

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ, выпуск 2 (43), 2015

ISSN (Print) 1815-588X

Учредитель и издатель

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

Адрес учредителя и издателя

190031, СПб., Московский пр., 9,
тел. (812) 314-92-32

Адрес редакции

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

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

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

Журнал зарегистрирован

в Российском индексе научного цитирования РИНЦ

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

Журнал имеет институт рецензирования

Журнал распространяется

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

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Научный редактор

А. К. Канаев, д-р техн. наук, доцент

Выпускающий редактор

С. А. Зинченко

Ответственный секретарь

Е. В. Моисеева

Перевод на английский язык

О. В. Керханиди

Верстка

А. А. Стуканова

Редактор сайта

Л. А. Стрелкова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Панычев Александр Юрьевич, канд. экон. наук,
доцент, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия,
председатель Совета

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

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

Ситаж Марек, профессор, Силезский технический
университет, Польша

Христов Христо, профессор, Технический
университет, София, Болгария

РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Подписано в печать с оригинал-макета 26.06.2015.

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

Усл. печ. л. 18,625. Уч.-изд. л. 11,175. Установочный тираж 300 экз.
Заказ 618. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ПГУПС

190031, СПб., Московский пр., 9.

© ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015

SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT
UNIVERSITY Issue 2 (43) – 2015

ISSN (Print) 1815-588X

Founder and publisher

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

Founder and publisher address

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

Editorial address

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

e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

Mass media registration certificate number

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

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

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

The Journal has the Peer-review division

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

JOURNAL STAFF

Editor-in-chief

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

Deputy chief editor

V. Sapozhnikov, D.Eng., Professor

Science editor

A. Kanayev, D.Eng., Associate Professor

Executive editor

S. Zinchenko

Executive secretary

E. Moiseeva

English translation

O. Kerkhanidi

Layout

A. Stukanova

Online content editor

L. Strelkova

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Aleksander Panychev, Cand. of Economics,
Professor, Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial board

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

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

Marek Sitazh, Professor, Silesian University
of Technology, Poland

Khristo Khristov, Professor, Technical University
of Sofia, Bulgaria

EDITORIAL TEAM

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© Petersburg State Transport University, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

→ ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Кудрявцев В. А., Светашев А. А.

- Закономерности составообразования на сортировочных станциях
при отправлении поездов по твердому графику движения 5

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

Александров А. В.

- Целесообразность применения бортовой сети постоянного тока
на современном моторвагонном подвижном составе 15

Андрющенко А. А., Зарифьян А. А., Колпахчян П. Г.

- Показатели энергетической эффективности пассажирских электровозов
с асинхронным тяговым приводом при питании от сети постоянного тока 21

Бекбаев Г. А., Евглевская Н. В., Привалов А. А., Скуднева А. В.

- Способ мониторинга процесса передачи сообщений по каналам
телекоммуникационных систем ОАО «РЖД» 29

Гончарова Н. А., Коровяковский Е. К.

- Технология и организация управления запасами в складском комплексе
ГУП «Петербургский метрополитен» 33

Добряков И. А., Булавский П. Е., Марков Д. С.

- Анализ документооборота дистанции СЦБ на основе
международных стандартов 39

Кокурин И. М., Васильев А. Б.

- Алгоритмизация решений поездного диспетчера по выбору
станций скрещения 47

Корнев А. С., Смирнов Д. С.

- Анализ возможности адаптации системы технического зрения
для предотвращения столкновений на железных дорогах 56

Костроминов А. М., Королев М. Ю., Крючкова Т. В.

- Разработка структур и алгоритмов работы систем автоматического контроля
движения поездов метрополитена 61

Кручек В. А., Евстафьев А. М.

- Анализ кинематических параметров осевого редуктора колесной пары
с вертикальной реактивной тягой 67

Орлова А. М., Воробьев А. А., Саидова А. В., Керенцев Д. Е.

- Определение параметров контакта колеса с рельсом для различных условий
эксплуатации полувагона 74

Умаров Х. К., Свинцов Е. С.

- Увеличение пропускной способности лимитирующего перегона
линии Ангрен – Пап 84

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**Богданова Е. Р.**

- Экспериментальные исследования бетона, дисперсно армированного
синтетической полипропиленовой фиброй 91

Булавский П. Е., Марков Д. С., Соколов В. Б.

- Метод динамического порционного моделирования сложных систем массового
обслуживания 99

Канаев А. К., Лукичев М. М., Муравцов А. А.

- Синтез потоковой структуры транспортной сети связи с использованием
имитационного моделирования 105

→ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**Бобикова П. А.**

- Управление дебиторской задолженностью предприятий транспортного строительства 112

Грошев Г. М., Белозеров В. Л., Климова Н. В.

- Выбор способа доставки контейнеров между тыловым логистическим
терминалом и морским торговым портом 117

Лякина М. А., Волкова Е. М., Сакович И. Л.

- Анализ макросреды функционирования пригородной пассажирской компании 123

Шманёв Т. М., Шмарина Е. К.

- Формирование тарифов на услуги инфраструктуры железнодорожного транспорта
ОАО «РЖД» в сфере пригородных пассажирских перевозок 128

ABSTRACTS 134**АВТОРЫ СТАТЕЙ 145****АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 149**



УДК 656.2

В. А. Кудрявцев, А. А. СветашевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОСТАВООБРАЗОВАНИЯ
НА СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ ПРИ ОТПРАВЛЕНИИ
ПОЕЗДОВ ПО ТВЕРДОМУ ГРАФИКУ ДВИЖЕНИЯ**

Приводится анализ составообразования на сортировочной станции при накоплении составов и формировании поездов с отправлением их по твердому графику с целью установления зависимостей, позволяющих определить затраты вагоно-часов на накопление вагонов и обоснование условий применения твердого графика. Установлены различия процесса накопления вагонов при твердом и при гибком графике. С помощью моделирования составообразования по твердому графику рассчитаны и сопоставлены параметры для подтверждения правильности предлагаемой методики.

Твердый график, неполный твердый график, средняя величина состава, допустимое отклонение, затраты вагоно-часов, параметр накопления.

В последние годы развивается движение поездов по твердому графику, который предусматривает отправление грузовых поездов и прибытие их на станции назначения по фиксированным ниткам графика, увязанным по попутным техническим станциям на всем пути следования. Однако этот прогрессивный способ организации движения поездов применяется только для отдельных отправительских маршрутов, формируемых на грузовых станциях. Технические маршруты, формируемые на сортировочных станциях, не охвачены твердым графиком из-за специфики сортировочной работы. Возможность использования твердого графика для технических маршрутов впервые была рассмотрена в статье [2], выводы которой были основаны только на обработке статистических данных о вагонопотоках, поступающих на сортировочные станции, поэтому целесообразно продолжать исследования в этом направлении,

чтобы разработать теоретическую базу для принятия практических решений по использованию твердого графика в сфере технической маршрутизации.

В данной статье приведен анализ составообразования на сортировочной станции при накоплении составов и формировании поездов с отправлением их по твердому графику с целью установления зависимостей, позволяющих определить затраты вагоно-часов на накопление вагонов, и обоснования условий применения твердого графика.

**Анализ процесса составообразования
при отправлении поездов по твердому
графику**

Для сортировочной станции твердый график движения поездов предусматривает еже-

суточное отправление поездов отдельных назначений плана формирования каждые сутки в одно и то же время по фиксированным ниткам графика [2]. Однако при этом вследствие неравномерного поступления вагонов на путь накопления невозможно обеспечить накопление всех составов до максимально допустимой величины, как при гибком графике, поэтому средняя величина составов m будет меньше максимально допустимой по вместимости путей $m_{\max}$ на определенное количество вагонов Δm . Минимально возможные размеры движения определяются по среднесуточной величине вагонопотока данного назначения $U_{\text{сут}}$ и величине $m_{\max}$:

$$N_{\min} = \frac{U_{\text{сут}}}{m_{\max}}, \text{ поездов.}$$

Размеры движения поездов, которые можно заложить в твердый график, определяются округлением $N_{\min}$ в большую сторону:

$$N_{\text{гр}} = \lceil N_{\min} \rceil + 1, \text{ поездов,}$$

где $\lceil N_{\min} \rceil$ – целая часть величины $N_{\min}$, поездов.

Тогда среднее расчетное значение величины состава при твердом графике будет

$$m = \frac{U_{\text{сут}}}{N_{\text{гр}}}, \text{ ваг.,}$$

а величина отклонения от максимально допустимого значения –

$$\Delta m = m_{\max} - m, \text{ ваг.}$$

Минимально допустимая величина состава будет $m_{\min} = m - \Delta m$, ваг.

Таким образом, фактическое число вагонов в формируемых составах m_{ϕ} может меняться в диапазоне от $m_{\min}$ до $m_{\max}$ вагонов: $(m - \Delta m) \leq m \leq (m + \Delta m)$.

Так, если $U_{\text{сут}} = 320$ ваг., $m_{\max} = 70$ ваг., то $N_{\min} = \frac{320}{70} = 4,57$ ваг. и $\Delta m = 70 - 64 = 6$ ваг.,

а минимально допустимая величина состава $m_{\min} = m - \Delta m = 64 - 6 = 58$ ваг., т. е. число вагонов в составе колеблется от 58 до 70.

Если число накопленных на состав вагонов превышает $m_{\max}$, то избыток уходит в остаток и участвует в накоплении следующего состава. Если же число накопленных вагонов менее $m_{\min}$, то поезд отменяется и эти вагоны накапливаются для следующего поезда. При нарастании остатка и приближении его величины к значению $m_{\min}$ может быть назначен дополнительный поезд.

Отмена и назначение поездов снижают процент выполнения твердого графика. При этом остаток от отмененного поезда распределяется по накоплению других поездов, повышая величину их состава и увеличивая ее среднее значение от расчетного m до фактического m_{ϕ} . В отсутствие отмен и назначений поездов реализуется полный (100%-ный) твердый график, при их наличии – неполный твердый график, качество которого характеризуется установленным процентом его выполнения. Поскольку фактическое окончание накопления состава может наступить ранее зафиксированного момента, не исключен простой накопленного состава в ожидании формирования или отправления. Этот простой не является непроизводительным, а обусловлен технологией.

Таким образом, можно выделить особенности процесса накопления вагонов при твердом графике, отличающие его от накопления при гибком графике:

1) момент окончания накопления состава определяется не количеством поступающих на путь накопления вагонов, а фиксированным временем отправления поезда;

2) для каждого поездного назначения однозначно определяется допустимое отклонение Δm от средней величины состава в большую и меньшую стороны;

3) средняя величина замыкающей группы равна среднему значению поступающей группы;

4) необходимость в отдельных случаях отмены графиковых поездов и назначения дополнительных;

5) наличие технологического простоя накопленного состава в ожидании формирования или отправления.

Определение среднесуточных затрат вагоно-часов на накопление составов

С учетом установленных особенностей накопления вагонов рассмотрим детальный усредненный график накопления вагонов при твердом графике движения поездов (рис. 1). Все параметры составообразования, использованные для построения графика, имеют средние значения. Поскольку окончание накопления определяется фиксированным моментом времени (а не накоплением до определенной величины состава), средняя величина замыкающей группы будет такой же, как всех остальных поступающих групп вагонов – $m_{гр}$. Средний период накопления состава T_n , с одной стороны, определяется числом графиковых ниток $N_{гр}$: $T_n = \frac{24}{N_{гр}}$, ч, с другой – сред-

ним числом n интервалов между поступлением групп вагонов i : $T_n = in$ ($n = \frac{m}{m_{гр}}$, где m –

среднее число вагонов в накопленных составах; $m_{гр}$ – среднее число вагонов в поступающей группе). Эти периоды накопления, хотя и имеют одну и ту же величину, могут быть сдвинуты друг относительно друга до значения i , поэтому среднюю величину сдвига можно принять равной $0,5i$.

Другие параметры, показанные на рисунке:

$m_o = \frac{\sum ut_o}{24}$ – средняя величина остатка вагонов ($\sum ut_o$ – среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление остатков); Δm – предельная величина возможных отклонений фактического числа вагонов в накопленных составах от среднего значения m_o ($\Delta m = m_{max} - m_o$).

Анализ графика показывает, что затраты вагоно-часов в период накопления T_n можно разбить на три составляющие:

1) от простоя поступающих на путь накопления групп вагонов величиной $m_{гр}$, за исключением последней группы, которая не про-

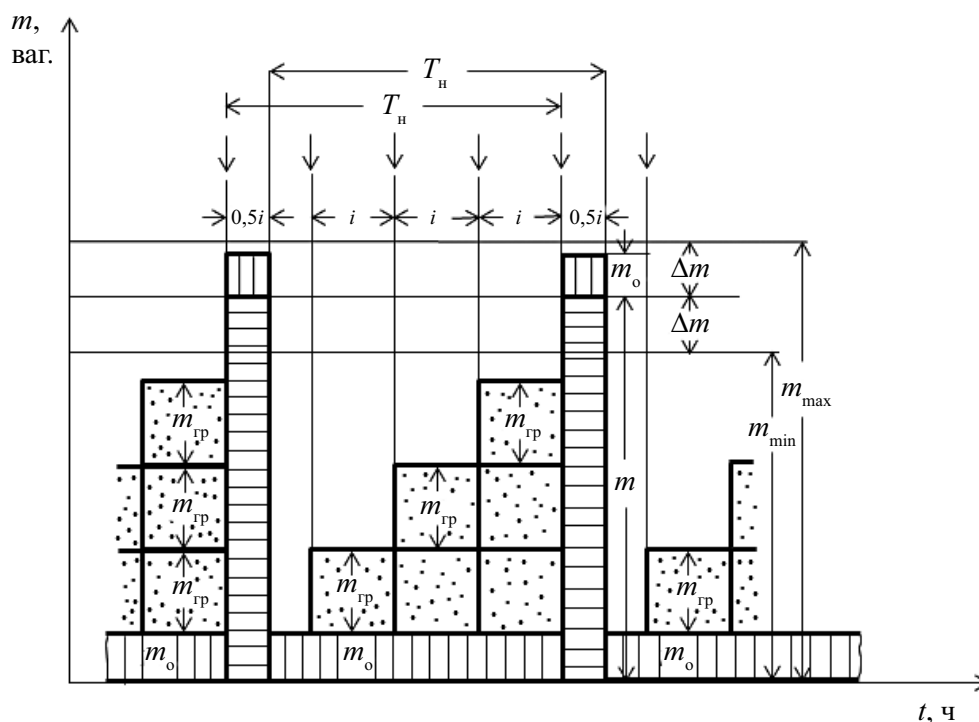


Рис. 1. Графическая схема накопления состава при средних значениях параметров составообразования

стаивает под накоплением. Эти затраты выражаются площадью ступенчатой фигуры, составленной из прямоугольников, площадь каждого из которых равна $m_{\text{гр}} i$. Число таких прямоугольников зависит от числа поступающих групп n и составляет $0,5n(n-1)$. При этом затраты вагоно-часов составят $ut_{\text{гр}} = 0,5n \times \frac{24}{N_{\text{гр}}} \times (n-1)m_{\text{гр}} i$. Подставляя значение $i = \frac{24}{N_{\text{гр}} n}$ ($N_{\text{гр}}$ – число фиксированных ниток твердого графика), получим

$$ut_{\text{гр}} = 0,5n(n-1)m_{\text{гр}} \frac{24}{N_{\text{гр}} n} = \\ = 12(n-1) \frac{m_{\text{гр}}}{N_{\text{гр}}} = \frac{12}{N_{\text{гр}}} (m_{\text{гр}} n - m_{\text{гр}}).$$

Поскольку $m_{\text{гр}} n = m$, окончательно $ut_{\text{гр}} = \frac{12}{N_{\text{гр}}} (m - m_{\text{гр}})$, а среднесуточные затраты вагоно-часов –

$$\sum ut_{\text{гр}} = N_{\text{гр}} ut_{\text{гр}} = 12(m - m_{\text{гр}}); \quad (1)$$

$$2) \text{ от простоя остатка вагонов} - ut_o = m_o T_n = \\ = m_o \frac{24}{N_{\text{гр}}}.$$

Среднесуточные затраты вагоно-часов

$$\sum ut_o = 24m_o; \quad (2)$$

3) от простоя накопленного состава в ожидании нитки графика (либо в сортировочном, либо на пути отправления) $ut_{\text{ож}} = m \cdot 0,5 \cdot i =$

$$= 0,5m \frac{24}{N_{\text{гр}} n}. \text{ Подставив } \frac{m}{n} = m_{\text{гр}}, \quad ut_{\text{ож}} = \\ = \frac{12m_{\text{гр}}}{N_{\text{гр}}}, \text{ получим } ut_{\text{ож}} = \frac{12m_{\text{гр}}}{N_{\text{гр}}}. \text{ Среднесуточные затраты вагоно-часов}$$

$$\sum ut_{\text{ож}} = N_{\text{гр}} ut_{\text{ож}} = 12m_{\text{гр}}. \quad (3)$$

Таким образом, среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление вагонов с учетом

«обязательного» простоя накопленных составов будет

$$B = \sum ut_{\text{гр}} + \sum ut_o + \sum ut_{\text{ож}} = \\ = 12(m - m_{\text{гр}}) + 24m_o + 12m_{\text{гр}} = \\ = 12(m - m_{\text{гр}} + m_{\text{гр}}) + 24m_o = \\ = 12(m + 2m_o). \quad (4)$$

Параметр накопления

$$c = \frac{B}{m} = 12(1 + \frac{2m_o}{m}). \quad (5)$$

Таким образом, при отправлении поездов по твердому графику значительно увеличивается простоя вагонов под накоплением за счет дополнительного простоя накопленного состава.

