационные свойства, защита, балластная призма.

Введение

Кольматированием называется процесс заполнения порового пространства мелкими (пылеватыми и глинистыми) частицами, находящимися во взвешенном состоянии в фильтрующейся воде, результатом которого является уменьшение активной пористости геотекстильных материалов и резкое снижение фильтрационных свойств.

Кольматирование сверху частицами диаметром не более 0,05 мм будет незначительным, и геотекстильный материал сохранит свои фильтрационные свойства в требуемых пределах в течение нормативного срока службы, если расчетное значение диаметра фильтрационного хода d_u^r данного материала удовлетворяет требованию

$$0,165 \text{ мм} \leq d_u^r \leq 0,220 \text{ мм}. \quad (1)$$

При этом величина d_u^r определяется по зависимости [1]:

$$d_u^r = 2 \cdot d_p \left(\frac{1}{\sqrt{1-n}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \right), \quad (2)$$

где d_p – диаметр волокна геотекстильных материалов; n – пористость.

В результате полевых исследований геотекстильных материалов, уложенных в балластную призму в качестве разделительного слоя, было установлено, что около 30 % из них в ближайшие 4–8 лет станут практически водонепроницаемыми. В табл. 1 в качестве примера приведены данные по Октябрьской железной дороге.

Из анализа табл. 1 следует, что только на двух участках (ПЧ-7, 224 км ПК 2+13 и ПЧ-10, 68 км ПК 10 1-й путь), где уложен геотекстиль марки Polyfelt (к сожалению более полная маркировка во всех документах отсутствует), расчетный диаметр фильтрационного хода приближается к нижнему значению рекомендуемого предела изменения d_u^r (1), при

ТАБЛИЦА 1. Сроки сохранения фильтрационных свойств геотекстилем

Место отбора образцов	Марка геотекстиля и год укладки	n	d_u^r , мм	K_ϕ , м/сут	T , лет
ПЧ-7; 223 км	Polyfelt, 1999	0,83	0,134	35	22 года (до 2022 г.)
ПЧ-7; 224 км	Polyfelt, 2000	0,84	0,139	45	24 года (до 2024 г.)
ПЧ-7; 224 км	Polyfelt, 2000	0,86	0,152	60	32 года (до 2032 г.)
ПЧ-7; 233 км	Polyfelt, 2000	0,85	0,145	46	20 лет (до 2020 г.)
ПЧ-7; 225 км	Typar, 2000	0,63	0,119	4	10 лет (до 2010 г.)
ПЧ-10; 82 км	Typar, 2000	0,68	0,132	0,24	8 лет (до 2008 г.)
ПЧ-7; 224 км	Typar, 2000	0,63	0,119	2	8 лет (до 2008 г.)
ПЧ-7; 224 км	Typar, 2000	0,67	0,129	3	9 лет (до 2009 г.)
ПЧ-10; 68 км	Polyfelt, или Дор-НИТ, 1993	0,85	0,161	69	62 года (до 2055 г.)
ПЧ-7; 225 км	Typar, 2000	0,67	0,129	3	9 лет (до 2009 г.)
ПЧ-7; 233 км	Polyfelt, 1999	0,84	0,139	11,6	13 лет (до 2012 г.)
ПЧ-7; 232 км	Polyfelt, 1999	0,84	0,139	6,3	11 лет (до 2010 г.)

Примечания. n – пористость геотекстиля в исходном состоянии, в долях; K_ϕ – коэффициент фильтрации в частично закольматированном состоянии; T – расчетная продолжительность сохранения фильтрационных свойств.

которых материал пропускает через себя все частицы размером $\leq 0,05$ мм. На остальных участках к моменту раскопок (2005 и 2007 г.), т. е. через 6–8 лет после укладки, коэффициент фильтрации существенно снизился.

При раскопках на участке ПЧ-7; 224 км, ПК 3+80 в 2008 г. было установлено, что геотекстильный материал Typar SF 94 уже закольматировался (по прогнозным расчетам, это должно было произойти в 2009 г.). Различие результатов прогнозного расчета и действительного срока службы в один год может быть обусловлено различиями, хотя и небольшими, в свойствах геотекстильного материала.

Срок службы геотекстиля гарантированно увеличивается, если наряду с укладкой геотекстильного материала на слой песка и с присыпкой его слоем песка толщиной не менее 10 см при очередном ремонте, в рамках которого будет выполняться глубокая очистка или вырезка балластного слоя, вместе с загрязнителями будет удаляться и частично за-

кольматированный пятисантиметровый слой песка. Оставшийся над геотекстилем слой песка должен восстанавливаться до исходной толщины чистым песком, близким по гранулометрическому составу к песку защитного слоя. Срезку загрязненного песка или отсыпку нового песчаного слоя целесообразно выполнять машиной для глубокой очистки щебеночного балласта СЧУ 800, у которой в перечне рабочих функций предусмотрены и данные технологические операции.

Как подобрать гранулометрический состав песка для прикрытия сверху геотекстильного материала?

Прежде всего необходимо выяснить, являются ли пески или песчано-гравийные смеси (ПГС) суффозионными. Механическая суффозия в песчаном или песчано-гравелистом грунте будет развиваться, если в них имеются частицы, диаметры которых меньше наибольшего фильтрационного хода. Такие частицы в защитном слое из песка или ПГС должны

отсутствовать. В то же время гранулометрический состав песка или ПГС будет зависеть от размеров фильтрационных ходов в геотекстильном материале.

Гранулометрический состав несугфозионного песка или ПГС следует определять по хорошо обоснованной экспериментами зависимости [2]:

$$\frac{d_i}{d_{\min}} = 1 + \left(\frac{P_i}{P_{10}} \right)^x \cdot \frac{\eta - 1}{5\eta}; \quad (3)$$

$$x = 1 + 1,28 \cdot \lg(\eta), \quad (4)$$

где P_i – процентное по массе содержание в песке или ПГС частиц диаметром меньше d_i , $P_{10} = 10\%$; $d_{\min}$ – минимальный диаметр ча-

стиц в данном грунте; $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ – коэффициент

неоднородности песка или ПГС; d_{10} и d_{60} – диаметры частиц, меньше которых в составе песка или ПГС содержится, соответственно, 10 и 60% частиц по массе.

Задаваясь разными значениями $P_i = 10; 20; 40; 60$ и 100 , по формуле (3) вычисляем соответствующие им значения d_i .

В табл. 2 приведены расчетные данные по гранулометрическому составу верхнего защитного слоя для геотекстильных материалов с величиной $d_u^r = (0,100-0,165)$ мм несугфозионных песчаных или песчано-гравелистых грунтов. Как уже говорилось выше, для геотекстильных материалов, у которых расчетный диаметр фильтрационного хода d_u^r удовлетворяет требованию (1), верхний защитный слой можно не устраивать.

1 Пример подбора гранулометрического состава защитного слоя

Рассмотрим на примере, как следует подбирать гранулометрический состав верхнего слоя песка или ПГС.

Допустим, для устройства разделительного слоя мы имеем геотекстильный материал марки Технолайн, имеющий поверхностную

ТАБЛИЦА 2. Расчетный гранулометрический состав верхнего защитного слоя для геоматериалов из несугфозионных песчаных или песчано-гравелистых грунтов

d_u^r , мм	η	$d_{\min}$, мм	Процентное содержание частиц, мм					
			d_{10}	d_{17}	d_{20}	d_{40}	d_{60}	d_{100}
0,100	3	0,36	0,41	0,47	0,50	0,80	1,23	2,28
	5	0,30	0,38	0,43	0,48	0,96	1,90	4,08
	10	0,24	0,29	0,38	0,45	1,26	2,90	8,47
	15	0,20	0,24	0,36	0,41	1,40	3,60	12,16
	20	0,19	0,22	0,34	0,39	1,64	4,40	16,88
0,165	3	0,48	0,54	0,62	0,67	1,07	1,62	3,08
	5	0,39	0,45	0,57	0,62	1,25	3,10	5,29
	10	0,32	0,38	0,51	0,60	1,68	3,80	11,29
	15	0,28	0,33	0,48	0,57	1,97	4,95	17,04
	20	0,25	0,30	0,45	0,55	2,15	6,00	22,14

Примечания. η – коэффициент неоднородности песка или песчано-гравийной смеси защитного слоя; $d_{\min}$ – минимальный диаметр частиц в песке или песчано-гравийной смеси защитного слоя.

плотность 350 г/м^2 , диаметр волокна $d_p = 0,033 \text{ мм}$ и пористость $n = 0,78$.

1. По формуле (2) определим расчетный диаметр фильтрационного хода данного геотекстильного материала:

$$d_u^r = 2 \cdot d_p \left(\frac{1}{\sqrt{1-n}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \right) = \\ = 2 \cdot 0,033 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-0,78}} - \frac{1}{\sqrt{3,14}} \right) = 0,10 \text{ мм.}$$

В ближайшем карьере находится ПГС, гранулометрический состав которой близок по составу к грунту, описанному в пятой строке табл. 2. Выпишем из нее данные, необходимые для расчета: коэффициент неоднородности $\eta = 20$; $d_{17} = 0,34 \text{ мм}$, пористость $n = 0,36$. Коэффициент фильтрации этой смеси $K_\phi = 0,095 \text{ см/с}$. Коэффициент кинематической вязкости воды (для температуры 15°C) $\nu = 0,0114 \text{ см}^2/\text{с}$.

2. Определим диапазон величин диаметров суффозионных частиц d_{ci} , которые данный геотекстильный материал будет беспрепятственно пропускать:

$$d_{ci} \leq \frac{d_u^r}{3,3 \dots 4,4} = (0,023 \dots 0,031) \text{ мм.}$$

Таким образом, геоматериал Технолайн будет беспрепятственно пропускать через себя все частицы мельче $0,03 \text{ мм}$. Соответственно, все более крупные частицы должны быть задержаны верхним защитным слоем.

3. Определим расчетный диаметр фильтрационного хода верхнего защитного слоя [3]:

$$d_u = 2\pi \sqrt{\frac{2K \cdot \nu}{n \cdot g}} = \\ = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,095 \cdot 0,0114}{0,36 \cdot 981}} = 0,15 \text{ мм.} \quad (5)$$

4. Вычислим d_{cr} – диаметр сводообразующих частиц для верхнего защитного слоя:

$$d_{cr} \geq 0,555 \cdot d_u = \\ 0,555 \cdot 0,15 = 0,083 \text{ мм.} \quad (6)$$

5. Определим диаметр суффозионных частиц, которые будут вынесены фильтрационным потоком через переходную зону между балластом и защитным слоем песка, т.е. через поры сводообразующих частиц [2]:

$$d_{ci} < 0,77 \cdot J \cdot d_{cr} = \\ 0,77 \cdot 0,41 \cdot 0,083 = 0,026 \text{ мм,} \quad (7)$$

где J – коэффициент, учитывающий характер расположения мелких частиц внутри балласта и принимаемый равным $0,41$.

Как следует из п. 2, эти частицы будут свободно проходить и через геотекстильный материал. Более крупные суффозионные частицы будут откладываться в верхнем пятисантиметровом слое защитного слоя песка, одновременно принимая участие в формировании переходной зоны между балластом и защитным слоем песка.

2 Оценка эффективности действия защитного слоя

Изложенный способ защиты геотекстильного материала от кольматирования был апробирован на вновь строящемся II пути по направлению Гатчина – Войсковицы Октябрьской железной дороги. Защитный слой толщиной 10 см устраивали из песка следующего состава (после отсева фракции мельче $0,16 \text{ мм}$): $n = 0,32$; $d_{10} = 0,35 \text{ мм}$; $d_{17} = 0,40 \text{ мм}$;

$$d_{60} = 1,05 \text{ мм}; \eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 3,00. \text{ Оценку эффек-}$$

тивности действия защитного слоя песка проводили в такой последовательности. На выбранном участке в шпальном ящике на поверхности балласта устанавливали три металлические рамки. После того как в первую рамку было залито 38 л суспензии, во вто-

рую – 76 л, а в третью – 114 л, рамки извлекали. Балласт в месте установки каждой из рамок удаляли вручную до поверхности защитного слоя. Каждую рамку устанавливали на частично закольматированный через нее песок с целью определения его коэффициента фильтрации. Определение дало следующие результаты:

- исходное значение коэффициента фильтрации частично закольматированного защитного слоя из песка до начала опыта – 30 м/сут;

- через 5 лет – 1,72 м/сут;
- через 10 лет в среднем – 0,8 м/сут;
- через 15 лет в среднем – 0,8 м/сут.

Из полученных результатов следует, что коэффициент фильтрации в течение последних пяти лет практически не будет меняться. Последнее обусловлено тем, что коэффициент фильтрации в этом случае относится уже не к частично закольматированному слою песка, а к слою частиц, откладывающихся на сводообразующих частицах на поверхности защитного слоя песка. Учитывая, что максимальная суточная нагрузка от ливневых осадков однопроцентной обеспеченности равна 0,06 м/сут, защитный слой будет отводить в нижележащий закольматированный слой песка поступающую на его поверхность воду. Геотекстиль, извлеченный после окончания эксперимента из-под защитного слоя песка, практически совсем не изменил своих фильтрационных свойств. Следовательно, если при очередном ремонте, в рамках которого будет выполняться глубокая очистка или вырезка балластного слоя, вместе с загрязненным щебнем удалить и частично закольматированный слой песка толщиной 5 см, а затем оставшийся над геотекстилем слой песка восстановить до исходной толщины песком такого же состава или щебеночным балластом, то срок службы геотекстиля будет продлен до очередного ремонта. Если защитный слой не применять, то, как показали результаты выполненных ранее полевых обследований состояния геотекстилей, у которых расчетный диаметр фильтрационного хода равен 0,10 мм,

эти геотекстильные материалы будут полностью закольматированы в первые 10 лет.

Заключение

1. Кольматирование сверху частицами диаметром не более 0,05 мм будет незначительным и геотекстильный материал сохранит свои фильтрационные свойства в требуемых пределах в течение нормативного срока службы, если расчетное значение диаметра фильтрационного хода d_u^r данного материала удовлетворяет требованию $0,165 \text{ мм} \leq d_u^r \leq 0,220 \text{ мм}$.

2. Срок службы геотекстиля гарантированно увеличится, если наряду с укладкой геотекстильного материала на слой песка и присыпке его слоем песка толщиной не менее 10 см при очередном ремонте, в рамках которого будет выполняться глубокая очистка или вырезка балластного слоя, вместе с загрязнителями будет удаляться и частично закольматированный пятисантиметровый слой песка с последующим восстановлением чистым песком, близким по гранулометрическому составу к песку защитного слоя до исходной толщины.

Библиографический список

1. **Об оценке** пригодности геотекстильных материалов в качестве защитно-фильтрующих для дренажа / В.И. Штыков, А.Б. Пономарев // Тез. докл. междунар. симп. «Чистая вода России 2003», Екатеринбург, 14–18 апр. 2003 г. – Екатеринбург, 2003. – С. 33.

2. **Рекомендации** по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – Ленинград : Энергия, 1971. – 105 с.

3. **Исследование** фильтрационных свойств зернистых материалов, исходя из модели криволинейных фильтрационных ходов / В.И. Штыков // Вестн. Украин. гос. акад. водных ресурсов «Современные проблемы теории фильтрации». – Ровно, 1998. – С. 170–173.

УДК 656.022.5

А. М. ГорбачёвПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА РАСПИСАНИЙ
ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

Необходимость оперативно принимать решения и повышать эффективность работы обуславливают внедрение современных систем повременного и порейсового учета работы подвижного состава. Основным документом для организации учета подвижного состава является расписание движения. Построение расписания вручную занимает от нескольких часов до нескольких дней и является слабо формализованным процессом. Для автоматизации составления расписаний была разработана система автоматизированного построения расписаний движения трамваев и троллейбусов (САПР РДТТ). Программа строит расписания в различных режимах и формирует выходные документы на основе базы технической документации.

городской транспорт, расписание, автоматизация.

Введение

Высокие темпы технического прогресса и необходимость повышения эффективности работы предприятий городского электротранспорта побуждают к внедрению современных систем порейсового учета работы подвижного состава. При этом основным документом, который регламентирует работу транспортных средств на линии, является расписание движения (аналог графика движения на железной дороге).

Построение расписаний представляет собой длительный процесс: в зависимости от сложности расписания (число парков, число нарядов) – от нескольких часов до нескольких дней. Учитывая большое количество маршрутов (в общей сложности более 40 трамвайных и столько же троллейбусных), автоматизация этого процесса обеспечивает значительную экономию времени инженеров производственно-технических отделов.

Общепринятой формой представления расписания городского электрического транспорта в России является таблица, строками которой являются наряды движения, а в ячейках

содержится время прибытия и отправления с конечных станций и из парков (рис. 1).

Ручная технология построения расписаний представляет собой сложный итерационный процесс, отдельные этапы которого практически не формализованы, и результат в значительной мере зависит от квалификации составителя.

1 Технология построения расписаний**1.1 Исходные данные**

Исходные данные для построения расписания:

- $\{S\}$ – множество контрольных точек (парков, отстойных площадок и конечных станций), между которыми осуществляется движение (географическая информация и дополнительные атрибуты контрольных точек);
- $\{T\}$ – множество матриц, представляющих время хода по периодам суток между контрольными точками;
- $\{N\}$ – вектор, в котором содержится распределение подвижного состава по категориям. Категории определяют время работы на

САПР РДТТ: D:\projects\GET\Docs\2014\Расписания\раб+вых 11.02.13+16.02.13 база\ТМ_6_P_2013-02-11.txt

Файл Исходные данные Редактирование Настройки Расчет Книга пробегов Справка

100 %

	Тип	3	Вып.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Приб.	Прод. смены
	ЛМ	1р	0446	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	тестро	т.Ленин	Приб.	Прод. смены
1	ЛМ	1р	0446			0535	0651	0800	0923	1034	1211	1325	1501	1615	1736	1850	2018	2127				2230	0839/0905
						41		10		54		44		19	1906		41						
2	ЛМ	2б	1533											1626	1752	1906	2031	2139	2301	0008		0103	0930
														35		19		51		14			
3	ЛМ	2а	0457			0546	0702	0812	0935	1046	1223											1246	0749
						52		22		1106													
4	ЛМ	3р	0508			0557	0714	0824	0947	1058	1235	1349	1523	1637	1807	1921	2045	2153				2250	0841/0901
						0603		34		1118		1406		50		33	2201						
5	ЛМ	4б	1554											1647	1821	1933	2058	2206	2321			2341	0747
														1704		46		11					
6	ЛМ	4а	0519			0608	0725	0835	0959	1112	1247											1310	0751
						14		46		30													
7	ЛМ	6р	0530			0619	0736	0846	1012	1126	1259	1413	1545	1659	1835	1947	2110	2217				2312	0843/0859
						25		58		42		28		1718		59		23					
8	ЛМ	8а	0541			0630	0747	0857	1024	1138	1311											1334	0753
						36		0910		54													
9	ЛМ	10р	0552			0641	0758	0908	1039	1153	1323	1437	1607	1721	1849	2001	2124	2231	2346			0006	0845/0929
						47		23		1206		50		32		13		36					
10	ЛМ	5а	0522			0545	0652	0809	0919	1052	1206	1335										1358	0836
						58		36		18													
11	ЛМ	7р	0533			0556	0703	0823	0933	1105	1219	1348	1502	1628	1742	1903	2012	2137	2244			2338	0929/0836
						10		49		31		11		46		26		49					
12	ЛМ	8б	1612											1638	1752	1916	2025	2150	2257	0011		0031	0819
														1800		39		2301					
13	ЛМ	9ду	0544			0607	0714	0835	0945	1119	1233	1400										1423	0839
						22		1002		43													
14	ЛМ	11р	0555			0618	0725	0847	0957	1132	1246	1413	1527	1648	1802	1930	2039	2203	2310			0004	0932/0837
						34		1015		56		31		14		52		15					
15	ЛМ	12р	0606			0629	0738	0859	1009	1145	1259	1426	1540	1704	1818	1941	2050	2215	2322	0036		0056	0934/0916
						46		28		1309		47		27		2105		26					
16	ЛМ	5б	1646											1712	1826	1954	2103	2228	2335			0030	0744
														40		18		41					
17	ЛМ	13р	0617			0640	0749	0911	1021	1158	1312	1439	1553	1720	1834	2007	2116	2241	2348			0046	0936/0853
						58		41		22		1603		53		31		57					

Рис. 1. Таблица расписания движения

линии подвижного состава, количество смен в данном наряде и другие характеристики, относящиеся к режиму труда и отдыха (рис. 2).

Элементы в матрицах $\{T\}$ (время движения по периодам суток) уже содержат в себе всю необходимую информацию о плановых задержках в движении (время стоянки на остановках общественного транспорта, планируемые задержки, вызванные заторами в движении, и т. д.).

Использование в построении расписания дискретных значений времени (с точностью до минуты) по разным периодам суток ведет к появлению задачи обратного отсчета, т. е. задачи, когда необходимо рассчитать время отправления по заданному времени прибытия T_{dep} и матрицам из множества $\{T\}$. Учитывая,

что в $\{T\}$ значения дискретные, может оказаться, что в прошлом не существовало такого значения времени, при котором выполнялось бы равенство. Для решения этой задачи был разработан итерационный алгоритм, минимизирующий ошибку.

Применение при построении расписания показателя времени пробега между контрольными точками обусловлено необходимостью учета различных задержек в движении – прежде всего, заторов из-за движения электропоездов в общем потоке вместе с автомобилями. Это является одним из основных отличий исходных данных отечественной технологии построения расписаний от зарубежной. В частности, в Германии время пробега между конечными станциями маршрута является ве-

Рис. 2. Информация о подвижном составе по категориям

личиной, которую рассчитывает исходя из особенностей подвижного состава (допустимых скоростей), верхнего строения пути (уклонов, радиусов кривых и т. д.) и пассажиропотока, или – в упрощенном случае – на основе средних скоростей. Влияние заторов в движении, вызванных, прежде всего, потоком автомобильного транспорта, не учитывают в связи с тем, что рельсовый транспорт в Европе, как правило, движется по выделенным линиям.

Далее на основе множеств $\{S\}$, $\{T\}$ и $\{N\}$ и – при необходимости – дополнительной информации об организации движения строят таблицу расписания, т. е. рассчитывают значения времени прибытия на контрольные точки и отправления с них, исходя из равномерности интервалов между отправлениями с конечных станций и правилами предоставления различных типов стоянок (обедов, технических стоянок и т. д.).

1.2 Технология построения расписания

Перед построением расписания для обеспечения равномерности движения рассчитывают начальный интервал:

$$I = \frac{Tr + St1 + St2}{n}, \quad (1)$$

где I – рекомендуемый интервал; Tr – время пробега по трассе между первой и второй конечными станциями, которые содержатся в $\{T\}$; $St1$ и $St2$ – рекомендуемые стоянки на первой и второй конечных станциях, соответственно, являются атрибутами соответствующих конечных станций из множества $\{S\}$; n – число единиц подвижного состава, которые планируется выпустить утром из вектора $\{N\}$.

Далее организуют выпуск подвижного состава наутро с учетом рассчитанного начального интервала. Для этого выбирают приоритетную станцию выпуска для каждого парка – ту, которая расположена ближе всего к данному парку.

Время первого отправления для каждой конечной станции Tst рассчитывают как

$$Tst = \max (Tendstj; Tpist + RunTime (Tpist, Tij)), \quad (2)$$

где $Tendstj$ – время начала работы j -й станции; $Tpist$ – время начала работы i -го парка; $RunTime (Tstart, M)$ – функция прямого отсчета времени пробега от парка до конечной станции, в которой $Tstart$ – время начала отправления, M – соответствующая матрица

времени пробега; T_{ij} – матрица времени пробега между парком i и станцией j .

После выпуска первой единицы подвижного состава выпускают последующие с интервалом, равным начальному. Выпуск на линию из различных парков осуществляют исходя из необходимости обеспечения равномерных интервалов на линии (с учетом точки слияния парковых трасс с основой), принимая во внимание действующие ограничения (начало работы первой и второй конечных станций, открытие парков).

После выхода утром подвижной состав движется с равномерными интервалами до момента выпуска следующих категорий подвижного состава из множества $\{N\}$. Новые единицы подвижного состава выпускают в промежутках между транспортными средствами, работающими на линии, как правило, в полуинтервале.

При этом в середине рабочей смены (если смена не предполагает разрывов в работе) поездной бригаде (водителю и кондуктору) должен быть предоставлен обеденный перерыв. В связи с тем, что подвижной состав одной категории выпускался последовательно с заданным интервалом, обеденный перерыв, как правило, тоже предоставляется последовательно (во время одного и того же круга движения). Таким образом, возникает понятие серии обедов. Серия обедов – это последовательность перерывов водителей и кондукторов, как правило, подвижного состава одной категории. Наиболее типичными для трамвайных и троллейбусных расписаний являются серии утренних и вечерних обедов.

1.3 Проблема неравномерности интервалов движения

Во время обеденных перерывов поездных бригад подвижной состав простаивает на конечных станциях. Закрепление водителей за подвижным составом является еще одной важной технологической особенностью построения расписаний на постсоветском пространстве. Это связано, в первую очередь,

со значительным физическим и моральным устареванием вагонов и неравномерным качеством подвижного состава, эксплуатируемого на линии. Увеличенные стоянки во время перерывов создают неравномерные интервалы движения.

Для решения этой проблемы используют различные подходы: предоставляют сокращенные перерывы, входящие во время работы водителей и кондукторов для трамваев, выпускают на линию новые единицы подвижного состава взамен вставших на обед. Использование различных методов выравнивания интервалов на практике в различных сочетаниях ведет к тому, что процесс составления расписания становится эвристическим и неформализованным, когда решение об использовании того или иного метода составитель принимает в зависимости от индивидуальных особенностей расписания (например, возможность наложения спусков и выпусков подвижного состава для различных категорий) и квалификации самого составителя.

2 Автоматизация синтеза расписаний городского электротранспорта

2.1 Зарубежная и отечественная практика решения проблемы равномерности интервалов

В практике работы железных дорог и метрополитенов, а также на городском электрическом транспорте за рубежом (в частности, в Европе), отсутствует закрепление поездных бригад за подвижным составом: во время перерывов в работе одной бригады движением транспортного средства управляет другая бригада. В результате организации смен бригад интервалы в расписании могут быть одинаковыми на протяжении всего движения и регулироваться в зависимости только от пассажиропотока. Однако в этом случае большую сложность приобретает составление расписания водителей, появляется задача распределить поездные бригады по транспортным средствам и минимизировать число во-

дителей и кондукторов. Указанные различия в технологии составления расписаний в России и за рубежом обуславливают необходимость создания специализированного программного обеспечения для решения этой задачи.

Полное повторение ручной технологии построения расписания при создании алгоритмов автоматизированного и автоматического построения расписаний невозможно в силу разделения задачи на большое количество индивидуальных случаев и большой эвристической составляющей.

2.2 Алгоритмизация синтеза расписаний движения

Для решения задачи составления расписаний используют различные математические методы, подробнее изложенные в [1, 2]. Большинство этих методов основано на различных технологиях поиска и перебора вариантов, требующих значительных затрат машинного времени при выполнении расчетов.

Задачу построения разделили на две подзадачи: синтез структуры расписания и выравнивание интервалов. На первом этапе синтезируется структура расписания в соответствии с технологией ручного построения расписания, время прибытия рассчитывается исходя из времени пробега по трассе, время отправления – на основе рекомендуемых стоянок без учета требования равномерности интервалов, время выпуска подвижного состава из парков и спуска подвижного состава в парк – на основе рассчитанных значений прибытия и отправления с конечных станций.

На втором этапе выравнивают интервалы.

В цикле по каждой конечной станции для каждого времени отправления $Tdep_{ij}$, где i – номер наряда в таблице расписания, j – номер стоянки, рассчитывают новое значение времени отправления – такое, чтобы обеспечивать максимально равномерные интервалы по всему расписанию и выполнять ограничения сверху и снизу:

$$Tdep1 < Tnewdep_{ij} < Tdep2, \quad (3)$$

где $Tdep1$ – ограничение снизу (например, время отправления предыдущего транспортного средства с данного конечной станции); $Tdep2$ – ограничение сверху (например, время отправления следующего транспортного средства с данной конечной станции).

При этом отправки различных типов $Tnewdep_{ij}$ были распределены по группам в зависимости от приоритетов Pr . Приоритеты Pr назначают в зависимости от типа конечной станции. Конечные станции могут быть распорядительными, т. е. такими, на которых возможна относительно большая стоянка (как правило, около 5–10 минут), и оборотными (как правило, стоянка 0–2 минуты).

Максимальное значение приоритета Pr принимают для значений времени отправления с приоритетной распорядительной конечной станции на другую распорядительную или оборотную:

$$Pr(Tnewdep_{ij}) = \max, \quad (4)$$

где $Tnewdep_{ij}$ – время отправления с приоритетной распорядительной конечной станции.

Минимальное значение приоритета принимается для значений времени отправления с конечной станции в парк:

$$Pr(Tnewdep_{ij}) = \min,$$

где $Tnewdep_{ij}$ – время отправления с конечной станции в парк.

Значения отправок выравнивают в порядке снижения приоритетов.

После выравнивания времени отправок пересчитывают зависимые параметры: время прибытия на конечные станции, отправления из парков прибытий и т. д.

Указанные алгоритмы были реализованы в САПР РДТТ, где возможны следующие режимы построения расписания движения:

- ручной – пользователь вручную добавляет наряды и рейсы, автоматически рассчитывается только время пробега на основе $\{T\}$ и $\{S\}$;

- автоматизированный – пользователь вручную формирует структуру расписания, интервалы выравниваются автоматически;
- автоматический – пользователь задает $\{T\}$, $\{S\}$, $\{N\}$ и – при необходимости – дополнительную информацию об организации движения, а система автоматически формирует расписание движения.

Заключение

На основе построенного сотрудниками производственно-технического отдела службы движения ГУП «Горэлектротранс» расписания формируется более 50 различных документов, наиболее важными из которых являются «Водительская карточка», «Контрольные засечки», «Наряд выпуска подвижного состава» и некоторые другие. В числе прочего благодаря этим документам осуществляются сверки времени выхода подвижного состава с конечных станций и из парков, а также одно-временного предоставления обеденных перерывов на конечных станциях.

«Водительское расписание» (или «водительская карточка») является основным документом, на основе которого поездная бригада работает при движении по маршруту. При нынешней технологии построения расписаний с закреплением поездных бригад за транспортными средствами содержимое этого документа однозначно определяется расписанием.

Учитывая текущую потребность в импортозамещении, разработанная система полностью состоит из библиотек с открытым исходным кодом и компонент, права на которые принадлежат отечественным разработчикам.

САПР РДТТ используется в СПб ГУП «Горэлектротранс» для построения расписаний трамвайных и троллейбусных маршрутов с 2008 г. По результатам последних испытаний, проведенных сотрудниками производственно-технического отдела службы движения СПб ГУП «Горэлектротранс» совместно с разработчиками программы в 2013 г., производительность труда при составлении расписания повысилась в 6–8 раз в зависимости от типа расписания.

Библиографический список

1. **Искусственный** интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люггер. – Москва : Вильямс, 2005. – 864 с.
2. **Полиномиальный** алгоритм построения расписания грузовых перевозок одним локомотивом между тремя железнодорожными станциями / А. А. Карпычев. – URL: <http://www.orsot.ru/index.php/ru/blog/item/polinomialnyi-algoritm-postroeniya-raspisaniya-gruzovykh-perevozok-odnim-lokomotivom-mezhdu-tremya-zheleznodorozhnyimi-stantsiyami> (дата обращения 1.11.2014).

УДК 656.21

Ю. И. Ефименко, А. Г. ФилипповПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ОСОБЕННОСТИ ОБОСНОВАНИЯ РАЗВЯЗОК МАРШРУТОВ
В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Рассмотрены особенности проектирования развязок маршрутов в одном уровне и путепроводных развязок на подходах к узлам в условиях рыночной экономики, определен состав строительных затрат и эксплуатационных расходов для обоих вариантов. Ввиду того, что сооружение путепроводных развязок с большим углом пересечения путей обеспечивает наименьшую длину путепровода, но значительно увеличивает длину развязываемого подхода, установлена зависимость стоимости сооружения железнодорожной развязки от угла пересечения путей в двух уровнях. Также в статье сформулировано условие целесообразности перехода от развязки маршрутов в одном уровне к путепроводной развязке.

путепроводная развязка, пост-шлюз, развязка маршрутов, угол пересечения путей в разных уровнях, железнодорожный узел.

Введение

Современный этап развития теории обоснования проектных решений при проектировании развития и реконструкции объектов железнодорожной инфраструктуры характеризуется широким внедрением современных математических методов, прежде всего, имитационного моделирования с учетом реалий рыночных реформ. Это в полной мере может быть отнесено к обоснованию выбора наиболее целесообразного вида развязки маршрутов и подходов к железнодорожным узлам.

Известны три вида развязок маршрутов: в одном уровне в горловинах станций; в одном уровне с сооружением постов-шлюзов и в разных уровнях со строительством путепроводных развязок.

Последний вид развязок с эксплуатационной точки зрения является наиболее радикальным, позволяющим полностью исключить задержки подвижного состава на пересечении маршрутов, однако требует значительных капиталовложений и вызывает увеличение эксплуатационных расходов на тягу поездов

из-за увеличения пробега и изменения профиля подходов с применением крутых уклонов вплоть до руководящего для обеспечения разности уровней верха головок рельсов пересекающихся путей на путепроводах до 7,5 и более м.

Развязки маршрутов в горловинах станций за счет секционирования путей позволяют несколько снизить задержки, а сооружение постов-шлюзов задержек подвижного состава в целом не исключает, но позволяет устранить их полностью на основном ходу за счет увеличения задержек поездов, следующих на отклонение, поэтому сооружение постов-шлюзов может рассматриваться как промежуточный этап между развязками маршрутов в одном уровне без постов-шлюзов и пересечением в разных уровнях со строительством путепроводной развязки.

Для выбора варианта проектного решения необходимо предварительно определить капиталовложения в строительство путепроводной развязки, а также подсчитать эксплуатацион-

ные расходы при сохранении пересечения маршрутов в одном уровне и после ввода в строй путепроводной развязки.

1 Состав строительных расходов на сооружение путепроводных развязок

Стоимость сооружения путепроводной развязки будет складываться из стоимости трех составляющих:

- самого путепровода;
- сооружения подхода к путепроводу;
- земельного участка для строительства путепроводной развязки.

Все три элемента капиталовложений будут существенно зависеть от угла пересечения путей на путепроводе. При небольших углах увеличивается длина самого путепровода, но уменьшается длина подходов к путепроводу и площадь земли, занимаемая путепроводной развязкой (рис. 1). Кроме того, на стоимость сооружения путепроводной развязки будут влиять топография местности, геологические и гидрологические условия, застройка территории, выделяемой под строительство развязки, а также положение развязки по отношению к городу (в пределах или за пределами города). Последний фактор, определяющий кадастровую стоимость земли, может оказаться решающим при выборе варианта решения.

Он приобрел важное значение с переходом к рыночной экономике и с началом приватизации земельных участков в пригородных зонах.

Приближенная формула для оценки зависимости стоимости путепровода в зависимости от угла пересечения путей α , предложенная В. Н. Образцовым [1], имеет вид:

$$K_{\Pi} = A + B + C, \quad (1)$$

где A – стоимость пролетного строения путепровода; B – стоимость устоев; C – стоимость фундамента.