Однако рассмотренный график отражает ситуацию, когда число накопленных на состав вагонов m_n попадает в диапазон $m \pm \Delta m$. В реальном процессе составообразования это число вагонов будет выходить за указанные пределы. В случае превышения верхней границы $m_n > m_{\text{max}} = m + \Delta m$ образуется остаток вагонов. Если число накопленных вагонов не достигает нижней границы $m_n < m_{\text{min}} = m - \Delta m$, то формирование поезда отменяется и все эти вагоны переходят в остаток, который в дальнейшем либо рассасывается по накопленным составам, увеличивая их вплоть до m_{max} , либо – при интенсивном подходе вагонов – возрастает до такой степени, что возникает необходимость назначения дополнительных (неграфиковых) поездов. В этом случае реализуется неполный твердый график, качество которого можно оценить процентом выполнения твердого графика [1].

Поскольку можно предположить, что число назначаемых дополнительных поездов будет меньше, чем число отмененных, увеличится среднее число вагонов в составе поезда и общее число поездов уменьшится по сравнению с расчетным графиковым. Также будет другое значение среднего остатка вагонов. Фактические значения этих параметров можно опре-

делить только в результате моделирования процессов поездобразования при твердом графике движения. Окончательные выводы по целесообразности использования твердого графика в рамках сортировочной станции можно будет сделать только имея результаты моделирования составообразования.

Результаты моделирования составообразования

В настоящее время на сортировочных станциях практически отсутствуют данные о составообразовании и отправлении поездов по твердому графику, поэтому для получения таких статистических данных целесообразно использовать имитационное моделирование. С этой целью в качестве исходных использовали данные о реальном поступлении групп вагонов на путь накопления при расформировании поездов, т. е. число вагонов в поступающих группах и время их поступления отдельно по каждому поезвному назначению. Всего рассмотрели восемь назначений разной мощности с моделированием по шести значениям максимальной нормы состава. Суточный период в соответствии с числом формируемых поездов разделили на части, каждая из которых соответствовала периоду накопления составов. Предварительно расчетным путем получили значение Δm для каждого назначения. В соответствии с нормативом $m_{\max}$ установили значение $m_{\min} = m_{\max} - 2\Delta m$ и среднюю величину состава $m = m_{\max} - \Delta m$. Далее по мере поступления групп вагонов на путь накопления имитировали образование составов посуточно в течение месячного периода.

В результате моделирования по каждому назначению установили следующие параметры:

- фактическое среднее значение величины состава m_{ϕ} ;
- фактическое среднее значение отклонения Δm_{ϕ} ;
- среднее значение остатка вагонов m_o ;
- среднее значение суточных затрат на накопление B ;

• среднее значение параметра накопления c .

В качестве параметра, характеризующего каждое назначение, определили соотношение [3]

$$\gamma = \frac{m}{m_{\max}} = \frac{m}{m + \Delta m}.$$

Моделирование составообразования показало большой разброс значений остатка вагонов при одном и том же значении γ . Процент отправления поездов по твердому графику для рассмотренных назначений оказался в диапазоне от 73 до 99% (табл. 1). Таким образом, в течение месяца ни одно назначение не вышло на 100%-ное отправление поездов по твердому графику. Это говорит о том, что для сортировочных станций характерен неполный твердый график, который обуславливается отменой графиковых поездов при накоплении состава менее нижней границы допустимого диапазона ($m_{\text{нак}} < m_{\min}$).

Из-за отмены поезда все накопленные вагоны переходят в остаток и участвуют в накоплении последующих составов. При большом избытке вагонов могут назначаться дополнительные (неграфиковые) поезда. Число дополнительных поездов всегда меньше числа отмененных за счет использования вагонов остатка в границах установленного диапазона величины формируемых составов: $m_{\min} \leq m_{\phi} \leq m_{\max}$. В результате число фактически сформированных поездов оказывается меньше расчетного: $N_{\phi} < N_{\text{гр}}$, поэтому возрастают значения среднего состава ($m_{\phi} > m$) и $\gamma_{\phi} > \gamma$. Одновременно снижается значение $\Delta m_{\phi} < \Delta m$, что сужает границы фактического диапазона величины формируемых поездов: $m_{\min}^{\phi} \leq m_{\phi} \leq m_{\max}$, где $m_{\min}^{\phi} = m_{\max} - 2\Delta m_{\phi}$.

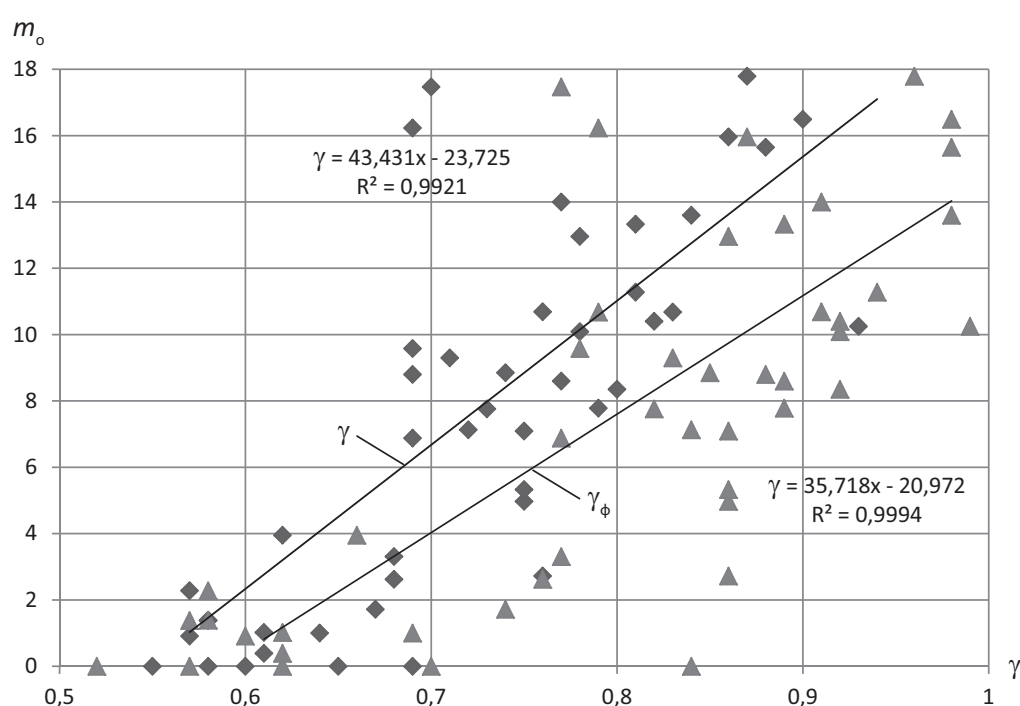
Анализ полученных данных позволил установить зависимость $m_o = f(\gamma)$ как прямолинейную $m_o = 41,64\gamma - 22,211$ (рис. 2), которую можно использовать для аналитического определения ориентированной величины среднего остатка.

ТАБЛИЦА 1. Диапазон отправления поездов по твердому графику

Диапазон %	Вагонопоток	$m_{\max}$	γ	% выполнения графика
71–80	U = 93	70	0,88	78
	U = 104	80	0,87	80
	U = 114	50	0,76	73
	U = 114	60	0,95	78
	U = 114	90	0,85	78
	U = 114	100	0,57	80
	U = 122	50	0,81	79
	U = 134	50	0,9	79
	U = 145	60	0,8	77
	U = 165	60	0,69	80
81–90	U = 93	50	0,93	82
	U = 93	60	0,77	83
	U = 93	80	0,77	84
	U = 93	90	0,69	89
	U = 104	50	0,7	84
	U = 104	70	0,75	83
	U = 104	90	0,58	84
	U = 104	100	0,69	87
	U = 114	70	0,82	82
	U = 114	80	0,71	85
	U = 122	60	0,68	82
	U = 122	80	0,76	85
	U = 122	90	0,68	88
	U = 134	60	0,75	81
	U = 134	70	0,64	88
	U = 134	80	0,84	83
	U = 134	90	0,75	83
	U = 134	100	0,67	88
	U = 145	50	0,72	81
	U = 145	70	0,69	82
	U = 145	90	0,81	87
	U = 145	100	0,73	85
	U = 155	50	0,78	82
	U = 155	60	0,86	88
	U = 155	70	0,74	81
	U = 155	80	0,65	87
	U = 155	100	0,78	87
	U = 165	50	0,83	83
	U = 165	70	0,79	82
	U = 165	80	0,69	82

Окончание табл. 1

Диапазон %	Вагонопоток	$m_{\max}$	γ	% выполнения графика
91–100	U = 93	100	0,62	93
	U = 104	60	0,58	97
	U = 122	70	0,58	98
	U = 122	100	0,61	97
	U = 145	80	0,60	91
	U = 155	90	0,60	96
	U = 165	90	0,61	93
	U = 165	100	0,52	99

Рис. 2. График зависимости остатка вагонов от γ и γ_ϕ

Так, безостаточное накопление составов можно обеспечить при значении $\gamma = 0,533 \times m_{\max}$. При этом число графиковых ниток более чем в два раза должно превышать число ниток гибкого графика при накоплении до максимальной величины состава. Понятно, что этот вариант практически неприемлем ввиду его нерентабельности. Для каждой сортировочной станции в зависимости от ее возможностей, а также от возможностей локомотивного парка и пропускной способности

прилегающих направлений, имеется зона рациональных значений γ , которые устанавливаются по максимально допустимым значениям среднего остатка m_o и прогнозным значениям процента выполнения графика. Закономерностей соответствия значений γ и γ_ϕ проценту выполнения твердого графика не обнаружено. Основная масса рассмотренных значений (62,5%) характеризуется диапазоном значений $\gamma = 0,67 - 0,90$ и процентом выполнения графика 81–90% (табл. 2).

Следует иметь в виду, что фактические значения γ_{ϕ} при тех же значениях остатка m_o несколько больше, чем расчетные значения γ . Анализ полученных данных позволяет установить средний коэффициент увеличения $\alpha \approx 1,12$. Зависимость $m_o = f(\gamma_{\phi})$ показана на рис. 2 штриховой линией $m_o = A\gamma_{\phi} - B$. Эта зависимость позволяет определить величину среднего остатка вагонов m_o непосредственно по фактическому значению γ_{ϕ} .

Из-за большого разброса усредненных значений остатка вагонов суточные затраты вагоно-часов на накопление вагонов целесообразно рассчитывать по формулам (1)–(5), используя установленные статистически фактические значения m_{ϕ} , m_{ϕ}^{ϕ} и m_o^{ϕ} . Для приближенных ориентировочных расчетов при определении остатка можно использовать установленные зависимости (рис. 2).

Помимо этого установлены аналитические зависимости среднесуточной величины затрат вагоно-часов на накопление $B = f(\gamma)$ (рис. 3) и параметра накопления $c = f(\gamma)$ (рис. 4).

При этом отклонение полученных по этим зависимостям значений от фактических составляет по B 2,65 %, по c – 9,93 %.

В табл. 3 приведены все расчеты значений B и c по всем суточным вагонопотокам, а также определен процент отклонения.

Заключение

Анализ процесса составообразования при отправлении поездов по твердому графику позволил установить аналитические формулы для определения среднесуточных затрат вагоно-часов накопления вагонов по отдельно-

ТАБЛИЦА 2. Диапазон значений величины γ и среднего остатка вагонов m_o

% выполнения	γ	m_o , ваг.	Отклонение
71–80	0,91–0,98	16,83–24,36	1,12
81–90	0,67–0,90	2,49–16,82	1,13
91–100	0,55–0,66	0–2,48	1,11
Итого			1,12

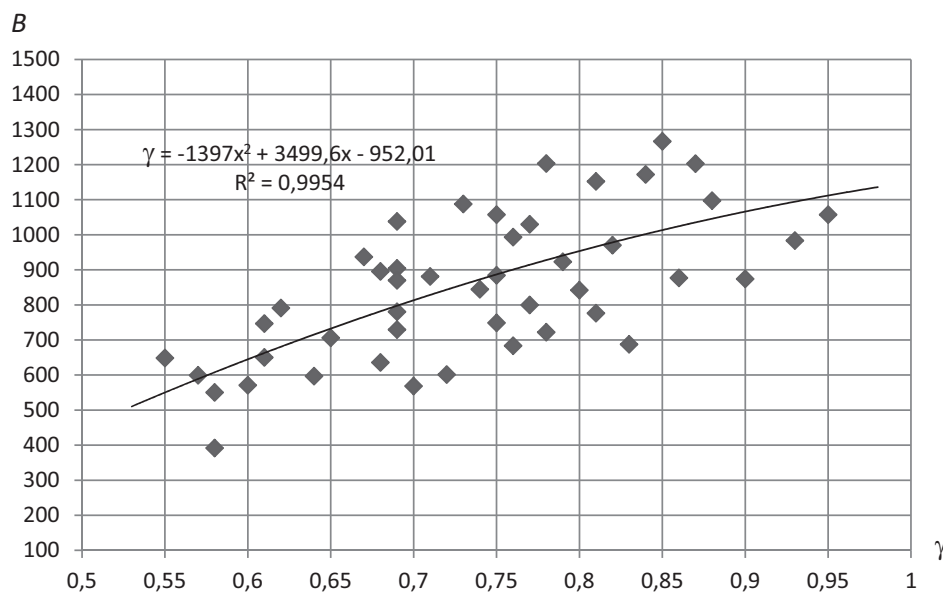


Рис. 3. Аналитическая зависимость затрат вагоно-часов $B = f(\gamma)$

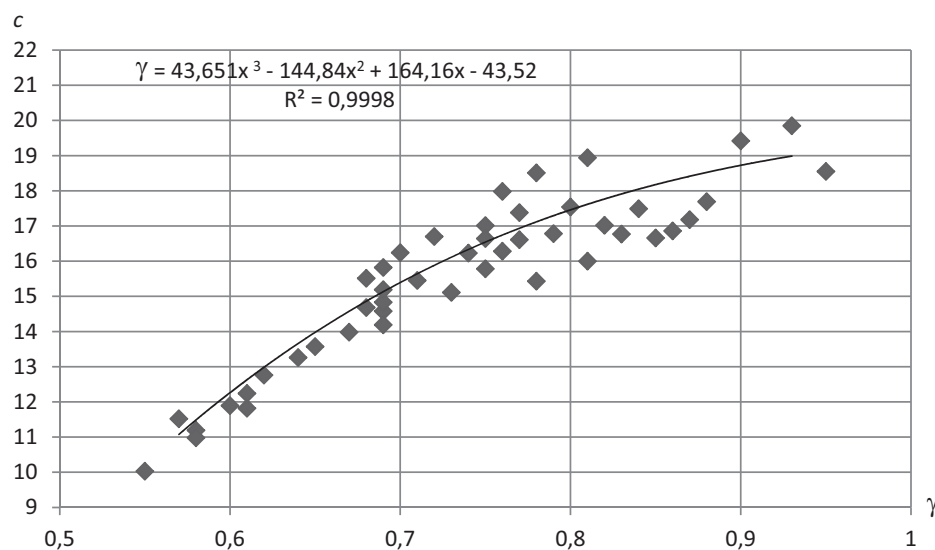
Рис. 4. Аналитическая зависимость параметра накопления $c = f(\gamma)$

ТАБЛИЦА 3. Расчет средних затрат вагоно-часов и параметра накопления

$U_{\text{сут}}$	93	104	114	122	134	145	155	165	Среднее отклонение
$B_{\text{нак}}$	900,72	878,05	899,51	674,70	799,32	747,20	721,94	761,21	797,83
$B_{\text{ож}}$	76,68	51,84	82,68	60,48	81,60	84,36	74,16	81,60	74,22
$B_{\text{рас}}$	841,80	766,08	878,88	697,36	810,64	749,04	766,64	702,92	776,69
$B_{\text{ф}}$	956,52	884,90	899,51	713,64	886,66	872,98	839,79	785,44	870,04
Отклонение	58,92	111,97	20,63	-22,66	-11,52	-1,84	-44,7	58,29	21,14
% отклонения	4,32	8,08	1,99	-3,52	-2,07	-0,12	-7,02	6,84	2,65
γ	γ_p	0,78	0,70	0,78	0,69	0,76	0,73	0,73	0,73
	$\gamma_{\text{ф}}$	0,87	0,75	0,86	0,75	0,85	0,81	0,80	0,81
c	14,13	19,91	12,96	12,21	12,68	12,31	12,17	13,75	13,02
$c_{\text{рас}}$	15,06	13,80	14,83	13,75	14,60	13,87	14,24	13,51	14,21
$c_{\text{ф}}$	15,19	14,05	16,60	12,91	14,12	14,35	14,24	14,08	14,44
Отклонение	-0,93	-0,10	-1,87	-1,55	-1,92	-1,56	-2,07	0,24	1,20
% отклонения	-6,88	-0,94	-15,59	-12,60	-14,78	-13,15	-17,14	1,61	-9,93

му назначению плана формирования поездов. При этом один из параметров этого процесса – средняя величина остатка вагонов после накопления составов – не может быть определен аналитическим путем.

Поскольку формирование поездов по твердому графику в настоящее время не распространено на сортировочных станциях, произведено моделирование этого процесса по реальным значениям параметров поступающего

вагонопотока, что позволило получить статистические данные, характеризующие составообразование, в том числе значения остатка вагонов.

Анализ результатов обработки статистических данных позволил установить прямолинейную зависимость $m_o = f(\gamma)$, которую можно использовать для аналитического определения ориентировочной средней величины остатка вагонов. Зная эту величину, а также отчетные значения средней величины поступающей группы вагонов m_ϕ и средней величины формируемых по данному назначению составов m , по предложенной формуле легко определить среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление с учетом простоя составов в ожидании нитки графика.

Исследование показывает, что в условиях работы сортировочной станции очень трудно обеспечить выполнение твердого графика на 100%. Однако неполный твердый график вполне можно обеспечить. Его приемлемость

можно определить прогнозным процентом выполнения графика. Результаты исследования позволят уточнить расчеты по определению оптимального плана формирования поездов.

Библиографический список

1. Кудрявцев В. А. Определение суточных затрат вагоно-часов на накопление составов / В. А. Кудрявцев, Я. В. Кукушкина, Ш. М. Суюмбаев // Железнодорож. транспорт. – 2010. – № 3. – С. 29–31.
2. Кудрявцев В. А. Целесообразность использования твердого графика движения грузовых поездов / В. А. Кудрявцев, Ш. М. Суюмбаев // Сб. ст. ВТИ. – 2010. – № 18. – С. 145–149.
3. Суюмбаев Ш. М. Оперативное планирование эксплуатационной работы в условиях организации движения грузовых поездов по твердому графику / Ш. М. Суюмбаев // Изв. ПГУПС. – 2010. – Вып. 3. – С. 15–24.



УДК 621.3.031.8 : 621.314

А. В. АлександровПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БОРТОВОЙ СЕТИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА НА СОВРЕМЕННОМ
МОТОРВАГОННОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ**

Проанализирована структура энергопотребления собственных нужд современного моторвагонного подвижного состава. Приведены данные по энергопотреблению собственных нужд для выпускаемых в РФ электропоездов. Показаны особенности питания от статических преобразователей главных воздушных компрессоров и компрессоров систем кондиционирования. Рассмотрена целесообразность питания ТЭНов систем поддержания микроклимата от бортовой сети или от высокого напряжения. Рассмотрены различные варианты построения преобразователя собственных нужд. Описана структура бортовой сети постоянного тока. Определены критерии, по которым выбирается система энергоснабжения для вновь проектируемого подвижного состава.

Бортовая сеть, преобразователь собственных нужд, питание вспомогательных машин.

Развитие пассажирского моторвагонного подвижного состава (МВПС) характеризуется постоянным ростом мощности тяговых двигателей. При этом повышаются требования к комфортности проезда пассажиров и условиям труда локомотивной бригады. Мощность нетяговых потребителей на современном МВПС может составлять до 8–10% мощности, потребляемой из контактной сети мощности. Для питания этих потребителей используются статические преобразователи собственных нужд (ПСН). Совокупность ПСН и подключенных к ним нагрузок представляет собой бортовую сеть МВПС. Важным вопросом при разработке новых типов МВПС и модернизации подвижного состава является определение наилучшей в данном случае структуры бортовой сети, т. е. количества ПСН, их выходного напряжения и способов питания конечных

потребителей. Наиболее распространен вариант использования трехфазной сети переменного тока с линейным напряжением 220 или 380 В и с частотой 50 Гц. Такой вариант исторически наследуется с тех времен, когда роль ПСН играли электромеханические преобразователи с синхронными генераторами. К такой бортовой сети могут напрямую подключаться приводные асинхронные двигатели, также в нее может подаваться напряжение от внешнего источника депо без дополнительных преобразователей.

Однако из-за особенностей питания от статических преобразователей и изменившейся структуры энергопотребления бортовая сеть переменного трехфазного тока имеет недостатки (о которых мы скажем ниже), поэтому в качестве альтернативы ей может рассматриваться бортовая сеть постоянного тока.

Анализ структуры энергопотребления собственных нужд

Нетяговые потребители электрической энергии на МВПС можно разделить на следующие основные категории:

- элементы системы управления;
- система поддержания микроклимата, в том числе обогревательные элементы;
- главные воздушные компрессоры;
- вентиляторы охлаждения тяговых двигателей и преобразователей;
- системы освещения;
- зарядные устройства аккумуляторной батареи.

Доли указанных потребителей в общем энергопотреблении неравны. Так, современным системам управления, построенным на базе микроконтроллеров, требуется весьма незначительная мощность по сравнению с релейными и аналоговыми системами управления. Также малым энергопотреблением отличаются все шире распространяющиеся системы светодиодного освещения с высоким КПД. Совокупно все данные устройства обычно питаются от сети постоянного тока 110 В, т.е. получают энергию через зарядное устройство аккумуляторной батареи, которое питается либо от бортовой сети, либо напрямую от высокого напряжения. Обычно его мощность не превышает 10–15 % мощности ПСН.

В то же время увеличивается мощность, потребляемая системами поддержания ми-

кроклимата. Согласно техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» и ГОСТ Р 55434-2013, весь вновь выпущенный подвижной состав должен быть оснащен установками кондиционирования воздуха пассажирских салонов с высокой производительностью. В состав данных установок входят вентиляторы испарителей и конденсаторов, а также компрессора, мощность которых весьма высока.

В таблице приведены данные по мощности бортовой сети трех выпускаемых в России электропоездов.

В таблице указаны суммарные мощности нагрузок, питающихся от одного ПСН. Так как на пятивагонных составах ЭГ2 Тв и ЭС2 установлены по 2 ПСН, а на ЭТ4 А – по 3, то мощность ПСН ЭТ4 А дана с повышающим коэффициентом 1,5.

Из таблицы хорошо видно, что основными нетяговыми потребителями энергии на борту эксплуатируемого в России МВПС являются компрессоры и ТЭНы систем микроклимата, на втором месте находятся устройства питания сети 110 В, и только на третьем – вентиляторы охлаждения преобразователей.

Следует отметить, что многие зарубежные производители моторвагонного подвижного состава применяют ТЭНы обогрева салона, питающиеся не от высокого напряжения, а от бортовой сети. Это позволяет наиболее полно использовать мощность ПСН и удешевить конструкцию ТЭНов. Однако такое решение возможно только в том случае, если мощность,

Мощность источников и основные нагрузки в бортовой сети электропоездов, выпускаемых в России, кВт

Мощность	Электропоезд		
	ЭГ2 Тв	ЭТ4 А	ЭС2
ПСН	170	120	190
Устройств питания сети 110 В	15	15	20
Главных компрессоров	11	7	9
ТЭНов системы микроклимата	137	120	125
Компрессоров системы микроклимата	50	75	90
Вентиляторов охлаждения преобразователей	9	10	8
Вентиляторов системы микроклимата	13	10	10

требуемая на обогрев салона, меньше или равна мощности на его охлаждение. Для российских условий это требование не выполняется, так как большая часть территории нашей страны лежит в зоне умеренного климата.

Согласно известной из теплотехники формуле [2], требуемая для изменения температуры помещения мощность определяется как

$$Q = K \cdot \Delta t,$$

где K – коэффициент, зависящий от параметров помещения; Δt – разница температур внутри помещения и снаружи.

При требуемой средней температуре внутри вагона 20 °С, минимальной наружной температуре –40 °С и максимальной +40 °С мощность, необходимая для нагрева внутривагонного воздуха, в 3 раза превосходит мощность, требуемую для его охлаждения.

Отсюда следует целесообразность питания ТЭНов напрямую от контактной сети, что также увеличивает надежность системы отопления. Это немаловажно при движении электропоезда в редконаселенной местности при низких температурах.

Рассмотрим более подробно вопрос электропитания двигателей компрессоров.

Наиболее эффективным способом приведения в действие различных механизмов является применение асинхронных короткозамкнутых двигателей [1]. Для их питания необходима бортовая сеть с трехфазным напряжением 220 В или 380 В (для использования унифицированных с промышленными двигателями) с частотой 50 Гц.

Однако питание компрессоров от бортовой сети переменного тока связано с рядом трудностей. При подключении электродвигателя компрессора напрямую к трехфазной бортовой сети он включается в режиме прямого пуска, т. е. с пусковыми токами, в 5–10 раз превышающими номинальные. При этом для транзисторов ПСН длительность кратной перегрузки по току лежит в пределах нескольких микросекунд [3], т. е. прямой пуск компрессора приведет к немедленному срабатыванию защиты транзисторов и отключению ПСН. Избежать такого развития событий помогают

существенный запас по мощности ПСН, позволяющий ему выдерживать пусковые токи мощных электродвигателей, а также мягкая выходная характеристика ПСН.

Для компрессоров систем кондиционирования существует также другая особенность, связанная с условиями их работы. Отвод тепла из кондиционируемого помещения прямо пропорционально зависит от производительности компрессора, перекачивающего рабочее тепло, а также от расхода воздуха через испаритель [2]. При подключении двигателя компрессора напрямую к трехфазной сети его частота вращения, а следовательно, и производительность постоянны. Так как работа компрессора в релейном режиме приведет к его быстрому износу, регулирование температуры воздуха возможно лишь за счет изменения расхода воздуха через испаритель. При этом компрессор постоянно работает с максимальной мощностью, что также ведет к повышенному энергопотреблению.

Решением указанных проблем может стать применение индивидуальных преобразователей частоты, питающих один или два (в случае систем кондиционирования) компрессора. Это позволяет отказаться от запаса по мощности ПСН, а также наиболее оптимально регулировать производительность компрессора, а следовательно, и температуру воздуха в салоне.

Помимо этого следует отметить, что часть вентиляторов также может быть выполнена с питанием от индивидуальных преобразователей частоты из соображений необходимости регулирования расхода воздуха. К таким вентиляторам относятся, например, приточные вентиляторы систем микроклимата.

Анализ структурных вариантов ПСН при различных первичных источниках энергии

На современном МВПС ПСН наиболее часто подключают к звену постоянного тока силовых преобразователей частоты, питающих

тяговые двигатели. Для подвижного состава постоянного тока звено постоянного тока отсутствует, так как преобразователи напрямую подключаются к контактной сети. Для подвижного состава переменного тока звено постоянного тока питается от четырехквadrантного преобразователя, а для подвижного состава автономной тяги – от тягового выпрямителя. Питание ПСН от звена постоянного тока позволяет уменьшить количество входных преобразователей энергии и увеличить надежность системы. В то же время напряжение звена постоянного тока обычно составляет несколько киловольт и в составе ПСН обязательно должен присутствовать трансформатор для обеспечения гальванической развязки входных и выходных цепей.

ПСН, формирующий систему трехфазных напряжений, может быть выполнен в виде трехфазного инвертора на IGBT-транзисторах (A1) с трехфазным трансформатором T1 для гальванической развязки и для преобразования уровня напряжения и с LC-фильтром (A2) для формирования синусоидальной формы выходного напряжения (рис. 1).

Однако трансформатор, рассчитанный на преобразование напряжения с основной гармоникой 50 Гц, будет иметь существенные массу и стоимость. Кроме того, такой вариант требует использования, как минимум, трех дорогостоящих транзисторных модулей 65 класса, имеющих относительно низкую максималь-

ную частоту коммутации, что ведет за собой увеличение процента содержания высших гармоник в выходном напряжении и как следствие – рост массогабаритных характеристик LC-фильтра, поэтому в качестве альтернативы может рассматриваться вариант с двойным преобразованием энергии (рис. 2), при котором высокое напряжение контактной сети преобразуется вначале инвертором A1 в однофазное переменное напряжение высокой частоты, которое затем понижается с помощью высокочастотного трансформатора T1 и выпрямляется выпрямителем A2. Дальнейшее формирование системы трехфазных напряжений осуществляет инвертор A3, полупроводниковые приборы которого благодаря более низкому, чем в первом варианте, напряжению коллектор – эмиттер имеют существенно более низкую стоимость и более высокую частоту коммутации.

Последнее обстоятельство позволяет применить LC-фильтр, рассчитанный на более высокие частоты и имеющий лучшие массогабаритные характеристики и меньшую стоимость. Таким образом, данная схемотехника ПСН более выигрышна с точки зрения массогабаритных и стоимостных показателей.

Сеть постоянного тока

Если, как предложено выше, приводные двигатели компрессоров будут питаться от ин-

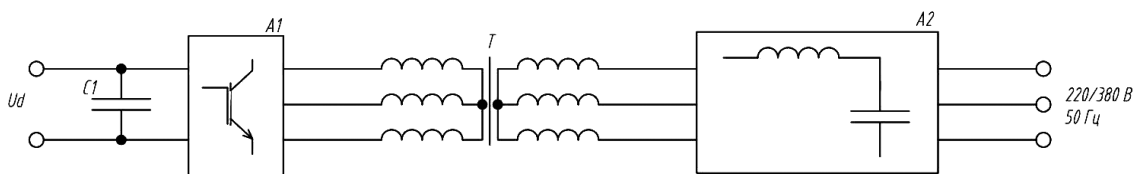


Рис. 1. Схема ПСН с преобразованием на частоте 50–60 Гц

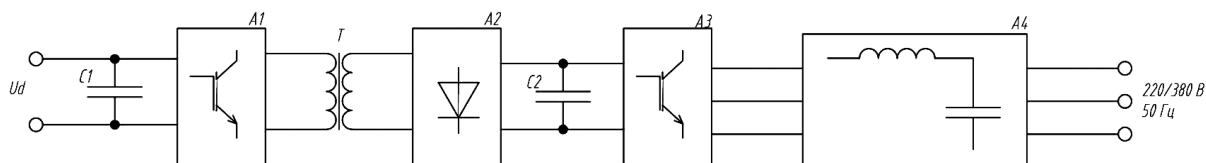


Рис. 2. Схема ПСН с преобразованием на частоте 10–15 кГц

дивидуальных преобразователей частоты, то вместе с зарядными устройствами аккумуляторных батарей 110 В эти так называемые вторичные преобразователи составят основную часть потребителей бортовой сети. При этом в случае использования бортовой сети трехфазного переменного тока будет происходить двойное избыточное преобразование энергии: от звена постоянного тока ПСН энергия передается к звену постоянного тока «вторичных» преобразователей через сеть переменного тока. Кроме того, для обеспечения синусоидальной формы тока в бортовой сети на выходе ПСН устанавливаются LC-фильтры, которые должны быть рассчитаны на полную мощность преобразователя, в то время как 80 % энергии будет потребляться входными выпрямителями «вторичных» преобразователей, для которых форма потребляемого тока практически не имеет значения.

Решением данной проблемы может быть применение бортовой сети постоянного тока. При этом звенья постоянного тока ПСН и «вторичных» преобразователей соединяются общей поездной шиной. Инвертирующая часть ПСН, формирующая трехфазное напряжение стабильной частоты 50 Гц выполняется в виде отдельного устройства, имеющего существенно меньшую мощность, что позволяет уменьшить габариты как самого инвертора, так и LC-фильтра. Напряжение бортовой сети постоянного тока может быть выбрано исходя из того, что максимальное действующее значение выходного напряжения «вторичных» инверторов должно составлять 380 или 220 В. При этом амплитудное значение выходного напряжения составит, соответственно, 540 и 310, а входное постоянное напряжение – с учетом запаса на ШИМ (рис. 3) – примерно 600 и 350 В.