Согласно интернет-обзору, в настоящее время ориентировочная стоимость железобетона для пролетных строений может составлять 15 000 руб./м³, бутобетонной кладки опор выше обреза фундамента – 4000 руб./м³, фундамента при закладке его в открытом котловане при шпунтовом ограждении –

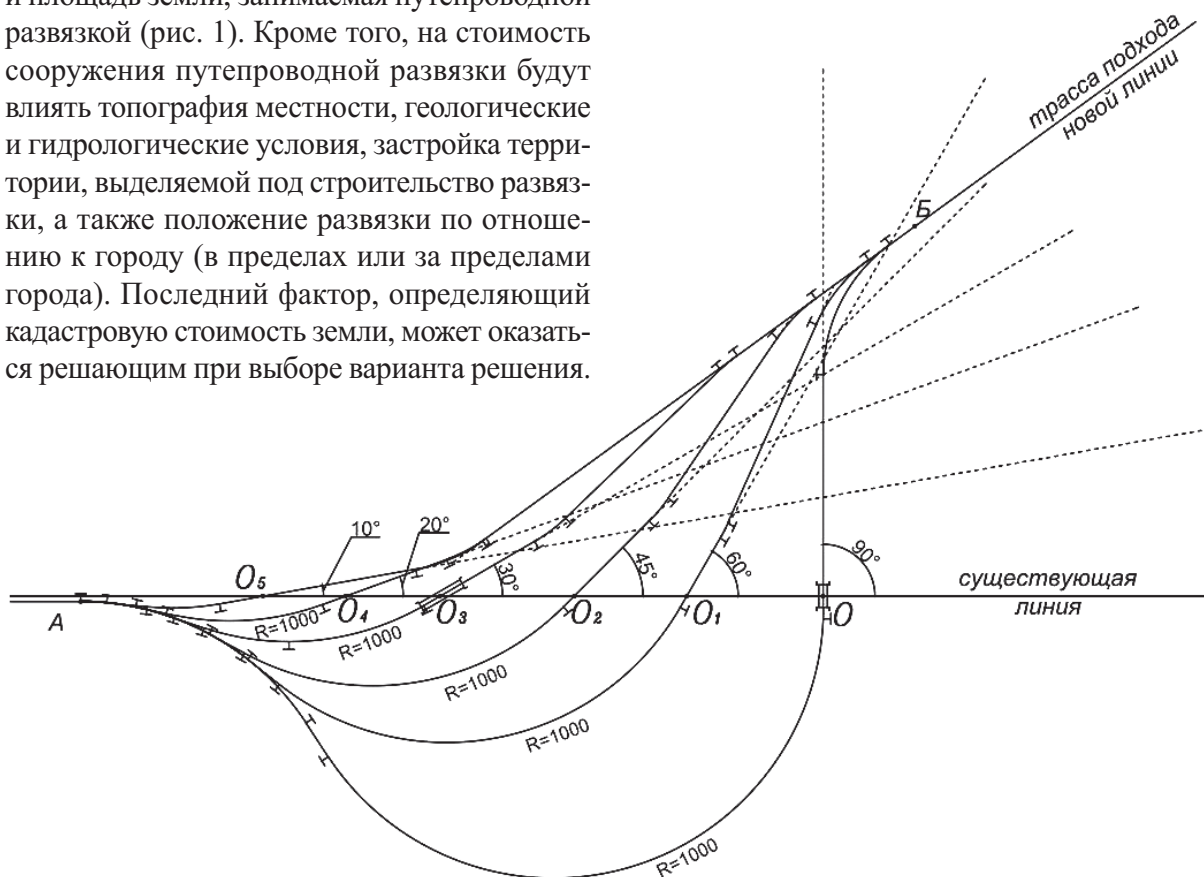


Рис. 1. Схема вариантов развязки при изменении угла пересечения путей

3500 руб./м³. С учетом этих данных значения элементов формулы (1) для путепровода при одном пути над одним:

$$A = 15000 \left(\frac{3,1}{\sin \alpha} + \frac{5,0}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \cdot 1,25; \quad (2)$$

$$B = 4000 \left(\frac{495,3}{\sin \alpha} + \frac{77,88}{\operatorname{tg} \alpha} \right); \quad (3)$$

$$C = 3500 \left(\frac{250,92}{\sin \alpha} + \frac{28,0}{\operatorname{tg} \alpha} + 6,08 \right). \quad (4)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Зависимость стоимости путепровода от угла пересечения путей в развязке

Угол пересечения путей в развязке $\alpha, ^\circ$	Стоимость путепровода S , млн руб.
10	19,68
15	13,17
20	9,93
25	8,00
30	6,73
35	5,83
40	5,16
45	4,65
50	4,25
60	3,68
90	2,94

Железнодорожный подход развязываемой линии к путепроводу может быть разделен на две части: от точки A – начала ответвления от станции (узла) – до точки O путепроводного пересечения и от точки O до точки B , находящейся за пересечением на трассе новой примыкающей линии (рис. 1). Длина первой

части подхода зависит от принятого радиуса кривой R и угла пересечения путей и может быть определена в соответствии с рис. 2 по формуле

$$L_1 = a + b + \pi R \left(\frac{2\beta + \alpha}{180} \right), \quad (5)$$

где a – прямая вставка между обратными кривыми, минимальная длина которой, согласно СТНЦ-01–95 [2], принимается равной 150 м плюс длина переходной кривой; b – прямой участок пути на путепровode, принимаемый не менее $e / \sin \alpha + T_b + l_{\pi} / 2$. Здесь e – величина междупутья; T_b – тангенс вертикальной кривой; l_{π} – длина переходной кривой в плане.

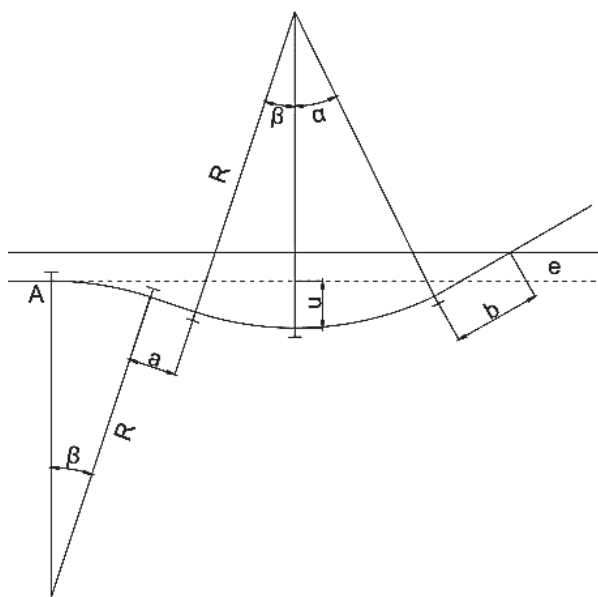


Рис. 2. Схема подхода к путепроводу

Для определения угла β необходимо предварительно рассчитать величину отклонения линии u от первоначального направления:

$$u = (T_b + l_{\pi} / 2) \sin \alpha + R(1 - \cos \alpha). \quad (6)$$

Тогда угол β может быть определен из формулы

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 + u(4R - u)}}{4R - u}. \quad (7)$$

В исследованиях [3–5] к расчету принимается лишь первая часть подхода к путепроводу, что приводит к погрешности в дальнейших расчетах. На наш взгляд, необходимо учитывать и вторую часть трассы от точки O до точки B (см. рис. 1), протяженность которой зависит от угла подхода новой железнодорожной линии к существующей. Общая длина подхода к путепроводу при примыкании новой линии под углом 36° представлена в табл. 2.

Для подсчета общей стоимости подходов к путепроводу необходимо знать стоимость земляных работ, верхнего строения пути и отвода земель под сооружаемую развязку. Объем земляных работ определен для двух типичных случаев: 1) проектируемая линия поднимается (опускается) над существующей на половину расчетной высоты путепровода (рис. 3а); 2) проектируемая линия поднимается (опускается) на полную высоту путепровода (рис. 3б). Расчетную высоту путепровода примем равной 7,50 м.

Объем земляных работ определим как среднее при ходе насыпью и выемкой. Ширину земляного полотна поверху примем равной 6,6 м, крутизну откосов – 1:1,5. Объемы земляных работ приведены в табл. 3.

Площади дополнительного отвода земель представлены в табл. 4.

2 Состав эксплуатационных расходов, подлежащих учету при обосновании целесообразности сооружения путепроводной развязки

При рассмотрении двух вариантов примыкания новой железнодорожной линии – с пересечением маршрутов в одном уровне (вариант 1) или в разных уровнях с сооружением путепроводной развязки (вариант 2) – в составе эксплуатационных расходов должны быть учтены следующие элементы эксплуатационных затрат.

Эксплуатационные расходы в первом варианте в общем виде будут:

ТАБЛИЦА 2. Зависимость общей длины участка подхода к путепроводу от угла пересечения путей и радиуса трассирования

Угол пересечения путей в развязке $\alpha, ^\circ$	Длина подхода L , м		
	$R = 600$ м	$R = 800$ м	$R = 1000$ м
10	3117,27	3299,95	3479,58
15	3092,23	3307,44	3528,65
20	3030,92	3306,79	3552,25
25	3022,32	3326,51	3627,18
30	2972,26	3312,23	3665,26
35	2929,84	3316,25	3707,11
40	2946,75	3380,81	3811,57
45	2966,82	3439,07	3918,05
50	2987,85	3502,33	4018,56
60	3088,91	3690,24	4285,18
90	3643,75	4458,98	5309,00

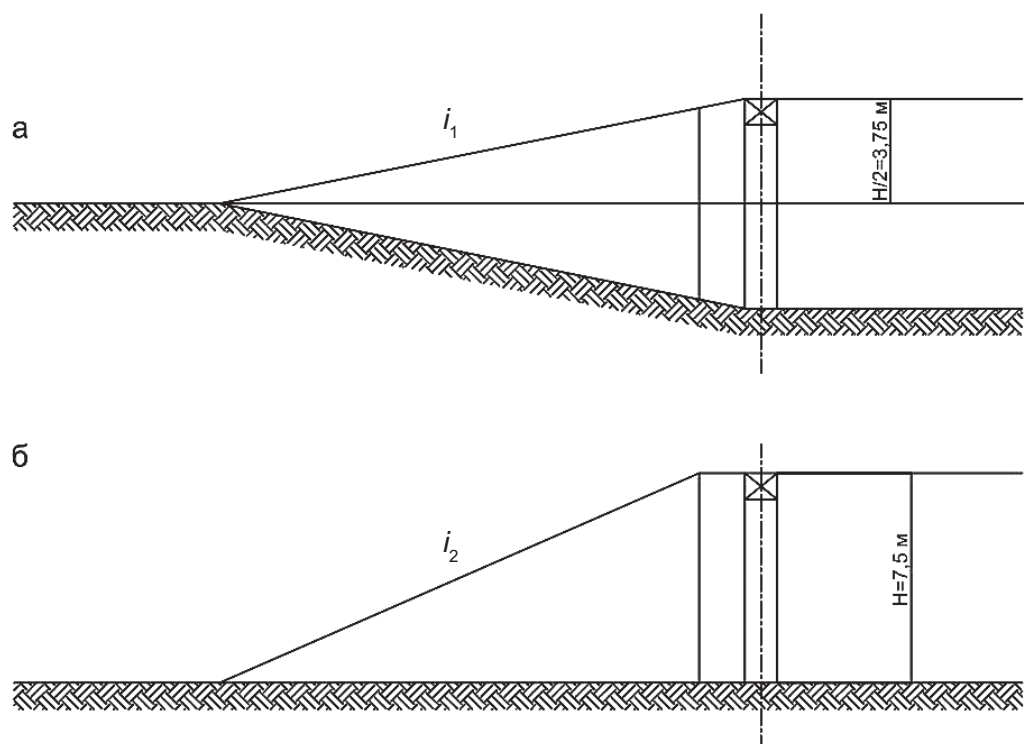


Рис. 3. Схема профиля путепроводной развязки:
а) при подъеме проектируемой линии на половину расчетной высоты;
б) на расчетную высоту

ТАБЛИЦА 3. Объемы земляных работ при сооружении подхода
путепроводной развязки

Угол пере- сечения $\alpha, ^\circ$	R = 600 м			R = 800 м			R = 1000 м		
	Длина подхода L, м	Объем, м ³		Длина подхода L, м	Объем, м ³		Длина подхода L, м	Объем, м ³	
		При H/2 = 3,75 м	При H/2 = 7,50 м		При H/2 = 3,75 м	При H/2 = 7,50 м		При H/2 = 3,75 м	При H/2 = 7,50 м
10	3117	71 454	208 662	3300	75 641	220 890	3480	79 759	232 915
15	3092	70 880	206 986	3307	75 813	221 392	3529	80 883	236 199
20	3031	69 474	202 882	3307	75 798	221 348	3552	81 424	237 779
25	3022	69 277	202 306	3327	76 250	222 668	3627	83 142	242 794
30	2972	68 130	198 956	3312	75 922	221 712	3665	84 015	245 344
35	2930	67 157	196 116	3316	76 015	221 981	3707	84 974	248 145
40	2947	67 545	197 248	3381	77 495	226 303	3812	87 368	255 137
45	2967	68 005	198 591	3439	78 830	230 203	3918	89 809	262 264
50	2988	68 487	199 999	3502	80 280	234 437	4019	92 113	268 992
60	3089	70 804	206 764	3690	84 587	247 016	4285	98 224	286 839
90	3644	83 522	243 904	4459	102 208	298 473	5309	121 692	355 371

ТАБЛИЦА 4. Площади дополнительного отвода земель под сооружаемую развязку

Угол пересечения $\alpha, ^\circ$	R = 600 м		R = 800 м		R = 1000 м	
	Длина подхода L, м	Площадь отвода земель, га	Длина подхода L, м	Площадь отвода земель, га	Длина подхода L, м	Площадь отвода земель, га
10	3117	9,35	3300	9,90	3480	10,44
15	3092	9,28	3307	9,92	3529	10,59
20	3031	9,09	3307	9,92	3552	10,66
25	3022	9,07	3327	9,98	3627	10,88
30	2972	8,92	3312	9,94	3665	11,00
35	2930	8,79	3316	9,95	3707	11,12
40	2947	8,84	3381	10,14	3812	11,43
45	2967	8,90	3439	10,32	3918	11,75
50	2988	8,96	3502	10,51	4019	12,06
60	3089	9,27	3690	11,07	4285	12,86
90	3644	10,93	4459	13,38	5309	15,93

$$C_1 = C_{1\text{тс}} + C_{1\text{ам}} + C_{1\text{тяг}} + C_{1\text{зд}}, \quad (8)$$

где $C_{1\text{тс}}$ – расходы на текущее содержание пути и стрелочных переводов в варианте с пересечением маршрутов в одном уровне; $C_{1\text{ам}}$ – амортизационные отчисления на земляное полотно и верхнее строение пути; $C_{1\text{тяг}}$ – расходы на тягу поездов в сравниваемых границах; $C_{1\text{зд}}$ – эксплуатационные потери, связанные с задержками подвижного состава из-за враждебности маршрутов, включающие непроизводительные простои, а также дополнительные разгоны и торможения поездов (при их наличии).

Во втором варианте эксплуатационные расходы определяются из выражения

$$C_2 = C_{2\text{тс}} + C_{2\text{ам}} + C_{2\text{тяг}} + C_{\text{нал}}, \quad (9)$$

где $C_{2\text{тс}}$ – расходы на текущее содержание пути подхода и путепровода в тех же границах, что и в первом варианте; $C_{2\text{ам}}$ – амортизационные отчисления на земляное полотно, верхнее строение пути и путепровод; $C_{2\text{тяг}}$ – расходы на тягу поездов при наличии путепроводной развязки; $C_{\text{нал}}$ – расходы на аренду

или налоговые отчисления за дополнительный земельный участок, использованный для сооружения путепроводной развязки.

В связи с тем, что сооружение путепроводной развязки вызывает удлинение подходов к узлу, а также дополнительный отвод земель и усложнение профиля по сравнению с первым вариантом, расходы по текущему содержанию и амортизации устройств подхода будут выше, чем в первом варианте. Кроме того, появятся дополнительные расходы, связанные с налогом на землю или арендной платой за дополнительную площадь используемых земель. Однако во втором варианте отсутствуют задержки подвижного состава на пересечениях маршрутов, что помимо экономического эффекта обеспечит повышение безопасности движения поездов и маневровой работы.

В первом же варианте решения рассмотрены меньшие расходы на содержание постоянных устройств, амортизационные отчисления и плата за пользование землей. Вместе с тем возникнут задержки подвижного состава из-за враждебности маршрутов, определение которых представляет довольно сложную

задачу, которая в каждом конкретном случае может быть решена только методом имитационного моделирования.

Сооружение путепроводной развязки может оказаться целесообразным не сразу при примыкании нового подхода к узлу, а на определенном году эксплуатации t , когда расходы, связанные с задержками поездов из-за враждебности маршрутов, превзойдут дополнительные затраты на строительство и эксплуатацию путепроводной развязки. Срок целесообразности перехода от развязки маршрутов в одном уровне к путепроводной развязке может быть определен согласно теории этапного развития из выражения [6]

$$E\Delta K_2 \leq C_{t+1,1} - C_{t+1,2}, \quad (10)$$

где E – норма дисконта; ΔK_2 – дополнительные капиталовложения на сооружение путепроводной развязки; $C_{t+1,1}$, $C_{t+1,2}$ – эксплуатационные расходы по вариантам в год эксплуатации $t+1$.

Заключение

При определении состава строительных затрат на сооружение путепроводной развязки необходимо учитывать стоимость сооружения путепровода, подхода к нему и выделяемого для строительства земельного участка. Значительное влияние на перечисленные элементы

капитальных вложений будет оказывать угол пересечения путей на путепроводе. При этом сооружение путепроводной развязки станет оправданным в тот год эксплуатации, когда расходы, связанные с задержками поездов из-за враждебности маршрутов, превзойдут дополнительные затраты на строительство и эксплуатацию путепроводной развязки.

Библиографический список

1. **Туннельные** путепроводы при проектировании узлов и станций / В.Н. Образцов // Избр. труды : в 3 т. / ред. комиссия : д-р техн. наук проф. Ф.И. Шаульский и др. ; библиогр. очерк Ф.И. Шаульского ; Акад. наук СССР. Т. 1. – Москва, 1957. – С. 374–387.
2. **Строительно-технические** нормы МПС РФ : Железные дороги колеи 1520 мм : СТН Ц-01-95 / утв. МПС РФ 25.09.1995 г. – Москва : МПС РФ, 1995. – 86 с.
3. **Выбор** оптимального угла пересечения путей в развязках железнодорожных узлов / А.М. Корнаков. – Москва : Б.и., 1958. – 46 с.
4. **Развязки** железнодорожных линий в узлах / А.М. Корнаков. – Москва : Трансжелдориздат, 1962. – 154 с.
5. **Путепроводы** / В. Маркович, А. Мочилин // Тр. МИИТ. – Вып. VIII. – Москва, 1928.
6. **Обоснование** этапности развития железнодорожных станций и узлов : дис. ... д-ра техн. наук / Ю.И. Ефименко. – Санкт-Петербург : ПИИТ, 1992. – 394 с.

УДК 004.896

Р. А. КовалёвПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ПОИСКА МАРШРУТОВ ПРИ СИНТЕЗЕ ТАБЛИЦ
ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ ПО СХЕМАТИЧЕСКОМУ ПЛАНУ СТАНЦИИ**

В статье рассмотрен основной алгоритм поиска обобщенных маршрутов по схематическому плану станции, используемый при синтезе поездных (маршрутов приема, передачи, отправления, пропуска), маневровых и составных маршрутов. Под обобщенным маршрутом понимается последовательность элементов станции, участвующих в передвижении поездного состава. Описан процесс преобразования входных данных в модель, используемую алгоритмом, и показан пример его работы. Описание алгоритма выполнено с помощью дополненной автором логической схемы алгоритмов (ЛСА) и может быть реализовано на любом Тьюринг-полном языке программирования.

таблица взаимозависимостей (ТВЗ), алгоритм синтеза, электронный документооборот, схематический план станции, ЛСА.

Введение

Под ТВЗ понимается таблица взаимозависимостей, в которую входят следующие данные:

- таблица маршрутов и показаний световых сигналов,
- таблица негабаритных секций и охранных стрелок,
- расчет переезда на станции,
- таблица стрелок, которые дополнительно замыкаются для предотвращения их взреза при угловых заездах,
- таблица стрелок, имеющих замедление на размыкание или оборудованных автовозвратом в исходное положение.

При составлении ТВЗ необходимо соблюдать определенную последовательность действий, которая описывается в алгоритме синтеза ТВЗ, где отдельные расчеты разделены по программным модулям, а основной алгоритм производит последовательный вызов интерфейсов этих модулей. Такая модульная система позволяет разрабатывать отдельные виды синтеза, реализующие заранее принятые соглашения (интерфейсы), независимо

от остальных, а также в некоторой степени упрощает тестирование алгоритмов.

1 Модель данных

Построение алгоритма стало возможным благодаря представлению данных схематического плана станции в виде типизированного документа в формате XML [1], в котором явно разделены различные виды составляющих элементов схематического плана. Таким образом, графическая часть является дополнительной составляющей к логической модели схематического плана и именно логическая модель используется в дальнейшем для работы алгоритма (рис. 1).

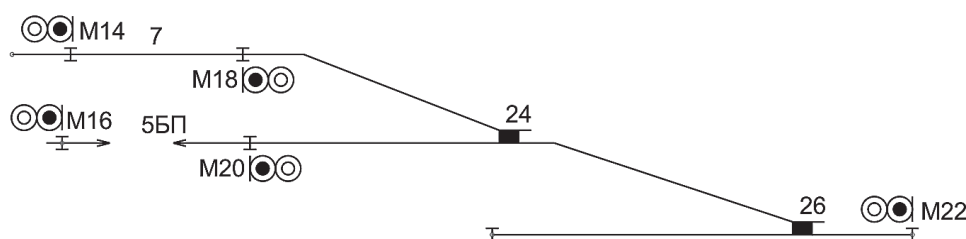
Графическая часть документа упускает часть информации для наглядности (рис. 2). При этом специализированные редакторы позволяют создавать и изменять документы таким образом, как будто пользователь работает с графическим изображением документа и набором атрибутов для каждого отдельного примитива или группы примитивов.

```

<SSP: Светофор id="39" Парк="1" ВводПараметров="с БДКП" МестоУстановки="справа"
  Марка="Св2-карл-Ч-Ж/Б Ф" ТипСветофора="линзовый" НазначениеСвет="маневровый"
  ТипМачты="отсутствует" КолОгней="2">
<SSP: Показание Номер="10" Показ="синий" Мигание="нет" ДвухнитеваяЛампа="нет" Символ="
  " ИспКакПригл="нет"/>
<SSP: Показание Номер="11" Показ="белый" Мигание="нет" ДвухнитеваяЛампа="нет" Символ="
  " ИспКакПригл="нет"/>
</SSP: Светофор>

```

Рис. 1. Фрагмент описания входных данных

Рис. 2. Фрагмент схематического плана станции.
Графическое представление

Для функционирования разрабатываемого алгоритма недостаточно описания только графической и логической составляющей каждого примитива. Необходимо представить исходные данные в виде строго формализованной модели с определенными правилами взаимодействия элементов внутри нее. В качестве такой модели была разработана иерархическая структура данных, представляющая собой иерархию графов (рис. 3).

Представленная на рис. 3 модель является графом первого уровня разработанной структуры данных. Вершины графа – модели, основанные на элементарных составляющих документа схематического плана станции, а дуги графа – логические связи между этими моделями. Граф является ориентированным.

При графическом отображении графа первого уровня опускаются пути, не имеющие наименования, а для вершин выводится наименование или – если наименование не указано – другая идентификационная информация.

Обозначив оргграф первого уровня G_1 , можно ввести следующие обозначения:

$$G_1 = (V, E);$$

V – множество вершин; (1)

E – множество пар вершин
 $(u, v) \in V, (u, v) \neq (v, u)$.

Граф G_1 служит основой для графа второго уровня G_2 (рис. 4) и состоит из вершин, описывающих секции однопутного плана станции и ребер, описывающих изолирующие стыки. Таким образом, каждая вершина графа G_2 представляет собой фрагмент графа G_1 .

Для наглядности $G_2 \ni G_1$ на рис. 4.

2 Описание алгоритма

Необходимо выделить несколько условий, которые должны соблюдаться в разрабатываемом алгоритме. Основное из них – соблюдение последовательности действий при построении ТВЗ. В качестве примера можно привести утверждение, что для определения показаний светофоров необходимо иметь по-

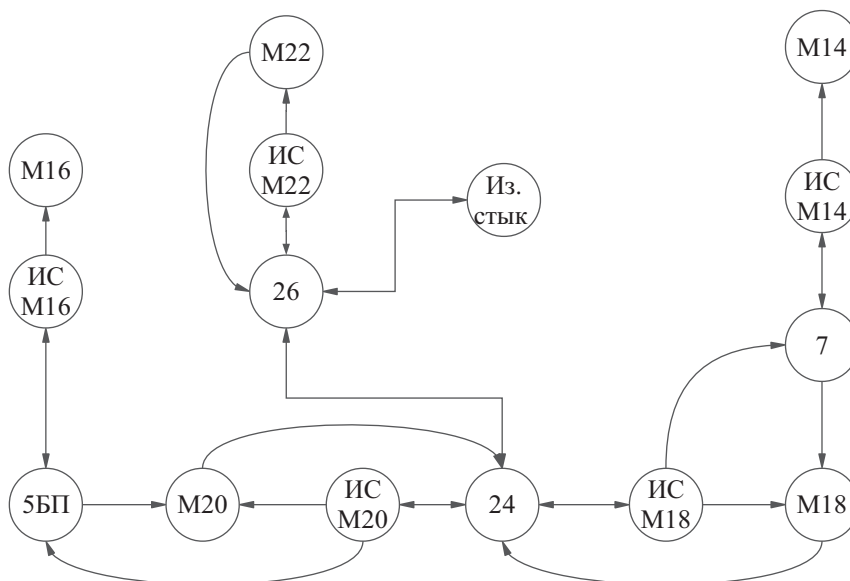
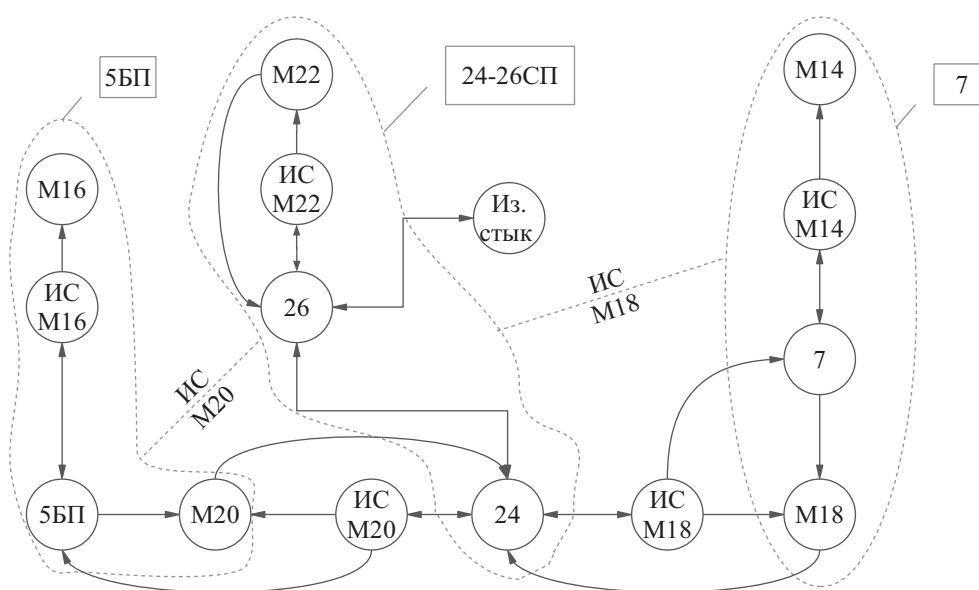


Рис. 3. Отображение фрагмента схематического плана станции в виде графа

Рис. 4. Граф второго уровня G_2

строенные маршруты. В результате можно составить следующую общую схему алгоритма:

1. Построение графов G_1 и G_2 ;
2. Поиск поездных и маневровых маршрутов;
3. Составление маршрутов безостановочного пропуска на основании поездных маршрутов;

4. Составление таблицы показаний светофоров в поездных и маневровых маршрутах;

5. Поиск случаев охранности и негабаритности;
6. Поиск переездов и расчет переездной сигнализации;
7. Поиск враждебных маршрутов;
8. Составление таблицы угловых заездов.

Для построения маршрутов реализован алгоритм поиска в глубину по графу [2]. Вначале выбираются первичные вершины поиска. Из каждой первичной вершины производится посекционный поиск вглубь. При прохождении секции, удовлетворяющей условиям поиска, пройденная цепочка секций запоминается, и при необходимости поиск может быть продолжен. Поиск заканчивается при достижении вершин графа, для которых нет исходящих ребер или все исходящие ребра ведут на вершины, уже пройденные в данной цепочке поиска.

Для описания алгоритма необходимо ввести следующие обозначения:

V_1 – множество вершин G_1 ;

V_2 – множество вершин G_2 .

Алгоритм описан с помощью ЛСА [3]. Для упрощения восприятия предлагается дополнить описание алгоритма специальными операторами, не входящими в классическое ЛСА:

- оператор привязки «*let [name, value]*». Этот оператор является эквивалентом математического равенства вида $f(value) = name$ и позволяет явно указать глобальные переменные и алгоритмы в описании взамен их упоминания в описаниях операторов ЛСА;

- «*map.a [b, value]*» – итеративный оператор накопления по пронумерованному множеству «*b*»; «*a*» – i -й элемент множества на i -й итерации. Накапливаемым результатом является множество $R = \{x\}$, формируемое на каждой итерации путем вызова оператора $A(x_i)$;

- «*mapc.a [b, value]*» – итеративный оператор накопления, идентичный оператору «*map*», но объединяющий результаты вызова $A(x_i)$ в одно множество.

$A(a)$ – передача аргумента «*a*» оператору накопления;

$B(G, v)$ – множество ребер графа G вида $u[v, k]$, где $v \in V, k \in V, V$ – множество вершин графа G ;

$C(u)$ – вершина v графа G_2 , в состав которой входит вершина v_2 графа G_1 при условии, что $u = (v_1, v_2)$;

$D(S)$ – проверка множества S на равенство пустому множеству;

$p_1(v)$ – проверка v по критериям начального элемента маршрута;

$p_2(v)$ – проверка v по критериям конечного элемента маршрута;

$p_3(v)$ – критерий продолжения поиска.

Алгоритм в терминах дополненного ЛСА приведен на рис. 5.

Пример работы алгоритма приведен на рис. 6.

Вычислительная сложность алгоритма $O = (V + E)$. Поиск сначала выполняется по графу G_2 , затем по полученным результатам строятся маршруты, содержащие вершины графа G_1 . Это позволяет значительно увеличить производительность поиска, а также дает возможность хранить информацию о секциях, участвующих в маршрутах, необходимую в других алгоритмах синтеза.

Заключение

С внедрением электронного документооборота появляется возможность автоматизировать многие технологические процессы, связанные с обработкой и созданием технической документации. Одним из наиболее сложных и ответственных процессов является

$$\begin{aligned} &let[V_1', map.a[V_1, \bar{p}_1(a) \uparrow^1 A(a) \downarrow^1 .]] \\ &let[U_1, mapc.a[V_1', B(G_1, a)]] \\ &let[S_1, map.a[U_1, C(a)]] \\ &let[Alg_1(S), D(S) \uparrow^2 map.a[S, p_2 \uparrow^3 \downarrow^4 Alg_1(B(G_2, a)) \downarrow^3 A(a) p_3 \uparrow^4 \downarrow^2 .]] \\ &Alg_1(S_1) \end{aligned}$$

Рис. 5. Алгоритм поиска маршрутов по графам G_2 и G_1

УДК 629.4.023

Х. Р. КосимовПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ РАМЫ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M
И ОЦЕНКА ЕЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА**

Проблема оценки возможного продления ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава после выработки ими назначенного ресурса на Узбекской железной дороге возникла в последние годы в связи с увеличивающейся потребностью в железнодорожных перевозках. Увеличение скорости движения на железнодорожном транспорте и массы поездов ведут к росту динамических воздействий на ходовую часть и выдвигают повышенные требования для несущих конструкций подвижного состава, в частности, для рам тепловоза. Статья посвящена моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза.

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

Введение

Основной задачей железнодорожного транспорта любой страны является полное удовлетворение ее потребности в перевозках народно-хозяйственных грузов и пассажиров. Увеличение скоростей движения на железнодорожном транспорте, массы поездов и грузоподъемности ведут к росту динамических воздействий на ходовую часть и выдвигают повышенные требования к несущим конструкциям подвижного состава, в частности, к рамам тепловоза [1]. Проблема оценки остаточного ресурса несущих конструкций после выработки ими назначенного ресурса возникла в последние годы в связи с продлением срока службы подвижного состава [2]. Она потребовала нового подхода к ее решению, в частности, исследования механических и усталостных характеристик материала несущих конструкций и сопротивления усталости самих деталей после их длительной эксплуатации, обоснования влияния экстремальных условий нагружения, физического состояния деталей на их напряженное состояние, а также поиска альтернативного метода оценки их остаточного ресурса.

В сложившейся ситуации, когда потребности дорог в обновлении локомотивного парка ограничиваются их финансовыми возможностями, значительно возрастает роль ремонта и модернизации как способа поддержания тяговой техники в работоспособном состоянии.

Решить проблему можно не только постепенным обновлением парка за счет поставок новых локомотивов, но и продлением срока службы части парка с помощью капитальных ремонтов, в том числе с модернизацией [3].

Наш расчет выполнен с целью оценки прочности рамы тепловоза UzTE16M, предъявляемого на продление срока службы, с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании. Расчет проведен в соответствии с «Нормами для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм [4]. Прочность рамы в соответствии с «Нормами...» оценивается при I и II режиме:

- I – условный режим безопасности; учитывает возможность возникновения значительных продольных сил, обусловленных

маневровой работой, транспортировкой и аварийными соударениями;

- II – эксплуатационный режим; учитывает силы, действующие на кузов при разгоне поезда до конструкционной скорости, движении на выбеге или торможении с этой скорости при прохождении кривой.

1 Исходные данные для расчета

Схема нагружения рамы тепловоза UzTE16M и расчетная схема нагрузок, действующих на раму, приведены в [5].

Толщина элементов принимается с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании.

Элементы рамы изготовлены из стали 09Г2С с пределом текучести $[\sigma]_T = 295$ МПа [4].

Допустимые напряжения для I режима определяются согласно [4]: $[\sigma]_I = 0,9 [\sigma]_T = 265,5$ МПа.

Для второго расчетного режима допустимые напряжения принимаются равными 190 МПа.

2 Расчетная схема рамы и принятые допущения

В соответствии с рекомендациями «Норм...» расчет производится методом конечных элементов с использованием известного конечно-элементного пакета ANSYS Workbench версии 12.1. Элементы рамы имитировались объемными квадратичными конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле [6].

Кузов тепловоза и размещенное на нем оборудование моделировались точечными массами с соответствующими характеристиками.

Конечно-элементная модель (рис. 1) включает 116 060 элементов и 473 945 узлов.

3 Расчет на прочность

Сочетание нагрузок, действующих на элементы конструкции рамы при I и II расчетном режиме, определяется в соответствии «Нормами...». При расчете по I режиму принимается следующее сочетание:

- сила тяжести рамы, кузова и оборудования;
- продольная сила инерции рамы, кузова и оборудования (определяется исходя из ускорения массы тележки вдоль оси пути, $3g$);
- продольная сила, приложенная по осям автосцепки (2500 кН).

При расчете по II режиму принимается следующее сочетание нагрузок:

- сила тяжести рамы, кузова и оборудования;
- вертикальная динамическая сила от колебаний кузова на рессорном подвешивании (определяется умножением силы тяжести кузова на коэффициент вертикальной динамики);
- вертикальная составляющая продольной силы инерции кузова;
- центробежная сила;
- сила давления ветра;
- продольная сила инерции рамы, кузова и оборудования;
- продольная сила, приложенная к хвостовой автосцепке локомотива.