Таким образом, можно выделить следующие преимущества бортовой сети постоянного тока:

1) применение индивидуальных приводов компрессоров позволяет снизить запас по мощности ПСН, а также обеспечить возможность регулирования производительности компрессоров;

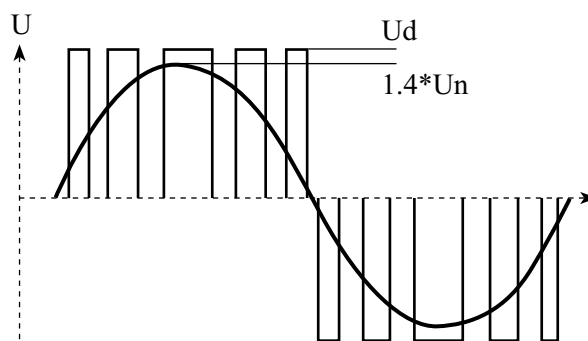


Рис. 3. Форма напряжений на выходе инвертора и после LC-фильтра

2) шина постоянного тока легко позволяет напрямую объединить выходы ПСН, обеспечив их синхронную работу и мгновенное перераспределение нагрузки при выходе одного ПСН из строя;

3) выход из строя высоковольтной части одного ПСН не приводит к отключению «вторичных» преобразователей данной секции, подключенных к общей шине.

В то же время очевидны и недостатки данного решения:

1) большая совокупная стоимость ПСН с выходным напряжением постоянного тока и нескольких «вторичных» преобразователей в сравнении с одним мощным ПСН, формирующим систему трехфазных напряжений;

2) большая стоимость коммутационных аппаратов, рассчитанных на работу с постоянным напряжением.

Однако следует учесть, что удельная стоимость преобразователей бортовой сети в общей стоимости современного МВПС снижается благодаря применению таких дорогостоящих и технически сложных элементов, как алюминиевых кузовов из экструдированного профиля, пневматической подвески и энергопоглощающих устройств пассивной безопасности. Поэтому подорожание, вызванное применением бортовой сети постоянного тока, будет относительно небольшим, особенно с учетом того, что стоимость полупроводниковых преобразователей в течение последних десятилетий неуклонно снижается.

Также при питании ТЭНов климатических установок от высокого напряжения нет необ-

ходимости в большом количестве коммутационных аппаратов в бортовой сети. Фактически в ней присутствуют только выходные контакторы ПСН и зарядные и линейные контакторы «вторичных» преобразователей.

Бортовая сеть постоянного тока применяется на электропоезде ЭТ4 А и дизель-поезде ДТ1 Торжокского вагоностроительного завода. Данная концепция показала высокую надежность в эксплуатации и хорошие перспективы дальнейшего применения, особенно при высоком инженерно-техническом уровне исполнения преобразователей собственных нужд.

Выводы

Целесообразность применения той или иной системы электроснабжения собственных нужд определяется, в первую очередь, тем, какую долю в общем энергопотреблении занимают «вторичные» преобразователи, а какую – активно-индуктивные нагрузки (приводные двигатели, непосредственно подключенные к бортовой сети, и ТЭНы).

При большой доле электроэнергии, потребляемой «вторичными» преобразователями

мощности, применение трехфазной системы нецелесообразно. Это обусловлено тем, что от звена постоянного тока ПСН ко входному звену постоянного тока «вторичных» преобразователей электрическая энергия передается по трехфазной бортовой сети – происходит двойное избыточное преобразование энергии.

Если доля энергии, потребляемой активно-индуктивными нагрузками, сравнима или превосходит долю, потребляемую «вторичными» преобразователями, предпочтительнее оказывается трехфазная бортовая сеть переменного тока.

Библиографический список

1. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Д. Д. Захарченко, Н. Д. Ротанов. – М. : Транспорт, 1991. – 343 с.
2. Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха / О. Я. Кокорин. – М. : Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2003. – 272 с.
3. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин. – М. : Техносфера, 2005. – 632 с. (Мир электроники).

УДК 629.423.1 + 06

А. А. Андрющенко

ООО «ТРТранс»

А. А. Зарифьян, П. Г. Колпахчян

Ростовский государственный университет путей сообщения

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ПРИ ПИТАНИИ ОТ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Проанализированы показатели энергетической эффективности пассажирских электровозов с асинхронным тяговым приводом в различных условиях эксплуатации при питании от сети постоянного тока. В качестве примеров рассмотрено движение на скоростном равнинном участке Октябрьской ж. д., горном участке Северо-Кавказской ж. д. и равнинном участке Московской ж. д., имеющем ограничение по скорости. Приведены полученные при помощи бортового регистратора графики скорости, силы тяги, полной потребленной мощности и мощности на тягу. Рассмотрены показатели энергоэффективности для различных условий, сформулированы предложения по их улучшению.

Пассажирский электровоз, асинхронный тяговый привод, сеть постоянного тока, показатель энергетической эффективности.

Под энергосбережением подразумевается комплекс организационно-правовых, производственных, научно-технических и экономических мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Основные принципы энергосбережения едины для любых энергоустановок, в том числе локомотивных [2]:

- из технических средств и технологий должны применяться только те, которые реализуют наибольший коэффициент полезного действия (КПД) при наименьших затратах на ТЭР;
- режим работы технических средств должен быть близок к номинальному, обеспечивающему реализацию наибольшего КПД установки или технологического процесса;
- в отсутствие рабочего режима энергоустановка должна быть отключена или переведена в режим минимального потребления энергии холостого хода (при невозможности ее отключения по условиям перевозочного процесса).

Ключом к энергосбережению является приведение любой энергоустановки в соответствие номинальным параметрам по нагрузке, ориентированным на максимальный уровень КПД.

Необходимо различать КПД локомотива как силовой установки и КПД эксплуатационный, который зависит от времени работы локомотива в различных режимах при движении поезда и от расхода энергии на поддержание локомотива в работоспособном состоянии во время стоянок [4].

Коэффициент использования мощности (КИМ) представляет собой отношение мощности, реализованной локомотивом за определенный период времени, к его номинальной (часовой или продолжительной) мощности.

В настоящей работе проанализированы эксплуатационные показатели энергетической эффективности пассажирских электровозов с асинхронными тяговыми двигателями в реальных режимах движения при питании

от сети постоянного тока и сформулированы предложения по улучшению этих показателей.

Использование мощности пассажирских электровозов с АТП

В настоящее время на путях РЖД работают оснащенные асинхронным тяговым приводом двухсистемные пассажирские электровозы ЭП10 (всего выпущено 12 штук) и ЭП20, производство которых начато в 2011 г. [6, 7]. Оба этих электровоза имеют осевую формулу 2о-2о-2о и мощность продолжительного режима на валах тяговых двигателей 6600 кВт.

Электровоз ЭП20 обеспечивает ведение поезда из 24 вагонов со скоростью 160 км/ч или поезда из 17 вагонов со скоростью 200 км/ч на прямых участках пути, что достигнуто применением тяговых редукторов с разными пере-

даточными отношениями: $i = 5,167$ для скорости 160 км/ч, $i = 4,05$ для скорости 200 км/ч.

Основное преимущество двухсистемных пассажирских электровозов заключается в том, что при прохождении стыка участков, работающих на токе разных родов, не требуется смена локомотива. Особенно наглядно это проявляется на направлении Москва – Адлер, где род тока сменяется дважды: сначала с постоянного на переменный (ст. Рязань), а затем с переменного на постоянный (ст. Горячий Ключ), полный выигрыш по времени составляет около часа.

Электровоз ЭП20, в отличие от ЭП10, оборудован системой плавного регулирования силы тяги, благодаря чему он имеет лучшие тягово-энергетические характеристики. При питании от сети постоянного тока напряжение 3 кВ поступает на автономные инверторы напряжения, от которых питаются асинхронные тяговые двигатели [6]. Все приведенные далее

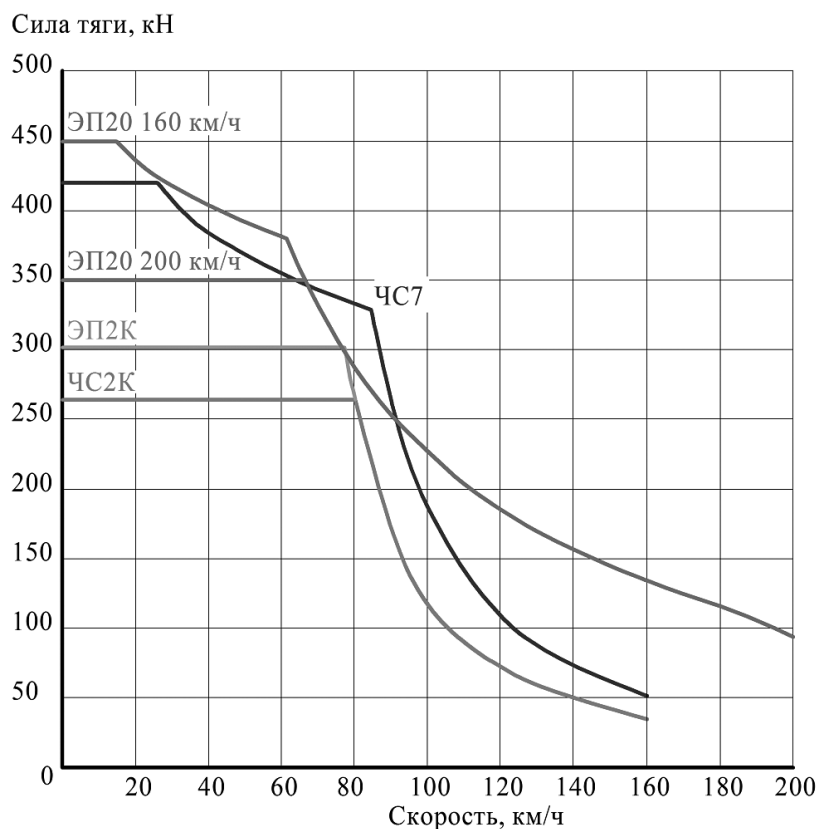


Рис. 1. Сравнительные тяговые характеристики электровоза ЭП20 и электровозов ЧС2К, ЧС7, ЭП2К

результаты получены на участках, электрифицированных на постоянном токе (материалы для участков на переменном токе будут представлены в отдельной публикации).

Сравнительные тяговые характеристики электровоза ЭП20 и оснащенных коллекторными ТЭД электровозов ЧС2К, ЧС7, ЭП2К показаны на рис. 1 (для продолжительного режима).

На основании результатов эксплуатации электровозов ЭП20 в 2012–2014 гг. выполнен детальный анализ расхода электроэнергии на тягу, потери и собственные нужды, а также на возврат в режиме рекуперации.

Показатели энергоэффективности на участке Санкт-Петербург – Москва

Основные параметры движения на участке Санкт-Петербург – Москва представлены в табл. 1. На рис. 2 показан фрагмент записи параметров электровоза пассажирского электровоза ЭП20-006 с фирменным поездом «Невский экспресс». Вес поезда 882 тс, поезд состоит из 12 вагонов. Машинист в данном случае управляет электровозом вручную при помощи задания мощности на тягу. Равнинный профиль и хорошее состояние пути позволяют двигаться со скоростью до 200 км/ч.

ТАБЛИЦА 1. Основные параметры участков

Параметр	Участок		
	СПб. – Москва	Туапсе – Горячий Ключ	Москва – Рязань
Расстояние, км	644,5	83	199
Время в пути, мин (ч)	278 (4,63)	85 (1,42)	176 (2,93)
Средняя скорость, км/ч	139,1	58,6	67,8
Максимальная скорость, км/ч	198	83	118

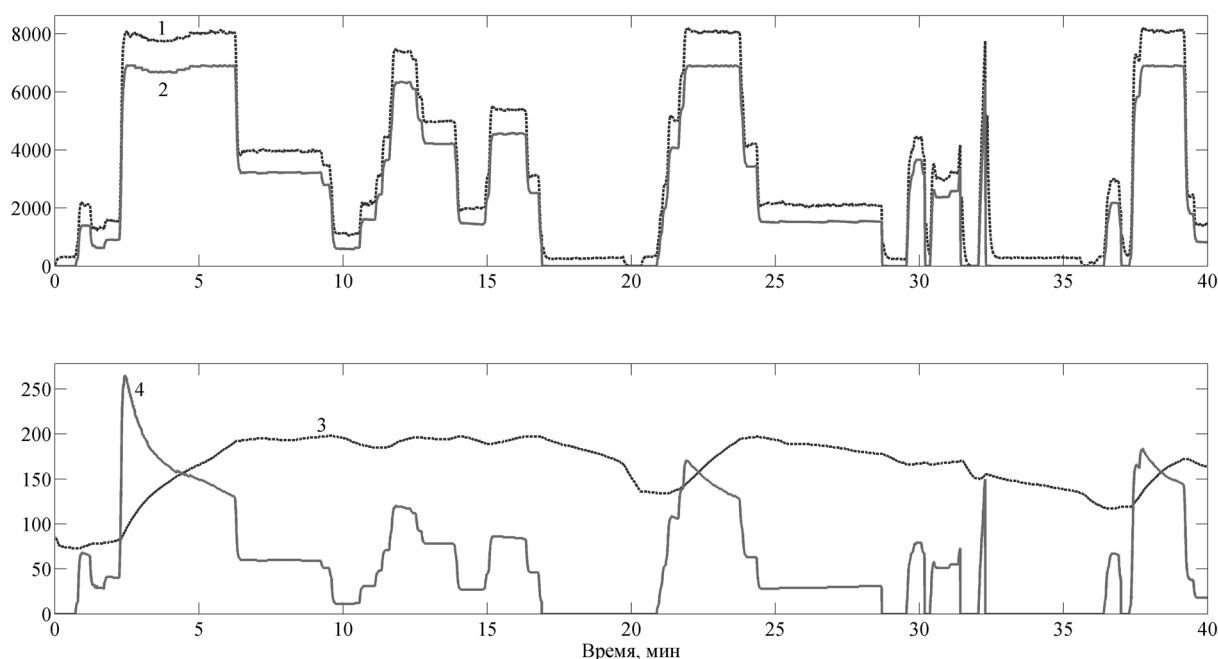


Рис. 2. Запись параметров электровоза на участке Санкт-Петербург – Москва. Здесь и далее
вверху: 1) мощность, потребляемая из сети, кВт; 2) мощность на валах АТД, кВт;
внизу: 3) скорость, км/ч; 4) сила тяги, кН

На рис. 2 также показаны потребляемая из контактной сети мощность (без учета отопления поезда) и мощность на валах АТД, разность этих мощностей представляет собой суммарную мощность вспомогательных нужд и потерь.

Видно, что при наборе скорости доступная мощность электровоза используется практически полностью, значение мощности на валах АТД составляет 7000 кВт, что лишь немногим меньше мощности часового режима. Сила тяги при разгоне достигает 270 кН на скорости 100 км/ч.

Показатели энергетической эффективности на этом участке представлены в табл. 2, причем сначала во всех режимах, а затем только в режиме тяги.

Показатели энергоэффективности на участке Туапсе – Горячий Ключ

Этот участок протяженностью 83 км представляет собой часть линии Туапсе – Краснодар, для него характерны сложные план и профиль пути. Основные параметры движения

на участке представлены в табл. 1, показатели энергетической эффективности – в табл. 2.

От ст. Туапсе-Пассажирская дорога идет вверх по долине реки на протяжении более 26 км с уклонами до 9–15‰ и имеет множество кривых малого радиуса. На рис. 3 показан фрагмент записи параметров пассажирского электровоза ЭП20-023 с поездом Адлер – Москва, полученной за первые 20 мин поездки. Скорость 70 км/ч поддерживается автоматическим регулятором. При этом КИМ равен 0,166.

Затем начинается подъем с уклонами 23‰, дорога входит в Лысогорский (Чилипсинский) перевальный тоннель длиной 3,2 км (высота перевала более 400 м) и преодолевает Главный Кавказский хребет. На рис. 4 представлены записи параметров электровоза на перевальном участке. Скорость при подъеме на перевал не превышает 65 км/ч, мощность на валах АТД достигает 4500 кВт, сила тяги равна 250 кН. В среднем КИМ на подъеме составляет 0,338. После перевала начинается спуск с уклонами до 15–16‰, на спуске электровоз работает в режиме рекуперации.