Коэффициент вертикальной динамики в соответствии с «Нормами...» определяется по формуле

$$K_D = \left(\frac{0,006}{f_{ст}} - 0,004 \right) \sqrt{V}, \quad (1)$$

где V – конструкционная скорость движения, м/с; $f_{ст}$ – статический прогиб подвешивания, м.

Вертикальная составляющая (добавка) на кузов от продольной силы инерции определяется по формуле

$$\Delta P = P_{ик} \cdot \frac{h_k}{2L}, \quad (2)$$

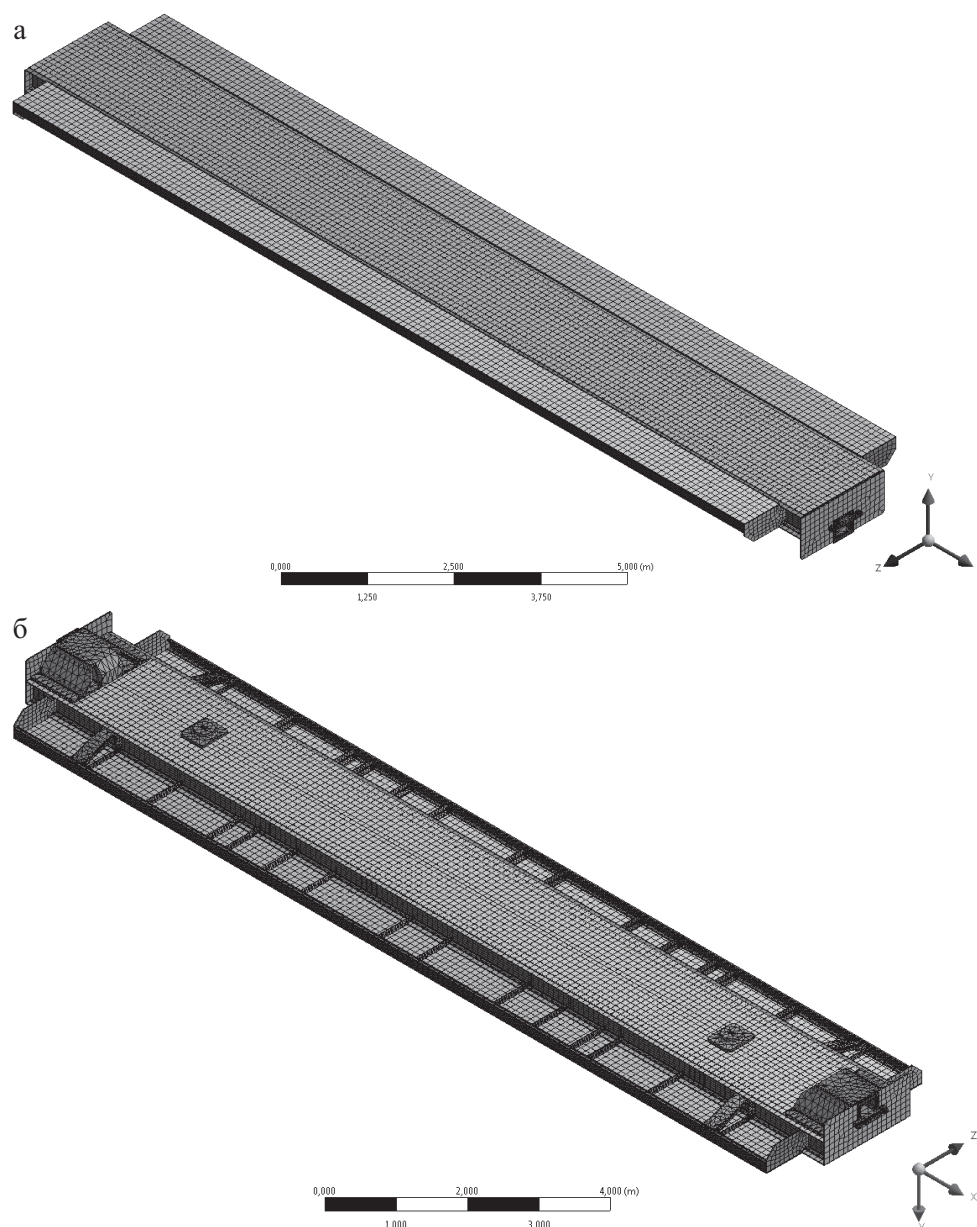


Рис. 1. Конечно-элементная модель рамы:
а) вид сверху; б) вид снизу

где $P_{ик}$ – сила инерции кузова брутто; h_k – расстояние от центра тяжести кузова до плоскости опор на тележку; $2L$ – база кузова.

Центробежная сила определяется отдельно для кузова исходя из непогашенного ускорения $0,7 \text{ м/с}^2$ [4]. Равнодействующая центробежной силы прикладывается в центре тяжести кузова.

Сила давления ветра определяется из расчета удельного давления ветра, равного 500 Н/м^2 , на боковую проекцию кузова [4]. Равнодействующая боковой силы прикладывается к центру площади боковой проекции кузова.

Силы инерции, действующие на отдельные узлы и элементы локомотива, приклады-

ваются в центрах тяжести их масс и определяются по формуле

$$P_{ni} = F_A \cdot \frac{m_i}{M}, \quad (3)$$

где F_A – продольная сила; m_i – масса узла или элемента экипажа; M – масса локомотива.

Продольная сила, приложенная по осям автосцепки, согласно «Нормам...» составляет 700 кН.

Были получены напряжения, возникающие в элементах конструкции рамы при I и II расчетных режимах [4]. Их максимальные эквивалентные напряжения представлены в табл. 1, распределение эквивалентных напряжений – на рис. 2.

4 Оценка сопротивления усталости

Для увеличенного суммарного срока службы рамы $T_p = 35$ лет согласно «Нормам...» проведена оценка усталостной прочности по коэффициенту запаса сопротивления усталости:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K\sigma_v + \psi\sigma_m} \geq [n], \quad (4)$$

где n , $[n]$ – расчетное и допустимое значения коэффициента запаса сопротивления усталости, соответственно; σ_{-1} – предел выносливости гладкого стандартного образца из стали

09 Г2 С (принят 210 МПа); σ_v – амплитуда напряжений цикла (переменная составляющая при движении с конструкционной скоростью, находится как сумма напряжений от веса брутто, умноженных на коэффициент динамики и напряжений от сил инерции продольной динамики); σ_m – среднее напряжение цикла (напряжения от веса брутто); ψ – коэффициент, характеризующий чувствительность металла к асимметрии цикла, для растянутых волокон принят равным 0,3; K – коэффициент концентрации, учитывающий понижение сопротивления усталости, определяется по формуле

$$K = \beta_K \frac{k_1 \cdot k_2}{\gamma \cdot m}, \quad (5)$$

где β_K – эффективный коэффициент концентрации напряжений, учитывающий форму детали, $\beta_K = 1$; k_1 – коэффициент, учитывающий неоднородность материала детали, $k_1 = 1,1$; k_2 – коэффициент, учитывающий внутренние напряжения в детали, $k_2 = 1,05$; γ – коэффициент, учитывающий влияние абсолютных размеров, $\gamma = 0,7$; m – коэффициент, учитывающий состояние поверхности детали, $m = 0,8$.

Таким образом, коэффициент концентрации $K = 2,06$.

Результаты расчета приведены в табл. 2.

Допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости принимался $[n] = 2$. Усло-

ТАБЛИЦА 1. Максимальные напряжения в элементах конструкции рамы

Элемент	Максимальные эквивалентные напряжения, МПа	
	I режим	II режим
Хребтовая балка в центральной части	39	79
Хребтовая балка в консольной части	175	69
Шкворневая балка в зоне соединения с хребтовой	197	146
Промежуточная балка	100	52
Лобовая балка	148	15

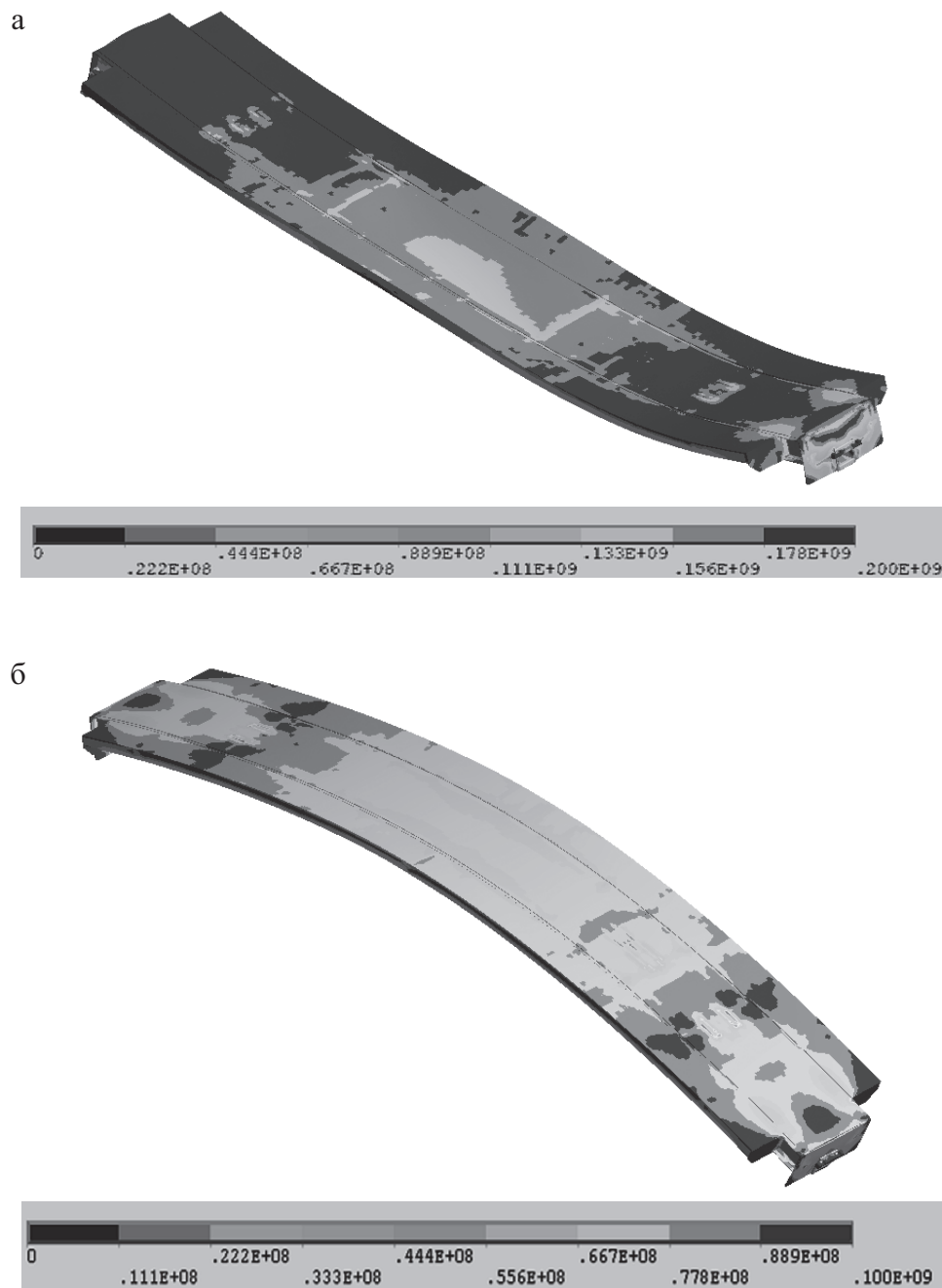


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений, Па:
а) при I режиме; б) при II режиме

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета усталостной прочности

Зона	Шкворневая балка в зоне соединения с хребтовой	Хребтовая балка в центральной части	Лобовая балка
σ_v	29	23	33
σ_m	52	41	10
n	2,8	3,5	3,0

вие прочности $n \geq [n]$ выполнялось для всех зон.

Прочность рамы тепловоза UzTE16M обеспечена на расчетный суммарный срок службы с учетом срока продления 35 лет.

Заключение

Проведен расчет на прочность рамы тепловоза UzTE16M, предъявляемого на продление срока службы, с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании.

Также оценена усталостная прочность на суммарный срок службы с учетом срока продления 35 лет.

По результатам расчетов на прочность можно сделать вывод, что прочность рамы тепловоза UzTE16M, предъявляемого на продление срока службы, с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании, удовлетворяет требованиям «Норм...». Расчет сопротивления усталости показал, что усталостная прочность рамы тепловоза UzTE16M обеспечена на 35 лет.

Библиографический список

1. **Оценка** остаточного ресурса рам тележек тепловозов : дисс. ... канд. техн. наук / Н. С. Зайнидинов. – Санкт-Петербург, 2010. – 164 с.
2. **Тепловоз 2 ТЭ116** / С. П. Филонов, А. И. Гибалов. – Москва, 1985. – 328 с.
3. **Разработка** технологий освидетельствования и восстановления рам тепловоза серии UzTE16M для продления срока их службы : отчет по науч.-исследоват. работе. – Ташкент : ТашИИТ, 2007. – 67 с.
4. **Теория** и конструкция локомотивов / В. А. Симонов ; под ред. Г. С. Михальченко. – Москва : Маршрут, 2006. – 584 с.
4. **Нормы** для расчета и оценка прочности несущих элементов динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – Москва : ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.
5. **Исследование** напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза UzTE16M / В. А. Кручек, Х. Р. Косимов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2013. – Вып. 4 (37). – С. 36–43.
6. **ANSIS** в руках инженера : практич. руководство. – Москва : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

УДК 656.225.073.433

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

ЛОГИСТИКА ПАКЕТНЫХ ПЕРЕВОЗОК ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ

Анализируются достоинства и недостатки пакетных перевозок во внутреннем сообщении с применением экономических критериев и принципов логистики. Определены области применения поддонов для транспортировки тарно-штучных грузов на основе конкретных технико-экономических показателей; рассмотрены вопросы повагонной отправки. Цель работы заключается в обосновании технической возможности пакетных перевозок, их экономической целесообразности и в определении размера доходов железнодорожного транспорта в результате применения этой технологии.

тарно-штучный груз, пакетные перевозки, поддон, транспортный пакет, погрузка, выгрузка.

Введение

Тарно-штучные грузы наиболее эффективно перевозить в транспортных пакетах. Однако на практике пакетные перевозки грузов применяют не всегда. Это связано с определенными недостатками, в ряде случаев решающими для того, чтобы предприятия стран СНГ с учетом своей специфики отказывались от пакетных перевозок. Пакетные перевозки грузов – это перевозки укрупненными грузовыми транспортными единицами – транспортными пакетами. Транспортный пакет – укрупненная грузовая транспортная единица, сформированная из нескольких отдельных мест штучных грузов с применением средств пакетирования и перемещаемая как единое целое [1].

1 Преимущества и недостатки пакетных перевозок

До широкого открытия границ стран СНГ для международной торговли в 1990-е годы уровень пакетизации перевозок тарно-штучных грузов составлял не более 5 % от всех пакетопригодных грузов [2]. С расши-

рением внешнеэкономических связей с экономически и индустриально развитыми странами и резким увеличением импортных грузопотоков выяснилось, что за рубежом тарно-штучные грузы перевозят главным образом в пакетированном виде [3]. Это обусловлено условиями работы и технологий погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских (ПРТС) работ в зарубежных странах:

- высоким уровнем механизации погрузочно-разгрузочных работ и организации ПРТС-работ;
- высоким уровнем заработной платы рабочих, в том числе грузчиков, что определяет нерентабельность выполнения работ при погрузке и выгрузке грузов из транспортных средств вручную;
- требованиями экспедиторских и транспортных предприятий и грузополучателей отправлять и получать тарно-штучные грузы только в пакетированном виде.

Преимущества перевозок тарно-штучных грузов в транспортных пакетах:

- повышение производительности погрузочно-разгрузочных машин;
- сокращение трудозатрат на погрузочно-разгрузочных работах и на штате рабочих.

Однако пакетные перевозки грузов имеют и недостатки:

- дополнительные расходы грузоотправителей на поддоны и другие средства пакетирования (стоимость стандартного плоского деревянного поддона составляет 4–5 долл., а стоечного и ящичного поддона – 50–60 и более долл.);

- неполное использование объемов транспортных средств и контейнеров (непосредственно поддоны занимают 10–15 % этих объемов, а иногда еще часть объема остается незаполненной в верхней части вагона, автомобиля или контейнера из-за несоответствия высоты транспортного средства и загружаемых в него транспортных пакетов) [4];

- необходимость обмена и обратных перевозок порожних поддонов или загрузки их другими грузами на обратном рейсе.

Среди отечественных предпринимателей наибольшим недостатком пакетных перевозок грузов считается меньшее количество пакетированных грузов на поддонах, помещающихся при загрузке их в транспортное средство (вагон или автофургон) или в контейнер по сравнению с грузами, загружаемыми навалом, без поддонов. Грузовладельцы отдают предпочтение перевозкам грузов более крупными транспортными партиями, чтобы в вагон, автофургон или контейнер помещалось как можно большее количество груза в каждой транспортной партии. Цель достигается за счет отказа от пакетных перевозок грузов на поддонах и максимального заполнения грузами внутреннего объема транспортного средства или контейнера.

2 Определение общей стоимости доставки 1 тонны тарно-штучного груза

Выбор перевозки грузов в пакетах с экономической точки зрения достоверно может быть подтверждена (или опровергнута) расчетами экономических показателей по двум вариантам транспортировки в пакетах на под-

донах или навалом, без поддонов. Приведем пример методики такого расчета ниже.

Предположим, что транспортная партия груза перевозится в крытом железнодорожном вагоне и возникает вопрос о технологии и способе перевозки – в пакетах на поддонах или без поддонов, навалом.

Общая стоимость доставки 1 т груза может быть определена по формуле

$$c = \frac{1}{q} \cdot (П + C_{\text{п}} + Т + C_{\text{р}}), \quad (1)$$

где q – размер транспортной партии груза, т; $П$ – стоимость перевозки партии груза, т; $C_{\text{п}}$, $C_{\text{р}}$ – стоимость погрузки транспортной партии в вагон и разгрузки из вагона, соответственно; $Т$ – стоимость таможенного оформления транспортной партии, таможенных сборов и импортная пошлина.

Стоимость простоя транспортных средств под погрузкой или выгрузкой может быть включена в стоимость соответствующих погрузочно-разгрузочных операций, а стоимость маневровых работ будет одинакова в обоих рассматриваемых вариантах независимо от того, загружены грузы в вагон на поддонах или навалом, без поддонов.

Условие целесообразности перевозки грузов в транспортных пакетах, на поддонах можно выразить следующим образом:

$$C_{\text{п}} < C_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{п}}$ – стоимость доставки 1 т груза при их пакетной перевозке, на поддонах, руб./т; $C_{\text{н}}$ – стоимость доставки 1 т груза при их перевозке без поддонов, навалом в вагоне, руб./т.

3 Расчет повагонной отправки в универсальных крытых вагонах железнодорожного транспорта

В обоих случаях перевозка грузов осуществляется по тарифной схеме № 8 – пова-

гонная отправка в собственных (арендованных) универсальных крытых вагонах [5].

При исследовании области экономической целесообразности применения пакетных перевозок были выполнены многочисленные расчеты стоимости перевозок грузов в вагонах для следующих вариантов перевозок:

- расстояния перевозок 200, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 и 5000 км;
- размеры транспортных партий грузов (нагрузка вагонов) 20, 30, 40 т;
- повышение нагрузки вагона при перевозке груза навалом, без поддонов по сравнению с пакетными перевозками грузов на поддонах – на 5 и 10 %;
- наличие и отсутствие таможенных операций с грузами.

Стоимость перевозок грузов принималась по Тарифному руководству № 1 (Прейскуранту 10-01), ч. 2, с коэффициентом индексации 3,159, как было установлено с 27 ноября 2012 г., по схеме № 8 – повагонные отправки в собственных (арендованных) универсальных крытых вагонах [5]. Результаты расчетов стоимости 1 т·км перевозок показаны в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что с увеличением расстояния перевозок и нагрузки вагона стои-

мость перевозки 1 т груза уменьшается. Это вполне понятно и не требует дополнительных пояснений. Однако уменьшение стоимости доставки 1 т груза при увеличении нагрузки вагона в результате отказа от применения поддонов при перевозке груза может привести к ошибочному выводу о том, что перевозка груза навалом, без поддонов выгоднее.

4 Определение стоимости погрузки (или выгрузки) груза из вагонов

Последующие исследования показали, что повышенная стоимость погрузочно-разгрузочных работ при перевозках без поддонов значительно перекрывает эту небольшую экономию на перевозках при отказе от поддонов при доставке грузов.

Стоимость погрузки (или выгрузки) груза из вагонов определялась следующим образом:

$$C_{\pi} = w \cdot q \cdot \frac{20000 \text{ руб./мес.} \cdot 1,36}{21 \text{ день/мес.} \cdot 2,5 \text{ ч}} + 10^{-2} \times \\ \times [15 \text{ м} \cdot 33000 \text{ руб./пог. м} \cdot (2 + 3 + 2,2) + (3) \\ + 35000 \text{ долл.} \cdot 36,8 \cdot (10 + 6 + 2,2) + 5,5 \text{ м} \times$$

ТАБЛИЦА 1. Зависимость стоимости 1 т·км перевозок штучных грузов в собственных крытых вагонах от дальности перевозок L и размера транспортной партии груза (нагрузки вагона) q

Технология		Масса транспортной партии q	Расстояние перевозки L , км						
			200	500	1000	2000	3000	4000	5000
Пакетная перевозка		20	2,72	1,64	1,24	1,01	0,89	0,87	0,93
		30	1,85	1,13	0,86	0,70	0,63	0,61	0,66
		40	1,42	0,88	0,67	0,55	0,49	0,48	0,52
Перевозка навалом, без поддонов	С увеличением нагрузки на 5 %	21	2,59	1,57	1,19	0,96	0,86	0,83	0,89
		31,5	1,77	1,09	0,83	0,68	0,60	0,59	0,63
		42	1,36	0,84	0,65	0,53	0,47	0,46	0,50
	С увеличением нагрузки на 10 %	22	2,48	1,50	1,14	0,92	0,82	0,80	0,86
		33	1,69	1,04	0,79	0,65	0,58	0,56	0,61
		44	1,30	0,81	0,62	0,51	0,46	0,45	0,48

$$\times 15 \text{ м} \cdot 50 \text{ долл./м}^2 \cdot 36,8 \cdot (2 + 3 + 2,2) \cdot 1,1 + \\ + 3000 \text{ долл.} \cdot 36,8 \cdot (10 + 6 + 2,2)] \times \\ \times \frac{1}{365 \text{ дней / год}},$$

где w – трудоемкость погрузки (или выгрузки) 1 т груза, чел.-ч/т [6]; q – размер транспортной партии груза (нагрузка вагона), т; 20 000 руб./мес. – заработная плата рабочего в месяц; 1,36 – коэффициент страхового взноса; 21 день/мес. – среднее число рабочих дней в месяце; 2,5 ч – нормативный срок разгрузки тарно-штучных грузов из вагона [6]; 10^{-2} – перевод процентов в десятичные дроби; 15 м – длина погрузочно-разгрузочного пути для установки одного вагона; 33 000 руб./пог. м – удельный показатель стоимости сооружения 1 пог. м железнодорожного пути (из расчета 33 млн руб./км); 2 % – норма амортизационных отчислений за год на полное восстановление и капитальный ремонт строительных сооружений; 3 % – норма отчислений на текущие ремонты строительных сооружений; 2,2 % – ставка налога на имущество; 35 000 долл. – стоимость электропогрузчика; 36,8 руб./долл. – курс 1 долл. США по ставке Центробанка; 10 % – норма амортизационных отчислений за год на полное восстановление и капитальный ремонт электропогрузчика; 6 % – норма отчислений на текущие ремонты строительных сооружений; 5,5 м – ширина крытой грузовой ramпы с козырьком; 15 м – длина грузовой ramпы для установки одного вагона под погрузку или выгрузку; 50 долл./м² – удельная стоимость 1 м² крытой грузовой ramпы; 1,1 – коэффициент, учитывающий стоимость освещения грузовой ramпы; 3000 долл. – стоимость раздвижных ворот из склада на ramпу, с электроприводом; 365 – число дней в году.

Выполнив вычисления и преобразования, получаем:

$$C_{\pi} = 518,1 \cdot w \cdot q + (35640 + 234416 + \\ + 12022,6 + 20092,8) \cdot \frac{1}{365}$$

$$C_{\pi} = 518,1 \cdot w \cdot q + 827,9, \quad (4)$$

где $518,1 \cdot w \cdot q$ – расходы на заработную плату при погрузке (или выгрузке) транспортной партии груза (одного вагона), руб.; 35 640 руб./год – эксплуатационные расходы на содержание и ремонт погрузочно-выгрузочного пути; 234 416 руб./год – эксплуатационные расходы на электропогрузчик; 12 022,6 руб./год – эксплуатационные расходы на грузовую ramпу; 20 092,8 руб./год – эксплуатационные расходы на ворота из склада на ramпу.

При дальнейших расчетах стоимости погрузки и выгрузки грузов трудоемкость работ w определялась по «Межотраслевым нормам времени на погрузку, разгрузку вагонов, автотранспорта и складские работы» в следующих размерах [6]:

$w = 0,0614$ чел.-ч/т – для варианта погрузки или разгрузки пакетированных грузов на поддонах электропогрузчиком;

$w = 0,454$ чел.-ч/т – для варианта перевозок грузов навалом, без поддонов и погрузки или выгрузки их вручную, с применением только средств малой механизации (ручных тележек);

$w = 0,390$ чел.-ч/т – для варианта перевозок грузов навалом, без поддонов и укладки их вручную на поддон при погрузке или выгрузке (а затем – перевозка электропогрузчиком в склад или из склада).

При определении общей стоимости доставки грузов расходы на погрузку и на выгрузку грузов принимались одинаковые, т. е. стоимость, вычисленная по формуле (4), удваивалась. Результаты расчетов на погрузочно-разгрузочные работы при перевозке грузов по рассматриваемым вариантам доставки грузов приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что стоимость погрузочно-разгрузочных работ при доставке грузов на поддонах, в пакетированном виде в 3,5–4 раза меньше стоимости этих работ при перевозке грузов навалом, без поддонов и при выполнении этих работ вручную. В натуральном денежном выражении стоимость

ТАБЛИЦА 2. Расходы на погрузку и выгрузку грузов из вагона в расчете на 1 т и на всю транспортную партию

Условия перевозки	Технология разгрузки	Масса транспортной партии (нагрузка вагона), т	Стоимость погрузки и выгрузки, руб.	
			Всего вагона	1 т груза
В пакетах, на поддонах	Вилочными погрузчиками	20	2928	146
		30	3564	119
		40	4201	105
Навалом, без поддонов, с увеличением нагрузки вагона на 5 %	Погрузка и разгрузка вручную	21	11535	549
		31,5	16474	523
		42	21414	510
	Укладка на поддон вручную, перемещение груженых поддонов погрузчиками	21	10142	483
		31,5	14385	457
		42	18629	444
Навалом, без поддонов с увеличением нагрузки вагона на 10 %	Погрузка и разгрузка вручную	22	12005	546
		33	17180	521
		44	22355	508
	Укладка на поддон вручную, перемещение груженых поддонов погрузчиками	22	10546	479
		33	14992	454
		44	19437	442

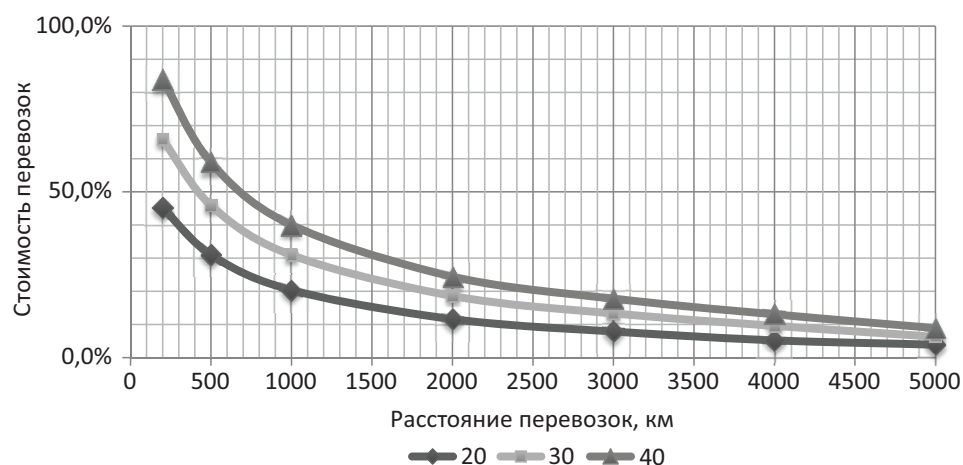
переработки 1 т грузов на поддонах примерно на 400 руб. дешевле по сравнению с погрузкой и выгрузкой грузов, доставленных навалом, без поддонов.

Например, при объеме перевозок 50 тыс. т/год экономия расходов на погрузочно-разгрузочных работах при пакетных перевозках грузов составит по сравнению с доставкой их навалом без поддонов 12–14 млн руб., или 350–400 тыс. долл./год.

Общая стоимость погрузки, перевозки и разгрузки грузов по двум рассматриваемым вариантам доставки (на поддонах и без поддонов) по внутренним перевозкам грузов показана в табл. 3.

Из таблицы видно, что во всех случаях: при коротких и длинных перевозках, при увеличении нагрузки вагона на 5–10%, при ручной разгрузке и с частичным применением поддонов и погрузчиков – общая стоимость доставки 1 т грузов примерно на 250–300 руб. дешевле при применении пакетных перевозок грузов по сравнению с перевозками навалом, без поддонов. Это наглядно показано и на графиках (см. рисунок), построенных на основании данных табл. 3.

На графиках видно, что затраты при отказе от пакетных перевозок грузов снижаются с увеличением расстояния перевозок более 1000 км с 50–70 до 15–28%, но все же оста-



Зависимость затрат при отказе от пакетных перевозок грузов Δc в процентах от стоимости доставки 1 т груза от расстояния перевозок L , км, и перевозимой транспортной партии груза q (нагрузки вагона), т

ТАБЛИЦА 3 (приводится с сокращениями).

Стоимость внутренних перевозок 1 т грузов с учетом погрузочно-разгрузочных работ при пакетных перевозках грузов и перевозках без поддонов

Условия перевозок	Операция	Нагрузка вагона, т	Стоимость доставки 1 т, руб. при расстоянии перевозок, км						
			200	500	1000	2000	3000	4000	5000
В пакетах, на поддонах	Перевозка	20	543	821	1241	2011	2682	3476	4669
		30	370	566	863	1406	1879	2440	3282
		40	284	439	673	1104	1478	1922	2588
	Погрузка и выгрузка	20	146	146	146	146	146	146	146
		30	119	119	119	119	119	119	119
		40	105	105	105	105	105	105	105
	Всего:	20	690	967	1387	2158	2828	3623	4815
		30	489	685	982	1525	1998	2559	3400
		40	389	544	779	1209	1583	2027	2693
Навалом, без поддонов	Перевозка	22	496	751	1138	1846	2463	3194	4290
		33	339	520	794	1296	1733	2252	3029
		44	260	404	622	1021	1369	1781	2399
	Погрузка и выгрузка	22	546	546	546	546	546	546	546
		33	521	521	521	521	521	521	521
		44	508	508	508	508	508	508	508
	Всего:	22	1042	1297	1684	2392	3008	3739	4836
		33	859	1040	1314	1817	2254	2772	3550
		44	768	912	1130	1529	1877	2289	2907

ются значительными (230–250 руб. на 1 т перевозимого груза).

Заключение

Перечислим наиболее важные положения, вытекающие из приведенных исследований.

1. Увеличение нагрузки вагона на 5–10% при отказе от использования поддонов при перевозке штучных грузов не приводит к общему снижению стоимости доставки грузов.

2. Сокращение влияния стоимости погрузочно-разгрузочных работ в общей стоимости перевозок с увеличением дальности перевозок объясняется увеличением доли стоимости самих перевозок, т. е. транспортной составляющей.

3. При небольших расстояниях перевозок (до 600 км) показатели графика зависимости затрат при отказе от пакетных перевозок грузов убывают быстрее при росте расстояния, градиент при этом равен 0,3–0,4. При больших расстояниях перевозок свыше 1000 км градиент равен 0,1–0,15.

Библиографический список

1. **Пакетирование** и перевозка тарно-штучных грузов / А. К. Пашков, Ю. Н. Полярин. – Москва : Транспорт, 2000. – 254 с.

2. **Некоторые** вопросы экономической эффективности перевозки тарно-штучных грузов на поддонах / С. М. Джумабаев // Тр. ТашИИТа. – Вып. 67. – Транспорт, 1970. – С. 61–78.

3. **The concept** of packaging logistics Submitted to the Second World Conf. on POM and 15th Annual POM Conf. // Mazen Saghir. – Cancun, Mexico, April 30 – May 3, 2004.

4. **Склады** и грузовые терминалы / О. Б. Маликов. – Санкт-Петербург : Бизнес-Пресса, 2003. – 240 с.

5. **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.

6. **Межотраслевые** нормы времени на погрузку, разгрузку вагонов, автотранспорта и складские работы (утв. постановлением Минтруда РФ от 17 окт. 2000 г. № 76).

УДК 625.144.5

А. А. Мигров

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

К ВОПРОСУ ОБ УСТРАНЕНИИ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ ПУТЕВЫХ МАШИН ВО ВРЕМЯ «ОКНА»

В настоящее время для выполнения путевых работ используются высокопроизводительные комплексы путевых машин. Работы выполняются в ограниченные промежутки времени – так называемые «окна» – на значительном удалении от ремонтных баз. При возникновении внезапных отказов путевых машин возникают ситуации, при которых «окно» может быть незапланированно увеличено, что приводит к задержкам в движении поездов.

Вопросу организации оперативного устранения внезапных отказов путевых машин во время «окна» или после него не уделяется должного внимания. Вместе с тем, расчеты показывают, что при устранении части отказов, возникающих во время «окна», можно увеличить среднюю выработку машин за сезон путевых работ и получить за счет этого значительный экономический эффект.

путевые работы, путевые машины, «окно», отказ.

Введение

Современный этап развития железнодорожного транспорта связан с увеличением скоростей движения поездов. Высокоскоростное движение предъявляет особые требования как к конструкции пути, так и к нормам ремонта и текущего содержания верхнего строения пути. Начиная со скорости 141 км/ч трудоемкость, материал- и энергоемкость ремонта и текущего содержания пути утраиваются [1]. При этом сокращаются возможности выполнения обслуживания и ремонтов пути, повышаются требования к точности сроков начала и окончания путевых работ, а также к качеству их выполнения.

В таких условиях одной из основных задач становится повышение эффективности использования путевой техники. Необходимо сократить непроизводительные простои путевых машин из-за отказов оборудования, возникающих во время работы. При этом совершенно недопустимы задержки поездов по причине отказов машин во время работы в «окно».

Проблемам повышения эффективности использования путевой техники посвящено множество научных работ. Эти работы условно можно представить в виде нескольких научных направлений: совершенствование технологии и организации выполнения ремонтов пути (труды В. Г. Альбрехта, Э. В. Воробье-

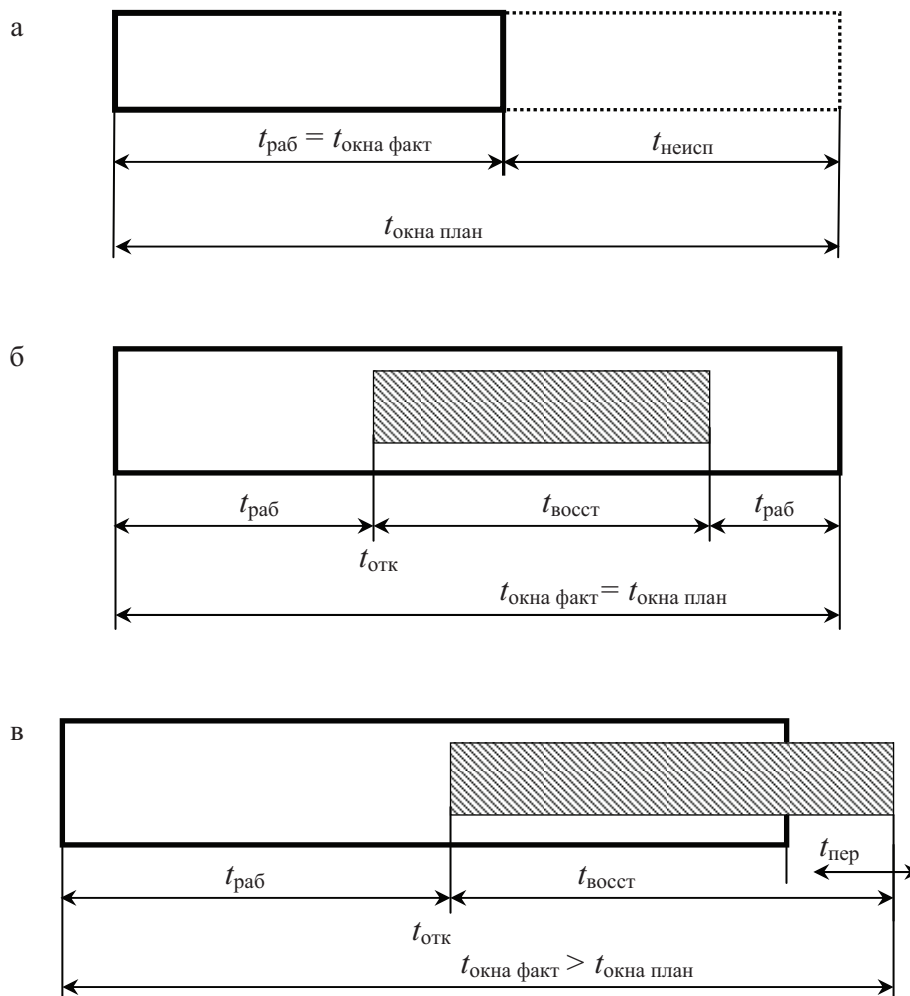
ва, К. Н. Дьякова, И. Б. Лехно, В. Я. Шульги и др.); совершенствование конструкции путевых машин и механизмов и оптимизация их рабочих параметров (В. Ф. Ковальский, Н. Г. Гринчар, М. В. Попович, В. Т. Семенов, Ю. В. Гапеев и др.); совершенствование технологии и организации выполнения ремонтов и технического обслуживания путевых машин (С. М. Ушаков, М. Г. Амигут и др.). Однако в этих работах не затронуты вопросы надежности технологических систем путевых машин и не рассматриваются ситуации при отказах комплексов путевых машин, возникающих во время «окна».

1 Анализ влияния отказов путевых машин на их выработку

Анализ выполнения путевых работ за 2009–2013 гг. показывает, что, например, для 10 комплексов машин в составе Доуматик 09-32СМ, ДСП и ПБ на Октябрьской ж. д. за один сезон выделяется примерно 1900 «окон» средней продолжительностью около 3 часов [2]. При этом выполняются все виды ремонта и текущего содержания пути: капитальный, усиленный средний, средний, планово-предупредительный. Во всех случаях функция комплекса почти одинаковая: выправка, подбивка и стабилизация пути, а также планировка балластной призмы и обочины.

Распределение отказов машин ДМ по подсистемам (112 отказов)

Подсистема	Электрооборудование и электроника	Гидравлика	Силовая установка	Рабочие органы	КЛУБ, АЛСН	Пневматика	Трансмиссия	Рама	Радиосвязь	Система питания дизеля	Система отопления
Количество	45	18	12	16	5	4	4	3	2	2	1
Доля, %	40,18	16,07	10,71	14,29	4,46	3,57	3,57	2,68	1,79	1,79	0,89



Возможные ситуации при возникновении отказов путевых машин во время «окна»:

- а) отказ и досрочное закрытие «окна»; б) устранение отказа во время «окна» и последующая работа; в) устранение отказа с «передержкой»:

$t_{\text{окна план}}$ – плановая продолжительность «окна»; $t_{\text{окна факт}}$ – фактическая продолжительность «окна»; $t_{\text{раб}}$ – продолжительность работы; $t_{\text{восст}}$ – продолжительность устранения отказа; $t_{\text{пер}}$ – продолжительность «передержки окна»; $t_{\text{неисп}}$ – продолжительность неиспользованного времени «окна»

Плановое задание для комплексов составляет примерно 550 км за сезон. Выполнение плана за рассмотренный период (2009–2013 гг.) – более 100%, фактическая производительность за час «окна» – около 670 м/ч.

Отчетные данные показывают, что эффективность работы комплексов может снижаться по различным причинам, одной из которых является возникновение отказов и поломок машин во время «окна» (см. таблицу).

За рассмотренный период произошло 160 случаев (около 3% от общего количества

выделяемых «окон») отказов техники прямо во время работы. Как показал анализ, при отказе машин «окно» в среднем сокращается на 1 ч 30 мин, а выработка из-за этого уменьшается на 35%.

При возникновении отказа во время «окна» можно выделить следующие ситуации (см. рисунок):

- 1) отказ и досрочное закрытие «окна» (а);
- 2) отказ, оперативное устранение отказа и последующая работа с соблюдением запланированной продолжительности «окна» (б);

3) отказ, устранение отказа во время «окна» и несоблюдение времени окончания «окна» (т.н. «передержка окна») (в).

Вариант событий, при котором незапланированно увеличивается продолжительность «окна», наиболее неблагоприятен по своим последствиям, так как вызывает нарушения в графике движения поездов и при значительной интенсивности движения ведет к существенным экономическим и репутационным потерям.

На практике в 145 случаях из 160 отказ приводил к досрочному закрытию «окна». В 10 случаях (6,23 %) – отказ был устранен во время «окна». «Передержка окна» из-за отказов машин произошла в 5 случаях.

В сезон на одной машине, как показывает статистика, возникает около 10 отказов, что составляет 3 % «окон», при которых выработка снижается на 35 %. Получается, что при плановом задании 550 км из-за отказов выработка падает на $550 \cdot 0,03 \cdot 0,35 = 5,78$ км/машина.

Если предположить, что во время «окна» можно устранять до 75 % этих отказов, то выработку можно увеличить на $3 \cdot 0,75 = 2,25$ % отказов, и падение выработки составит $550 \times \times 0,0225 \cdot 0,35 = 4,33$ км/машина, т.е. выигрыш составит $5,78 - 4,33 = 1,45$ км/машина, или 145 км пути на 10 машин за год.

2 Основные технические и организационные проблемы повышения эффективности использования путевых машин

В настоящее время в должностных инструкциях машинистов и начальников комплексов путевых машин не установлен порядок действий при возникновении отказа машины во время «окна». Также не определено, какой набор запасных частей и инструмента должен находиться на машине, зачастую таблицы технической оснащенности комплексов и отдельных машин отсутствуют, а номенклатура средств технологического оснащения для

устранения отказов машин не утверждена в нормативных документах. Решение о порядке действий при отказе бригады комплексов принимают самостоятельно на основе оценки обстановки и имеющегося опыта. Чаще всего в подобных ситуациях «окно» досрочно закрывается, что приводит к недоиспользованию рабочего времени машин и к необходимости повторного выполнения работы.

Это обусловлено недостаточной изученностью вопроса об устранении отказов во время «окна», сложностью самих путевых машин и многообразием возникающих внезапных отказов. Для разработки рекомендаций бригадам комплексов путевых машин о действиях при возникновении отказов необходимо учитывать характеристики наиболее часто возникающих отказов машин: продолжительность и трудоемкость устранения, потребность в специальном инструменте и т.д.

Кроме того, предварительный анализ проблемы устранения внезапных отказов путевых машин, возникающих во время «окна», показывает, что задача имеет не только технический, но и экономический аспект. В зависимости от продолжительности устранения отказа стоимость затраченного на устранение времени может значительно превысить выгоду от устранения отказа.

Сказанное выше свидетельствует о необходимости проведения научно-технических исследований по обоснованию эффективности оперативного ремонта путевых машин.

Заключение

Для повышения эффективности путевых работ необходимо:

1) проанализировать характеристики внезапных отказов путевых машин, возникающих во время «окна»;

2) разработать технико-экономическую модель затрат, связанных с устранением внезапных отказов во время «окна». Для заданных параметров путевых работ и параметров отказа модель должна позволять определять

затраты как для перевозочного процесса, так и для исполнителей путевых работ;

3) на основании расчетов, выполненных с использованием разработанной модели, составить рекомендации по порядку действий экипажей комплексов путевых машин при возникновении и устранении внезапных отказов, а также по оснащению комплексов наборами необходимых запчастей и инструментов.

Библиографический список

1. **Проблемы** повышения скорости движения на железнодорожном транспорте / С. А. Быкадоров // Регион : экономика и социология. – 2005. – № 1. – С. 150–163.

2. **Отчетные** данные Дирекции по эксплуатации и ремонту путевых машин Октябрьской дирекции инфраструктуры ЦДИ-филиала ОАО «РЖД» за период 2009–2013 гг. Форма ПО-8.

УДК 656.224.072

А. В. Парфёнова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СХЕМЫ СОСТАВА ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА

Приведена методика расчета схемы состава пассажирского поезда принадлежности ОАО «ФПК». Рассмотрен алгоритм определения однородных выборок количества отправленных пассажиров по конкретному поезду Северо-Западного филиала ОАО «ФПК». Определены границы доверительных интервалов с использованием правила 3σ. Получены однородные периоды в регулируемом и дерегулируемом сегментах перевозок для расчета схем составов. Представлены формулы расчета числа вагонов в регулируемом и дерегулируемом сегментах перевозок.

схема состава поезда, пассажирские перевозки, Федеральная пассажирская компания (ОАО «ФПК»), пассажирский комплекс.

Введение

В директивных документах железнодорожного транспорта повышение эффективности использования вагонов пассажирского парка названо приоритетной задачей. Именно пассажирские вагоны – главное звено, производящее транспортную продукцию. В рамках структурной реформы отрасли произошли принципиальные изменения в системе организации пассажирских перевозок и управления парком подвижного состава. С 2010 г. функционирует ОАО «Федеральная пассажирская компания» (ОАО «ФПК»), являющаяся, со-

гласно Государственной стратегии развития транспортного комплекса, национальным перевозчиком в дальнем сообщении и выступающая гарантом обеспечения доступных транспортных услуг для всех социальных групп населения в соответствии с их платежеспособным спросом. Учитывая это, схема состава поезда должна рассчитываться с учетом критериев сбалансированности перевозок в регулируемом (плацкартные и общие вагоны, места на поезда 800-й и 900-й нумерации) и дерегулируемом (VIP, СВ, купейные вагоны, места на поезда 700-й нумерации) сегментах дальнего сообщения, а также обеспечивать

максимальное использование вместимости подвижного состава в течение календарного периода (года).

1 Порядок определения состава пассажирского поезда на заданном направлении

Порядок определения схемы состава пассажирского поезда для освоения спроса пассажиров разработан на основе детального анализа показателей работы вагонного парка Северо-Западного филиала ОАО «ФПК». В комплексный анализ включены следующие объекты: железнодорожные направления, поезда различных категорий, группы и типы вагонов в схемах составов, а также показатели объема перевозок пассажиров, пассажирооборота, населенности и степени использования вместимости вагонов, коэффициент временной неравномерности пассажиропотоков [1]. Важнейшими показателями являются коэффициент неравномерности пассажиропотоков, определяемый как частное от деления интересующей величины динамического ряда чисел на среднеарифметическое этого ряда, и использование вместимости вагонов, определяемой как частное от деления выполненных

пассажиро-километров на предложенные место-километры. Данные показатели позволяют получить интегральную оценку работы вагонного парка за отчетный период, а также определить уровень соответствия востребованности предлагаемых услуг и технических возможностей вагонного парка филиала ОАО «ФПК».

Разработанная методика расчета схем состава пассажирского поезда принадлежности ОАО «ФПК» включает пять этапов (рис. 1). Рассмотрим первые три этапа.

На первом этапе исследуется динамика изменения пассажиропотоков по периодам года и определяется временная неравномерность пассажиропотоков, а также периоды роста и спада перевозок для дерегулируемого и регулируемого сегментов. Данная неравномерность находится в прямой зависимости от изменения спроса населения на услуги транспорта по сезонам года, месяцам, кварталам, внутри недели. Именно на такой основе ведется оперативная работа в пассажирском комплексе – изменение размеров движения, периодичности курсирования поездов и схем составов.

Информационное обеспечение данного этапа базируется на отраслевой статистической отчетности ОАО «РЖД» и аналитиче-

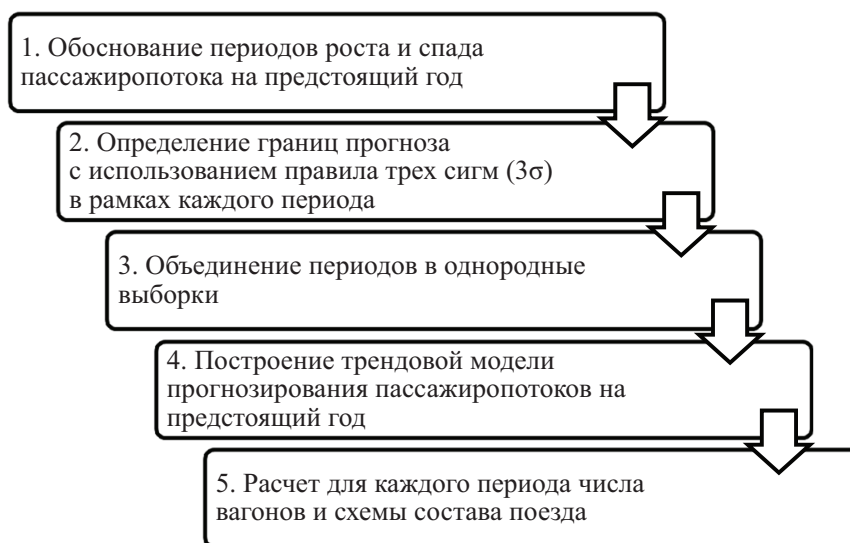


Рис. 1. Порядок определения схемы состава пассажирского поезда на заданном направлении

ской отчетности АСУ «Экспресс» [2]. Формы отчетности позволяют изучить фактический (условно реализованный) спрос населения на перевозки по сегментам транспортного рынка, выявить закономерности распределения пассажиропотоков по поясам дальности.

2 Определение однородных выборок количества отправленных пассажиров

Исходными данными для определения однородных выборок для последующего расчета числа схем состава пассажирского поезда приняты фактические данные АСУ «Экспресс» о количестве отправленных пассажиров за каждый день по конкретному поезду в регулируемом и дерегулируемом сегментах в течение рассматриваемого периода (календарный год).

Исходные данные обрабатываются для группировки фактических сведений о количестве отправленных пассажиров за каждый день в регулируемом и дерегулируемом сегментах по периодам так, чтобы в каждом периоде эти сведения представляли собой однородные выборки (рис. 2). Тогда для каждой однородной выборки можно определить конкретную схему состава. При этом количество однородных выборок в календарном периоде (в году) позволит получить соответствующее количество схем для данного состава поезда.

На примере поезда С.-Петербург – Кисловодск применен алгоритм определения однородных выборок количества отправленных пассажиров по конкретному поезду.

На втором этапе выбран первый расчетный период – первая неделя. Для этого периода рассчитан доверительный интервал – границы прогноза (верхняя и нижняя), в пределы которого с заданной вероятностью (σ) попадут фактические значения количества отправленных пассажиров рассматриваемого поезда (рис. 2).

При расчете доверительного интервала задана вероятность попадания фактических значений в заданные границы прогноза – значение сигма (σ). Если сигма равна 3σ , вероятность попадания очередного фактического значения в доверительный интервал составит 99,7%; если 2σ – 95,5%; 1σ – 68,3% [3].

Сигма (среднеквадратическое отклонение) рассчитана по формуле [3]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

где n – объем выборки; x_i – i -й элемент выборки; $\bar{x}$ – математическое ожидание (среднее значение объемов отправок за 7 дней, т.е. за неделю):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2)$$

Число однородных выборок (и, соответственно, число схем состава) заранее не определено, поэтому может оказаться большим или, наоборот, слишком малым. В таком случае, чтобы увеличить количество однородных выборок, необходимо изменить границы доверительных интервалов и сделать их более жесткими, например, не 3σ , а 2σ или 1σ . Тогда большее количество периодов станет аномальным по отношению к рассматриваемому периоду и соответственно получится большее количество однородных выборок.

При заданной вероятности 3σ и 2σ количество однородных выборок для поезда С.-Петербург – Кисловодск в течение календарного года составило:

- для 3σ – по два периода в дерегулируемом и регулируемом сегментах;
- для 2σ – по два и три периода, соответственно.

Поскольку пассажирские перевозки в дальнем сообщении неравномерны во времени и пространственных измерениях и спрос на транспортные услуги под воздействием раз-

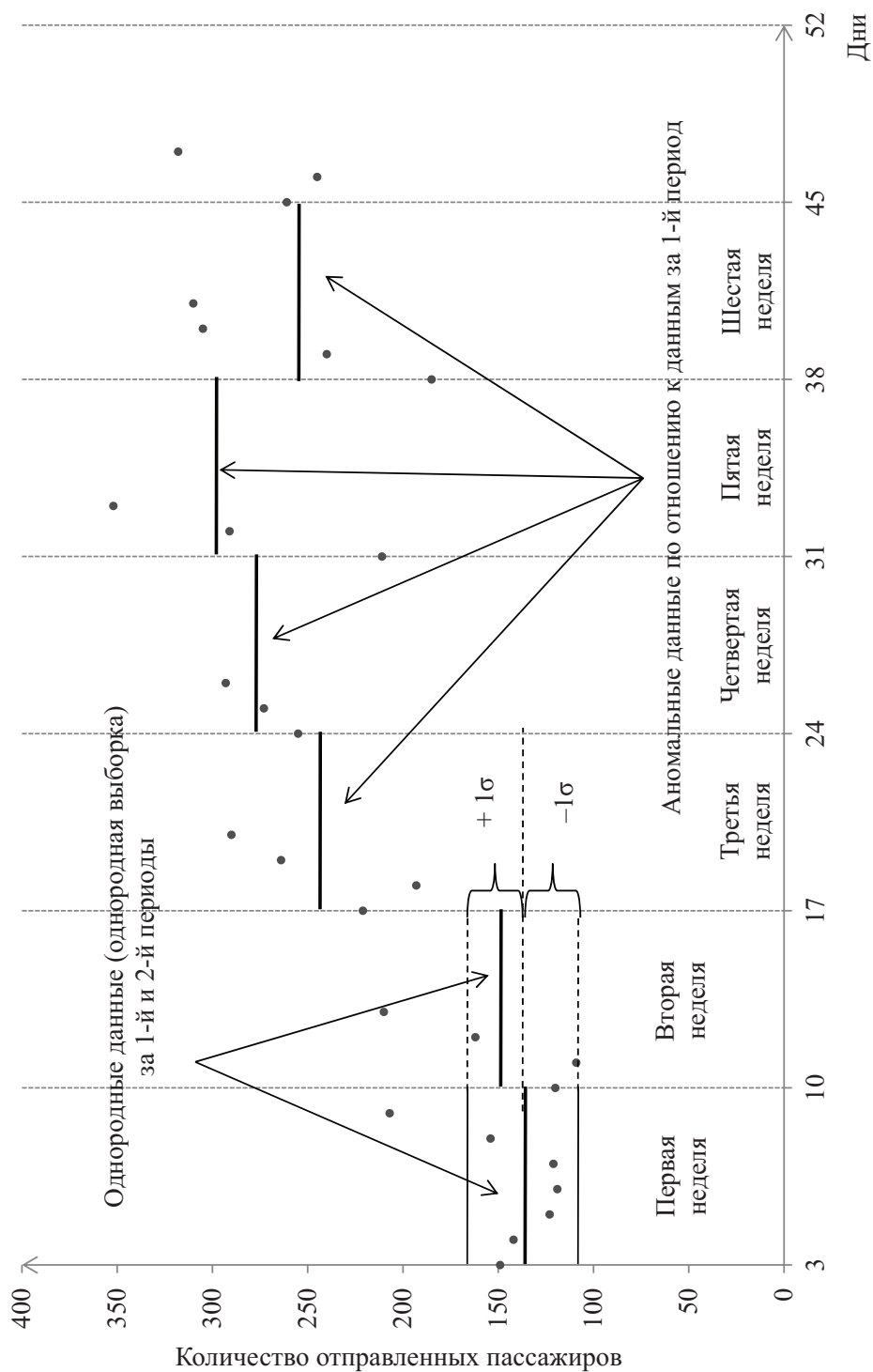


Рис. 2. Определение однородных выборок количества отправленных пассажиров поезда С.-Петербурга – Кисловодск в регулируемом сегменте в каждый i -й день за I квартал года (точки) и средние значения количества отправленных пассажиров в каждом отдельном периоде – неделе (отрезки)

личных причин может неожиданно меняться, такое количество однородных выборок, как при заданных вероятностях 3σ и 2σ , недостаточно для расчета рационального количества схем составов на весь календарный период (год). В связи с недостаточным количеством полученных схем составов дальнейшие расчеты в исследовании проведены при заданной вероятности 1σ . При такой заданной вероятности получилось пять однородных периодов для дерегулируемого сегмента и три – для регулируемого. Таким образом, в течение календарного года для поезда С.-Петербург – Кировоград получено восемь жестких, неизменных схем составов.

На третьем этапе определены все те недели, для которых значения математического ожидания количества отправленных пассажиров находятся в рамках доверительного интервала для первого периода. Все эти периоды включены в первую выборку и являются однородными. Например, на рис. 2 данные за 1-й и 2-й периоды однородны (однородная выборка). В то же время данные за 3–6-й периоды аномальны по отношению к данным за 1-й период (так как выходят за границы 1σ) и, соответственно, не включены в первую выборку.

После завершения формирования первой однородной выборки переходим к формиро-

ванию второй однородной выборки. Для этого выбран период (неделя), не включенный в первую выборку (на рис. 2 – третий). Для него установлен доверительный интервал, по которому во вторую однородную выборку включены все те периоды (т. е. все те недели), для которых значения математического ожидания количества отправленных пассажиров на рассматриваемый поезд находятся в пределах доверительного интервала для второго периода. Далее по описанному выше способу проведена разбивка на однородные выборки до конца всего календарного периода (года) для регулируемого и дерегулируемого сегментов (пока все недели не были включены в соответствующую однородную выборку). Результат вычислений представлен в таблице.

3 Расчет числа вагонов и схемы состава пассажирского поезда дальнего сообщения

В рамках i -го периода перевозок количество вагонов каждого типа в схеме состава рассчитывается исходя из фактического (условно реализованного) спроса пассажиров:

$$M_{i,j} = f(\bar{A}_{ij}), \quad (3)$$

Количество периодов однородных выборок в дерегулируемом и регулируемом сегментах при заданной вероятности ($\sigma = 1$)

Дерегулируемый сегмент			Регулируемый сегмент		
№ периода	Границы периода, пасс.	№ недели в году	№ периода	Границы периода, пасс.	№ недели в году
1	115–175	1, 2, 14, 17, 18, 33–37, 39, 40, 49	1	580–701	1
2	202–282	3, 4, 6–13, 15, 21–28, 31, 42–47, 50–52	2	474–593	2, 10–33, 35–37, 39–48, 51, 52
3	225–345	5	3	373–524	3–9, 34, 38, 49, 50
4	157–215	16, 19, 20, 29, 30, 32, 41, 48	–	–	–
5	104–130	38	–	–	–

где $\bar{A}_{ij}$ – объемы перевозок в среднем в i -м периоде для j -го типа вагона; j – тип вагона в схеме состава.

Величина $M_{i,j}$ определяется по формуле

$$M_{i,j} = \frac{\bar{A}_{ij}}{B_j} \cdot \lambda_j^H, \quad (4)$$

где B_j – вместимость вагона j -го типа (число предложенных к реализации мест); λ_j^H – нормативный коэффициент вместимости в вагоне j -го типа.

Тогда общее число вагонов в схеме состава составит

$$M_i = \sum_{j=1}^m M_{ij} = \frac{\bar{A}_{ij}}{B_j} \cdot \lambda_j^H, \quad (5)$$

где m – число типов вагонов.

Количество вагонов дерегулируемого и регулируемого сегментов в составе поезда, их вместимость и порядок следования определяется макетом схемы состава поезда. Схема устанавливается на конкретные даты отправления в прямом и обратном направлениях и зависит от особенностей конкретного поезда филиала ОАО «ФПК».

Заключение

Разработанная методика расчета схем составов поездов позволяет в соответствии с годовым циклом неравномерности пассажир-

ских перевозок обеспечивать выбор состава для каждого периода с учетом дифференциации спроса в регулируемом и дерегулируемом сегментах. Разработан механизм определения и группировки характерных однородных периодов спроса в рамках календарного года для заданного направления. Для каждого периода предложено обеспечить расчет схем составов по критерию максимального освоения спроса на вагоны различных типов. На этапе разработки графика движения поездов данный подход позволяет рассчитать общую потребность в вагонах рабочего парка по всем поездкам филиала ОАО «ФПК», что повышает качество планирования работы подвижного состава и снижает эксплуатационные расходы, связанные с недоиспользованием вместимости вагонов.

Библиографический список

1. **Исследование** региональных особенностей транспортного рынка Северо-Западного филиала ОАО «ФПК» / Е. А. Макарова, А. В. Атанова // Вестн. ун-та (Гос. ун-т управления). – 2012. – Вып. 5. – С. 24–30.
2. **Принципы** построения аналитической отчетности для пассажирского комплекса ОАО «РЖД» на базе АСУ «Экспресс» / Е. А. Макарова // Железнодорожный транспорт на современном этапе : сб. науч. трудов ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Б. М. Лapidуса, Г. В. Гогричиани. – Москва : ВМГ–Принт, 2014. – С. 29–35.
3. **Статистика** / А. М. Годин. – 9-е изд., перераб. и доп. – Москва : Дашков и Ко, 2011. – 460 с.

УДК 625.173.5

Н. В. ПоляничкоПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ
БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ В ШПАЛЬНЫХ ЯЩИКАХ
НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ СДВИЖКЕ ШПАЛ**

В настоящее время на российских железных дорогах применяемые технологии и машины не обеспечивают требуемую степень уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках, поэтому при действии поездной нагрузки на путь в балластном слое появляется распорное боковое давление, балласт под шпалами смещается в зоны шпальных ящиков, разрушается ядро уплотнения. Для повышения качества пути после выправочно-подбивочных работ необходимо уплотнять балластный слой, в том числе в шпальных ящиках. В результате экспериментальных исследований выявлена зависимость сопротивления поперечной и продольной сдвигке шпалы от степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках. Устойчивость шпал при уплотненном балластном слое в шпальных ящиках выше, чем при рыхлом балластном слое.

балластный слой, шпальный ящик, уплотнение балластного слоя, сдвигка шпал.

Введение

В настоящее время для уплотнения и стабилизации балластной призмы железнодорожного пути применяют специализированные уплотнительные выправочно-подбивочные машины (циклического, непрерывно-циклического и непрерывного действия). Для каждого типа машин характерны свои конструкции рабочих органов и способы воздействия на балластную призму. В результате работы выправочно-подбивочных машин степень уплотнения балласта в шпальных ящиках ниже, чем в подшпальных зонах, поэтому при воздействии поездной нагрузки в балластном слое появляется распорное боковое давление, балласт под шпалами смещается в зоны шпальных ящиков, разрушается ядро уплотнения [1]. Во многих странах Европы для достижения равномерной степени уплотнения во всем объеме балластной призмы применяют технологию послойного

уплотнения с использованием машин фирмы Plasser and Theurer [2]. Сотрудники ВНИИЖТ рекомендуют использовать технологию послойного уплотнения балласта (ПУБ) при многократном использовании динамического стабилизатора пути (ДСП) [3]. Применение таких технологий в условиях высокой грузонапряженности российских железных дорог затруднено. Чтобы повысить качество пути после выправочно-подбивочных работ, необходимо уплотнять балластный слой под шпалами, на плечеоткосных зонах и в шпальных ящиках. По результатам исследований ЦНИИ МПС были сделаны выводы о повышении устойчивости шпал при дополнительном уплотнении балластного слоя в шпальных ящиках и в плечеоткосных зонах балластной призмы [4]. Все это обосновывает необходимость исследования влияния уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках на стабильность железнодорожного пути.

1 Исследование влияния степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках на сопротивляемость сдвигу шпал

Целью исследований является изучение влияния различной степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках на сопротивляемость продольной и поперечной сдвигу шпал.

Исследовали один из участков пути Тосненской механизированной дистанции пути (ПЧМ Тосно). Верхнее строение пути представлено звеньевой конструкцией пути с рельсами Р65, скрепления КБ, шпалы железобетонные с эпюрой 1840 шт./км, балласт – щебень из твердых пород с фракциями от 25 до 60 мм.

Шпалу нагружали гидравлическими разгонщиками Р-25 и фиксировали давление с помощью манометров (класс точности 1,5) при смещении шпалы на 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 мм; далее до 10 мм через каждые 2 мм. Смещения замеряли с помощью индикатора часового типа с точностью до 0,01 мм.

2 Измерения степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках

Степень уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках измеряли с помощью электронного динамического плотномера грунта ZORN ZFG 3.0. Этот прибор используют для контроля степени уплотнения защитного слоя из песчано-гравийной смеси, укладываемой на основную площадку земляного полотна, при работе машины АНМ 800-Р. Данный прибор измеряет скорость, ускорение и величину осадки, по которым рассчитывают динамический модуль упругости [5]. Чтобы определить степень уплотнения балластного слоя с помощью прибора ZORN ZFG 3.0, была получена зависимость плотности балластного слоя железнодорожного пути от динамического модуля упругости (рис. 1). Для этого были проведены параллельные испытания по определению плотности балластного

слоя железнодорожного пути и динамического модуля упругости на подготовленных участках с различной степенью уплотнения. Для измерения плотности балластного слоя железнодорожного пути выкапывали лунку, подсчитывали объем и взвешивали выкопанный материал.

Из графика видно, что при динамическом модуле упругости 40 МН/м² плотность балластного слоя близка к предельному значению 2100 кг/м³ [1], данная зависимость подтверждается исследованиями института по строительным материалам и инженерии грунта г. Ветцлар [5].

3 Уплотнение балластного слоя в шпальных ящиках

Балластный слой в шпальных ящиках уплотняли с помощью электрической вибрационной шпалоподбойки ЭШП9. Для этого на подбивочное полотно была приварена плита из листового металла габаритами 8×150×150 мм. Электрическая вибрационная шпалоподбойка ЭШП9 оказывала на балластный слой в шпальных ящиках вертикальное динамическое воздействие 1,11 кг/см² в течение 10 с, в результате в балластном слое в шпальных ящиках была достигнута средняя плотность 1750 кг/м³. Для получения более высокой степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках использовали вибротрамбовку STONE ХН 840. Вибротрамбовка оказывала на балластный слой в шпальных ящиках вертикальное динамическое воздействие 1,72 кг/см² в течение 10 с, в результате в балластном слое в шпальных ящиках была достигнута средняя плотность 2015 кг/м³.

4 Сопротивление шпалы поперечной сдвигу

Для свободного смещения шпалы поперек пути шпала была освобождена от промежу-

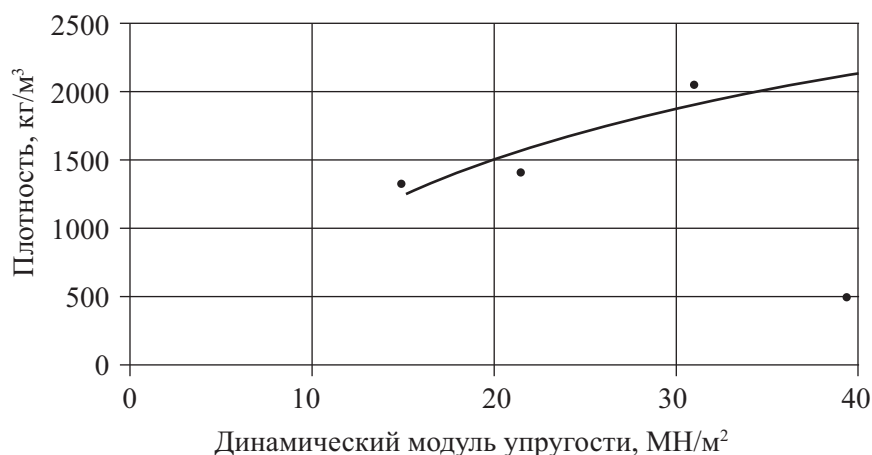


Рис. 1. График зависимости плотности балластного слоя железнодорожного пути от динамического модуля упругости

точных рельсовых креплений. Шпалу нагружали разгонщиком, который упирался одним зажимным клином в торец шпалы, другим в полушпалу, зафиксированную сваями, забитыми в балластный слой. Схема смещения для поперечной сдвижки шпалы представлена на рис. 2.

5 Сопротивление шпалы продольной сдвижке

На промежуточных рельсовых креплениях исследуемой шпалы были ослаблены клеммные болты для свободного смещения шпалы в продольном к оси пути направле-

нии. Шпалу нагружали двумя гидравлическими разгонщиками, установленными в расширенный шпальный ящик. Схема смещения для продольной сдвижки шпалы представлена на рис. 3.

6 Результаты эксперимента

В результате эксперимента получены зависимости сопротивления шпалы продольной и поперечной сдвижке от различной степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках (рис. 4, 5). Измеренные величины представлены в таблице.