ТАБЛИЦА 2. Показатели энергетической эффективности

Параметр	Участок		
	СПб. – Москва	Туапсе – Горячий Ключ	Москва – Рязань
По всем режимам (за всю поездку)			
Полная энергия, потребленная из контактной сети, кВт·ч	11 055	1523	2841
Потенциально возможная энергия, потребленная из контактной сети (исходя из часовой мощности 7200 кВт), кВт·ч	33 342	10 152	21 059
Энергия на валах АТД, кВт·ч	8218	1089	1620
КИМ = (3)/(2)	0,246	0,107	0,077
Только в режиме тяги (за всю поездку)			
Энергия, потребленная из контактной сети, кВт·ч	10 442	1430	2494
Потенциально возможная энергия, потребленная из контактной сети (исходя из часовой мощности 7200 кВт), кВт·ч	20 261	4776	10 361
КИМ = (3)/(6)	0,406	0,228	0,156

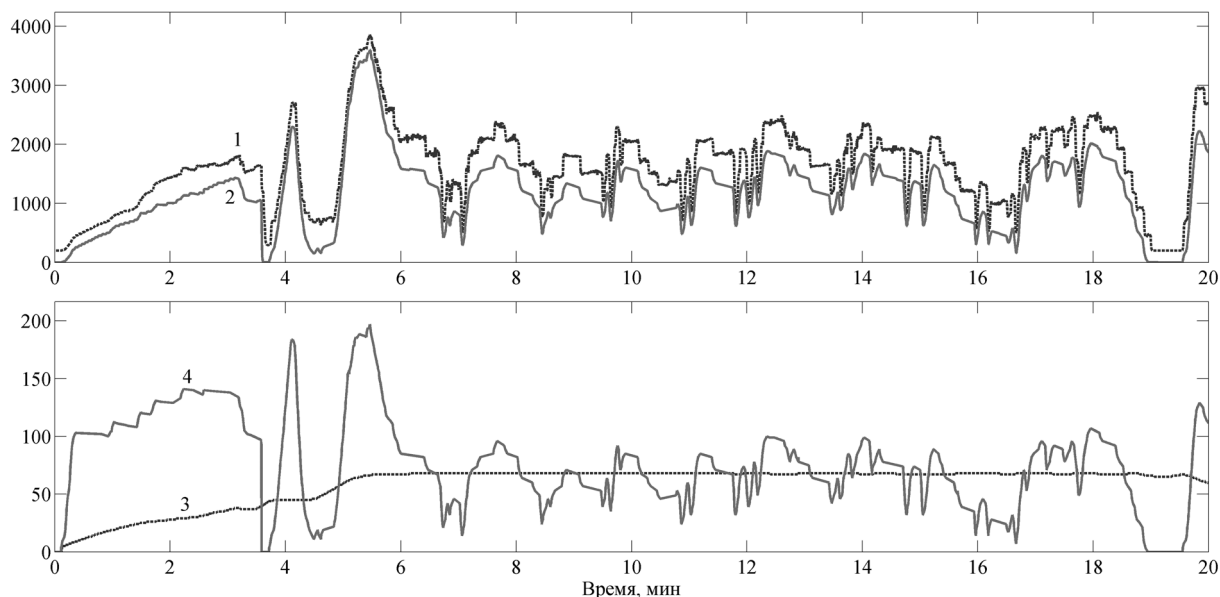


Рис. 3. Запись параметров электровоза после ст. Туапсе (обозначения см. на рис. 2)

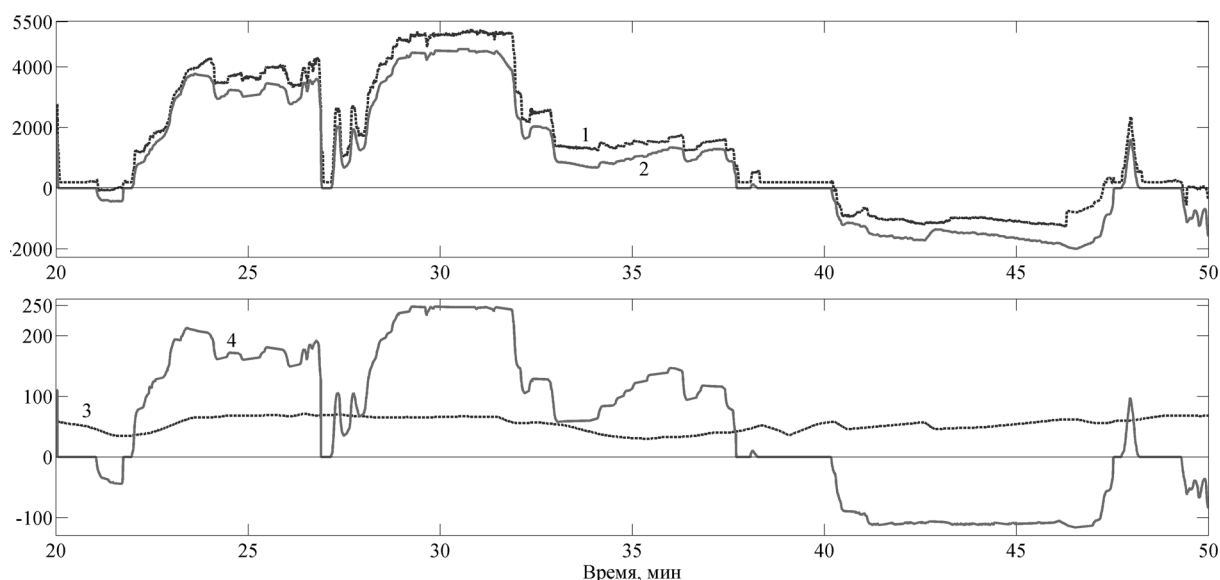


Рис. 4. Запись параметров электровоза на перевальном участке (обозначения см. на рис. 2)

Далее гораздо более пологий спуск продолжается до ст. Горячий Ключ, который электровоз проходит практически на выбеге с небольшим подтормаживанием.

Показатели энергоэффективности на участке Москва – Рязань

На рис. 5 показан фрагмент записи параметров пассажирского электровоза ЭП20-015 с поездом № 104, полученной на равнинном

участке Москва – Рязань, параметры участка приведены в табл. 1. Продолжительность записи около 30 мин.

Так как на этом участке имеются ограничения по скорости (70 км/ч), что видно на нижней диаграмме, автоматический регулятор поддерживает заданную скорость, периодически включая тягу (49% полного времени движения, которое равно 2 ч 46 мин), остальное время движение происходит на выбеге.

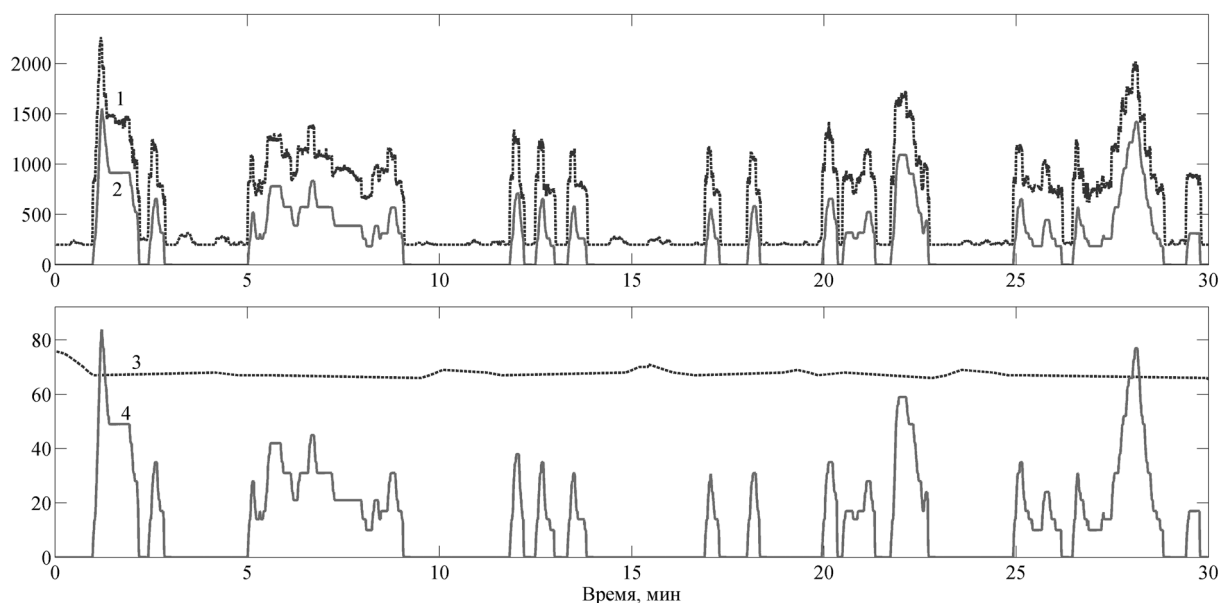


Рис. 5. Фрагмент записи параметров электровоза на участке Москва – Рязань (обозначения см. на рис. 2)

Показатели энергетической эффективности представлены в табл. 2.

Пути повышения показателей энергоэффективности

Таким образом, как показывает опыт эксплуатации пассажирских электровозов с АТП, работающих на железных дорогах, их доступная мощность используется полностью далеко не всегда. Причины заключаются в том, что такие электровозы ведут поезда без смены локомотива на всем протяжении маршрута (например, 1760 км для линии Москва – Адлер), который проходит по территориям с разнообразным рельефом местности и состоянием пути, и вес поезда меньше расчетного. Как следствие, условия для обеспечения высокой энергоэффективности на всем маршруте далеки от оптимальных.

Рассмотрим возможные варианты решения этой проблемы.

Движение с полной загрузкой на высоких скоростях

Одной из кардинальных мер улучшения эксплуатационной энергоэффективности электровозов ЭП20 может быть вождение поездов

из максимального числа вагонов с высокими скоростями, что даст повышение реализуемой мощности и тем самым – увеличение КИМ.

Для этого требуется, во-первых, стабильный пассажиропоток, во-вторых, хорошее состояние пути, позволяющее поддерживать высокую скорость движения. Если на линии Санкт-Петербург – Москва пассажиропоток в основном стабилен, то на линии Центр – Юг, где перевозки носят сезонный характер, этого нет.

Кроме того, на южном направлении имеются многочисленные ограничения по скорости движения, в том числе обусловленные сложным горным рельефом. В перспективе по мере модернизации инфраструктуры скорость должна возрасти.

Отключение части двигателей при неполной нагрузке

Поскольку на электровозе ЭП20 имеется возможность поосного регулирования силы тяги, вопрос оперативного отключения/подключения одной или нескольких осей в автоматическом режиме может быть решен на верхнем уровне системы управления.

В [1] по этому поводу сказано: «При применении бесколлекторного тягового привода актуальным становится вопрос об обеспечении нагрузки тягового оборудования, близкой к оптимальной (регулирование числа работающих тяговых двигателей в зависимости от загрузки электровоза, в том числе и на разных участках пути)».

Сошлемся здесь на практический опыт. Отключение секций грузовых многосекционных тепловозов при неполной нагрузке (при порожнем или легковесном составе) широко практикуется и предписывается инструкциями по вождению поездов с целью экономии топлива. Секции отключаются заранее, перед началом движения. Например, у тепловоза 3ТЭ116У могут быть вручную отключены одна или две секции [5]. В отключенных секциях дизель работает на холостом ходу (нулевая позиция), причем топливо подается только в половину цилиндров. Возбуждение тягового генератора обеспечивает питание трехфазным переменным током асинхронных мотор-вентиляторов охлаждения ТЭД. В результате в корпусах ТЭД создается избыточное давление, благодаря этому попадание туда снега, воды и пыли становится невозможным.

На Северо-Кавказской ж. д. для экономии электроэнергии проводится опытная эксплуатация грузовых электровозов 1,5ВЛ80с при вождении неполновесных или порожних грузовых поездов. Водить такие поезда предписано на шести ТЭД из двенадцати, т. е. работать на «полсхемы» при всех включенных мотор-вентиляторах также во избежание попадания влаги и загрязнений.

Как показали расчеты, расход электроэнергии электровоза ЭП20 на участке Москва – Рязань с ограничением по скорости 70 км/ч при 6, 5, 4 и 3 работающих двигателях составил бы, соответственно, 100, 91, 81 и 73 %. Во всех случаях электровоз ведет состав из 15 пассажирских вагонов и сохраняет заданный график движения. Наилучшая энергоэффективность здесь будет при движении с тремя отключенными тяговыми двигателями (снижение расхода энергии до 27 %). Это также существенно

лучше показателей электровозов ЧС2К и ЧС7, работающих на данном участке с аналогичными поездами.

Изменение эксплуатационного КПД в зависимости от загрузки локомотива

Обратим внимание на то, что в технической документации значение КПД электровоза приводится для работы в продолжительном (6600 кВт) или часовом (7200 кВт) режимах. Однако электровоз работает в переменных режимах. Как следствие, его КПД изменяется в зависимости от мгновенной мощности (рис. 6).

Диаграмма построена по результатам обработки параметров электровоза, полученных во время поездок на участках, электрифицированных на постоянном токе. Здесь учитывается работа преобразователей и двигателей, тепловые и электромагнитные потери, затраты на собственные нужды. Можно сказать, что это результат многократно повторенного натурного эксперимента, условия которого определены режимами эксплуатации.

Тяговый привод электровоза ЭП20 является многодвигательным, причем имеется возможность индивидуального регулирования мощности каждого двигателя вплоть до его отключения, поэтому для улучшения показателей энергетической эффективности представляется целесообразным разработать адаптивную автоматическую систему регулирования числа тяговых осей. Работа этой системы должна быть построена таким образом, чтобы оставшиеся в тяге оси обеспечивали максимально возможный КПД электровоза, опираясь на диаграмму рис. 6.

Необходимость модификации схемы вспомогательного привода

На электровозах ЭП20 применена схема питания вспомогательных нужд от звена постоянного напряжения тягового преобразователя [3]. Использован разделительный транс-

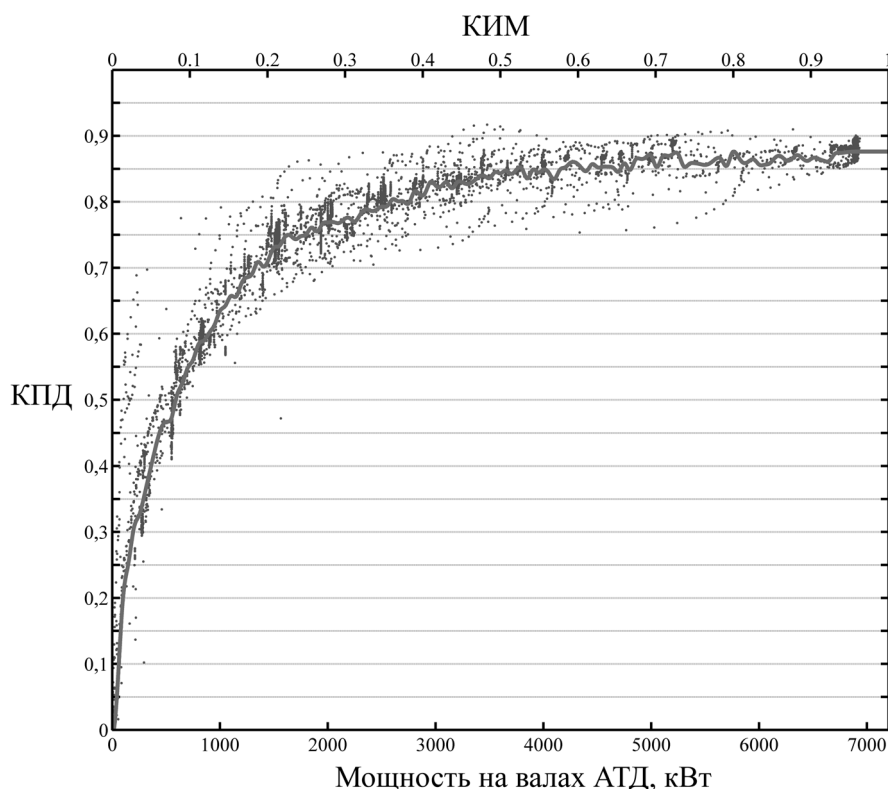


Рис. 6. КПД электровоза ЭП20 в зависимости от мощности на валах АТД (внизу) и от КИМ (вверху) в режиме тяги

форматор, обеспечивающий гальваническое разделение высоковольтных цепей источника питания и низковольтных потребителей. Используются четыре независимо регулируемых по частоте канала питания вспомогательных нужд. Из них второй канал питает четыре вентилятора охлаждения АТД, а четвертый – еще два вентилятора охлаждения АТД.

Поскольку должно быть обеспечено минимально необходимое давление воздуха в корпусах отключенных тяговых двигателей, в схему вспомогательного привода необходимо внести изменения, предусматривающие индивидуальное питание мотор-вентиляторов.

Выводы

Современные пассажирские электровозы, оснащенные АТП, имеют большой запас мощности, а вес поездов далек от оптимальных значений. Анализ записей параметров

электровозов при эксплуатации на участках, электрифицированных на постоянном токе, позволяет сделать следующие выводы:

1) мощность электровоза используется не полностью. Наибольшее значение КИМ получено при эксплуатации электровоза на скорости до 200 км/ч на равнинном участке Москва – Санкт-Петербург. КИМ в режиме тяги на данном участке равен 0,406;

2) на участке с большим количеством кривых, с подъемом до 9–15‰ и с ограничением скорости КИМ электровоза имеет значение 0,166;

3) на перевальном участке при подъеме с уклоном до 23‰ КИМ равен 0,338;

4) на равнинном участке с ограничением скорости значение КИМ 0,156;

5) наилучшие мгновенные показатели энергоэффективности достигаются при разгоне до скорости 200 км/ч на прямом равнинном участке и при подъеме на перевал с уклоном до 23‰;

б) зависимость КПД от мощности и КИМ (рис. 6) показывает, что для увеличения энергоэффективности необходимо более полно использовать мощность тяговых двигателей в течение длительного времени.

Для оптимизации показателей энергетической эффективности пассажирских электровозов с АТП предлагается разработать адаптивную автоматическую систему изменения числа тяговых осей. Частота вращения одной из отключенных осей (которая в этом случае будет представлять собой «бегунковую ось») послужит входным сигналом для системы управления тягой и поможет отслеживать возникновение боксования и юза.

Библиографический список

1. Бахвалов Ю. А. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Бахвалов, А. А. Зарифьян, П. Г. Колпахчян и др. ; под ред. Е. М. Плохова. – М. : Транспорт, 2001. – 286 с.
2. Гапанович В. А. Энергосбережение на железнодорожном транспорте / В. А. Гапанович, В. Д. Авилов, Б. А. Аржанников и др. ; под ред. В. А. Гапановича. – М. : МИСиС, 2012. – 620 с.
3. Зарифьян А. А. Особенности схем вспомогательного привода современных локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями / А. А. Зарифьян // Бюл. результатов науч. исследований. – 2014. – № 4 (13) – С. 29–35. – URL: www.brni.info.
4. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода / Н. Ф. Ильинский. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 224 с.
5. Сергеев С. В. Знакомьтесь: тепловоз 3ТЭ116У / С. В. Сергеев, М. В. Федотов, А. Л. Ткаченко и др. // Локомотив. – 2014. – № 3. – С. 38–42.
6. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 / под ред. С. В. Покровского. – М. : Интекст, 2009. – 356 с.
7. Солтус К. П. Знакомьтесь : электровоз ЭП20 / К. П. Солтус // Локомотив. – 2013. – № 4–6.

УДК 004.056.53

Г. А. Бекбаев, Н. В. Евглевская, А. А. Привалов, Е. В. Скуднева

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

СПОСОБ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ ПО КАНАЛАМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОАО «РЖД»

Для обеспечения устойчивой работы телекоммуникационных устройств и, как следствие, предоставления потребителям услуг требуемого качества создана система мониторинга. Известны способы построения систем мониторинга, при реализации которых следует передавать по каналам телекоммуникационной системы (ТКС) большой объем дополнительной информации, что удлиняет цикл управления ТКС. Для сокращения цикла управления ТКС авторы статьи разработали оценку состояния ТКС ОАО «РЖД» по спектральным характеристикам процесса передачи сообщений (пакетов или кадров данных). Изменение времени передачи сообщений (пакетов или кадров данных) и вида распределения его отклонений от среднего значения, как правило, обусловлены изменением условий функционирования каналов ТКС.

Телекоммуникационная система, нормальный закон распределения, экспоненциальный закон распределения, длительность цикла управления ТКС.

Одной из главных задач управления телекоммуникационными системами (ТКС) ОАО «РЖД» является оценка состояния и готовности системы предоставлять пользователям услуги заданного качества.

Эта задача решается за счет создания и обеспечения функционирования Единой системы мониторинга и администрирования (ЕСМА). Реализованный в ЕСМА подход основан на наблюдении за значениями электрических параметров сетевых элементов. Это приводит, как правило, к необходимости передачи по каналам ТКС ОАО «РЖД» дополнительной информации значительного объема. С увеличением числа узлов в сети задача обработки получаемых при этом данных становится NP-сложной, а в результате длительность цикла управления ТКС ОАО «РЖД» – недопустимо большой. В то же время интегральной характеристикой, отображающей состояние, условия и качество функционирования ТКС ОАО «РЖД», является время успешной передачи (доставки) сообщений (пакетов или кадров данных), функционально зависящее от состояния и степени работоспособности сетевых элементов. Следовательно, измерение времени передачи сообщений косвенно характеризует состояние сетевых элементов и – при условии предварительного обучения системы мониторинга – позволяет устанавливать текущее состояние ТКС в процессе ее функционирования без передачи дополнительной информации.

Постановка задачи

Для упрощения математических вычислений и сокращения объемов передаваемой по каналам ТКС ОАО «РЖД» технологиче-

ской информации предлагаем оценивать состояние ТКС ОАО «РЖД» по спектральным характеристикам процесса передачи сообщений (пакетов или кадров данных).

Решение

Рассмотрим случайный импульсный процесс $T(t)$, в котором передние и задние фронты импульсов соответствуют наблюдаемому и фиксируемому на каждом сетевом узле времени поступления на передачу и приема сообщения (пакета или кадра данных) (рис. 1). При этом предполагается, что амплитуды импульсов равны единице.

Примем также, что период поступления сообщения на передачу является случайной величиной, равной T . Так как для большого промежутка времени T_N , в течение которого было принято $(2N + 1)$ сообщений, с математическим ожиданием $\bar{T}$ и дисперсией интервалов времени между поступлениями σ_T справедливо [1]:

$$\begin{aligned} T_N &= (2N + 1)T + k\sigma_T\sqrt{2N + 1} = \\ &= (2N + 1)T\left(1 + \frac{k\sigma_T}{\sqrt{2N + 1}}\right) \sim (2N + 1)T, \end{aligned}$$

без потери общности дальнейших рассуждений можно считать, что $T = \text{const}$.

Длительность импульсов τ_n , $n = \overline{1, 2N - 1}$ в случайном процессе $T(t)$ соответствует времени передачи сообщения (передачи данных) по каналу ТКС.

Энергетический спектр $F(\omega)$ указанного случайного процесса определяется по формуле

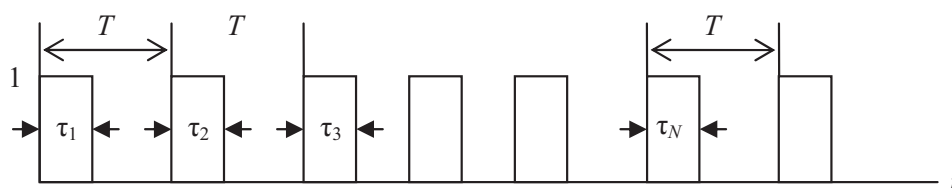


Рис. 1. Случайный импульсный процесс $T(t)$

$$F(\omega) = \frac{2}{T} \{K_0(\omega) - K_\infty(\omega) + \\ + \Psi(\omega) + \frac{2\pi}{T} K_\infty(\omega) \sum_{r=1}^{\infty} \delta(\omega - \frac{2\pi r}{T})\},$$

где

$$K_\infty(\omega) = \\ = \lim_{\substack{p \rightarrow 0 \\ (p \rightarrow \infty)}} \int_0^\infty \int_0^\infty xy g(\omega x) \overline{g(\omega y)} \omega_{2\tau}(x, y, pT) dx dy;$$

$g(\omega x)$ – спектральная плотность функции, описывающей форму импульса; $\omega_{1\tau}(x)$, $\omega_{2\tau}(x, y, pT)$ – одно- и двухмерная функции распределения времени передачи сообщения (пакета или кадра данных), соответственно [1].

Так как в нашем случае форма импульсов прямоугольная,

$$xg(\omega x) = \int_0^1 x \exp(-i\omega t) dt = \\ = \int_0^x \exp(-i\omega u) du = \frac{1 - \exp(-i\omega x)}{i\omega},$$

а значит,

$$K_p(\omega) = \frac{1}{\omega^2} \int_0^\infty \int_0^\infty [1 - \exp(-i\omega x)] \times \\ \times [1 - \exp(-i\omega y)] \omega_{2\tau}(x, y, pT) dx dy = \\ = \frac{1}{\omega^2} [1 + \Theta_{2\tau}(\omega, -\omega, pT) - \Theta_{1\tau}(\omega) \exp(i\omega\tau_0) - \\ - \Theta_{1\tau}(-\omega) \exp(-i\omega\tau_0)],$$

где $\Theta_{2\tau}(\omega, -\omega, pT)$, $\Theta_{1\tau}(\omega)$ – двух- и одномерная характеристические функции случайного отклонения времени передачи сообщения (пакета или кадра данных) от своего среднего значения τ_0 , соответственно.

Определив предельным переходом при $p \rightarrow 0$ и $p \rightarrow \infty$ значения $K_0(\omega)$ и $K_\infty(\omega)$, получим энергетический спектр, включающий дискретную

$$F_D(\omega) = \frac{4\pi}{\omega^2 T^2} [1 + |\Theta_{1\tau}(\omega)|^2 - \Theta_{1\tau}(\omega) \exp \times \\ \times (i\omega\tau_0) - \Theta_{1\tau}(-\omega) \exp(-i\omega\tau_0)] \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - \frac{2\pi r}{T})$$

и непрерывную

$$F_I(\omega) = \frac{2}{\omega^2 T^2} [1 + |\Theta_{1\tau}(\omega)|^2]$$

составляющие процесса передачи сообщений по каналам ТКС, принимая, что изменения времени передачи независимы и представляют собой белый шум [2].

Если случайные отклонения времени передачи сообщений (пакетов или кадров данных) описываются нормальным законом распределения с дисперсией σ_τ^2 и с коэффициентом корреляции $R_{p\tau}$, то

$$\Theta_{1\tau}(\omega) = \exp(-\frac{\sigma_\tau^2 \omega^2}{2});$$

$$\Theta_{2\tau}(\omega_1, \omega_2, pT) = \\ = \exp \left\{ -\frac{\sigma_\tau^2}{2} (\omega_1^2 + 2R_{p\tau} \omega_1 \omega_2 + \omega_2^2) \right\};$$

и

$$F(\omega) = \frac{2\pi}{\omega^2 T} \times \\ \times \left\{ \begin{aligned} &1 - \exp(-\sigma_\tau^2 \omega^2) + \\ &+ \exp(-\sigma_\tau^2 \omega^2) \times \\ &\times \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2\sigma_\tau^{2k} \omega^{2k}}{k!} \sum_{p=1}^{\infty} R_{p\tau}^k \cos p\omega T \right] + \\ &+ \frac{2\pi}{T} (1 + \exp(-\sigma_\tau^2 \omega^2) - 2 \exp \times \\ &\times (-\frac{\sigma_\tau^2 \omega^2}{2}) \cos \omega\tau_0) \sum_{r=1}^{\infty} \delta(\omega - \frac{2\pi r}{T}) \end{aligned} \right\}.$$

Аналогично при отклонении времени передачи сообщений, подчиняющемся экспоненциальному закону, имеем

$$\Theta_{1\tau}(\omega) = \frac{1}{1 - 2i\sigma_\tau \omega};$$

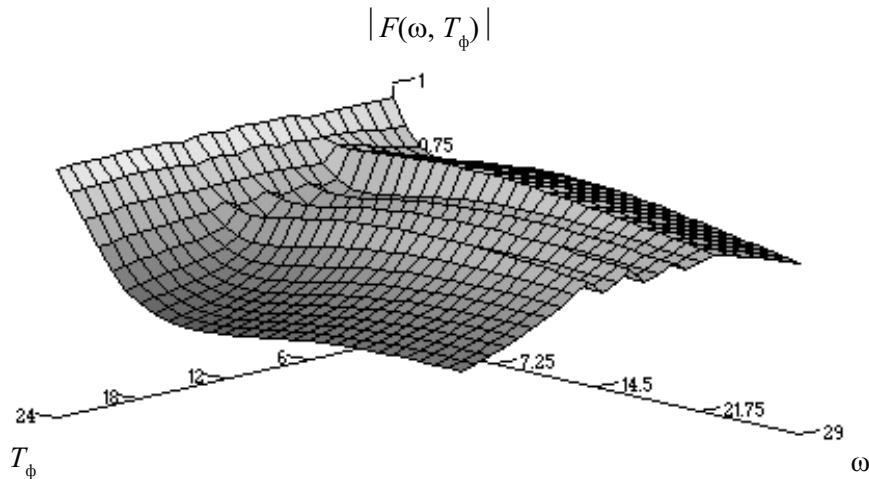


Рис. 2. Изменение энергетического спектра ТКС в течение функционирования

$$\Theta_{2\tau}(\omega, -\omega, pT) = \frac{1}{1 + 4\sigma_\tau^2 \omega^2 (1 - R_{p\tau}^2)};$$

функционирующему в условиях случайных и антагонистических воздействий.

$$F(\omega) = \frac{2}{\omega^2 T} \times \left\{ \begin{aligned} &\times \frac{4\sigma_\tau^2 \omega^2}{1 + 4\sigma_\tau^2 \omega^2} + \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{2\tau_0^2 \omega^2}{1 + 4\sigma_\tau^2 \omega^2} \times \\ &\times \left\{ \frac{\sin^2 \frac{\omega \tau_0}{2}}{\frac{\omega^2 \tau_0^2}{4}} + \frac{2\sigma_\tau \sin \omega \tau_0}{\omega \tau_0^2} + \frac{2\sigma_\tau^2}{\tau_0^2} \right\} \times \\ &\times \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{T}\right) \end{aligned} \right\},$$

а при равномерном распределении отклонений времени передачи –

$$F(\omega) = \frac{2}{\omega^2 T} \times \left\{ \begin{aligned} &\times \left[1 - \frac{\sin^2 \omega T}{\omega^2 T^2} + \frac{2\pi}{T} \left[1 - 2 \frac{\sin \omega T}{\omega T} \times \right. \right. \\ &\times \left. \left. \cos \omega \tau_0 + \frac{\sin^2 \omega T}{\omega^2 T^2} \right] \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{T}\right) \right] \end{aligned} \right\}.$$

На рис. 2 показана эволюция спектра процесса передачи сообщений по фрагменту ТКС,

Заключение

Полученные результаты показывают, что изменение времени передачи сообщений (пакетов или кадров данных) и вида распределения его отклонений от своего среднего значения, как правило, обусловлены изменением условий функционирования каналов ТКС. То есть при предварительном обучении системы мониторинга, основанной на спектральном оценивании процесса передачи, появляется возможность без дополнительного информационного обмена устанавливать состояние ТКС, идентифицировать условия ее функционирования, а также оперативно выявлять вышедшие из строя элементы ТКС.

Библиографический список

1. Левин Б. Р. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике / Б. Р. Левин. – М. : Сов. радио, 1957.
2. Привалов А. А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использования для анализа систем связи ВМФ / А. А. Привалов. – СПб. : ВМА, 2000. – 160 с.

УДК 656.075

Н. А. Гончарова, Е. К. КоровяковскийПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ
В СКЛАДСКОМ КОМПЛЕКСЕ ГУП «ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН»**

В материально-техническом снабжении предприятия ключевую роль играет реализация логистической функции управления запасами. В статье предлагается пересмотреть методы диагностики и контроля состояния товарных запасов метрополитена, которые позволят высвободить складские площади и денежные средства, замороженные в излишних запасах. Решение задачи предполагает группировку товарных позиций и анализ выделенных групп для выбора оптимальных методов планирования и управления запасами по всему ассортименту материальных ресурсов.

Складские запасы, материально-техническое снабжение, группировка позиций ассортимента, оптимальная стратегия.

Актуальность данной темы обусловлена растущей ролью складских комплексов системы материально-технического снабжения в деятельности транспортных предприятий. Исследования российских и зарубежных ученых показывают, что наиболее перспективным направлением повышения эффективности логистического процесса в системе материально-технического снабжения предприятия является применение методов и моделей управления отдельными логистическими функциями. В области реализации логистических функций транспортировки и складирования ГУП «Петербургский метрополитен» разработал ряд мероприятий, а управлению запасами на данный момент уделяется недостаточное внимание.