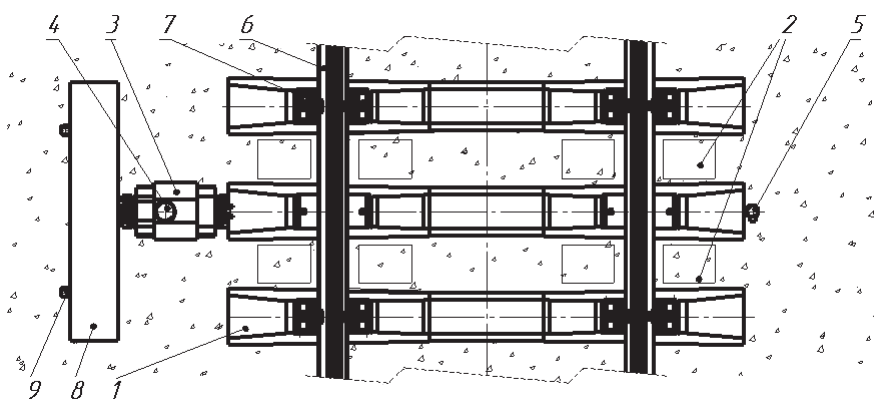


Рис. 2. Схема смещения для поперечной сдвижки:
1 – шпала; 2 – балластный слой в шпальных ящиках; 3 – гидравлический разгонщик;
4 – манометр; 5 – индикатор часового типа; 6 – рельс; 7 – промежуточное рельсовое крепление; 8 – полушпала; 9 – свая

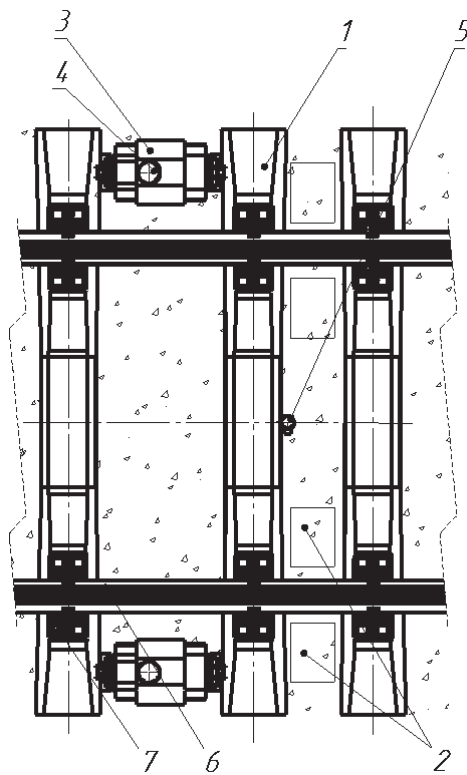


Рис. 3. Схема смещения для продольной сдвижки:
 1 – шпала; 2 – балластный слой в шпальных ящиках;
 3 – гидравлический разгонщик; 4 – манометр; 5 – индикатор часового типа;
 6 – рельс; 7 – промежуточное рельсовое скрепление

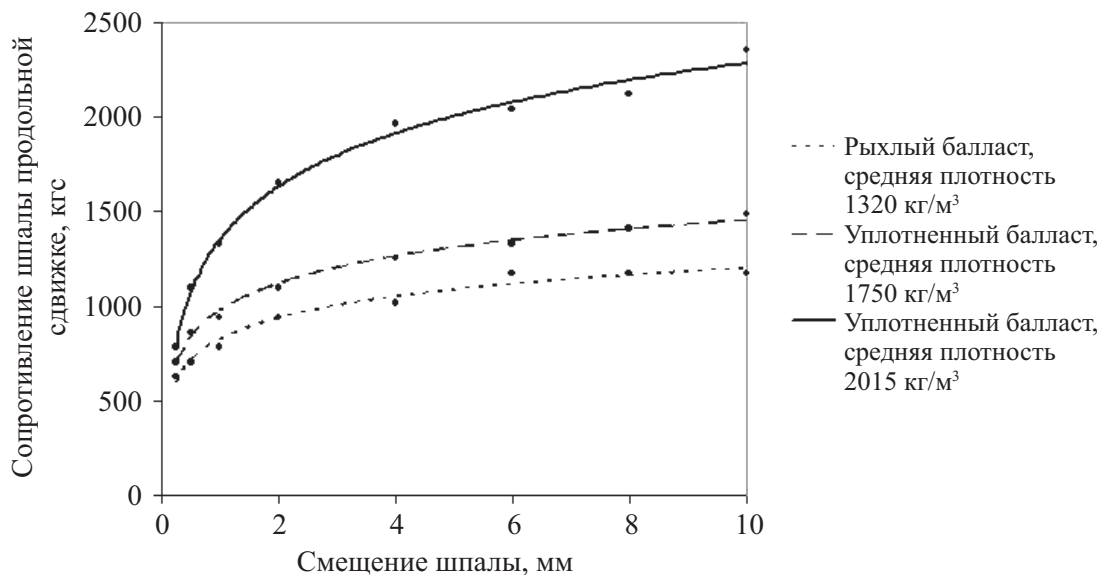


Рис. 4. Сопротивление шпалы продольной сдвижке в зависимости от степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках

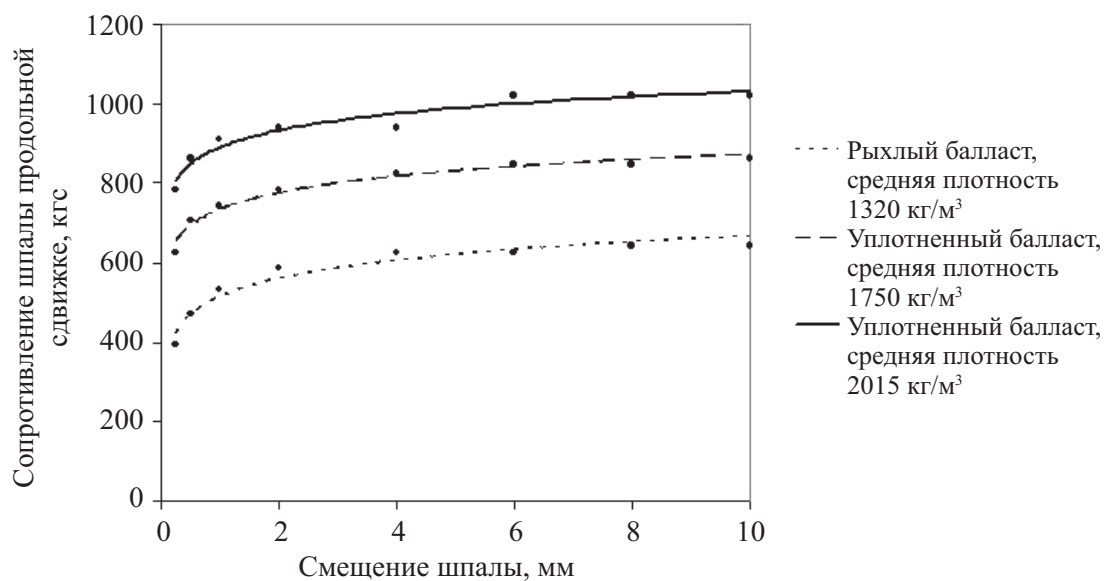


Рис. 5. Сопротивление шпалы поперечной сдвиге в зависимости от степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках

Сопротивление продольной и поперечной сдвиге шпалы
при различной степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках

Средняя плотность балластного слоя в шпальных ящиках, кг/м³	Смещение шпалы, мм	Сопротивление шпалы продольной сдвиге, кгс	Сопротивление шпалы поперечной сдвиге, кгс
1320	0,25	626	392
	0,5	706	470
	1	784	532
	2	940	588
	4	1020	626
	6	1176	626
	8	1176	642
	10	1176	642
1750	0,25	706	626
	0,5	862	706
	1	940	744
	2	1098	784
	4	1254	824
	6	1334	846
	8	1412	846
	10	1490	862

Окончание таблицы

Средняя плотность балластного слоя в шпальных ящиках, кг/м ³	Смещение шпалы, мм	Сопротивление шпалы продольной сдвигке, кгс	Сопротивление шпалы поперечной сдвигке, кгс
2015	0,25	784	784
	0,5	1098	862
	1	1334	910
	2	1648	940
	4	1962	940
	6	2040	1020
	8	2118	1020
	10	2354	1020

Заключение

Анализ результатов исследования показывает, что сопротивление шпалы продольной и поперечной сдвигке при начальных смещениях резко возрастает, далее после достижения критического значения сдвигка стабилизируется. Сопротивление шпалы продольной сдвигке при начальных смещениях и средней плотности балластного слоя в шпальных ящиках 1750 кг/м³ увеличилось на 18 %, а при средней плотности 2015 кг/м³ – на 50 % по сравнению с рыхлым балластным слоем в шпальных ящиках. Сопротивление шпалы поперечной сдвигке при начальных смещениях при средней плотности балластного слоя в шпальных ящиках 1750 кг/м³ увеличилось на 50 %, а при средней плотности 2015 кг/м³ – на 80 % по сравнению с рыхлым балластным слоем в шпальных ящиках.

Библиографический список

1. **Путевые машины** : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / С. А. Соломонов, М. В. Попович, В. М. Бугаенко и др. ; под ред. С. А. Соломонова. – Москва : Желдориздат, 2000. – 756 с.
2. **Обеспечение** стабильности железнодорожного пути путевыми машинами после глубокой отчистки балластного слоя / М. В. Попович, Б. Г. Волковойнов, А. В. Атаманюк // Транспорт РФ. – 2008. – № 6. – С. 12–15.
3. **Комплексные** технологии уплотнения балластного слоя / Ю. В. Гапеев, А. Н. Митрохин, Э. Х. Мензулин, Л. Ф. Самохина // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 10. – С. 14.
4. **Лучше** уплотнять балласт / С. А. Левчиков // Путь и путевое хозяйство. – 1978 – № 6. – С. 21–22.
5. **Электронный** динамический плотномер грунта с легким падающим грузом Zorn ZFG 3.0 : руководство по эксплуатации.

УДК 625.141.2

А. А. ТретьяковПетербургский государственный университет путей
Императора Александра I**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ БАЛЛАСТА
ПРИ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОМ РЕМОНТЕ
НА БАЗЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПУТИ**

Рассмотрена оптимизация толщины балласта при механизированных выправках пути на базе цифровой модели пути на основе оценки величины и интенсивности эксплуатационной осадки пути. Обоснована технология содержания железнодорожных путей на базе ГНСС с учетом толщины балласта. Описана новая организация работ и подготовка проектной документации при планово-предупредительном ремонте железнодорожного пути, обоснована безопасность нововведений, рассмотрены ключевые источники экономического эффекта от реализации технологии.

толщина балластной призмы, эксплуатационная осадка железнодорожного пути, планово-предупредительный ремонт пути, продольный профиль, цифровая модель пути, комплексная система пространственных данных.

Введение

На период до 2015 г. ОАО «РЖД» утвердило Распоряжение от 3 декабря 2010 г. № 2511 «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта» (КСПД ИЖТ) [1].

Координатный метод контроля и выправки пути, основанный на системе непрерывного координатно-цифрового описания пути с применением общеевропейской системы координат ETRS, стандартов Международной организации по стандартизации ISO и методов спутникового позиционирования, признан Международным союзом железных дорог наиболее действенным [2]. Заложенная в КСПД ИЖТ цифровая модель пути (ЦМП) позволяет решать различные задачи в зависимости от потребностей содержания инфраструктуры железнодорожного транспорта и открывает перспективы объединения обслуживаемых ею систем и непрерывного координатно-цифрового описания.

В частности, ЦМП позволяет механизированной выправкой поставить железно-

рожный путь в проектное положение, заданное последним капитальным ремонтом или новым строительством. Но отметка железнодорожного пути неизбежно уменьшается по мере пропуска тоннажа из-за уплотнения балласта и процессов в земляном полотне (диффузии балласта и грунта насыпи, деформации основной площадки земляного полотна (ОПЗП), уплотнения грунта по всей высоте, просадки основания из-за выдавливания слагающих его грунтов и др.). Это необходимо учитывать при восстановлении балластной призмы в абсолютных системах координат, привязанных к сети референчных станций ЦМП, а не к локальным объектам (опорам контактной сети и т. д.).

Рациональный подход к содержанию пути состоит в уменьшении отметок профиля, гарантирующем обеспечение критериев безопасности пути и сокращение затрат на ремонт, так как содержание пути предполагает его эксплуатационную осадку. Поэтому необходимо определить оптимальное положение, в которое следует устанавливать путь механизированной выправкой. Разработан-

ная ЗАО «Росжелдорпроект» технология проведения планово-предупредительного ремонта на базе ЦМП ведет к нежелательному перерасходу щебня, увеличению объемов работы путевой техники, затрат на эксплуатацию хоппер-дозаторных вагонов, тягу подвижного состава.

1 Технология постановки пути в оптимальное положение на базе ЦМП

В соответствии с требованиями технических условий на ремонт, реконструкцию и модернизацию пути, механизированная выправка пути при планово-предупредительном ремонте (ППР) должна обеспечивать полноту балласта не по толщине слоя под шпа-

лой, а по поверхности, чтобы восстановить продольно-поперечную устойчивость рельсошпальной решетки и равномерную упругость подрельсового основания [3]. Поскольку эксплуатационные нагрузки, заложенные в конструктивные нормы, как правило, не вызывают предельных состояний, при проведении ППР рационально определять оптимальную величину подъема пути, обеспечивающую:

- план и профиль пути в соответствии с нормами;
- толщину балласта, не нарушающую несущую способность.

Положение, обеспечивающее железнодорожный путь без отступлений от норм содержания, минимум выправочных работ, потребный минимум балластировки, названо межпроектным положением пути (МПП) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Межпроектное положение пути



Рис. 2. Оптимальный профиль пути

МПП – положение пути, отличное от проектного, предварительно рассчитанное на базе ЦМП, которое не имеет отступлений от норм содержания колеи, допускает эксплуатацию с установленными скоростями и нагрузками, используется для постановки пути при текущем содержании и ППР.

2 Осадка щебня и балластировка пути

Перед разработкой межпроектного положения пути и определением оптимальной толщины балласта необходимо оценить характер и степень его деформирования.

На осадку щебня влияют конструкция пути (уклон, модуль упругости пути, качество уплотнения грунта и балласта), условия эксплуатации (осевая нагрузка, грузонапряженность, скорость движения), климатические особенности (глубина промерзания пути, влажность, сезонность осадков). В диссертационном исследовании Е. С. Ашпиза получены выводы, что осадка пути на 80–90% является следствием процессов в балласте и на 10–20% – в земляном полотне [4]. С. И. Сахарчук в своем исследовании воздействия поездных напряжений и их количества на ОПЗП делает вывод, что на осадку пути влияет и уклон неровности, увеличивая интенсивность осадки в местах развития неисправностей пути [5]. Толщина балласта в призме падает также при очистке щебня с укладкой обратно в путь, при подъеме или исправлении положения пути в плане и в профиле (щебень пере-

мещается под постель шпалы и уплотняется). Он восстанавливается до проектных отметок досыпкой балласта и подбивкой пути. Расчетную схему иллюстрирует рис. 3.

При балластировке щебень занимает весь объем балластной призмы, кроме погруженной в балласт части шпал. Его объем прямо пропорционален величине подъема пути. Эта описывает формула

$$V = \left(\frac{S_{\text{осн}} \cdot \Delta h \cdot n \cdot l}{1000} + l \cdot \Delta h \cdot (l_{\text{ш}} + 2 \cdot b + \Delta t) - \frac{S_{\text{верха}} \cdot \Delta h \cdot n \cdot l}{1000} \right) \Delta k_{\text{разрыхл}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{осн}}$ – площадь основания шпалы (0,41325), м²; Δh – величина подъема пути (0,01–0,1), м; n – эпюра шпал, шт./км; l – длина пути, км; $l_{\text{ш}}$ – длина шпалы, м; b – ширина шпалы, м; $S_{\text{верха}}$ – площадь шпалы на уровне средней части (0,3144), м²; Δt – горизонтальная проекция откоса досыпаемой части балласта ($1,5 \cdot h$), м; $k_{\text{разрыхл}}$ – коэффициент разрыхления балласта.

Для подъема пути на соответствующую величину на путях 1–3 классов необходимо досыпать щебень (табл. 1).

В среднем на 1 см необходимо 49 м³ щебня/км пути, что требует непосредственных затрат на балласт, расходов на его транспортировку, эксплуатацию хоппер-дозаторных вагонов, тягу подвижного состава.

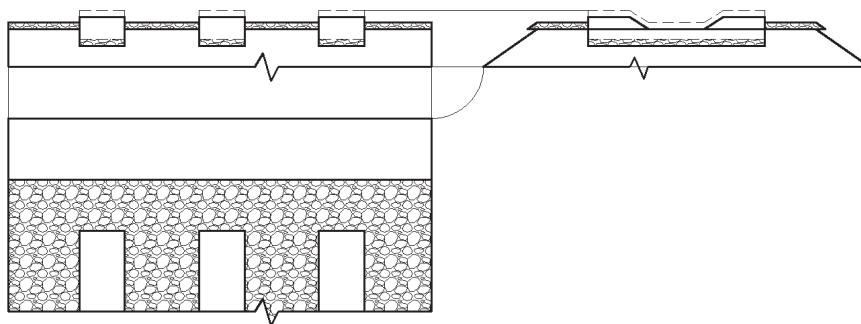


Рис. 3. Расчетная схема балластировки

ТАБЛИЦА 1. Расход щебня на подъем пути

Δh	м	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
V	м ³ /км	48,7	97,8	147,3	197,1	247,3	297,9	348,9	400,2	451,9	504,0

3 Расчет работоспособности и надежности конструкции пути при реализации описываемой технологии

Для утвержденного порядка проектирования механизированной выправки и допускаемой в эксплуатацию конструкции пути описываемая технология предусматривает некоторые изменения с подтверждением их безопасности:

- напряжений на основной площадке земляного полотна при изменении толщины балласта под шпалой;
- приведенной длины пути при равномерной эксплуатационной осадке пути.

3.1 Расчет напряжений на основной площадке земляного полотна

Ключевое место в нормах проектирования занимают критерии прочности в элементах конструкции пути, превышение которых несомненно вызовет превышение интенсив-

ности накопления остаточных деформаций в элементах конструкции пути.

В работе проведен расчет напряжений на ОПЗП пути с рельсами Р65 с вертикальным износом головки рельса 6 мм, железобетонными шпалами с эпюрой 1840/2000 шп./км, для 4-осного вагона и скорости движения 80 км/ч. Расчетные параметры подвижного состава и конструкции пути приведены в табл. 2, 3, соответственно.

Напряжения на ОПЗП под балластом рассчитаны в соответствии с «Методикой оценки воздействия подвижного состава на путь» [6] в зависимости от его толщины под шпалой (рис. 4).

В методике допустимые напряжения в подбалластной зоне выведены для насыпи, сложенной суглинками, из условия недопущения превышения интенсивности накопления остаточных деформаций [6]. А на полигоне оснащения ЦМП (Москва – Санкт-Петербург – Бусловская) эксплуатируются железнодорожные пути, под слоем чистого балласта которых имеется слой балластных материалов

ТАБЛИЦА 2. Параметры подвижного состава

Показатель	4-осный вагон	
Статическая нагрузка, $P_{ст}$	11000	
Необрешированная масса, q	995	
Жесткость рессор, J	200	
Диаметр колеса, d	95	
Количество осей в тележке	2	
Колесная формула	185	
Коэффициент учета влияния боковых сил, f	Прямая	Кривая
	1,18	1,28

ТАБЛИЦА 3. Параметры конструкции пути

Показатель	Ед. изм.	Прямая	Кривая
Модуль упругости подрельсового основания, U	кгс/см ²	1500	1670
Коэффициент относительной жесткости подрельсового основания, k	см ⁻¹	0,01536	0,01578
Расстояние между осями шпал, $l_{ш}$	см	55	51
Коэффициент, учитывающий влияние на образование динамических неровностей пути, L	—	0,261	0,261
Коэффициент, учитывающий соотношение необрессоренной части колеса и участие во взаимодействии массы пути, α_0	—	0,403	0,403
Площадь подкладки, ω	см ²	518	518
Площадь полushпалы с поправкой на изгиб, Ω_a	см ²	3092	3092
Момент сопротивления рельса относительно наиболее удаленного волокна на подошве, W	см ³	417	417

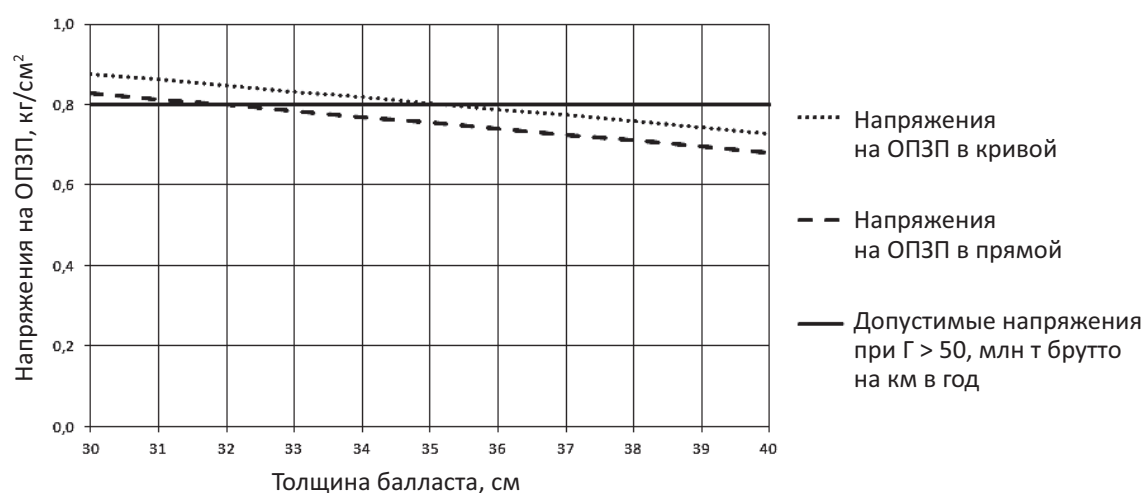


Рис. 4. Расчет напряжений на ОПЗП под 4-осный вагон ЦНИИ-ХЗ

(утрамбованная смесь грунта насыпи, щебеночного балласта и засорителей) толщиной 0,5–1,5 м. Их прочность выше прочности песчаных и глинистых грунтов, как правило, составляющих тело насыпи. То есть уменьшение эффективной рабочей толщины чистого или очищенного балластного слоя с высокой долей вероятности не будет иметь выраженных негативных последствий.

3.2 Расчет изменения приведенной длины продольного профиля при равномерной эксплуатационной осадке пути

Изменение положения пути в профиле ведет к удлинению эксплуатируемых рельсовых плетей и увеличивает в них температурные напряжения. Действительно, полная длина

элементов меняется, но их горизонтальное положение остается неизменным (рис. 5). А при одинаковых конструкции и условиях эксплуатации пути величина его осадки зависит от прочностных характеристик и уклона элементов профиля.

Для проверки возможности изменения профиля пути была смоделирована его равномерная осадка. В основе расчетной схемы – участок длиной 9,3 км. Предполагается, что он равномерно оседает на величину от 1 до 5 см с шагом 1 см и 10 см. При этом изменяются уклоны на отдельно взятых элементах профиля, полные длины элементов профиля.

На участке имеется объект с устойчивым пространственным положением (мост на ПК 33+00,00 м), высотные отметки на котором

не изменяются (103 м). Результаты расчета приведены в табл. 4.

Смоделированная равномерная осадка пути показала несущественное изменение длины элементов при понижении рабочих отметок профиля по всей длине перегона. То есть установка пути в межпроектное положение не приводит к заметному нарушению плана и профиля пути, не ухудшает эксплуатационные условия, не приводит к значительному увеличению напряжений в рельсах из-за изменения длины рельсовых плетей.

Путь оседает равномерно по всей длине, сохраняя длину элементов и их уклон. Они меняются только у элементов, подходящих к устойчивым в пространстве объектам (станции, разделному пункту, мосту и т. д.).

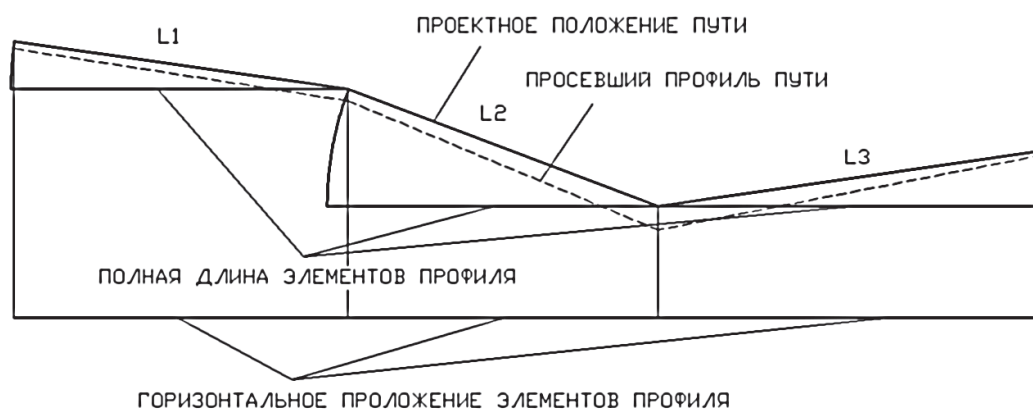


Рис. 5. Полная и приведенная длина пути

ТАБЛИЦА 4. Расчет изменения длин элементов профиля

Показатель		L до моста, м	L после моста, м	L полная, м
Длина элемента профиля		3300	5800	9300
Полная длина элементов		3500,14300	5800,136043	9300,58700
Полная длина элементов при величине осадки пути, м	0,01	3500,02666	5800,136110	9300,16277
	0,02	3500,02662	5800,136177	9300,16280
	0,03	3500,02658	5800,136243	9300,16283
	0,04	3500,02655	5800,136311	9300,16286
	0,05	3500,02651	5800,136378	9300,16289
	0,1	3500,02634	5800,136722	9300,16729

4 Практическая значимость и внедрение

Реализация технологии оптимизации толщины балласта при механизированной выправке пути на базе ЦМП позволяет получить экономию за счет уменьшения:

- объемов балластировки при выполнении планово-предупредительных ремонтов;
- объемов выправочных работ и, как следствие, времени работы выправочных машин;
- количества хоппер-дозаторных вагонов в составе путеремонтных поездов;
- расходов на тягу подвижного состава (незначительно).

Экономия средств за счет сокращения расходов балласта составит:

$$\begin{aligned} Z_{\text{щебень}} &= V_{\text{щ}} \cdot C_{\text{щ}} = \\ &= 48,7 \cdot 0,85 = \\ &= 41,395 \frac{\text{тыс. руб.} \cdot \text{см подъема}}{\text{км пути}}. \quad (2) \end{aligned}$$

На путях с условным приведенным модулем деформации подбалластного основания Е 53–36 МПа на первые 100 млн т брутто тоннажа, пропущенного после ремонта, осадка балласта составит 22–27 мм. Она достаточно равномерна по всей длине участка пути и имеет большие значения в местах развития неисправностей пути.

При уменьшении высоты подъема на 2 см экономия щебня составит 65–80 % от соответствующих норм расхода материала [7], оставшаяся часть необходима для ликвидации неисправностей и восстановления типового очертания балластной призмы.

Эксплуатационная осадка пути к моменту назначения планово-предупредительного ремонта более 5–6 см технически невозможна. Она является следствием грубых нарушений норм проектирования, строительства или эксплуатации железнодорожного пути.

Экономия затрат на работе и эксплуатации подвижного состава складывается из сокращения:

- объемов выправочных работ и, как следствие, времени работы выправочных машин;
- количества хоппер-дозаторных вагонов в составе путеремонтных поездов;
- расходов на тягу подвижного состава (незначительно).

Поскольку сокращение количества потребного для балластировки пути щебня уменьшает необходимое количество хоппер-дозаторных вагонов, сокращается длина поезда и его масса, т. е. затраты на тягу.

Определиться со снижением затрат от эксплуатации выправочных машин можно только пересчетом машинно-сменной сметы.

Заключение

Разработка, внедрение и совершенствование координатных методов контроля и выправки пути необходимы для дальнейшего развития в России систем непрерывного координатно-цифрового описания объектов железнодорожной инфраструктуры.

Технология постановки железнодорожного пути при выполнении ремонтов, включающих механизированную выправку пути на базе ЦМП, в положение, оптимизированное по толщине балластного слоя, выгодно отличается от существующей. Она позволяет сократить прямые и сопутствующие расходы на ремонты и не создает угрозы безопасности.

Библиографический список

1. **О создании** комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта : распоряжение ОАО «РЖД» № 2511 р от 3.12.2010 г.
2. **Проблемы** создания и ведения цифровой 3D-модели железнодорожного пути / У.Д. Самра-тов. – URL: http://agpmeridian.ru/image_content/publications/problems_of_creating.pdf (дата обращения 18.08.2014).
3. **Технические** условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодо-

рожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 75 р. от 18.01.2013 г.

4. **Мониторинг** эксплуатируемого земляного полотна : теоретические основы и практические решения : дисс. ... докт. техн. наук (05.22.06) / Е. С. Ашпиз. – Москва, 2002. – 396 с.

5. **Моделирование** процесса накопления остаточных деформаций в однородных средах и двухслойных системах / С. И. Сахарчук, В. А. Федорова // Вестн. РГРТУ. – 2009. – № 3 (вып. 29). – С. 60–65.

6. **Методика** оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности : распоряжение ОАО «РЖД» № ЦПТ-52/14 от 16.06.2000 г.

7. **Временные** нормы расхода материалов на усиленный средний и средний, подъемочный и усиленный подъемочный ремонты пути, планово-предупредительную выправку и текущее содержание пути : распоряжение ОАО «РЖД» № п245ц-09 от 29.05.2009 г.

УДК 625.111

Х. К. Умаров, Е. С. Свинцов

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ АНГРЕН – ПАП И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

В статье указаны причины строительства новой электрифицированной линии Ангрэн – Пап. Даны обоснование технических решений, расчет времени хода поездов, пропускной и провозной способности участка, анализ схем овладения перевозками, описание конкурентоспособности железнодорожной линии по сравнению с автомобильным транспортом в плане народнохозяйственных перевозок. Единая транспортная система оказывает многостороннее влияние на развитие экономики страны, что особенно важно в условиях протяженности Республики Узбекистан и транспортной разобщенности ее отдельных регионов.

линия Ангрэн – Пап, перевал Камчик, пропускная способность, провозная способность

Введение

С первых дней независимости руководство страны уделяет большое внимание поэтапному соединению железной дороги всех регионов с центром страны и созданию единой независимой транспортной системы Республики Узбекистан. Развитие транспортного сектора экономики имеет особое значение для Узбекистана из-за обширной территории

и неравномерного распределения ресурсов, поэтому строительство железной дороги Ангрэн – Пап очень важно. Ранее доступ к северо-западному и восточному участкам был возможен только через территории соседних государств – Туркменистана (Ходжадавлат – Найманкул и Талимарджан – Болдыр) и Таджикистана (Бекабад – Коканд) (рис. 1).

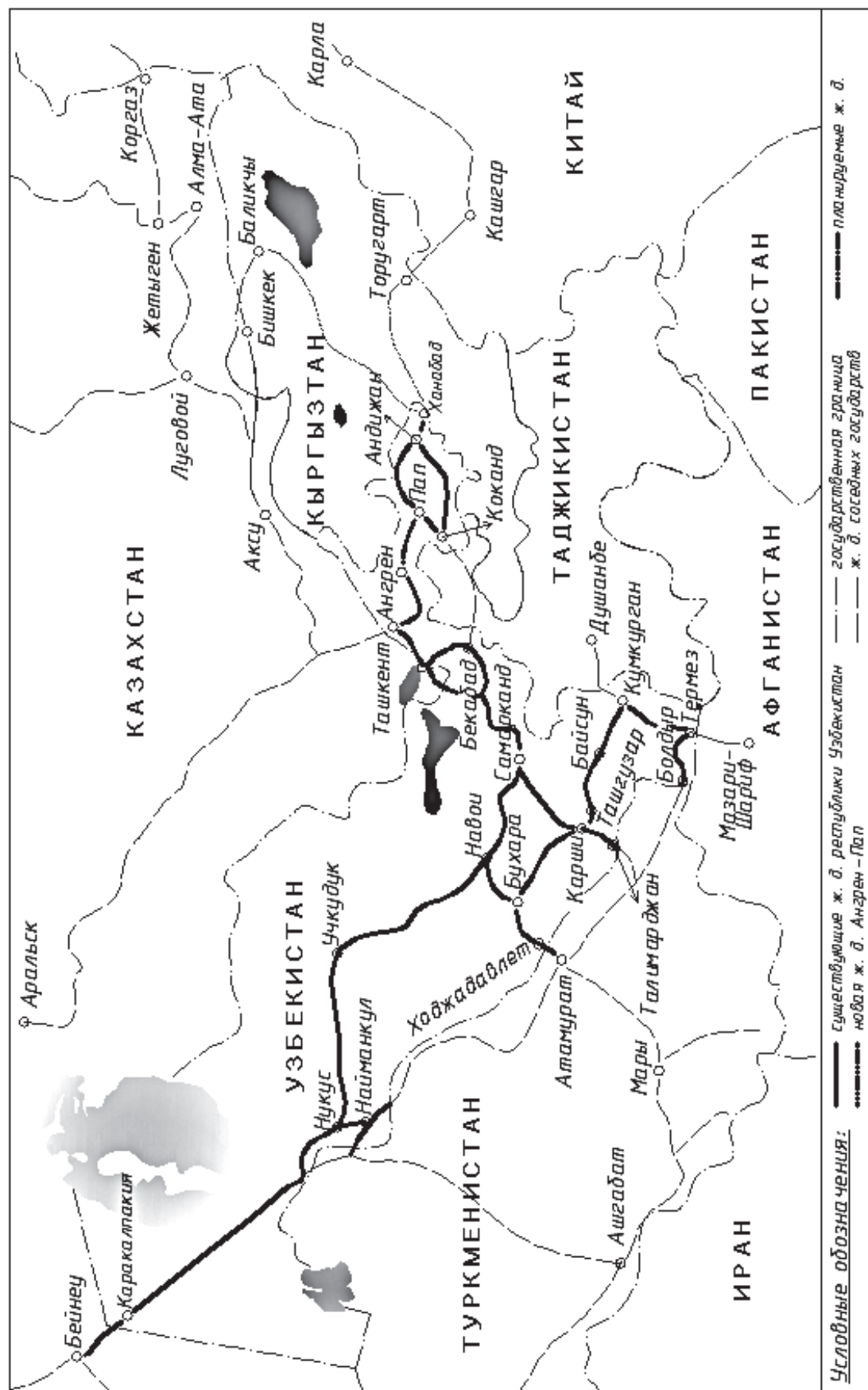


Рис. 1. Сеть железных дорог Республики Узбекистан

В 1997–2001 гг. построили новую железнодорожную линию Навои – Учкудук – Нукус общей протяженностью 341 км, которая кратчайшим путем связывает северо-западную часть со всей страной. Сегодня линия Навои – Учкудук – Нукус, будучи составной частью Транскавказского транспортного коридора, играет важную стратегическую роль для выхода Узбекистана на мировой рынок.

В 2003–2007 гг. построили линии Ташгузар – Байсун – Кумкурбан общей протяженностью 223 км, связывающие южный регион (Кашкадарьинскую и Сурхандарьинскую области). Они имеют исключительно важное значение для развития производительных сил и для внешнеэкономических связей республики Узбекистан с Таджикистаном и Афганистаном.

В 2013 г. приступили к строительству однопутной электрифицированной железной дороги Ангрен – Пап, соединяющей железнодорожную сеть Ферганской долины с остальной частью страны. По завершении данной линии железные дороги страны будут объединены в общую сеть.

1 Обоснование строительства линии Ангрен – Пап

Район тяготения новой линии охватывает территории с развитым промышленным потенциалом – Ташкентский (Ташкентская область, включая г. Ташкент) и Ферганский (Андижанская, Наманганская и Ферганская области) регионы общей площадью 34 тыс. кв. км (7,6 % общей территории страны). Здесь проживает около 50 % общей численности населения Республики Узбекистан. В целом на долю района тяготения приходится 48 % ВВП и 50 % национального дохода страны. Также высок экспортный потенциал района: его доля во внешнеторговом обороте республики составляет 52 % [1].

Железная дорога Ангрен – Пап протяженностью 124,14 км пройдет через перевал Камчик в сложных природно-климатических

условиях. Высота перевала Камчик – свыше 2,2 тыс. м над у. м. Через перевал проходит единственная автомобильная трасса между Ташкентской областью и Папским районом Наманганской области. В зимнее время из-за угрозы схода лавин автодорога на данном участке периодически закрывается. Ожидается, что средний ежегодный рост объема грузоперевозок через перевал Камчик с 2014 по 2020 г. составит 15 % (рис. 2). В целях снижения себестоимости продукции в отраслях народного хозяйства в 2016–2019 гг. запланирована передача объема перевозок с автомобильного транспорта на железнодорожную линию Ангрен – Пап в размере 5–6 млн т грузов, а к 2020 г. на нее будет переключен весь грузопоток.

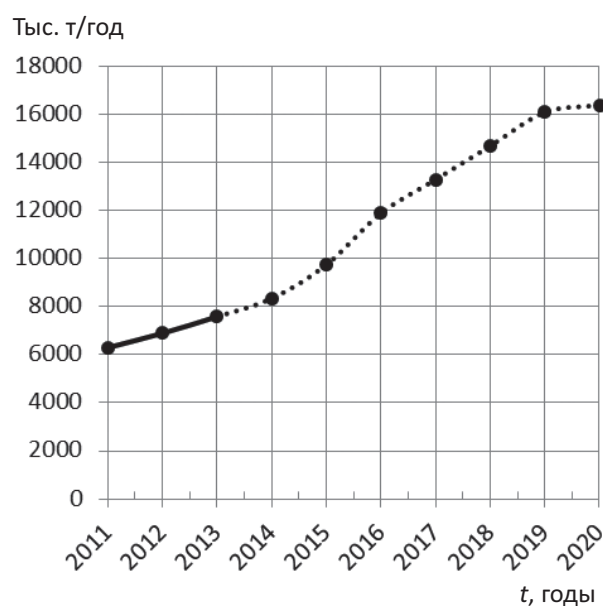


Рис. 2. Прогнозируемый объем перевозок грузов через перевал Камчик 2014–2020 гг.

Общая стоимость строительства железнодорожной линии – 1,75 млрд долл. США. Для пересечения перевала Камчик проект предусматривает строительство тоннеля протяженностью 19 км в третьем перегоне ст. Сардала – Разъезд 2 (рис. 3). Китайская компания построит тоннель стоимостью 432,25 млн долл. непосредственно для движения поез-

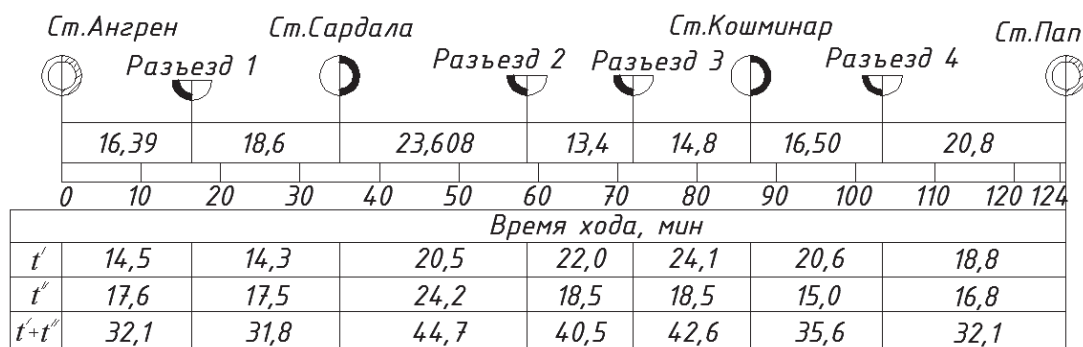


Рис. 3. Схема размещения раздельных пунктов на линии Ангрен – Пап

дов, а также штольный тоннель, который необходим в случае возникновения нештатных ситуаций. По проекту финансирования строительства данного тоннеля Эксимбанк КНР предоставляет кредит на 20 лет, включая 5 лет льготного периода, по процентной ставке 2,25 % [2].

Строительство линии Ангрен – Пап даст внегосударственный эффект, снизит себестоимость продукции в отраслях народного хозяйства, изменит транспортно-географическое положение потенциальных площадок для промышленно-гражданского строительства и разработки месторождений полезных ископаемых.

2 Постановка задачи

Развитие и постоянное усиление мощности железнодорожной сети Республики Узбекистан – основная задача Государственно-акционерной железнодорожной компании Узбекистон темир йуллари. Ее решение будет способствовать привлечению грузов и пассажиров на железные дороги за счет снижения эксплуатационных расходов по сравнению с альтернативными видами транспорта.

3 Расчет пропускной и провозной способности линии Ангрен – Пап

Для усиления мощности проектируемой железной дороги необходимо определить

пропускную и провозную способность участка железной дороги. Этот расчет проводят в соответствии с «Инструкцией по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог».

Пропускная способность однопутных перегонов при парном непакетном (параллельном) графике движения поездов определяется по формуле

$$n = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_n}{t' + t'' + \tau_B + \tau_A} \text{ пар поездов/сут, (1)}$$

где t' , t'' – время хода по перегону в нечетном и четном направлениях, соответственно, мин; τ_A , τ_B – станционные интервалы по станциям А и Б, мин; $t_{\text{техн}}$ – технологические окна для текущего содержания и ремонта пути и его инфраструктуры (контактной сети, систем СЦБ и др.). На основе статических данных $t_{\text{техн}}$ на однопутных линиях принимается равным 75 мин; α_n – коэффициент надежности. С учетом отказов подвижного состава в целом коэффициент надежности при расчете наличной пропускной способности на электрифицированных однопутных линиях принимается 0,93.

Количество грузовых поездов на участках с преимущественным грузовым движением в условиях непараллельного графика определяется по формуле

$$n_{\text{гр}} = n - n_{\text{пс}}^{\text{ск}} \cdot \varepsilon_{\text{пс}}^{\text{ск}} - n_{\text{пс}} \cdot \varepsilon_{\text{пс}} - n_{\text{пр}} \cdot \varepsilon_{\text{пр}} - n_{\text{уск}} \times (\varepsilon_{\text{уск}} - 1) - n_{\text{сб}} (\varepsilon_{\text{сб}} - 1) \text{ пар поездов/сут, (2)}$$

где n – пропускная способность участка при параллельном графике; $\varepsilon_{\text{пс}}, \varepsilon_{\text{пр}}, \varepsilon_{\text{уск}}, \varepsilon_{\text{сб}}$ – коэффициент съема для пассажирских, пригородных, ускоренных и сборных грузовых поездов, соответственно; $\varepsilon_{\text{пс}} = 1,7$; $\varepsilon_{\text{сб}} = 1,8$; $n_{\text{пс}}, n_{\text{пр}}, n_{\text{уск}}, n_{\text{сб}}$ – размеры движения (поездов, пар поездов) тех же категорий; $n_{\text{пс}} = 2$; $n_{\text{сб}} = 1$.

Возможная провозная способность дороги, определяемая количеством груза, которое она может перевезти при данном техническом оснащении в том или ином направлении в год,

$$\Gamma_{\text{в}} = \frac{365 \cdot Q_{\text{н}} \cdot n_{\text{гр}}}{\gamma} \cdot 10^{-6} \text{ млн т/год}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{н}}$ – масса нетто грузового поезда $Q_{\text{н}} = 0,65 \cdot Q_{\text{бр}} = 0,65 \cdot 1600 = 1040$ т; $Q_{\text{бр}}$ – масса брутто грузового поезда, $Q_{\text{бр}} = 1600$ т; $n_{\text{гр}}$ – число грузовых поездов, которые может пропустить железная дорога в данном направлении; γ – коэффициент неравномерности перевозок 1,2; Железная дорога состоит из семи перегонов протяженностью от 13 до 24 км (рис. 3). Максимальные продольные уклоны составляют 27‰, более половины длины трассы за проектированы с уклонами свыше 12‰.

Расчет времени хода поездов по перегонам на линии Ангрен – Пап показан на рис. 3.

По результатам обработки информации о структуре грузопотока известно, что на линии Ангрен – Пап будут обращаться грузовые поезда со следующими видами груза: нефтепродукты, автомобили GM Uzbekistan, бензин, уголь, цемент, хлопок, зерно, удобрения и т. д.). Они формируются из 4-осных вагонов грузоподъемностью до 60 т с коэффициентом использования грузоподъемности 0,80 и с массой тары вагона до 22 т. В такой ситуации отношение массы состава нетто и массы брутто (при разных видов груза) составит 0,65. При полном использовании мощности локомотива ВЛ80 при движении по руководящему подъему масса состава брутто равна 1600 т, нетто – 1040 т [3]. Результаты расчетов пропускной и провозной способностей приведены в таблице.

Если формировать составы с учетом полного использования полезной длины приемо-отправочных путей, то масса состава будет

$$Q_{\text{по}} = q_{\text{н}} \cdot (l_{\text{по}} - 50) \text{ т}, \quad (4)$$

где $q_{\text{н}}$ – средняя погонная нагрузка состава, 4,3 т/пог.; $l_{\text{по}}$ – полезная длина приемо-отправочных путей, 850 м.

В результате $Q_{\text{по}} = 3440$ т.

Ясно, что имеющаяся полезная длина приемо-отправочных путей недоиспользована, т. е. запас массы состава по полезной длине приемо-отправочных путей составляет 2400 т.

Расчет показывает, что есть возможность увеличить длину состава до имеющейся полезной длины, в итоге увеличится провозная способность.

4 Анализ схем овладения перевозками

Сегодня трудно прогнозировать требуемую провозную способность $\Gamma_{\text{пот}}$, поскольку вероятность этого сложного показателя зависит от рыночных условий. В соответствии с графиком с 2016 по 2034 г. запланировано резкое увеличение объема перевозок – с 11,9 до 22,0 млн т в год). Очевидно, такой рост объема перевозок требует постоянного (или поэтапного) усиления линии и, следовательно, капитальных вложений.

Провозная способность однопутных линий может быть увеличена за счет их реконструкции, введения более мощных локомотивов с одновременным увеличением полезной длины станционных путей, введения более совершенных средств сигнализации и связи, смягчения руководящего уклона. Увеличение массы грузовых поездов на однопутных линиях с интенсивным движением является наиболее эффективным и экономически целесообразным решением вопроса об овладении возрастающими объемами перевозок. При поэтапном усилении однопутных линий в подавляющем большинстве случаев выгоднее

Возможные пропускная и провозная способности линии Ангрен – Пап

Перегон	Показатель	Величина
Ст. Ангрен – разъезд 1	Пропускная способность	36 пар поездов
	Количество грузовых поездов	31 пар поездов
	Провозная способность	9,9 млн т/год
Разъезд 1 – ст. Сардала	Пропускная способность	36 пар поездов
	Количество грузовых поездов	31 пар поездов
	Провозная способность	10,0 млн т/год
Ст. Сардала – разъезд 2	Пропускная способность	27 пар поездов
	Количество грузовых поездов	21 пар поездов
	Провозная способность	6,5 млн т/год
Разъезд 2 – разъезд 3	Пропускная способность	29 пар поездов
	Количество грузовых поездов	24 пар поездов
	Провозная способность	7,6 млн т/год
Разъезд 3 – ст. Кошминар	Пропускная способность	28 пар поездов
	Количество грузовых поездов	23 пар поездов
	Провозная способность	7,2 млн т/год
Ст. Кошминар – разъезд 4	Пропускная способность	33 пар поездов
	Количество грузовых поездов	28 пар поездов
	Провозная способность	8,8 млн т/год
Разъезд 4 – ст. Пап	Пропускная способность	36 пар поездов
	Количество грузовых поездов	31 пар поездов
	Провозная способность	9,9 млн т/год

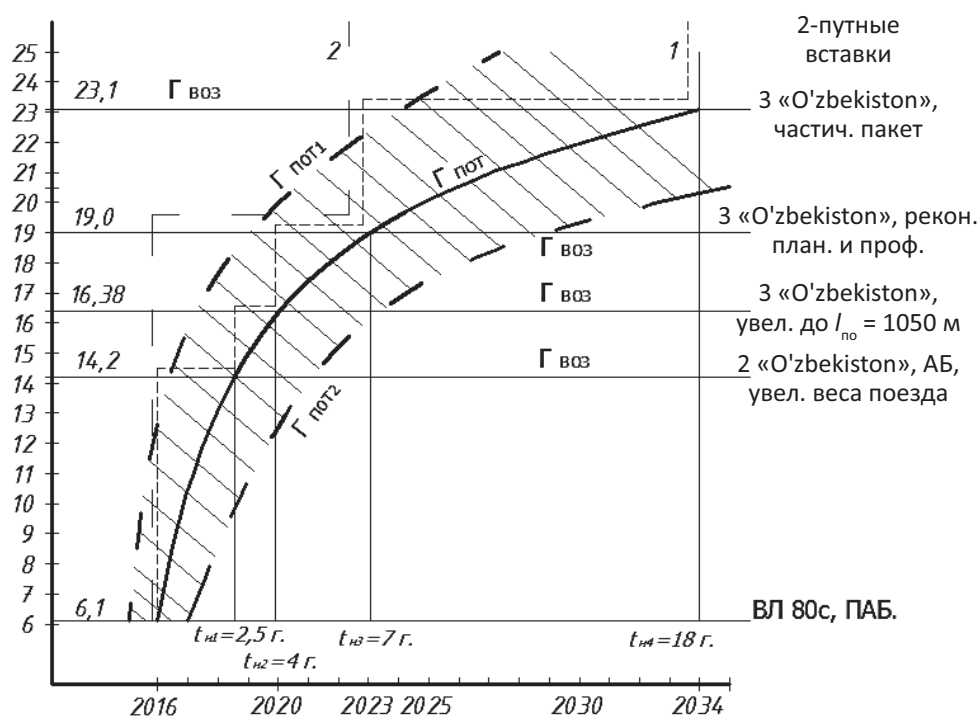


Рис. 4. График овладения перевозками

сначала увеличить массу грузовых поездов, а затем уже – пропускную способность линии (путем устройства двухпутных вставок или второго пути на всем протяжении) [4, 5].

Предлагаем схему поэтапного усиления однопутных линий:

1) введение третьей секции локомотива «O'zbekiston» (за счет запаса массы состава по полезной длине приемо-отправочных путей);

2) устройство автоблокировки;

3) организация движения поездов при частично-пакетном графике;

4) строительство двухпутных вставок.

При разработке графика овладения перевозками принимаем, что один уровень технического состояния переходит в другой, более мощный, после того, как будут использованы все резервы действующего состояния, т. е. необходимы экономически эффективные сроки перехода (t_n). На рис. 4 приведен график овладения перевозками, на котором указаны сроки перехода при электровозной тяге t_{n1} , ..., t_{n4} .

Как видно из рис. 4, при выборе варианта схемы освоения перевозок рассматривается достаточно большой период эксплуатации железнодорожной линии.

Заключение

На основе изложенного можно сделать следующие выводы.

1. При достаточной полезной длине приемо-отправочных путей в перспективе для освоения возрастающих перевозок передвижение грузовых поездов может быть осуществ-

влено 3-секционными локомотивами серии «O'zbekiston»;

2. На втором этапе предполагается переход на устройство автоблокировки. Мероприятие наиболее экономично, так как не требует значительных капиталовложений;

3. На третьем этапе движение поездов организуется при частично-пакетном графике;

4. Далее предусмотрены устройства двухпутных вставок или второго пути на всем протяжении линии. Устройство двухпутных вставок позволяет организовать безостановочное скрещение поездов и повысить пропускную способность однопутной линии при значительно меньших капиталовложениях, чем сооружение сплошного второго пути.

Библиографический список

1. **Экономическая** реформа на железнодорожном транспорте / К. У. Ульджабаев. – Ташкент, 1999. – 304 с.
2. **Строительство** новой электрифицированной железнодорожной линии Ангрен – Пап : Предварительное технико-экономическое обоснование. Пояснительная записка. – Ташкент, 2012. – 500 с.
3. **Правила** тяговых расчетов для поездной работы. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с.
4. **Экономические** изыскания и основы проектирования железных дорог : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Б. А. Волков, И. В. Турбин, Е. С. Свинцов, Н. С. Лобанова ; под ред. Б. А. Волкова. – Москва : Маршрут, 2005. – 408 с.
5. **Обоснование** повышения мощности железных дорог в единой транспортной системе САР : дис. / Аль-Арадж Модар. – Санкт-Петербург, 2000. – 202 с.

УДК 624.21.093.004

С. В. Чижов, Э. Т. ЯхшиевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

О ТРЕБОВАНИЯХ К МОСТАМ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ

Речь идет о требованиях к эксплуатируемым мостам по прочности, жесткости, устойчивости, аэродинамической и динамической нагрузке. Детерминистическим методом дана оценка риску, возникающему при высокой скорости состава, проходящего по двухпутному звеньевому, двухпутному бесстыковому и особому путям.

Рассмотрены факторы, влияющие на безопасность движения, затронуты особенности влияния руководящего уклона на эксплуатацию моста, а также требования к эксплуатации мостов с балластным и безбалластными путями и технические условия, так как их соблюдение является гарантией обеспечения определенной грузоподъемности, безопасности и пропускной способности мостового сооружения.

безопасность движения, аэродинамическая и динамическая нагрузка, риск, руководящий уклон, балластный и безбалластный путь.

Введение

Условия обеспечения безопасности при движении по мостовому переходу требуют определенных технических параметров прочности, жесткости и устойчивости моста в целом и каждого его элемента в отдельности, которые обязательно проверяются расчетами на основании установленных допусков и норм. Но не все эти вопросы можно решить расчетами, поэтому иногда возникает необходимость в обеспечении технических требований конструктивными мерами. Требования технических условий строго обязательны, так как их соблюдение является гарантией обеспечения определенной грузоподъемности и пропускной способности мостового сооружения.

Но степень соответствия техническим требованиям различных элементов конструкции может быть различна. В одном случае они выполнены в точном соответствии нормам, а в другом – с некоторым запасом. Например, подбор сечения сжатого металлического

стержня выполняется таким образом, чтобы нормативные требования по устойчивости и жесткости удовлетворялись точно по нормам (без всякого запаса против норм), а каменные своды даже нет необходимости проверять на эти показатели, потому что запасы по устойчивости в них гарантированно большие.

Так как технические требования должны выполняться во всех вариантах проектируемого мостового сооружения и речь может идти только о выполнении дополнительных гарантий безопасности, при сравнении различных вариантов значение критериев технического характера не является основным.

Кроме них, следует учитывать эксплуатационные требования.

Беспрепятственность и удобство движения по мосту обеспечивается соблюдением эксплуатационных требований. Основные из них:

- соответствие принятым габаритам строения;
- возможность (при необходимости) замены мостовых конструкций;

- доступность обеспечения всех частей моста для профилактических осмотров и выполнения ремонта;
- обеспечение безопасного пропуска паводков, ледоходов и корчехода;
- заземление всех металлических конструкций моста и железобетонных конструкций, поддерживающих контактную сеть;
- использование защитных покрытий в накрывных галереях пешеходного моста;
- для сооружений и зданий в зоне мостовых габаритов должны быть обеспечены противопожарные мероприятия [1].

1 Основные требования к эксплуатации мостовых сооружений

При несоблюдении указанных требований мы сталкиваемся с таким понятием, как риск. В настоящее время при анализе риска приняты следующие определения.

Риск – мера величины угрозы. Риск – это функция частоты нежелательного события и его последствий, например, потери жизни, экономических потерь, социальных возмущений, экологического ущерба.

Уровень риска определяют по величине риска, рассчитываемой по формуле

$$R = FR\{C, P\} = \sum [FR_i(P_i, C_i)]i, \quad (1)$$

где R – величина риска; FR – функционал, связывающий вероятность P возникновения события и математическое ожидание последствия (ущерба) C от этого события; P – вероятность (частота) возникновения события; C – величина последствия возникновения события; i – вид события. При расчете рисков и обеспечения безопасности сооружений используются детерминистические и вероятностные методы.

Детерминистические методы основаны на проектировании с использованием определенных величин коэффициентов надежности.

В этих методах вводятся некоторые допущения по отношению к переменным прочности ($x_1, \dots, x_n$) и нагрузки ($y_1, \dots, y_m$). При этом определенный запас между расчетной прочностью R и нагрузкой S создается общим коэффициентом надежности γ_0 . В формульном виде это условие записывается так:

$$\frac{R(x_1, \dots, x_n)}{S(y_1, \dots, y_m)} \geq \gamma_0. \quad (2)$$

Коэффициенты надежности в какой-то степени отражают неполное знание реальной геотехнической ситуации, а их величина зависит от опыта, накопленного при проектировании и эксплуатации сооружений. Коэффициенты надежности помогают проектировщику в экспертной оценке ситуации, однако они ни прямо, ни косвенно не учитывают аварии и ущерб, связанный с ними [2].

Для наглядного анализа риска приведен схематический график зависимости риска от скорости (см. рисунок).

По графику видно, что увеличение риска прямо пропорционально увеличению скорости. Это говорит о том, что проблема роста риска превалирует в данной ситуации, так как мы заинтересованы в увеличении скорости. Для этого мы должны обратить внимание на уклон, конструкционные особенности пути (балластный или безбалластный путь, стыковой или бесстыковой), а также на аэродинамические и динамические особенности мостов.

Наиболее распространенным ограничивающим (максимальным) уклоном продольного профиля является руководящий уклон. Он входит в состав основных технических параметров и выбирается по результатам технико-экономических обоснований.

При соответствующем обосновании можно применять различные значения руководящего уклона по направлениям.

Крутизну руководящего уклона на затяжных подъемах, когда скорость поезда становится близкой к минимальной расчетной, в кривых участках пути длиной K следует уменьшать на величину $i_{э(k)}$, эквивалентную

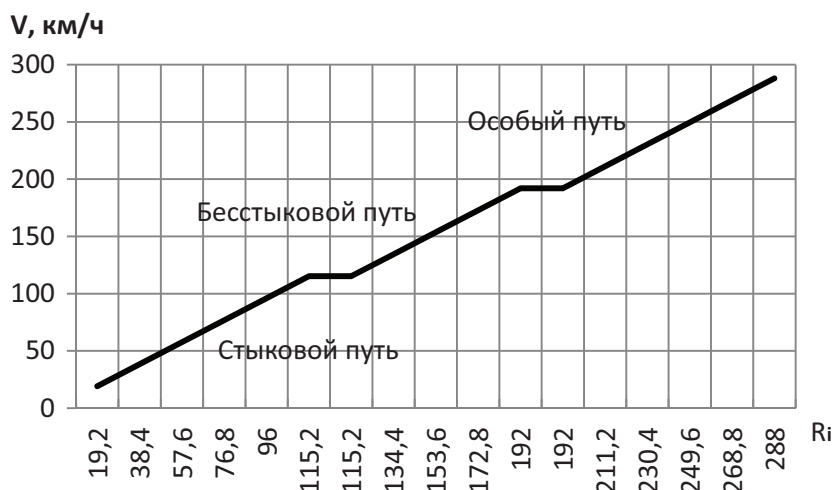


График зависимости риска от скорости

дополнительному сопротивлению от кривой, которая определяется по формулам:
при $K > l_{\pi}$ или $\Delta K > l_{\pi}$

$$i_{\alpha(k)} = \frac{700}{R}, \quad (3)$$

при $K = l_{\text{см}}$, если $l_{\text{см}}$

$$i_{\alpha(k)} = \frac{12,2 \times \alpha}{l_{\pi}}, \quad (4)$$

при $K > l_{\text{см}}$, если $l_{\text{см}}$

$$i_{\alpha(k)} = \frac{12,2 \times \Delta \alpha}{l_{\pi}}, \quad (5)$$

при этом

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta K \times \alpha}{K}, \quad (6)$$

где K – длина круговой кривой, м; l_{π} – длина поезда, м; $l_{\text{см}}$ – длина участка смягчения руководящего уклона, м; $i_{\alpha(k)}$ – уклон, эквивалентный дополнительному сопротивлению от кривой, ‰; R – радиус кривой, м; α – угол поворота кривой, град; $\Delta \alpha$, ΔK – части угла поворота, град, и длины кривой, м, соответственно.

Накоплен значительный объем теоретических знаний и экспериментальных исследований в области изучения аэродинамической устойчивости мостов.

В состав аэродинамики мостов, изучающей аэродинамические силы, действующие на элементы моста при обтекании их ветровыми потоками, входит и такая наука, как аэроупругость.

Аэроупругость изучает поведение сооружений в ветровых потоках, реакцию отдельных элементов и всего сооружения на ветровые воздействия. Большое разнообразие явлений, возникающих под воздействием потоков газа или жидкостей, их влияние на надежность работы мостовых конструкций делает изучение проблемы аэродинамической устойчивости мостов особенно важным в прикладном и научном значении.

Влияние ветровых воздействий на надежность и прочность гибких мостовых элементов очень велико. Поведение конструкций под действием ветра можно условно подразделить на явления динамической и статической аэроупругой неустойчивости.

Современные тенденции развития мостостроения характеризуются использованием новейших высокопрочных материалов, постоянным совершенствованием конструктивных форм и методик расчетов. Все это приводит к уменьшению материалоемкости мостовых

конструкций, их большей чувствительности к динамическим воздействиям, вызванным облегчением элементов мостов и уменьшением их жесткости. Также постоянно растет нагрузка на мосты из-за увеличения массы железнодорожных поездов, повышения грузоподъемности автомобильного транспорта и увеличения скоростей движения. Все это резко увеличило важность исследования динамики мостовых конструкций и совершенствование динамических расчетов.

Различные динамические нагрузки приводят к колебаниям мостовых сооружений. Значительно увеличивают напряжение в элементах мостов силы инерции, происходящие из-за колебательных процессов в мостовых конструкциях. Это может привести к нарушению нормальной эксплуатации мостовых сооружений, а при определенных условиях – даже к возникновению аварийных ситуаций [3].

Главные факторы динамического воздействия подвижных нагрузок на мосты:

- эффект скорости, который определяется инерционными силами, возникающими из-за движения подвижной нагрузки по криволинейным траекториям;
- случайные – неровности в колесах подвижного состава и рельсах, возникающие из-за неравномерных износов и угона.
- балочный эффект – колебания надрессорных элементов подвижного состава, приводящие к периодическим изменениям давления на ось. Они возникают от ударов колес на неровностях мостового пути и от движения по извилистой траектории. В связи с тем, что продольные мостовые балки опираются на поперечные, под нагрузкой их статические перемещения будут различны;
- влияние подвижного состава на железнодорожных мостах. Это определяет горизонтальное действие нагрузки, вызванное извилистым в плане движением вагонов и локомотивов вследствие конической формы бандажей;
- кинематическое возбуждение, возникающее из-за пульсации статических прогибов

пролетных строений при движении по ним нагрузки, состоящей из однотипных автомобилей или вагонов. Так как нагрузка сосредоточивается в местах расположения осей, всегда найдутся два ее положения, которые дадут наименьший и наибольший статические прогибы пролетных строений;

- для систем, обладающих меньшей жесткостью (висячих мостов и некоторых видов вантовых), – взаимодействие конструкций с воздушными потоками при сильном ветре.

На железнодорожных мостах динамика воздействия подвижной нагрузки учитывается умножением динамического коэффициента на величину нормативной нагрузки. Величина коэффициента представляет собой отношение величины динамической добавки, перемещения или напряжения к определенной статической величине.

Значение динамического коэффициента при скоростях до 200 км/ч не всегда значительно отличается от единицы, что подчеркивается обозначением $1 + \mu$, где μ – малая величина, называемая динамической добавкой. Коэффициент в значительной мере зависит от материала и конструкции мостовых пролетных строений, а также от типа подвижного состава.

Величина динамического коэффициента железнодорожных мостов при скорости до 200 км/ч рассчитывается по следующим формулам:

- для балочных разрезных металлических пролетных строений [4]

$$1 + \mu = 1 + 18 / (30 + \lambda),$$

где λ – длина расчетного пролета или некоторых участков для элементов, которые работают на местную нагрузку. Для скоростей свыше 200 км/ч $1 + \mu$ имеет более сложное выражение;

- для неразрезных металлических пролетных строений и для совмещенных мостов (с железнодорожным и автодорожным проездом)

$$1 + \mu = 1 + 14 / (30 + \lambda);$$

- для балочных железобетонных пролетных строений и конструкций рамных систем

$$1 + \mu = 1 + 10 / (20 + \lambda).$$

Немаловажное значение имеет также мостовое полотно железнодорожных мостов балластного и безбалластного типов.

Мостовое полотно на балласте создает хорошие условия для движения железнодорожных составов. Это обусловлено тем обстоятельством, что железнодорожный путь в пределах моста и подходов насыпей имеет одинаковую жесткость, а это приводит к отсутствию толчков при въезде состава на мост.

К достоинствам безбалластного полотна, устраиваемого на железобетонных плитах, относятся:

- безопасность прохода колесных пар по мосту при их сходе с рельсов;
- длительные сроки эксплуатации;
- направленный отвод воды с мостового полотна;
- защита верхних поясов и связей главных балок от коррозии и загрязнения;
- хорошие показатели по электроизоляции;
- легкость и скорость укладки;
- минимальные затраты на содержание;
- высокая стабильность положения элементов;
- возможность замены мостового полотна, выполненного на поперечинах, без необхо-

димости опускания или подъема путей на подходах.

Заключение

Требования технических условий строго обязательны, так как их соблюдение является гарантией обеспечения определенной грузоподъемности и пропускной способности мостового сооружения. Однако степень соответствия техническим требованиям различных элементов конструкции может быть различна. В одном случае они выполнены в точном соответствии нормам, а в другом – с некоторым запасом.

Детерминистическим методом был рассчитан показатель риска, возникающий при высокой скорости состава, проходящего по двухпутному стыковому, двухпутному бесстыковому и особому путям. Рассмотрены факторы, влияющие на безопасность движения, затронуты особенности влияния руководящего уклона на эксплуатацию моста.

Библиографический список

1. **Основные** требования к проектированию мостовых переходов. – URL : <http://мост.рф/article/44>.
2. **Оценка** риска и обеспечение безопасности в строительстве / В. М. Улицкий, М. Б. Лисюк // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2002. – № 5. – С. 160–166.
3. **Аэродинамическая** устойчивость висячих и вантовых мостов. – URL : <http://мост.рф/article/44>.
4. **СНиП 2.05.03–84.** Мосты и трубы / Минстрой России. – Москва : ГП ЦПП, 1996. – 214 с.



УДК 620.179.16

В. В. Большакова, Н. А. Кукин

ЗАО «КТПИ „Газпроект“»

Г. Я. ДымкинПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Механические напряжения газопроводов являются основной причиной развития наиболее опасных дефектов типа коррозионного растрескивания. Повышение достоверности выявления таких дефектов может быть достигнуто путем разработки средств внутритрубной диагностики, обеспечивающих обнаружение зон аномальных механических напряжений. Рассмотрены магнитные методы неразрушающего контроля как способ оценки напряженно-деформированного состояния. Лабораторными модельными экспериментами исследованы зависимости магнитных характеристик трубной стали от механических напряжений при простых и комбинированных способах нагружения. Установлена возможность и целесообразность использования коэрцитивной силы в качестве измеряемой характеристики при оценке механических напряжений. Сформулированы задачи, решение которых необходимо для создания средства оценки механических напряжений при внутритрубной диагностике.

внутритрубная диагностика газопроводов, коррозионное растрескивание под напряжением, коэрцитивная сила, напряженно-деформированное состояние.

Введение

В условиях выработки ресурса технологических трубопроводов основной прокладки (в 1970–1980-е годы) фиксируется значительный прирост аварий на компрессорных станциях, повлекших за собой не только значительные экономические потери от затрат на ликвидацию последствий, но и гибель обслуживающего персонала. С 2012 г. основной причиной аварийных разрушений послужили дефекты типа «коррозионное растрескивание под напряжением» (КРН) [1].

КРН, или стресс-коррозионный дефект, представляет собой микроскопические трещины на внешней поверхности трубопровода, характеризующиеся аномальным отношением длины и глубины [2], возникающие в результате длительного и одновременного воздействия на металл механических напряжений и коррозионно-агрессивных сред.

С 2004 г. для оценки технического состояния трубопроводных обвязок компрессорных станций газопроводов диаметрами от Ду700 до Ду1400 (толщина стенок 10–21 мм,

соответственно), компания ЗАО «КТПИ „Газ-проект“» применяет средство внутритрубной диагностики – телеуправляемый диагностический комплекс, который обеспечивает:

- внутритрубное обследование (обнаружение посторонних предметов, непредусмотренных технологических окон, термопар);
- визуально-измерительный контроль сварных соединений;
- ультразвуковой контроль основного металла трубы (в том числе толщинометрию фасонных изделий).

Одной из главных задач модернизации средств внутритрубной диагностики является повышение производительности автоматизированного контроля основного металла, которое может быть достигнуто, в частности, за счет реализации двухэтапной процедуры обследования: выявления зон с аномальными механическими напряжениями и последующего сплошного сканирования с целью выявления КРН только в указанных зонах. Изложенное обуславливает актуальность разработки неразрушающего экспресс-метода оценки напряженно-деформированного состояния газопровода в полевых условиях.

Выбор магнитных методов неразрушающего контроля для решения поставленной задачи обоснован их следующими преимуществами по сравнению с рентгеновскими и ультразвуковыми методами, также применяемыми для оценки механических напряжений [3]: портативность первичных преобразователей; отсутствие особых требований к подготовке поверхности; высокая скорость и простота автоматизации измерений. В то же время специально должны быть рассмотрены ограничения магнитных методов, обусловленные тем, что они позволяют оценивать только напряжения в поверхностном слое материала изделия. Невысокая точность данного вида измерений в данном случае не является критическим недостатком, так как для оценки эксплуатационной опасности состояния металла на участке важны не сами значения механических напряжений, а места их концентрации.

Для разработки того или иного метода косвенных измерений механических напряжений весьма важны характеристики исследуемого напряженно-деформированного состояния – диапазоны и соотношения значений компонент тензора упругих напряжений, а также их распределение в сечении объекта контроля. Обоснование метода контроля сводится к выбору измеряемой физической величины (или соотношения величин), а также к оценке погрешностей измерения и влияния на их величину свойств материала и состояния объекта контроля. В статье представлены соответствующие этапы и результаты исследований.

1 Оценка напряжений в стенке трубопровода

С учетом малых значений отношения толщины стенки к радиусу трубы ($< 0,05$) при выполнении прочностных расчетов трубопроводов применима модель тонкостенной оболочки. Если оболочка имеет резкий переход и жесткие защемления и, кроме того, нагружена сосредоточенной силой и моментами, то в местах крепежа оболочки, резких изменений формы, действия сосредоточенных сил и моментов возникают напряжения, обусловленные изгибным эффектом.

Учет изгибных эффектов можно получить в рамках моментной теории оболочек [4]. Объектом исследования являлся тонкостенный цилиндр с приваренными к нему массивными фланцами, которые и являются причиной стесненности деформаций на краях цилиндра. Выполненный по [4] расчет значений напряжений в сечении стенки трубы (диаметр 1220 мм, внутреннее давление 7,4 МПа, толщина стенки 18 мм, сила растяжения 1000 кН) позволил оценить значения главных нормальных напряжений – меридиональных ($\sigma_m^m \approx \pm 0,39$ МПа) и кольцевых ($\sigma_m^k \approx \pm 0,12$ МПа) напряжений от внутренних моментов. Рассчитанные напряжения возникают на поверхности стенок оболочки, по-

середине которой проходит нейтральная ось, следовательно, максимальное различие напряжений на внешней и внутренней стенке трубы будет равно приблизительно 0,8 МПа, что свидетельствует об их однородности на поверхности и по толщине трубы. Столь незначительные напряжения, обусловленные конструкцией подключающих шлейфов компрессорных станций трубопроводов, не могут не только повлиять на прочность, но даже существенно отразиться на результатах измерений. Для оценки напряженно-деформированного состояния с целью выявления стресс-коррозионных дефектов необходимо определять значения механических напряжений в диапазоне, близком к значению предела упругости и ограниченном пределом текучести, т. е. порядка 10^2 МПа [5].

Таким образом, возможность применения магнитных методов неразрушающего контроля для оценки напряженно-деформированного

состояния трубопроводов при внутритрубной диагностике зависит лишь от наличия связи магнитных характеристик металла и механических напряжений трубы.