Ключевую роль в материально-техническом снабжении предприятия имеет реализация логистической функции управления запасами. В настоящее время в области управления запасами на предприятии разработан ряд нормативных актов, определяющих методику расчетов потребных размеров страхового, текущего, аварийного и других видов запасов, условия их хранения и отпуска со склада и т. п. Однако при разработке комплексов мероприятий в области снабжения предприятия

материально-техническими ресурсами аспектам диагностики текущего состояния запасов и их группировке уделяется недостаточно внимания. Для решения этой проблемы необходимо применить современные математические методы, в частности, анализ номенклатурных групп запасов. Сейчас для обеспечения производственных подразделений ГУП «Петербургский метрополитен» закупает более 40 000 наименований товарно-материальных ресурсов [1], поэтому невозможно предложить универсальную стратегию, подходящую для каждого наименования из номенклатуры закупаемых ресурсов. В связи с этим представляется целесообразным разделить закупаемую номенклатуру на укрупненные группы, для которых в дальнейшем будут разрабатываться комплексные стратегии управления складскими запасами.

**Место и роль складского комплекса
в системе материально-технического
снабжения**

Задача складского комплекса системы материально-технического снабжения ГУП «Петербургский метрополитен» – сделать входя-

щие материальные потоки удобными для получателей (производственных подразделений метрополитена) по величине, ритму прибытия и другим значимым параметрам. Необходимость складирования товарно-материальных ресурсов вызвана колебаниями циклов производства, транспортировки и потребления товаров. Склады сглаживают колебания в потреблении и в наличии грузов.

Склад – это не только сложная технологическая система, но и составная часть логистической цепи, которая формирует требования к складской системе, диктует условия разработки системы складирования. В основном складское хозяйство рассматривается как одно из обслуживающих хозяйств предприятия. Оно имеет важную, но соподчиненную роль в структуре производственной системы предприятия городского пассажирского транспорта. Складское хозяйство является частью подсистемы обеспечения производственной инфраструктуры предприятия.

В современных исследованиях можно выделить следующие подходы к определению места и роли, а также к специфике организации складского хозяйства в производственных системах транспортных предприятий:

- складское хозяйство как производственное подразделение предприятия, как подсистема его производственной системы;
- как система взаимосвязанных производственных процессов;
- как часть интегрированной транспортно-складской системы;
- как технологическое звено в логистической цепи товародвижения [2].

В материально-техническом снабжении ГУП «Петербургский метрополитен» есть проблема нехватки обеспечивающей инфраструктуры, в том числе – складских мощностей. Решение данной задачи требует комплексной проработки ряда вопросов, связанных с совершенствованием организационной структуры системы складского хранения, с определением мест размещения складской инфраструктуры, с подготовкой регламентов оборудования складских комплексов. Также необходимо

учитывать, что размещение объектов складской инфраструктуры в черте города весьма дорогостояще. В связи с этим актуализируется поиск наиболее эффективного использования имеющихся складских площадей.

Методика диагностики состояния и группировки складских запасов метрополитена

Перед специалистами по логистике поставлена задача пересмотреть методы диагностики и контроля состояния товарных запасов метрополитена, чтобы найти возможность высвободить складские площади и денежные средства, замороженные в излишних запасах. Решение этой задачи предполагает группировку товарных позиций и анализ выделенных групп для выбора оптимальных методов планирования и управления запасами по всему ассортименту материальных ресурсов. Разделение номенклатуры должно выявить долю запасов по каждой позиции в общем объеме товарных запасов и учесть степень неравномерности спроса по каждой ассортиментной позиции.

Для анализа ассортимента товаров с учетом доли запасов по каждой позиции в общем объеме запасов используется метод ABC-анализа. Целью данного анализа является распределение позиций ассортимента по группам в зависимости от объема денежных средств, находящихся в запасах по этим позициям. Для проведения ABC-анализа необходимо рассчитать долю отдельных товарных позиций в общем объеме запасов. Расчеты производят для части товарных позиций, так как объем данной публикации не предполагает исследования всей закупаемой номенклатуры. Долю запаса по каждой конкретной товарной позиции рассчитывают как отношение запаса по данной позиции к общей сумме всех запасов. На следующем этапе ассортиментные позиции выстраивают в порядке убывания их доли в общей стоимости запасов, получая упорядоченный список (рис. 1).

Исходные данные				Упорядоченный список				Группа
№ позиции	Наименование материала	Стоимость запаса, руб	Доля запаса по позиции в общем запаса, %	№ позиции	Стоимость запаса, руб	Доля запаса по позиции в общем запаса, %	Доля нарастающим итогом, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	эл.щетка графитовая ЭГ-4 22х30х60	10 048,02	0,04	21	4 659 874,51	17,587	17,587	А
2	букса 2.7170.31.12.010.03 левая	2 993 838,13	11,30	3	3 837 172,75	14,482	32,069	
3	букса 2.7170.31.12.010.04 правая	3 837 172,75	14,48	2	2 993 838,13	11,299	43,368	
4	крышка контр.1.7040.31.12.114.00	180 933,43	0,68	19	1 210 632,69	4,569	47,937	
5	пружина 1.7170.31.36.102.00	557 297,44	2,10	22	1 108 385,80	4,183	52,120	
6	проклад1.7030.31.37.127.00/560.31.38.022	10 811,96	0,04	40	967 904,20	3,653	55,773	
7	колотка 2.7030.31.41.017.20	503 797,50	1,90	33	963 789,60	3,637	59,411	
8	скоба 2.7170.31.41.035.00	92 135,40	0,35	41	877 273,27	3,311	62,722	
9	скоба ч.560.31.41.100 СБ	24 485,70	0,09	28	831 898,96	3,140	65,861	
10	пружина 560.31.41.018/1.7030.31.41.125.0	54 713,91	0,21	37	787 424,54	2,972	68,833	
11	винт 1.7170.31.41.126.00 (560.31.41.017)	81 704,49	0,31	29	774 390,15	2,923	71,756	
12	валик 1.7030.31.41.155.00	303 504,00	1,15	26	614 652,56	2,320	74,076	
13	литые корпуса Р-662	227 387,94	0,86	15	613 068,53	2,314	76,389	
14	болт 560.31.51.018	68 059,05	0,26	48	561 708,50	2,120	78,509	В
15	балка с винтами 2МС.33.06.022.00/045.00	613 068,53	2,31	5	557 297,44	2,103	80,613	
16	вкладыш 1.7030.33.06.024.20	91 561,70	0,35	7	503 797,50	1,901	82,514	
17	панель стен.лев.АК01/1.02ДЗАСБ/ПКТБудален	77 080,00	0,29	44	479 433,35	1,809	84,323	
18	кронштейн1.7030.33.51.113.10/508.0192113	390 826,21	1,48	42	407 354,88	1,537	85,861	
19	балансир 2.7170.33.70.013.00	1 210 632,69	4,57	18	390 826,21	1,475	87,336	
20	тага 2.7080.33.71.107.00 (501.40.76.121)	346 741,10	1,31	20	346 741,10	1,309	88,645	
21	замок 1.7080.33.71.113.00	4 659 874,51	17,59	12	303 504,00	1,145	89,790	
22	цилиндр дверной ч. RECL 40-610	1 108 385,80	4,18	39	269 168,15	1,016	90,806	
23	пневмоцилиндр DNC-40-600-70PPV-SA	85 158,12	0,32	49	263 989,49	0,996	91,802	
24	резервуар Р-10-9,0-00	117 586,50	0,44	30	259 990,62	0,981	92,783	
25	трос предохранит. 714.40.22.012СБ	22 258,12	0,08	13	227 387,94	0,858	93,642	С
26	ящик аккум.2.7170.36.36.021.10СБ	614 652,56	2,32	34	205 786,57	0,777	94,418	
27	брассб.уш 28 1.7170.36.77.706.01	85 433,40	0,32	4	180 933,43	0,683	95,101	
28	кронштейн щеткодержателя 5ТД 120.097.01	831 898,96	3,14	36	153 400,00	0,579	95,680	
29	св.кция ДК-117 ТИБЛ685.474.035-01	774 390,15	2,92	24	117 586,50	0,444	96,124	
30	блокПредохранителей БП-18УЗ/БПМ-18УЗ/	259 990,62	0,98	8	92 135,40	0,348	96,472	
31	контакт подв.для АК-11Б,ТИБЛ757.479.002	19 658,80	0,07	16	91 561,70	0,346	96,817	
32	наконечник ТИБЛ 757.461.003	7 214,15	0,03	50	90 021,06	0,340	97,157	
33	элемент кулачковый 3У-5 ДЖТИ 685.112.009	963 789,60	3,64	27	85 433,40	0,322	97,479	
34	контакт блокировочный 5ТД.551.213	205 786,57	0,78	23	85 158,12	0,321	97,801	
35	палец контактный 8ТД.568.006	81 670,04	0,31	11	81 704,49	0,308	98,109	
36	болт контактный Р-53А 5ТД.568.028	153 400,00	0,58	35	81 670,04	0,308	98,417	
37	элемент сопротивления N1 6ТД.662.005.1	787 424,54	2,97	17	77 080,00	0,291	98,708	
38	плата П11 АМ(БС.383.609)	33 364,50	0,13	14	68 059,05	0,257	98,965	
39	линия свет.ЛСЛПТ75/36-ВИЛТ961.579.001гол	269 168,15	1,02	10	54 713,91	0,206	99,172	
40	башмакТокоприемникаДИКЖ743.126.004/2А-16	967 904,20	3,65	45	33 595,43	0,127	99,298	
41	подшипник 30-42822Е2М(ЕЗМ)	877 273,27	3,31	38	33 364,50	0,126	99,424	
42	подшипник 60204 (А) (6204-Z)	407 354,88	1,54	9	24 485,70	0,092	99,517	
43	подшипник 60314 (А) (6314-Z)	20 713,06	0,08	47	23 314,08	0,088	99,605	
44	подшипник 30-232722ЛМ (d вн. 109,5 мм)	479 433,35	1,81	25	22 258,12	0,084	99,689	
45	подшипник ШСП-40 (GE 40 ES)	33 595,43	0,13	43	20 713,06	0,078	99,767	
46	упорка 337.401	14 013,85	0,05	31	19 658,80	0,074	99,841	
47	кран 163сба	23 314,08	0,09	46	14 013,85	0,053	99,894	
48	кран 4332 (4360сба 4-3)	561 708,50	2,12	6	10 811,96	0,041	99,935	
49	кольцо поршневое ЭК7А.03.013-01	263 989,49	1,00	1	10 048,02	0,038	99,973	
50	фильтр ч.601.20.80.02.33	90 021,06	0,34	32	7 214,15	0,027	100,000	
ИТОГО		26 496 226,21						

Рис. 1. Расчеты и результат ABC-анализа

По результатам ABC-анализа выделили три группы товаров, для которых необходимы различные стратегии. Далее строим кривую ABC, характеризующую полученное распределение (рис. 2).

Далее проведем XYZ-анализ, чтобы распределить позиции ассортимента по группам в зависимости от степени неравномерности спроса по каждой ассортиментной позиции (рис. 3).

Объектом анализа являются данные в денежном выражении по реализации товарных

запасов по ассортиментным позициям, а признаком анализа – степень неравномерности реализации ассортиментных позиций с течением времени. График, отображающий группы XYZ-анализа, изображен на рис. 4.

Совмещение результатов анализов ABC и XYZ позволяет составить матрицу из девяти классов запасов. После того как каждой номенклатурной позиции присвоен определенный класс, для каждого класса выбирают свои правила контроля и управления запасами. Таким образом, методы ABC- и XYZ-анализа

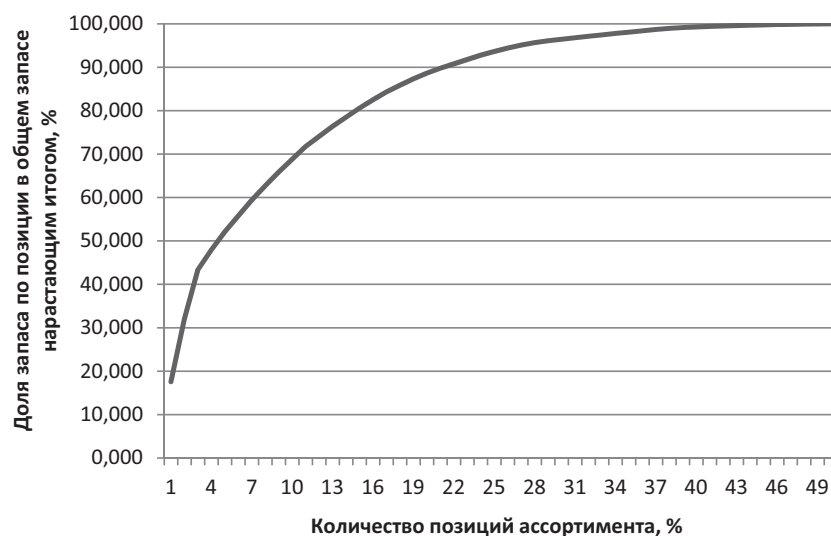


Рис. 2. Кривая ABC-анализа

представляют собой доступный и эффективный способ классификации номенклатурных позиций на приоритетные группы, который позволяет принять рациональное решение о выборе метода управления запасами на предприятии.

Разработка рекомендаций по совершенствованию технологии и организации управления запасами на предприятии

Далее необходимо выбрать оптимальную стратегию управления запасами для различных номенклатурных групп. В первую очередь стратегия разрабатывается для товаров группы АХ.

Рассмотрим пять возможных для данной группы стратегий управления запасами, все их можно разделить на 3 группы:

- периодические;
- с точкой заказа;
- комбинированные.

К периодическим относятся стратегия оперативного управления и стратегия равномерной поставки. В стратегии оперативного управления период между заказами постоянен, заказы на пополнение запаса делаются в строго определенные моменты времени. Объем заказа переменный, рассчитывается та-

ким образом, чтобы уровень запаса после поставки достиг максимально желаемого уровня. При определении объема заказа учитывается текущий уровень запаса на момент подачи заказа, ожидаемый расход запаса за время выполнения поставки, а также запасы в пути. Стратегия равномерной поставки характеризуется тем, что период между заказами и объем заказа постоянны.

К стратегиям с точкой заказа относятся стратегия с фиксированным размером заказа (так называемая R, Q-стратегия) и минимаксная стратегия. В R, Q-стратегии заказ на пополнение запаса делается по достижении определенного порогового уровня текущего запаса или точки заказа. Объем заказа является постоянной величиной. Стратегия предполагает непрерывный или периодический контроль уровня запаса. Минимаксная стратегия предполагает, что заявка на пополнение запаса размещается каждый раз по достижении определенного минимального уровня запаса, объем заказа переменный, рассчитывается таким образом, чтобы уровень запаса после поставки достиг максимально желаемого уровня. При этом осуществляется либо непрерывный, либо периодический контроль уровня запаса. При определении объема заказа будут учитываться ожидаемый расход запаса за время выполнения поставки и запасы в пути.