2 Экспериментальные исследования связи магнитных характеристик трубной стали с напряженно-деформированным состоянием трубы

Поскольку в реальных условиях эксплуатации газопроводы в подавляющем большинстве случаев испытывают действие комплексных нагрузок (растяжение или сжатие, нагрузки, вызванные внутритрубным давлением, температурные деформации, внешние нагрузки и т. п.) при экспериментальных исследованиях необходимо моделировать несколько видов нагружения и получать соответствующие зависимости магнитных характеристик от вели-

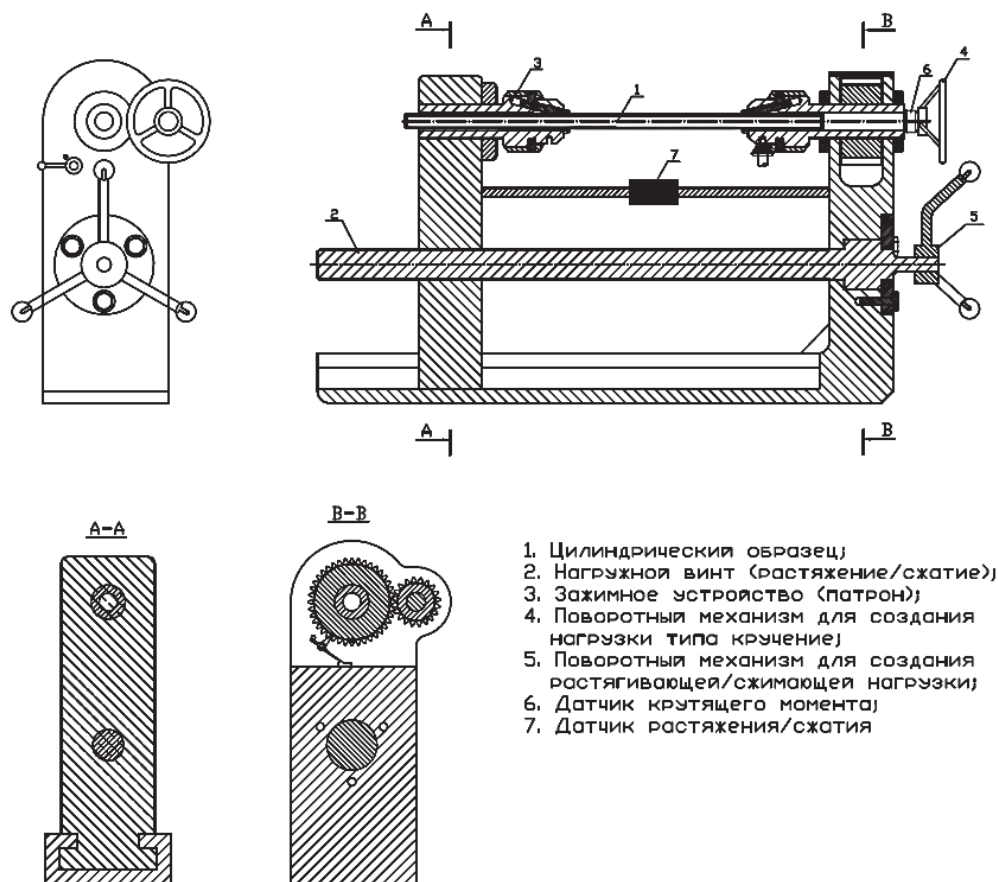


Рис. 1. Установка для механических испытаний

чины внутренних напряжений. Для реализации методики исследований, предложенной в [6], ЗАО «КТПИ „Газпроект“» была изготовлена установка, осуществляющая одноосное растяжение (сжатие) совместно с кручением (рис. 1). Напряженно-деформированное состояние образца в данном случае оценивали по величине нормальных (возникающим в результате растяжения/сжатия) и касательных (возникающим в результате кручения) напряжений.

При проведении исследования использовали полые цилиндрические образцы из трубной стали 09Г2С. Радиусы образца $R_{\text{внеш}} = 5,5$ мм, $R_{\text{внутр}} = 4,5$ мм; длина рабочей части 60 мм. Значения механических характеристик стали: условный предел текучести исследованной стали $\sigma_{0,2} = 325$ МПа, временное сопротивление разрыву $\sigma_B = 480$ МПа.

Нормальные напряжения σ , вызванные растяжением/сжатием вдоль оси образца, вычисляли по формуле [6]:

$$\sigma = F / S, \quad (1)$$

где F – нагрузка, приложенная к образцу; S – площадь поперечного сечения рабочей части образца в исходном состоянии. Изменением сечения образца при упругом деформировании растяжением или сжатием пренебрегали.

Напряжения τ , вызванные кручением, на расстоянии r от оси цилиндра вычисляли по формуле [6]:

$$\tau = \frac{T \cdot r}{\frac{\pi}{2}(R_{\text{внеш}}^4 - R_{\text{внутр}}^4)}, \quad (2)$$

где T – текущее значение крутящего момента, $R_{\text{внутр}} < r < R_{\text{внеш}}$.

В ходе эксперимента реализованы простые виды нагружения (одноосное растяжение/сжатие, кручение) и комбинированное нагружение в упругой области. Значения нагрузок ограничивались таким образом, чтобы ни одно из главных напряжений не превышало предел текучести $\sigma_{0,2}$.

Магнитные измерения проводили в соответствии с ГОСТ 8.377 [7] в условиях приложения нагрузки по схеме пермеамметра (рис. 2). В процессе эксперимента получали начальную и предельную кривые намагниченности; при разных значениях нагружения измеряли коэрцитивную силу H_c , определяли значения остаточной магнитной индукции B_r и максимальной магнитной проницаемости μ_{max} .

Полученные зависимости H_c , B_r и μ_{max} стали 09Г2С от внутренних напряжений в трубе при одноосном растяжении/сжатии, кручении и комбинированном нагружении представлены на рис. 3–5. Погрешности измерения составили: для $H_c - \pm 2\%$; $B_r - \pm 3\%$; $\mu_{\text{max}} - \pm 10\%$.

Анализ представленных результатов экспериментальных исследований показывает:

- зависимости коэрцитивной силы, остаточной индукции и максимальной магнитной проницаемости от механических напряжений при растяжении и кручении носят линейный характер в диапазоне значений механических напряжений, ограниченном пределом текучести стали 09Г2С;

- комплексное действие нормальных и касательных напряжений ослабляет их влияние на магнитные характеристики.

Необходимо заметить, что при контроле трубопроводов в реальных условиях оценить вклад нормальной и касательной составляющей напряжений в отдельности не удастся. В то же время при сложном напряженно-деформированном состоянии объекта значение, пропорциональное разности двух главных механических напряжений металла, может быть оценено по разности магнитных параметров петли гистерезиса в двух взаимно перпендикулярных направлениях [8]. Это значение учитывает вклад обеих составляющих, так как главные напряжения по определению являются экстремальными значениями нормальных напряжений в окрестности точки, где касательные напряжения равны нулю, а максимальные значения касательных напряжений в этом случае равны наибольшей полуразности главных напряжений [9].

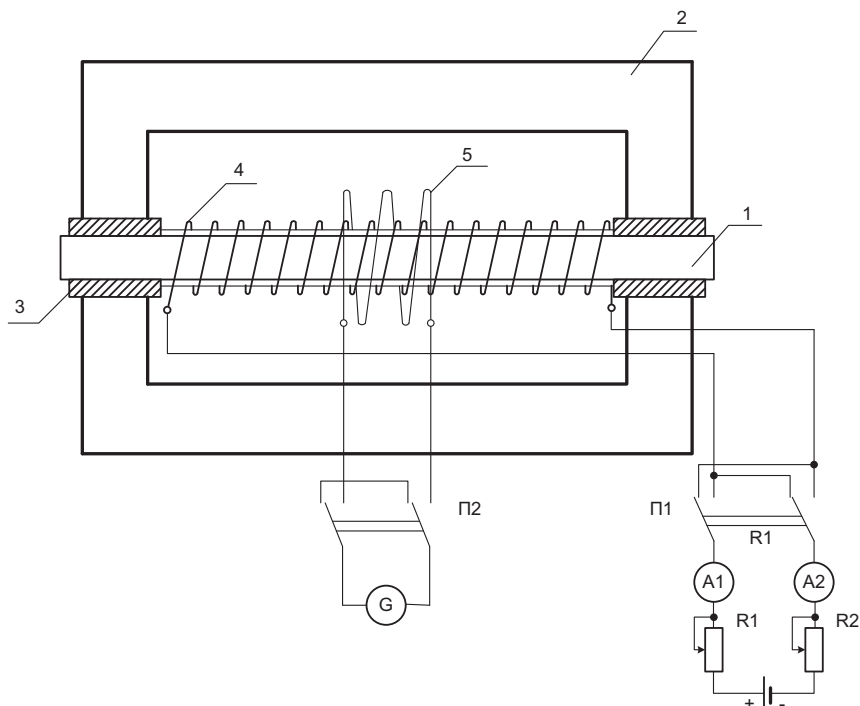


Рис. 2. Схема устройства и включения пермеаметра для испытания стержневых образцов стали:

R1, R2 – регулировочные устройства; A1, A2 – амперметры; П1, П2 – двухполюсные переключатели; 1 – испытываемый образец; 2 – массивная рама; 3 – конические втулки; 4 – намагничивающая катушка; 5 – измерительная катушка

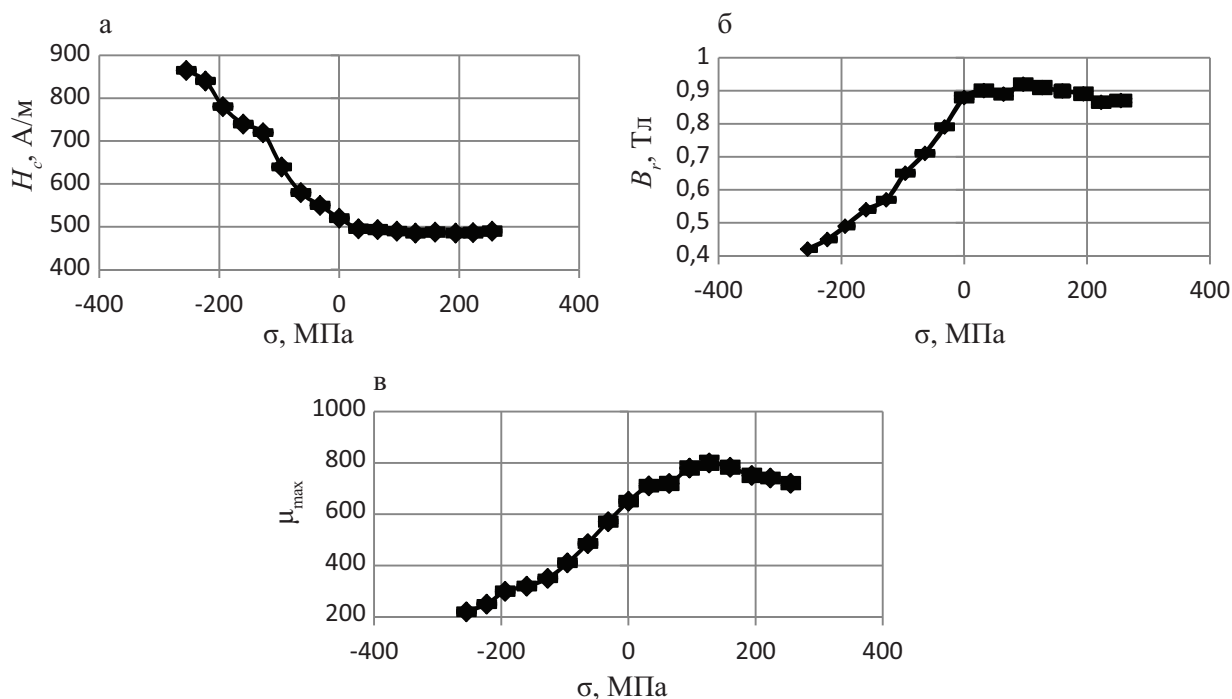


Рис. 3. Зависимость коэрцитивной силы H_c (а), остаточной индукции B_r (б), максимальной магнитной проницаемости μ_{max} (в) стали 09Г2С от внутренних напряжений при одноосном растяжении/сжатии

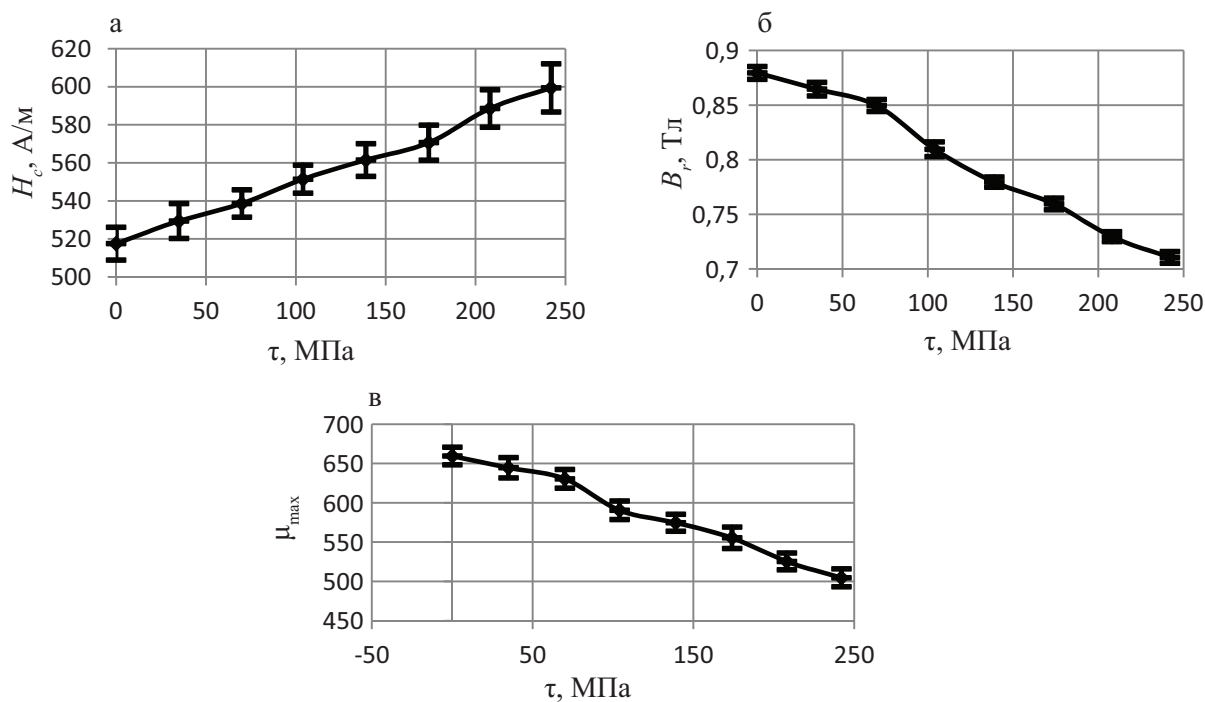


Рис. 4. Зависимости коэрцитивной силы H_c (а), остаточной индукции B_r (б), максимальной магнитной проницаемости μ_{max} (в) стали 09Г2С от внутренних напряжений при кручении

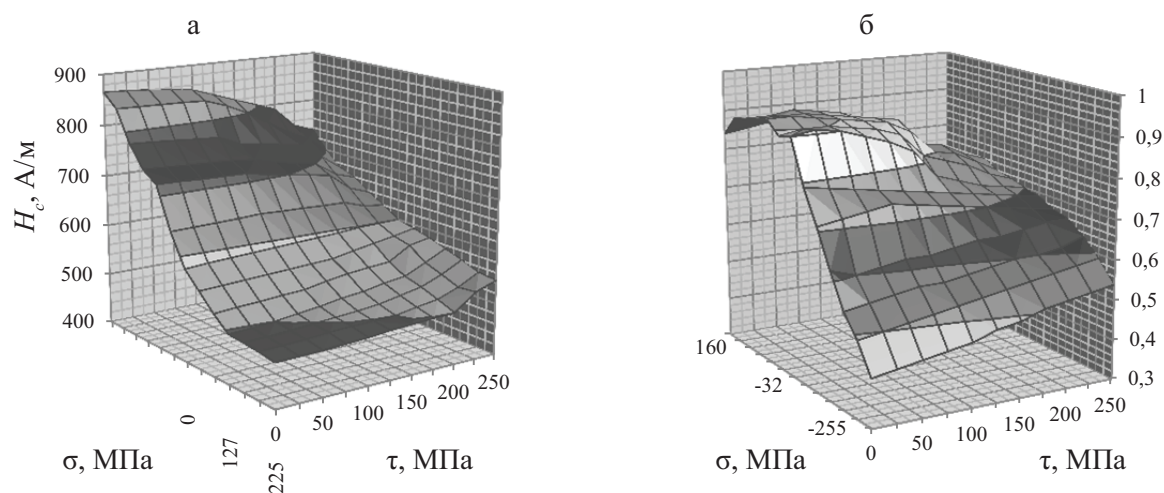


Рис. 5. Зависимости магнитных характеристик стали 09Г2С от механических напряжений при комбинированном нагружении: а) коэрцитивная сила; б) остаточная индукция

Заключение

Лабораторными экспериментами показано, что магнитный метод неразрушающего контроля, основанный на измерении коэрцитивной силы, обеспечивает возможность

оценки напряженно-деформированного состояния трубопроводов. Погрешности предложенной методики и влияющие факторы должны быть дополнительно изучены в условиях внутритрубой диагностики.

При контроле напряженно-деформированного состояния газопроводов в реальных условиях магнитный метод оценки разности главных напряжений может быть использован для поиска и локализации зон повышенной концентрации механических напряжений.

Реализация метода в эксплуатационных условиях требует разработки намагничивающего устройства, обеспечивающего напряженность магнитного поля, достаточную для технического насыщения металла при размещении на расстоянии не менее 0,4 мм; обоснования шага сканирования по внутренней поверхности трубы, при котором точность оценки напряженно-деформированного состояния достаточна для определения зон концентрации механических напряжений.

Библиографический список

1. **Организация** системы противостресс-коррозионной защиты технологических трубопроводов компрессорных станций / А. М. Ангалёв, Д. С. Бутусов, П. М. Созонов и др. // Газовая промышленность. – 2013. – Спецвып. – С. 56–60.
2. **Коррозионное** растрескивание высокопрочных сталей / Ф. Ф. Ажогин. – Москва : Metallurgia, 1970. – 100 с.
3. **Преимущества** метода акустоупругости неразрушающего контроля механических напряжений в деталях машин / Н. Е. Никитина, С. В. Казачек // Вестн. науч.-технич. развития. – 2010. – № 4. – С. 18–28.
4. **Статика** тонкостенных упругих оболочек / А. И. Лурье. – Москва : Гостехиздат, 1947. – 252 с.
5. **Оценка** возможности развития дефектов КРН на трубопроводах компрессорных станций / Ю. П. Сурков, В. Г. Рыбалко, Д. В. Новгородов и др. // Дефектоскопия. – 2010. – № 6. – С. 81–92.
6. **Влияние** упругой деформации растяжением (сжатием), кручением и гидростатическим давлением на магнитные характеристики трубной стали 09Г2С / Э. С. Горкунов, А. Н. Мушников, С. М. Задворкин, Е. И. Якушенко // Науч. изв. на НТСМ. – 2012. – № 1. – С. 12–15.
7. **ГОСТ 8.377–80** «Материалы магнитномягкие. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик».
8. **Принципы** и практика диагностики напряженно-деформированного состояния конструкций, изделий и сварных соединений / В. Л. Венгринович // В мире неразрушающего контроля. – 2005. – № 1. – С. 4–9.
9. **Сопротивление** материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шапиро. – Москва : Высш. шк., 1975. – 654 с.

УДК 004.052.32+681.518.5

Д. В. ЕфановПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**СИНТЕЗ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕСТЕРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
КОДОВ БЕРГЕРА НА ОСНОВЕ СВОЙСТВ ЛИНЕЙНЫХ
И ПРОСТЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ФУНКЦИЙ**

Приводится способ построения генераторов тестеров модифицированных кодов Бергера, основанный на использовании свойств простых симметричных и линейных функций алгебры логики. Данный способ позволяет в некоторых случаях строить более простые генераторы модифицированных кодов Бергера, чем генераторы классических кодов с суммированием, при сохранении характеристик быстродействия и контролепригодности. Более того, приведенный способ дает возможность построения генераторов тестеров модифицированных кодов Бергера с улучшенной характеристикой быстродействия по сравнению со способами, применявшимися ранее.

система функционального контроля, код с суммированием, код Бергера, модифицированный код Бергера, тестер, генератор, простая симметричная функция, линейная функция.

Введение

При построении надежных дискретных систем автоматики и вычислительной техники большое значение имеет возможность обеспечения свойства их контролепригодности [1]. Контролепригодность дискретной системы заключается в ее приспособленности к проведению контроля заданными средствами технического диагностирования. В свою очередь, характеристика контролепригодности тесно связана с возможностью обнаружения отказов в элементах структуры диагностируемого логического устройства. Невозможность обнаружения отказа может привести к неверному выполнению функций дискретной системой.

Существует два подхода к организации контроля дискретных систем – тестовое и функциональное диагностирование [2, 3]. В первом случае требуются ресурсы времени для подачи специальных проверочных воздействий на входы контролируемого объекта и для фиксации выходных значений [4, 5],

во втором техническое состояние объекта определяется в его рабочем режиме [6, 7].

Данная статья посвящена вопросам развития теории синтеза самопроверяемых контрольных устройств (тестеров, детекторов и пр.) для систем функционального контроля, построенных с использованием свойств кодов с суммированием единичных информационных разрядов.

**1 Системы функционального
контроля логических устройств**

При организации систем функционального контроля логических устройств автоматики и вычислительной техники (рис. 1) часто используются коды с суммированием [8–10]. Выходам блока основной логики $f(x)$ ставится в соответствие информационный вектор длины m , а выходам блока контрольной логики $g(x)$ – контрольный вектор длины k . На этапе проектирования системы функционального контроля устанавливается однозначное

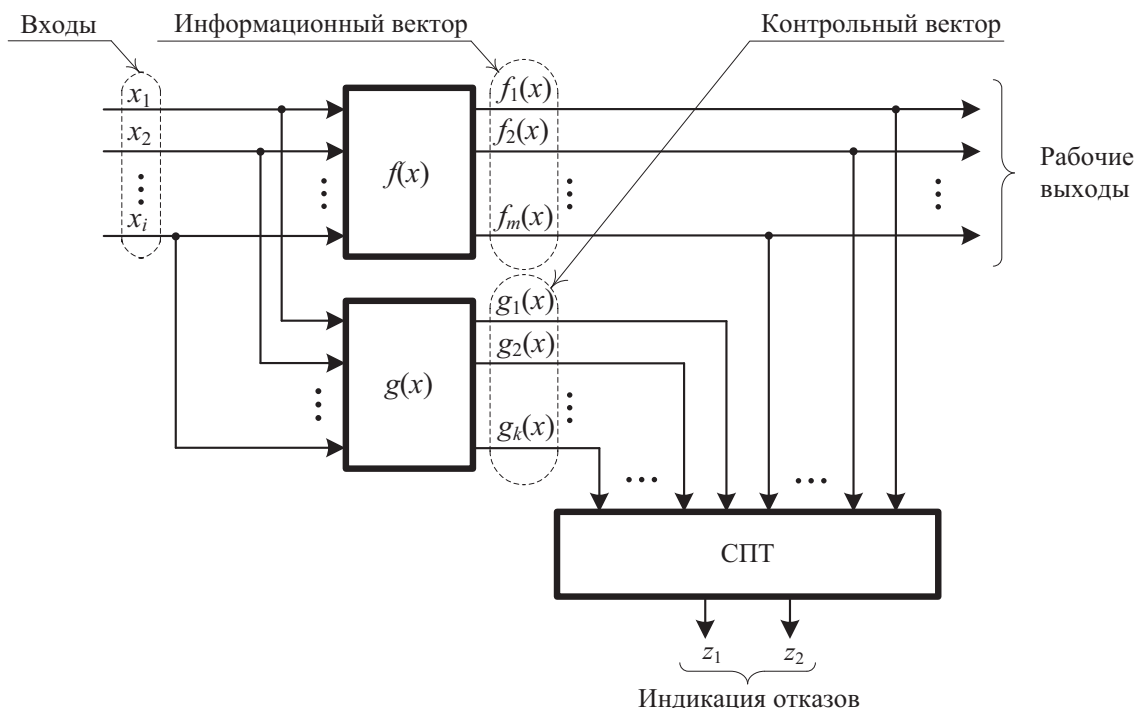


Рис. 1. Структура системы функционального контроля

соответствие между информационными и контрольными векторами с использованием правил построения кода с суммированием. При работе системы функционального контроля это соответствие в произвольный момент фиксируется самопроверяемым тестером (СПТ) [2, 7].

Основной целью организации системы функционального контроля является обеспечение тестирования блока $f(x)$ в его рабочем режиме, поэтому тестер должен фиксировать искажения в информационных разрядах при возникновении любых одиночных неисправностей в блоке $f(x)$. Кроме того, СПТ должен обеспечивать фиксацию ошибок как в блоке $g(x)$, так и в своей структуре. При исправной работе всех составляющих системы функционального контроля на выходах СПТ формируется парафазный сигнал $\langle 01 \rangle$ или $\langle 10 \rangle$, возникновение неисправности нарушает парафазность выходного сигнала.

Наиболее простым вариантом построения системы функционального контроля является использование классических кодов с суммированием, или кодов Бергера [11]. В них

значения разрядов контрольного вектора являются двоичным представлением числа единичных информационных разрядов (значения веса r информационного вектора). Коды Бергера обнаруживают любые монотонные (однонаправленные) ошибки, что эффективно используется при построении систем функционального контроля логических устройств [9, 12]. Далее коды Бергера будем обозначать как $S(m, k)$ -коды.

Свойства $S(m, k)$ -кодов по обнаружению ошибок в информационных векторах описываются в [13]. Например, установлено, что любой код Бергера не обнаруживает одинаковый процент ошибок четной кратности d в информационных векторах от общего числа ошибок той же кратности в информационных векторах:

$$\beta_d = 2^{-d} C_d^2. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что $S(m, k)$ -кодами не обнаруживаются 50 % двукратных,

37,5% четырехкратных, 31,25% шестикратных ошибок и т. д.

Улучшение эффективности обнаружения ошибок $S(m, k)$ -кодами в информационных векторах достигается путем модификации кода [14, 15].

2 Модифицированный код Бергера

В [15] предложен метод построения кода с суммированием, получающегося путем модификации известного кода Бергера по следующему алгоритму.

Алгоритм 1. Правила построения модифицированного кода Бергера:

1. Устанавливается модуль $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$;
2. Подсчитывается вес информационного вектора r (число единичных информационных разрядов);
3. Число r представляется по модулю M (другими словами, определяется вычит числа r по заданному модулю): $V = (r) \bmod M$;
4. Определяется поправочный коэффициент α , равный сумме по модулю «два» произвольного (но заранее установленного) числа любых разрядов информационного вектора;
5. Формируется число $W = V + \alpha M$;
6. Полученное число W представляется в двоичном виде и записывается в контрольный вектор.

Модифицированные коды Бергера обозначаются как $RS(m, k)$ -коды. В общем случае $RS(m, k)$ -коды почти вдвое эффективнее обнаруживают ошибки в информационных векторах, чем классические коды Бергера. Алгоритм 1 иллюстрируется на примере формирования контрольных векторов для нескольких информационных векторов $RS(6,3)$ -кода с различным весом r , при этом поправочный коэффициент был вычислен по формуле $\alpha = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3$ (табл. 1).

В отличие от классического $S(m, k)$ -кода в $RS(m, k)$ -коде информационные векторы с различным значением веса r могут иметь одинаковые контрольные векторы, что определяется формулой вычисления поправочного коэффициента α . Например, информационные векторы $\langle 000001 \rangle$ и $\langle 011111 \rangle$ в табл. 1 имеют одинаковые контрольные векторы. Это улучшает характеристики кода по обнаружению ошибок в целом, но привносит в их количество часть монотонных (однонаправленных) ошибок кратности $d = M$.

В зависимости от числа информационных разрядов, используемых для вычисления поправочного коэффициента α , может быть построено $\sum_{i=1}^{m-1} 2^i = 2^m - 2$ модифицированных кодов Бергера. Однако, как показано в [15], в общем случае характеристики $RS(m, k)$ -кодов зависят только от количества суммируемых

ТАБЛИЦА 1. Векторы $RS(6,3)$ -кода

Информационный вектор						r	V	α	W	Контрольный вектор		
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6					y_1	y_2	y_3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
0	0	0	0	1	1	2	2	0	2	0	1	0
0	0	0	1	1	1	3	3	0	3	0	1	1
0	0	1	1	1	1	4	0	1	4	1	0	0
0	1	1	1	1	1	5	1	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	6	2	1	6	1	1	0

в поправочном коэффициенте разрядов, но не от того, какие именно это разряды. При $m < 8$ все $RS(m, k)$ -коды имеют одинаковое общее количество обнаруживаемых ошибок в информационных векторах, но различные распределения обнаруживаемых ошибок по кратностям. При $m \geq 8$ минимальное общее количество обнаруживаемых ошибок в $RS(m, k)$ -коде достигается при суммировании в поправочном коэффициенте $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$

разрядов информационного вектора, где запись $\left\lfloor \dots \right\rfloor$ обозначает целое снизу от вычисляемого значения. Данные свойства $RS(m, k)$ -кодов позволяют на практике обосновано выбирать тот или иной вариант кодирования в зависимости от свойств контролируемого логического устройства.

Свойства $RS(m, k)$ -кодов по обнаружению ошибок в системах функционального контроля достаточно полно описаны в [14–17]. Открытым остается вопрос синтеза генераторов тестеров $RS(m, k)$ -кодов.

Генератор входит в структуру тестера (рис. 2) и предназначен для формирования контрольных функций по значениям информационных разрядов. Сформированные значения контрольных функций сравниваются в компараторе с одноименными значениями функций, подсчитанных блоком контрольной логики. Компараторы для кодов с суммированием строятся путем каскадного соединения модулей сравнения парафазных сигналов [11]. Более сложной задачей является синтез генераторов.

В [18] предложено строить генераторы на основе полных сумматоров, полусумматоров и сумматоров по модулю «два». В [19] этот метод применен для построения генераторов с наименьшей сложностью для модульных кодов с суммированием и для построения генераторов $RS(m, k)$ -кодов.

Под сложностью понимается число входов логических элементов без учета инверсий на входах. Генераторы оцениваются также контролепригодностью и быстродействием. Кон-

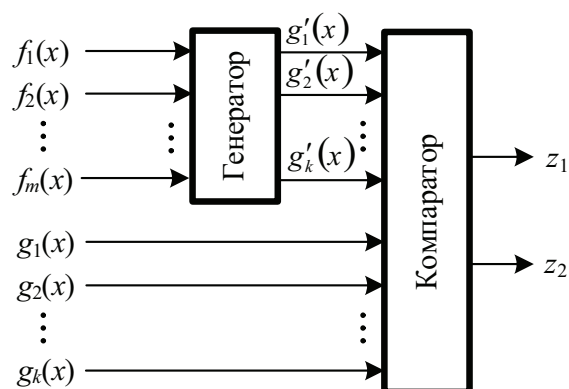


Рис. 2. Структура тестера $RS(m, k)$ -кода

тролепригодность генератора – это число тестовых наборов, на которых обеспечивается проверка всех одиночных неисправностей в его структуре. Быстродействие определяется числом уровней в схеме генератора.

Рассмотрим подход, позволяющий синтезировать тестеры с улучшенной характеристикой быстродействия в сравнении с подходом, описанным в [19].

3 Новый подход к синтезу генераторов модифицированных кодов Бергера

Определение [20]. Простой симметричной функцией называется функция алгебры логики вида

$$f^v(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{i_1, i_2, \dots, i_v \in \{1, 2, \dots, n\}} x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_v}, \quad (2)$$

где знаками дизъюнкции объединены все конъюнкции без инверсий одного ранга m (с одинаковым количеством переменных).

В [21] на основе анализа таблицы истинности $S(m, k)$ -кода предлагается строить генератор по системе функций S_i , описывающих i -е разряды контрольного вектора $\langle S_0 S_1 \dots S_{h-2} S_{h-1} \rangle$:

$$S_i = f^{v_1} \overline{f^{v_1+2^i}} \vee f^{v_2} \overline{f^{v_2+2^i}} \vee \dots \vee f^a \overline{f^b}, \quad (3)$$

где $v_1 = 2^i$, $v_{j+1} = v_j + 2^{i+1}$ ($j \in \{1, 2, 3, \dots\}$), $a =$
 $= p' \cdot 2^{i+1} + 2^i$, $p' = \left\lfloor \frac{p}{2^{i+1}} \right\rfloor$, $p = v - 2^i$, $b = a + 2^i$,

если $a + 2^i \leq v$, и $b = 0$ – в противном случае. Здесь и далее для простоты обозначений опустим переменные x_i в обозначении простой симметричной функции.

Из введенных определений, формул и обозначений следует алгоритм построения генераторов $S(m, k)$ -кодов [22], который может быть непосредственно применен и для синтеза генераторов $RS(m, k)$ -кодов.

Алгоритм 2. Модифицированный алгоритм синтеза тестеров $RS(m, k)$ -кодов:

1. Генератор строится из трех блоков (A_1 , A_2 и A_3) так, как это показано на рис. 3;

2. Блок A_1 реализует систему простых симметричных функций с четными верхними индексами и строится следующим образом:

2.1. Множество входных переменных $M = \{x_1, \dots, x_p, \dots, x_m\}$ разбивается на два подмножества $M_1 = \{x_1, \dots, x_p\}$ и $M_2 = \{x_{p+1}, \dots, x_m\}$, где p – ближайшее целое четное значение к величине $\frac{m}{2}$;

2.2. На каждом этапе разбиения множества входных переменных для реализации простых симметричных функций используется формула разложения:

$$\begin{aligned} f^i(x_1, \dots, x_p, \dots, x_m) = \\ = f^i(x_1, \dots, x_p) \vee f^i(x_{p+1}, \dots, x_m) \vee \\ \vee f^{i-1}(x_1, \dots, x_p) f^1(x_{p+1}, \dots, x_m) \vee \quad (4) \\ \vee f^{i-2}(x_1, \dots, x_p) f^2(x_{p+1}, \dots, x_m) \vee \\ \dots \vee f^1(x_1, \dots, x_p) f^{m-1}(x_{p+1}, \dots, x_m); \end{aligned}$$

2.3. Строится первый уровень блока A_1 ;

2.4. Получившиеся подмножества M_1 и M_2 также разбиваются на подмножества M_{11} , M_{12} и M_{21} , M_{22} аналогично тому, как это сделано в п. 2.1. К ним применяется п. 2.2;

2.5. Операции 2.2–2.4 повторяются до тех пор, пока не получаются множества из одной или двух переменных;

2.6. При непосредственном построении схемы генератора используются следующие элементарными функциями от одной и двух переменных:

$$f^1(x_i) = x_i,$$

$$f^1(x_i, x_j) = x_i \vee x_j,$$

$$f^2(x_i, x_j) = x_i x_j;$$

3. Блок A_2 реализует систему функций S_i (3), причем $i \in \{1, 2, \dots, h-1\}$, где $h = k-1$,

$$k = \log_2 M \text{ и } M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1};$$

4. Блок A_3 реализует функцию младшего контрольного разряда S_0 .

Для примера построим по предложенному алгоритму генератор тестера $RS(6,3)$ -кода с формулой поправочного коэффициента $\alpha = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3$.

Первый этап построения блока A_1 – разбиение множества входных переменных.

Разбиваем множество входных переменных $M = \{x_1 \div x_6\}$ на два подмножества: $M_1 = \{x_1 \div x_4\}$ и $M_2 = \{x_5, x_6\}$.

Пользуясь формулой (4), представляем функции $f_1 \div f_6$ в виде разложений:

$$f^1(x_1 \div x_6) = f^1(x_1 \div x_4) \vee f^1(x_5, x_6);$$

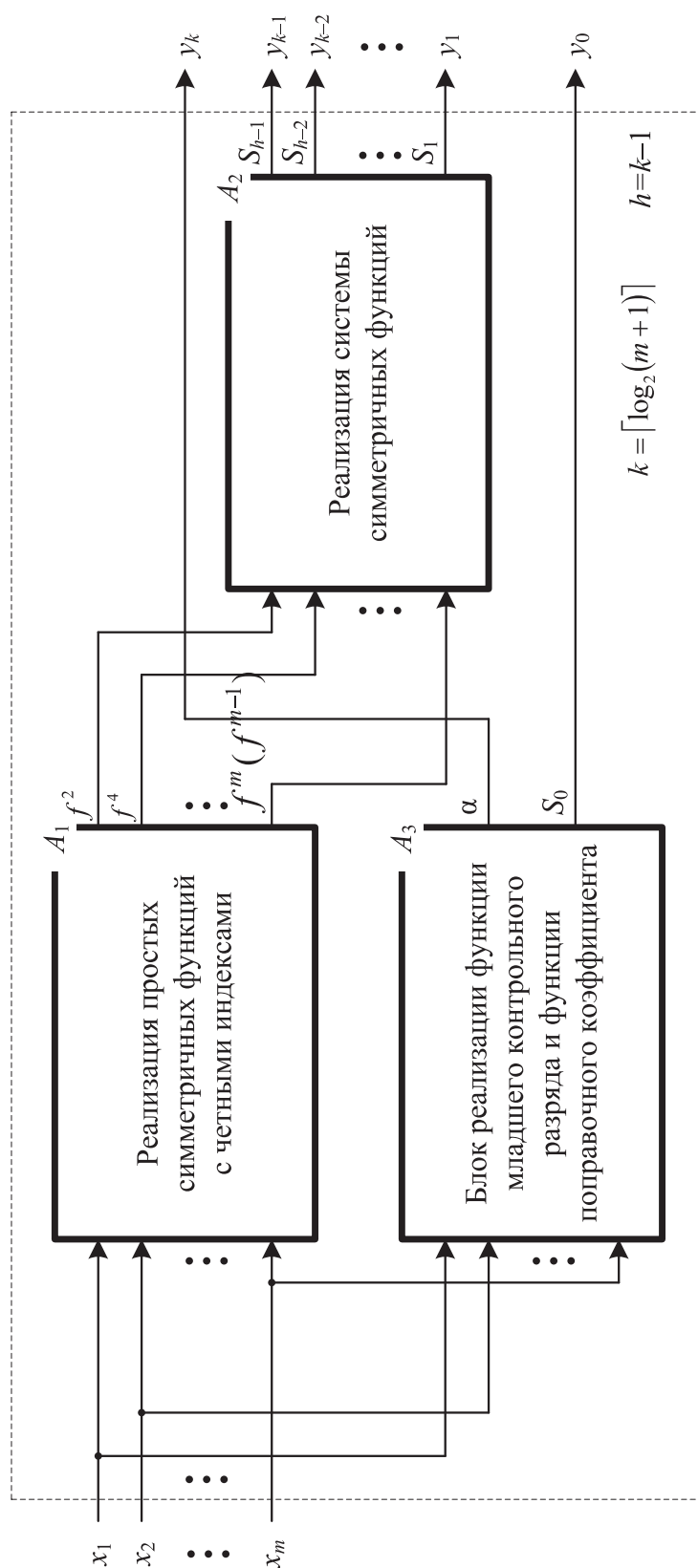
$$f^2(x_1 \div x_6) = f^2(x_1 \div x_4) \vee$$

$$f^2(x_5, x_6) \vee f^1(x_1 \div x_4) f^1(x_5, x_6);$$

$$f^3(x_1 \div x_6) = f^3(x_1 \div x_4) \vee$$

$$f^2(x_1 \div x_4) f^1(x_5, x_6) \vee$$

$$f^1(x_1 \div x_4) f^2(x_5, x_6);$$

Рис. 3. Структура генератора $RS(m, k)$ -кода

$$\begin{aligned}
f^4(x_1 \div x_6) &= f^4(x_1 \div x_4) \vee \\
&f^3(x_1 \div x_4) f^1(x_5, x_6) \vee \\
&f^2(x_1 \div x_4) f^2(x_5, x_6); \\
f^5(x_1 \div x_6) &= \\
&= f^4(x_1 \div x_4) f^1(x_5, x_6) \vee \\
&f^3(x_1 \div x_4) f^2(x_5, x_6); \\
f^6(x_1 \div x_6) &= f^4(x_1 \div x_4) f^2(x_5, x_6).
\end{aligned}$$

Функции $f_1 \div f_6$ входят в первый уровень схемы генератора.

Следующим этапом построения блока A_1 является разбиение подмножества $M_1 = \{x_1 \div x_4\}$. Подмножество $M_2 = \{x_5, x_6\}$ разделять не требуется, так как оно описывает элементарные функции.

Для $M_1 = \{x_1 \div x_4\}$:

$$\begin{aligned}
f^1(x_1 \div x_4) &= f^1(x_1, x_2) \vee f^1(x_3, x_4); \\
f^2(x_1 \div x_4) &= f^2(x_1, x_2) \vee f^2(x_3, x_4) \vee \\
&f^1(x_1, x_2) f^1(x_3, x_4); \\
f^3(x_1 \div x_4) &= f^2(x_1, x_2) f^1(x_3, x_4) \vee \\
&f^1(x_1, x_2) f^2(x_3, x_4); \\
f^4(x_1 \div x_4) &= f^2(x_1, x_2) f^2(x_3, x_4).
\end{aligned}$$

Полученные разложения составляют второй уровень схемы генератора.

В третий уровень схемы генератора входят элементарные функции, входящие в правые части всех выражений для $f_1 \div f_6$.

Блок A_2 является технической реализацией следующей системы функций (см. рис. 2):

$$S_1 = f^2 \overline{f^4} \vee f^6.$$

Блок реализации функции младшего контрольного разряда (A_3) строится отдельно по формуле

$$S_0 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus x_5 \oplus x_6.$$

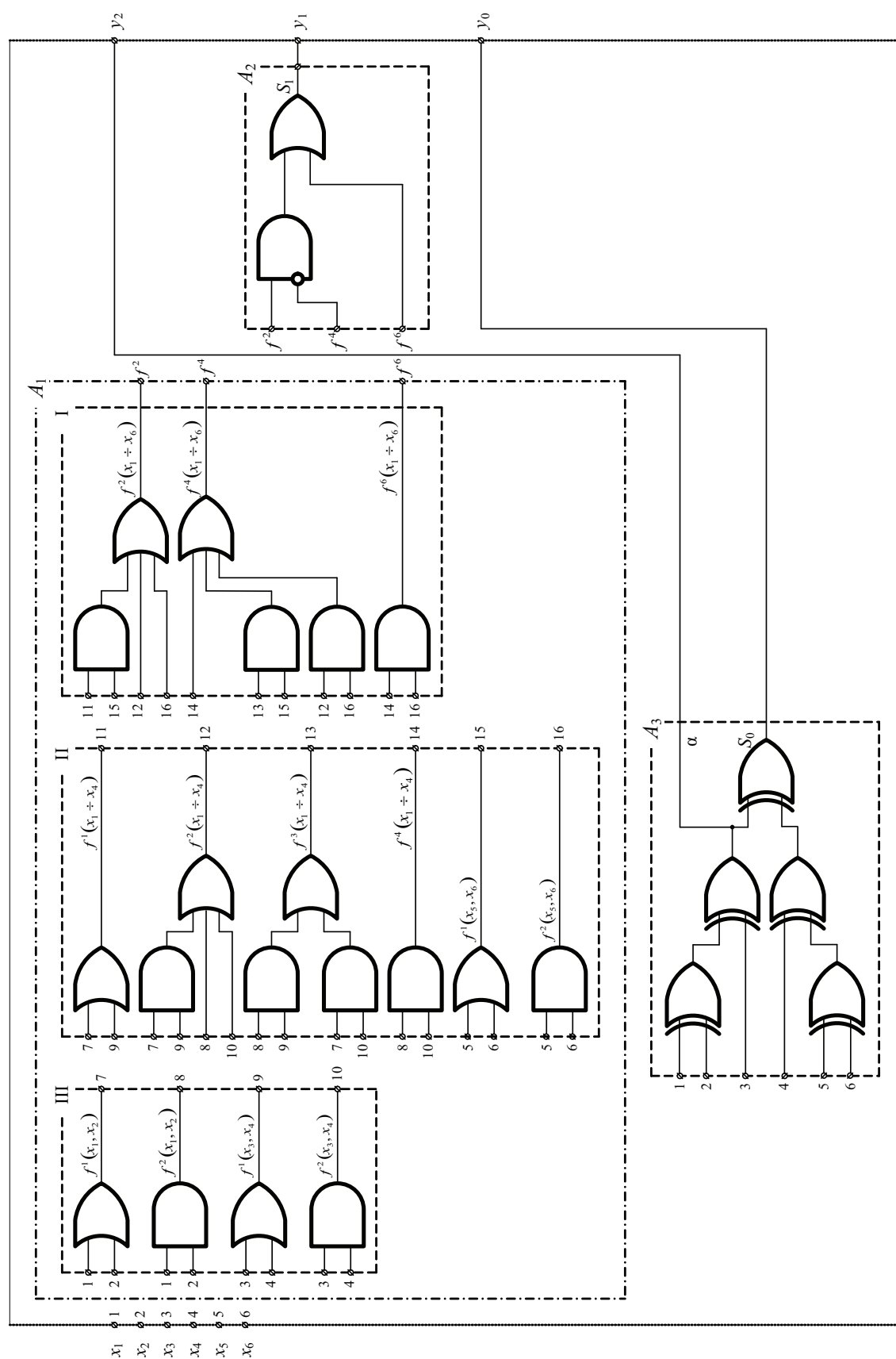
Функция поправочного коэффициента в модифицированном коде Бергера реализует старший контрольный разряд. При этом дополнительного блока для ее реализации не требуется, так как любое сочетание информационных разрядов, складываемых по модулю «два», может быть получено в блоке A_3 .

Схема синтезированного генератора $RS(6,3)$ -кода изображена на рис. 4, а на рис. 5 приводится моделирование ее работы в среде Multisim при поступлении на входы вектора $\langle 111101 \rangle$. В этом случае, согласно правилам построения модифицированных кодов Бергера, формируется контрольный вектор $\langle 101 \rangle$. Эксперимент с моделированием работы схемы генератора подтверждает корректность его работы.

В табл. 2 приводится сравнение характеристик генераторов $S(6,3)$ - и $RS(6,3)$ -кодов. Генератор $RS(6,3)$ -кода имеет такие же характеристики быстродействия и контролепригодности, что и генератор $S(6,3)$ -кода, построенный по данному методу; характеристика сложности (по числу входов логических элементов без учета инверсий) для генератора $RS(6,3)$ -кода улучшена в сравнении со сложностью генератора $S(6,3)$ -кода.

Генератор любого $RS(m, k)$ -кода имеет такие же характеристики быстродействия и контролепригодности, как и генератор соответствующего $S(m, k)$ -кода, и такую же или улучшенную характеристику сложности.

Утверждение следует из методики построения генераторов. Для любого $RS(m, k)$ -кода генератор строится аналогичным образом, как и генератор $S(m, k)$ -кода, однако ввиду того, что модуль $RS(m, k)$ -кода $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$, а модуль $S(m, k)$ -кода $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$, не требуется реализация функции старшего контрольного разряда, так как им является функция поправочного коэффициента. Исходя из этого, все характеристики, кроме сложности, остаются неизменными. А сложность остается неизменной, либо уменьшается.

Рис. 4. Генератор тестера $RS(6,3)$ -кода

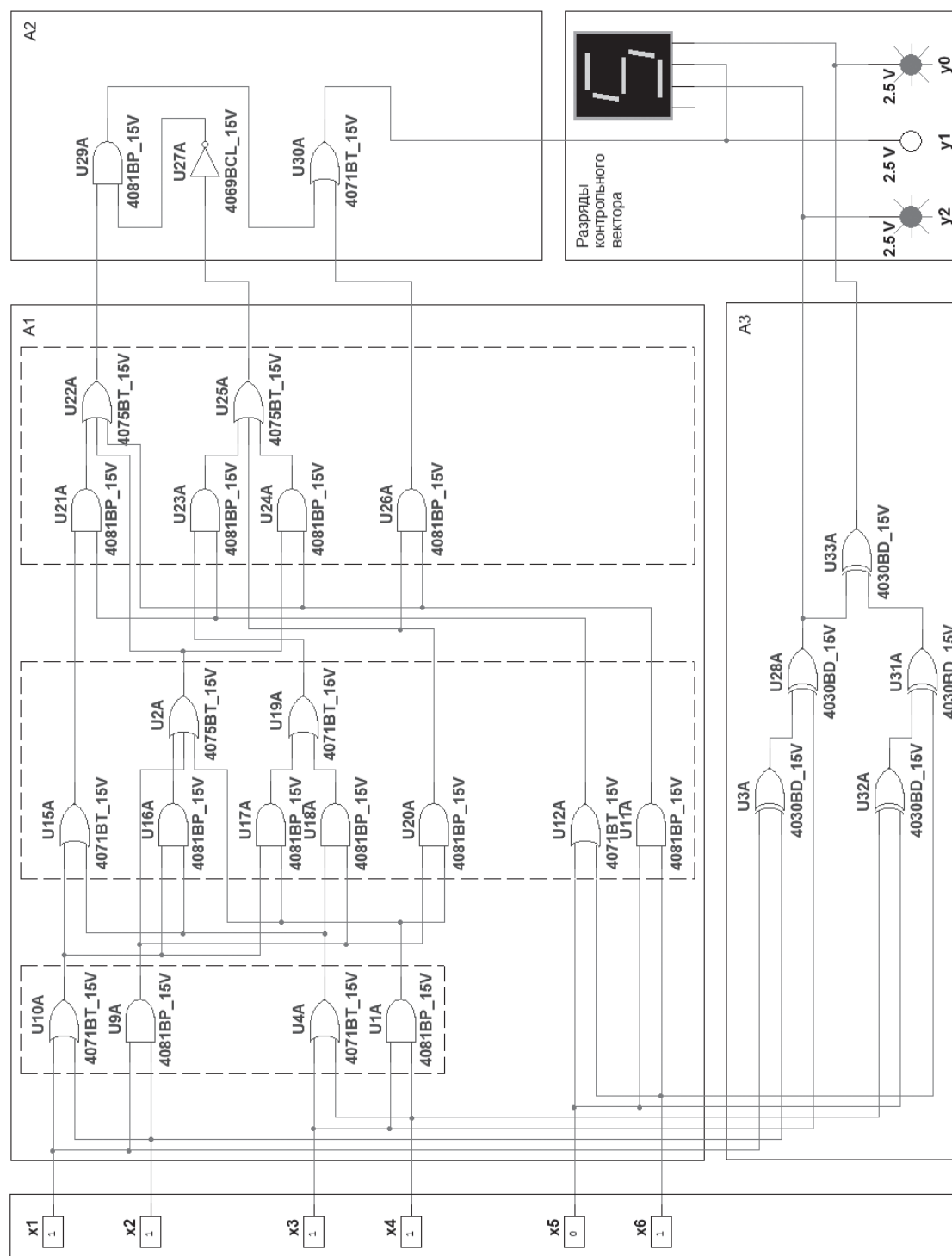
Рис. 5. Моделирование работы генератора тестера $RS(6,3)$ -кода в Multisim

ТАБЛИЦА 2. Характеристики генераторов $S(6,3)$ - и $RS(6,3)$ -кодов

Код	Сложность, L	Быстродействие, q	Контролепригодность, t
$S(6,3)$	77	8	15
$RS(6,3)$	75	8	15

Сложность генератора $RS(m, k)$ -кода не уменьшается в сравнении с генератором $S(m, k)$ -кода при тех значениях m , при которых для реализации старшего контрольного разряда в блоке A_2 не требуется логических элементов. Из формулы (3) следует, что существуют такие значения длины информационных векторов, для которых функция старшего контрольного разряда будет равна простой симметричной функции, вычисленной блоком A_1 . К примеру, для $S(4,3)$ -кода $S_2 = f^4$, и для ее реализации логических элементов не требуется.

Заключение

В представленном исследовании описывается ранее не применявшийся способ построения генераторов тестеров модифицированных кодов Бергера, позволяющий в некоторых случаях получать генераторы с улучшенными характеристиками в сравнении с генераторами классических кодов с суммированием.

Результат данной работы может быть эффективно использован при построении надежных дискретных систем управления на базе программируемых интегральных схем FPGA [23, 24]. Например, в [25] рассматриваются вопросы синтеза самопроверяемых конечных автоматов, дается приложение результатов данных исследований для синтеза системы управления движением поездов на базе FPGA. Для обеспечения надежности и безопасности функционирующей системы предлагается использовать помехоустойчивое кодирование. Модифицированный код Бергера может быть использован для контроля комбинационных составляющих в конечных

автоматах на базе FPGA. Соответственно, в этих структурах при синтезе генераторов (кодеров) $RS(m, k)$ -кодов может быть использован подход, описанный в настоящей статье.

Приведенный в работе алгоритм построения генератора тестера $RS(m, k)$ -кода может быть применен и для синтеза генераторов модульно модифицированных кодов с суммированием ($RSM(m, k)$ -кодов, где M – значение модуля). При этом в зависимости от значения модуля $M \in \{2; 4; 8; \dots; 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 2}\}$ при реализации блока A_2 необходимо строить только $k = \log_2 M$ функций, описывающих младшие разряды контрольного вектора, исключая самый младший из них – он реализуется отдельно блоком A_3 . Для класса $RS2(m, k)$ -кодов ограничиваются синтезом только блока A_3 , так как остальные элементы генератора не требуются.

Библиографический список

1. **Самопроверяемые** дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – Санкт-Петербург : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
2. **Основы** технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – Москва : Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
3. **McCluskey E. J.** Logic Design Principles: With Emphasis on Testable Semicustom Circuits. – NJ : Prentice Hall PTR, 1986. – 549 p.
4. **Ubar R.** Test Synthesis with Alternative Graphs // IEEE Design & Test of Computers. – 1996. – Vol. 13. – Is. 1. – P. 48–57.
5. **Обнаружение** несущественных путей логических схем на основе совместного анализа И-ИЛИ деревьев и SSBDD-графов / А. Ю. Матросова,

С. А. Останин, В. Сингх // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 7. – С. 126–142.

6. **Самотестируемая** структура для функционального обнаружения отказов в комбинационных схемах / М. Гессель, А. В. Дмитриев, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 11. – С. 162–174.

7. **Самопроверяемые** устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомоян, Е. В. Слабаков. – Москва : Радио и связь, 1989. – 208 с.

8. **Goessel M.**, Graf S. Error Detection Circuits. – L : McGraw-Hill, 1994. – 261 p.

9. **Fujiwara E.** Code Design for Dependable Systems : Theory and Practical Applications. – NY : John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.

10. **Wang L.-T.**, Stroud C. E., Touba N. A. System-on-Chip Test Architectures : Nanometer Design for Testability. – Waltham : Morgan Kaufmann Publ., 2008. – 856 p.

11. **Berger J. M.** A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels // Inform. and Control. – 1961. – Vol. 4. – Is. 1. – P. 68–73.

12. **Lo J.-C.** An SFS Berger Check Prediction ALU and Its Application to Self-Checking Processor Designs // Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 1992. – Vol. 11. – Is. 4. – P. 525–540.

13. **О свойствах** кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.

14. **Blyudov A.**, Efanov D., Sapozhnikov V., Sapozhnikov V. I. Properties of Code with Summation for Logical Circuit Test Organization // Proceedings of 10th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2012), Kharkov, Ukraine, Sept. 14–17, 2012. – Kharkov, 2012. – P. 114–117.

15. **Построение** модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34, № 6. – С. 17–29.

16. **Коды** с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов,

Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 6. – С. 153–164.

17. **О кодах** с суммированием единичных разрядов в системах функционального контроля / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 8. – С. 131–145.

18. **Piestrak S. J.** Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes. – Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995. – 111 p.

19. **Исследование** модифицированных кодов с суммированием в системах технической диагностики и обработки информации в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики : дис. ... канд. техн. наук (05.13.06) / А. А. Блюдов ; Петербург. гос. ун-т путей сообщения. – Санкт-Петербург, 2013. – 230 с.

20. **Синтез** самопроверяющихся тестеров для кодов с суммированием / А. Г. Мельников, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Проблемы передачи информации. – 1986. – Т. XXII, № 2. – С. 85–97.

21. **Универсальный** алгоритм синтеза самопроверяющихся тестеров для кодов с постоянным весом / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Проблемы передачи информации. – 1984. – Т. XX, № 2. – С. 65–76.

22. **О синтезе** тестеров кодов с суммированием на основе использования свойств простых и линейных функций / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Вестн. Урал. гос. ун-та путей сообщения. – 2011. – № 1. – С. 22–32.

23. **Проектирование** и верификация цифровых систем на кристаллах. Verilog & System Verilog / В. И. Хаханов, И. В. Хаханова, Е. И. Литвинова, О. А. Гузь. – Харьков : Новое слово, 2010. – 528 с.

24. **Navabi Z.** Digital System Test and Testable Design : Using HDL Models and Architectures. – NY : Springer Sci. + Bus. Media, LLC, 2011. – 435 p.

25. **Ubar R.**, Raik J., Vierhaus H.-T. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source) // Hershey : NY : Inform. Sci. Reference, IGI Global, 2011. – 578 p.

ABSTRACTS

Yu. F. Antonov, A. A. Zaycev, E. I. Morozova
Petersburg State Transport University

Study of magnetic dynamic levitation and electrodynamic braking of a cargo transport platform

The levitation assembly of cargo transport platform is considered as a cage asynchronous motor of reversed type. On-board magnetic system is a stator winding with definite poles. Rotor squirrel-cage winding is a control track winding – Gramme coil, squirrel cage, solid or perforate reactive rail. Theory fundamentals and calculation equations, developed for cage asynchronous motor, are adopted for levitation assembly operation description. Based on the comparative analysis of electromagnetic processes, good practices for performing the levitation control tracks and side stabilization by traversal Gramme windings or by distributed squirrel cages are suggested.

Magnetic levitation, electrodynamic braking, cargo transport, asynchronous motor, squirrel cage.

A. V. Andreev, V. P. Bel'tyukov, A. V. Sennikovva, I. A. Simonyuk, A. A. Tret'yakov
Petersburg State Transport University

Improving the predicting procedure for development of permanent strain of track superstructure

The article covers the suggestions for selection the railroad sections, that should be repaired, based on the predicted values of track condition parameters. It includes the realistic calculations of increasing the intensity of track structure members unsoundness, as well as faults of geometrical parameters of rail track. The procedure for predicting the values includes the sequence of data selection, its processing for statistics, the algorithm

of calculation the local increasing of the intensity of track faults and structure members unsoundness. The article substantiates the mechanism for registration of intensity of permanent strain development for predicting for certain railroad sections.

Railroad track, predicting, intensity of increasing the permanent strain, unsoundness of track superstructure elements, rail track geometry faults, operation safety, service life track element.

L. S. Blazhko, V. I. Shtykov, Yu. A. Kanciber, A. B. Ponomarev, E. V. Chernyaev
Petersburg State Transport University

Anti-colmating protection of geotextiles as a separating layers in ballast section

The article covers the conditions, under which the geotextile retains its filtration properties during the normal service life. Without following these conditions the material will be actively colmated. Geotextile colmating results to the loss of its water permeability. As not every geotextile has the required filtration run size, sometimes its service life can be prolonged by the sand layer, with the selection method, presented in the article. Experimental demonstration of theoretical provisions is also covered.

geotextile, colmating, filtration properties, protection, ballast section.

A. M. Gorbachev
Petersburg State Transport University

Automation synthesis of the schedule of urban electric transport

The necessity of on-line decision making and increasing the work efficiency are the reasons for implementation of modern time- and run rolling stock performance record systems. The principal document for rolling stock performance recording organization is a railway schedule. To develop the schedule manual takes from several hours to several days and is an underformalized process. For automation of scheduling the system of automatic scheduling of tramway and trolleybus tables (SAPR RDTT) was developed. This software produces the schedules under several modes and forms the output documents, based on technical documentation.

urban transport, schedule, automation.

Yu. I. Efimenko, A. G. Filippov

Petersburg State Transport University

Features of substantiation the railroad track junctions under current conditions

The article covers the particularities of junctions at the same level and flying junctions on the approaches to transportation hubs under the conditions of market economy, as well as the determination of construction costs and operational expenses for both of the options. Because of the fact, that the construction of flying junctions with a large angle of tracks intercrossing provides the minimum flyover length, but substantially increase the length of approaches to the junction, the dependence of the railroad junction construction costs on the angle of tracks intercrossing for two levels was established. The article also provides the statement of usefulness parameter for choosing the flying junctions over track junction at the same level.

Flying junction, gateway, track junction, angle of tracks intercrossing of different levels, railroad hub.

R. A. Kovalev

Petersburg State Transport University

Description of the algorithm for route search within the interdependency tables synthesis based on the station key plan

The article covers the principal algorithm for generalized route selection by the station key plan, used for synthesis of train (entrance, transmission, exit and make way routes), shunting and complex routes. Generalized route is a sequence of station elements, involved in the moving of the rack. The article provides the description of input data processing into the model, used by the algorithm, and shows the example. Algorithm description is made by algorithm logic chart (LSA), complemented by the author of the article, and can be performed using any Turing complete programming language.

Interdependency table (TVZ), synthesis algorithm, electronic document management, station key plan, LSA.

Kh. R. Kosimov

Petersburg State Transport University

Strength analysis for locomotive frame UZTE16M and evaluation of its residual life

The problem of assessment of possible service life prolongation for the bearing structures of the traction rolling stock after it's being overaged at Uzbekistan railroad appeared over the last years because of the increasing demand for railroad transportation. The railroad transport speed increasing and augmentation of the train weight result to the growth of dynamic loads to the truck and put in raise requirements for the bearing structures of rolling stock, in particular, of the locomotive frame. The article covers the simulation and analysis of stress-strain state of the locomotive frame.

Rolling stock, locomotive frame, service life, bearing structures, durability.

**O.B. Malikov, E.K. Korovyakovsky,
D.I. Ilesaliev**
Petersburg State Transport University

Unitized loads transportation logistics

The article provides the analysis of pros and cons of unitized loads transportation for inland traffic, using economic criteria and logistic principles. It determines the scope of pallets for unit load transportation on the basis of certain technical and economical parameters; as well as the problem of carload consignment. The aim of this study is to substantiate the technical possibility for unitized loads transportation, its economic efficiency and to determine the level of income for railroad transport as the result of implementation of this technology.

Unit load, unitized loads transportation, pallet, unit load, loading, unloading.

A.A. Migrov
Petersburg State Transport University

On sudden faults repair for track machines during the possession

At this moment high-efficiency track machine complexes are used to perform engineering works. All works are performed within limited time periods – so called possessions – at considerable distances from the repair depot. In case of sudden failures of the track machines the situation occurred, when the possession can be unpredictably prolonged, that result to the delays in train traffic.

Adequate consideration is not paid to the problem of organization of prompt sudden failures handling within the possession time or after it. In addition, the calculations show, that with the handling

even the part of the failures, occurred within the possession, it is possible to increase the mean output of the machine for the engineering works time, and to obtain a substantial economic benefit due to it.

engineering works, track machine, possession, failure.

A.V. Parfenova
Petersburg State Transport University

Procedure for calculation of passenger train diagram

The article covers the procedure for calculation of JSC «FPK» railroad train diagram. It presents the algorithm of determination of homogeneous sample of the number of departed passengers for the particular train of North-West branch of JSC «FPK». The limits of confidence range, using the 3σ rule, was established. There were also obtained the homogeneous periods within regulated and deregulated transportation sectors for train diagram calculation. The article provides the equations for the numbers of rail carriages within regulated and deregulated transportation sectors.

Railroad train diagram, passenger transportation, Federal passenger company (JSC «FPK»), passenger complex.

N.V. Polyanichko
Petersburg State Transport University

Study of the influence of ballast layer compaction degree in tie crib to the tie drift resistance

At this moment at the railroads in Russia technologies and machines used do not provide the required degree of compaction of the ballast

bed in tie cribs, that's why with train load at the track the cross side pressure is appeared in the ballast layer, the ballast under the ties drifted to the area of tie cribs, and the bulb of pressure is breaking down. To improve the quality of the track after lining and tampering operations, it is necessary to compact the ballast layer, including in the tie cribs. The results of experimental studies show that there is a dependency of traverse and longitudinal tie drift on the degree of compaction of the ballast layer in tie cribs. Tie stability with compacted ballast layer in tie crib is better then with loose ballast layer.

Ballast layer, tie crib, compaction of the ballast layer, tie drift.

A.A. Tret'yakov

Petersburg State Transport University

Substantiation of optimal ballast thickness within preventative and predictive maintenance, based on the digital track model

The article describes the optimization of ballast thickness during the automated track lining, based on the digital track model, on the basis of assessment of the value and intensity of operational track settlement. This article substantiates the technology of railroad track maintenance on the base of GNSS, considering the ballast thickness. There is a description of a new work organization and the preparation of design documentation for preventative and predictive maintenance of railroad track, and the substantiation of the innovation safety, as well as the description of key sources of economical benefit from this technology implementation.

ballast section thickness, operational settlement of the railroad track, preventative and predictive maintenance of the track, longitudinal profile, digital model of the track, integrated system of spatial data.

Kh. K. Umarov, E. S. Svintsov

Petersburg State Transport University

Construction of railway line Angren-Pap and its role in railroad network of Uzbekistan Republic

The article covers the reasons for construction of a new electrified railway line Angren-Pap. It provides the rationale for technical solutions, as well as the calculation of train travel time, transfer and carrying capacity of the section, analysis of schemes of mastering the transportation, description of competitive ability in comparison with motor vehicles within macroeconomical transportation. The united transport system has a multifaceted impact to the development of the state economy, that is particularly important under the conditions of Uzbekistan Republic longness, and transport disconnection of its regions.

Angren-Pap railroad, Kamchik pass, transfer capacity, carrying capacity.

S. V. Chizhov, E. T. Yakhshiev

On requirements for the bridges under high-speed traffic

The article describes the requirements to the bridges in use for its strength, rigidity, stability, aerodynamic and dynamic loads. Deterministic method allows to assess the risk, that occurs with the high speed of the train, passing the double-track linked, double-track continuous welded or special railway.

The article provides the factors, influencing the traffic safety, as well as considers the specifics of the influence of maximum gradient on the the bridge operation, and the operational requirements for the bridges with and without ballast, and technical specifications, because its observation means the warranty for providing the determined carrying load capacity, the safety and the transfer capacity of the bridge construction.

traffic safety, aerodynamic and dynamic load, risk, maximum gradient, railroad track with and without ballast.

V.V. Bol'shakova, N.A. Kukin
CJSC «KTPI „Gazproekt“»

G. Ya. Dymkin
Petersburg State Transport University

On possibility of NDT magnetic methods for evaluation of strain-stress state of pipelines

Mechanical stresses in gas pipelines are the main reason of development of the most dangerous defects, such as corrosion cracking. The increasing the certainty of determination of these defects can be achieved by the development of in-line inspection means, that provide the determination of mechanical stressed areas. The article covers magnetic methods of non-destructive testing as a method for strain-stress state evaluation. Laboratory simulation experiments allow to study the dependencies of magnetic properties of pipe steel on the mechanical stress under single and combined loads. It also establishes the possibility and usefulness of using the coercive field strength as a measuring parameter for mechanical stress evaluation. The article also formulates the tasks, that should be solved for creation the means for mechanical stress evaluations using in-line inspection.

in-line inspection for gas pipelines, stress-corrosion cracking, coercive field strength, strain-stress state.

D.V. Efanov
Petersburg State Transport University

Synthesis of modified Berger code checker generators, on the basis of using the properties of linear and simple symmetric functions

The article provides the method for synthesis of modified Berger code checker generators, on the basis of using the properties of simple symmetric and linear functions of logic algebra. This method allows, in some cases, to develop simpler modified Berger code generators then generators of classic sum codes, without sacrificing high-speed performance and testability. Moreover, the suggested method allows to develop the modified Berger code checker generators with improved high-speed performance, in comparison with methods, used before.

concurrent error detection system, sum code, Berger code, modified Berger code, checker, generator, simple symmetric function, linear function.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Андреев Андрей Викторович

учебный мастер кафедры «Железнодорожный путь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», oddman@bk.ru

Антонов Юрий Федорович

доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Магнитоэлектрические транспортные системы» НОЦ ПП ПГУПС, yuri-anto@yandex.ru

Бельтюков Владимир Петрович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожный путь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», bw@peterlink.ru

Блажко Людмила Сергеевна

доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, заведующая кафедрой «Железнодорожный путь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», pro.uch@yandex.ru

Большакова Валерия Валерьевна

инженер ЗАО «КТПИ „Газпроект“», valeriya_bolsh@mail.ru

Горбачёв Алексей Михайлович

кандидат технических наук, заведующий НИЛ «Функциональная диагностика» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ag@agpage.ru

Дымкин Григорий Яковлевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Методы и приборы неразрушающего контроля» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», gdymkin@gmail.com

Ефанов Дмитрий Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», TrES-4b@yandex.ru

Ефименко Юрий Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», kjdstan@pgups.edu

Зайцев Анатолий Александрович

доктор экономических наук, профессор, руководитель НОЦ ПП ПГУПС, nozpgups@gmail.com

Илесалиев Дауренбек Ихтиярович

аспирант кафедры «Логистика и коммерческая работа» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ilsaliev@mail.ru

Канцибер Юрий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», kanziber3@yandex.ru

Ковалёв Роман Александрович

аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», romanlisper@gmail.com

Коровяковский Евгений Константинович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Логистика
и коммерческая работа» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
ekorsky@mail.ru

Косимов Хусан Рахматуллаевич

аспирант кафедры «Локомотивы и
локомотивное хозяйство» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
qosimov_husan@mail.ru

Кукин Николай Александрович

инженер технического отдела
ЗАО «КТПИ „Газпроект“»,
kukin@gazproekt.spb.ru

Маликов Олег Борисович

доктор технических наук, профессор кафедры
«Логистика и коммерческая работа» ФГБОУ
ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»,
stadnitskey@mail.ru

Мигров Александр Алексеевич

старший преподаватель кафедры «Подъемно-
транспортные, путевые и строительные
машины» ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»,
amigrov@gmail.com

Морозова Евгения Игоревна

аспирант кафедры «Электромеханические
комплексы и системы» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
moroz98.88@mail.ru

Парфёнова Антонина Витальевна

аспирант кафедры «Управление
эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
stirlitza@mail.ru

Поляничко Никита Владимирович

аспирант кафедры «Подъемно-транспортные,
путевые и строительные машины» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
nikita_polianichko@mail.ru

Пономарев Андрей Борисович

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидравлика» ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»,
79213968882@ya.ru

Свинцов Евгений Степанович

доктор технических наук, профессор
кафедры «Изыскания и проектирование
железных дорог» ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»,
kipjd@pgups.edu

Сенникова Анна Владимировна

аспирант кафедры «Железнодорожный путь»
ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»,
anka_kurtizanka@mail.ru

Симонюк Иван Андреевич

ассистент кафедры «Железнодорожный путь»
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I», symonyuk@mail.ru

Третьяков Александр Александрович

аспирант кафедры «Железнодорожный путь»
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»,
eskalran@mail.ru

Умаров Хасан Кобилович

аспирант кафедры «Изыскания и
проектирование железных дорог» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
janobhuk@mail.ru

Филиппов Антон Геннадьевич

аспирант, ассистент кафедры
«Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ
ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I», tigropard10@mail.ru

Штыков Валерий Иванович

доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидравлика» ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»

Черняев Евгений Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Железнодорожный путь» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
chevgen@list.ru

Яхшиев Элбек Толипович

аспирант кафедры «Мосты» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,

Чижов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Мосты» ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», sergchizh@yandex.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Андреев А. В. 16	Канцибер Ю. А. 22	Свинцов Е. С. 80
Антонов Ю. Ф. 5	Ковалёв Р. А. 40	Сенникова А. В. 16
Бельтюков В. П. 16	Коровяковский Е. К. 51	Симонюк И. А. 16
Блажко Л. С. 22	Косимов Х. Р. 45	Третьяков А. А. 16, 73
Большакова В. В. 92	Кукин Н. А. 92	Умаров Х. К. 80
Горбачев А. М. 27	Маликов О. Б. 51	Филиппов А. Г. 33
Дымкин Г. Я. 92	Мигров А. А. 57	Черняев Е. В. 22
Ефанов Д. В. 99	Морозова Е. И. 5	Чижов С. В. 87
Ефименко Ю. И. 33	Парфёнова А. В. 61	Штыков В. И. 22
Зайцев А. А. 5	Поляничко Н. В. 67	Яхшиев Э. Т. 87
Илесалиев Д. И. 51	Пономарев А. Б. 22	