№ позиции	Исходные данные				Коэффициент вариации, %	Упорядоченный список		
	Наименование	Отпуск со склада за:				№ позиции	Коэффициент вариации, %	Группа
		Январь 2015	Февраль 2015	Март 2015				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	эл.щетка графитовая ЭГ-4 22х30х60	0	10	17	77,5	21	0,9	X
2	букса 2.7170.31.12.010.03 левая	25	27	23	6,5	37	2,7	
3	букса 2.7170.31.12.010.04 правая	35	37	52	18,4	30	5,1	
4	крышка контр.1.7040.31.12.114.00	24	11	34	40,9	40	5,4	
5	пружина 1.7170.31.36.102.00	20	48	52	35,6	2	6,5	
6	проклад1.7030.31.37.127.00/560.31.38.022	395	296	738	39,8	11	8,0	
7	колодка 2.7030.31.41.017.20	66	45	111	37,2	27	10,2	Y
8	скоба 2.7170.31.41.035.00	0	65	29	84,9	35	11,7	
9	скоба ч.560.31.41.100 СБ	0	21	10	83,0	15	12,7	
10	пружина 560.31.41.018/1.7030.31.41.125.0	38	44	78	33,0	41	13,4	
11	винт 1.7170.31.41.126.00 (560.31.41.017)	22	23	19	8,0	29	18,2	
12	валик 1.7030.31.41.155.00	18	24	57	52,0	3	18,4	
13	литые корпуса Р-662	8	8	1	58,2	39	20,2	
14	болт 560.31.51.018	104	0	74	73,7	50	21,4	
15	балка с винтами 2МС.33.06.022.00/045.00	33	45	42	12,7	45	23,0	
16	вкладыш 1.7030.33.06.024.20	10	20	7	45,1	28	23,5	
17	панель стен.лев.АК01/1.02ДЗАСБ/ПКТБудален	32	12	14	46,5	20	23,6	
18	кронштейн1.7030.33.51.113.10/508.0192113	12	0	23	80,5	33	23,9	
19	балансир 2.7170.33.70.013.00	6	13	4	50,3	42	24,2	
20	тяги 2.7080.33.71.107.00 (501.40.76.121)	4	7	7	23,6	49	24,7	
21	замок 1.7080.33.71.113.00	160	163	163	0,9	36	28,2	Z
22	цилиндр дверной ч. RECL 40-610	2	45	2	124,1	10	33,0	
23	пневмоцилиндр DNC-40-600-70PPV-SA	8	0	0	141,4	34	33,7	
24	резервуар Р-10-9,0-00	10	0	17	77,5	5	35,6	
25	трос предохранит. 714.40.22.012СБ	27	32	0	71,5	7	37,2	
26	ящик аккумуля.2.7170.36.36.021.10СБ	2	3	8	60,6	6	39,8	
27	брассбуш 28.1.7170.36.77.706.01	60	60	74	10,2	44	40,3	
28	кронштейн щеткодержателя 5ТД.120.097.01	103	105	166	23,5	4	40,9	
29	секция ДК-117 ТИБЛ.685.474.035-01	97	122	152	18,2	46	43,6	
30	блокПредохранителей БП-18УЗ/БПМ-18УЗ/	16	15	17	5,1	47	44,3	
31	контакт подв. для АК-11Б, ТИБЛ.757.479.002	10	4	16	49,0	16	45,1	
32	наконечник ТИБЛ 757.461.003	0	30	0	141,4	17	46,5	
33	элемент кулачковый ЭУ-5 ДЖТИ 685.112.009	856	781	468	23,9	31	49,0	
34	контакт блокировочный 5ТД.551.213	7	17	16	33,7	19	50,3	
35	палец контактный 8ТД.568.006	182	192	237	11,7	12	52,0	
36	болт контактный Р-53А 5ТД.568.028	174	84	156	28,2	13	58,2	
37	элемент сопротивления N1 6ТД.662.005.1	65	61	62	2,7	26	60,6	
38	плата П11АМ(БЭС.383.609)	1	4	1	70,7	38	70,7	
39	линия свет.ЛСЛПТ75/36-ВИЛТ961.579.001гол	2	3	2	20,2	25	71,5	
40	башмакТокоприемникаДИКК743.126.004/2А-16	93	82	85	5,4	14	73,7	
41	подшипник 30-42822Е2М(Е3М)	159	118	160	13,4	1	77,5	
42	подшипник 60204(А) (6204-Z)	391	723	566	24,2	24	77,5	
43	подшипник 60314(А) (6314-Z)	0	14	7	81,6	18	80,5	
44	подшипник 30-23272Л1М (d вн. 109,5мм)	47	30	81	40,3	43	81,6	
45	подшипник ШСП-40 (GE 40 ES)	853	581	1043	23,0	9	83,0	
46	упорка 337.401	64	52	18	43,6	8	84,9	
47	кран 163сба	51	28	17	44,3	48	105,4	
48	кран 4332 (4360сба 4-3)	74	1	15	105,4	22	124,1	
49	кольцо поршневое ЭК7А.03.013-01	17	15	26	24,7	23	141,4	
50	фильтр ч.601.20.80.02.33	28	45	31	21,4	32	141,4	

Рис. 3. Расчеты и результат XYZ-анализа

Для комбинированной стратегии характерен переменный размер заказа. Заказ выполняется в строго определенный момент времени при условии пересечения реализацией расхода минимального уровня точки заказа. Величина заказа рассчитывается таким образом, чтобы после поставки уровень запаса был как можно ближе к значению максимально желательного запаса.

На первом этапе необходимо смоделировать следующие параметры:

- расход запасов;

- интервалы времени между заказами;
- сроки исполнения заказа.

На основании полученных параметров моделируют действия пяти различных стратегий управления запасами для одного из товаров группы АХ (см. таблицу). Для выбора в пользу той или иной стратегии необходимо смоделировать работу каждой из них и произвести их сравнительную оценку, используя следующие показатели:

- суммарный дефицит;
- средний уровень запаса;

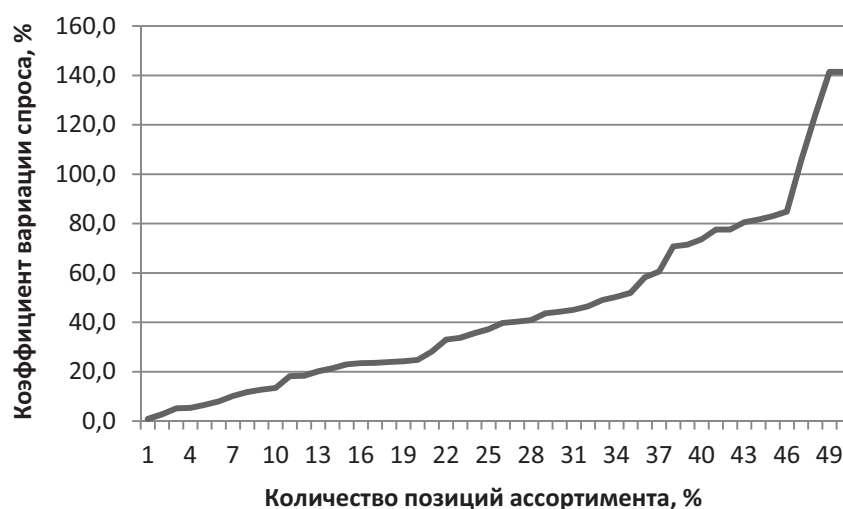


Рис. 4. Кривая XYZ-анализа

Сравнение стратегий управления запасами

Система управления запасами	Количество поставок	Величина среднего запаса в системе	Суммарный дефицит в системе, ед.	Затраты на содержание системы УЗ, руб.
Оперативного управления	3	73	0	7900
Равномерной поставки	3	50,67	0	5667
R, Q	3	48,67	0	5467
Минимаксная	3	49,5	0	5550
Комбинированная	4	53,06	0	6106

• затраты, связанные с осуществлением данной стратегии.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что наиболее предпочтительна стратегия R, Q, так как в ней затраты на содержание системы управления запасами минимальны. Дефицита нет ни в одной стратегии, поэтому в данном случае при выборе он не учитывается.

Заключение

Целью разработки системы управления запасами является повышение качества мате-

риально-технического обеспечения производственных подразделений ГУП «Петербургский метрополитен» необходимыми ресурсами. Для совершенствования технологии управления запасами представляется целесообразным разделить закупаемую номенклатуру на укрупненные группы, для которых в дальнейшем выбрать оптимальные комплексные стратегии управления складскими запасами. Разработка эффективной системы и комплексной методики управления запасами на предприятии позволит:

• комплексно оптимизировать производственные процессы;

- избежать затоваривания в складском комплексе;
- в целом снизить уровень запасов;
- ускорить оборачиваемость запасов;
- снизить себестоимость продукции (в данном случае – транспортной услуги);
- исключить дефицит важных в производственном процессе ресурсов.

Библиографический список

1. Запросы предложений ГУП «Петербургский метрополитен». – URL : <http://www.metro.spb.ru/mtz/gate/price>.
2. Никифорова М. С. Развитие системы складов временного хранения в РФ / М. С. Никифорова. – М. : ГАСИС, 2008. – 50 с.

УДК 656.25

И. А. Добряков, П. Е. Булавский, Д. С. Марков

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АНАЛИЗ ДОКУМЕНТООБОРОТА ДИСТАНЦИИ СЦБ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ

Описана методика обследования документооборота дистанции сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) для сбора данных; приведены способы формализации полученных данных в виде формализованного описания на основе международного стандарта IDEF0. Предложены методы расширения стандарта IDEF0 для описания процессов документооборота дистанции. Представлен процесс перехода от формализованного описания в виде IDEF0 к описанию в виде параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА), предложена концепция автоматизированного перехода от описания в виде IDEF0 к ПЛСА и далее к имитационной модели процесса.

Электронный документооборот технической документации, формализованное описание, обследование, параллельные логические схемы алгоритмов, имитационное моделирование.

Для повышения эффективности, организации рационального проектирования, строительства и эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) необходимо комплексное внедрение электронного документооборота технической документации (ЭДТД) [3]. К системам электронного документооборота должны предъявляться новые требования для организации оперативного доступа к документации проектными организациями (ПрО), строительными (СтО), эксплуатационными и ремонтными.

Синтез систем ЭДТД СЖАТ представляет собой сложную системо-техническую за-

дачу из-за особенностей документооборота технической документации (ДТД): косвенной зависимости безопасности движения поездов от качества и своевременности подготовки технической документации, территориальной распределенности средств и участников ДТД, большого количества участвующих в них организаций, решающих разнородные задачи, а также взаимозависимости сопровождающих документов. Кроме того, для ДТД отдельных дистанций СЦБ характерны различия и отклонения от правил производства работ. Все это усложняет процессы документооборота и требует создания стандартизированной модели,

основанной на нормативной документации и отраслевых стандартах.

Как и любая сложная бизнес-система, ЭДТД предполагает параллельную разработку имитационной модели [6] для операционных исследований с целью сравнения вариантов наиболее рациональных системо-технических решений по ее разработке и модернизации.

Синтез имитационной модели (ИМ) предполагает наличие формализованного описания (ФО) [4], отображающего исследуемые процессы, необходимые параметры и условия выполнения ЭДТД, внутренние и внешние воздействия. Формализация процессов ЭДТД сводится к описанию ТД, ее состояний, процессов создания, обработки и применения с указанием участников ЭДТД, реализующих данные процессы.

Основой ФО является формализованное представление алгоритмов выполнения процессов участниками ЭДТД, описание взаимодействия участников ДТД на различных уровнях, определение их функциональных и информационных связей. Формирование ФО с обеспечением полноты и достоверности

описания предполагает разработку методики обследования ДТД.

Методика обследования

На первых этапах операционного исследования ЭДТД в дистанции проводятся обследование и построение исходной формализованной схемы системы. Для обеспечения адекватности ФО и ИМ, а также для сокращения временных затрат на обследование необходимо разработать методику обследования документооборота технической документации в дистанциях, так как архивирование и использование документации происходит именно в дистанциях СЦБ.

На первой стадии необходимо определить глубину, объем исследования, источники и способы получения необходимой информации, а также утвердить основные формы, заполняемые в процессе обследования. Процесс получения информации представляется в виде схемы (рис. 1).

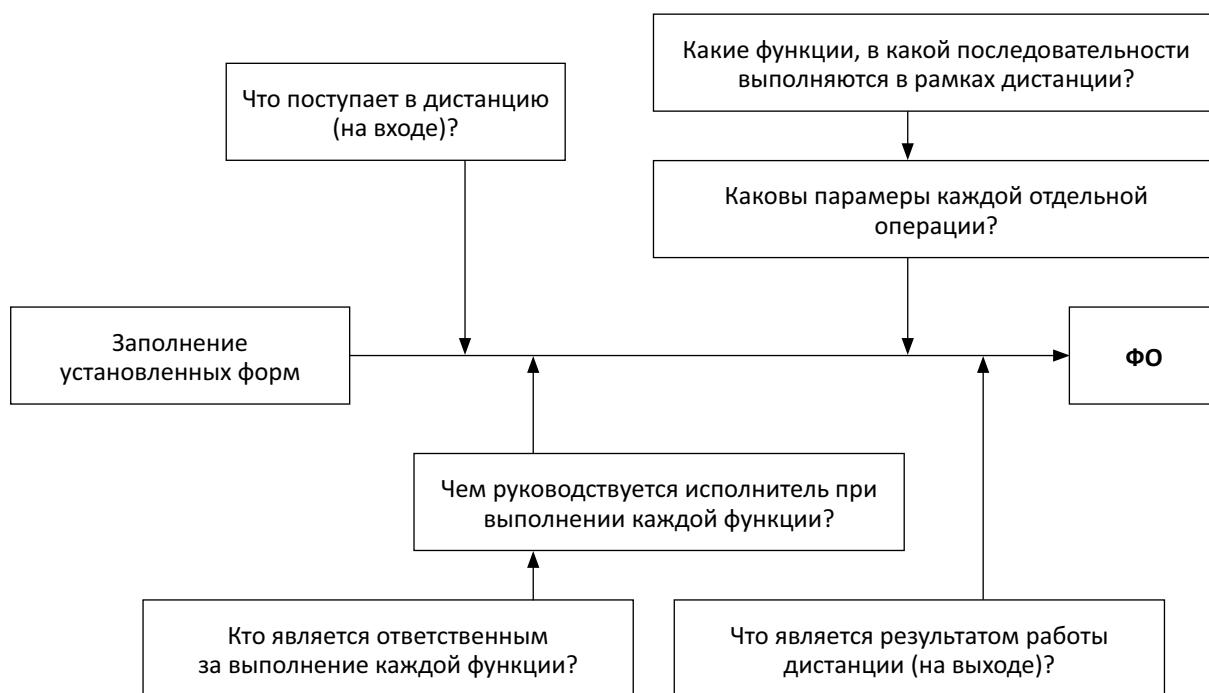


Рис. 1. Обследование дистанции

Обследование предполагается выполнять поэтапно:

- подготовка (создание исходной ФО);
- экспертный анализ системы (сбор информации);
- анализ информации;
- корректировка первоначальной ФО.

К каждому этапу предъявляются свои требования, используются конкретные инструменты и методики. Алгоритм обследования представлен на рис. 2.

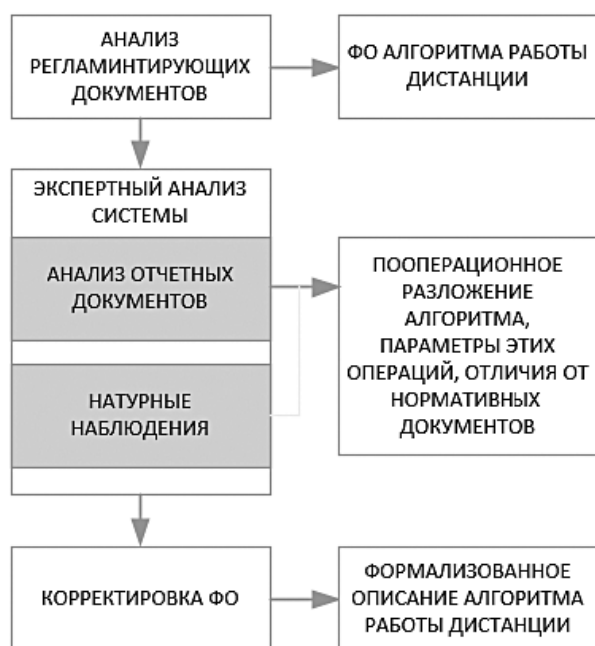


Рис. 2. Алгоритм обследования дистанции

Подготовка включает в себя выявление организационной и функциональной структуры изучаемого процесса, взаимосвязей процессов, а также участников на основе регламентирующих документов, находящихся в дистанции. На этом этапе обследования формируется ФО алгоритма работы дистанции с ТД.

Экспертный анализ заключается в пооперационной записи алгоритма, параметров операций, в анализе процесса с последующим составлением таблицы результатов обследования (см. таблицу). Методика подразумевает опрос нескольких специалистов (сотрудников дистанции) для более точного и независимого

результата. Целью опроса является выявление особенностей алгоритма, его отличий от нормативной документации, а также выяснение характеристик процессов документооборота в дистанции.

Существенная информация для разработки ФО и ИМ: участники, задействованные на определенных этапах алгоритма функционирования; продолжительность отдельных операций алгоритмов и влияющие на нее факторы; документация, составляемая при выполнении отдельных операций алгоритма.

Анализ полученной информации проводится с целью исследования данных «как есть» и «как должно быть» согласно нормативным документам. Анализ стоит проводить как самому исследователю, так и представителям дистанции.

Завершающим этапом является корректировка исходного ФО по данным натурных наблюдений.

Результаты обследования

В соответствии с разработанной методикой обследована Тихвинская дистанция СЦБ, ШЧ-8, собрана и проанализирована информация по технологическим процессам и документообороту в дистанции при новом строительстве СЖАТ. Результаты обследования сведены в таблицу.

Для описания иерархии процессов, согласно [2], введем следующие обозначения:

$$\begin{cases} A_i \in A, i = \overline{1, N}; \\ a_{ij} \in A_i, j = \overline{1, M}, \end{cases} \quad (1)$$

где A_i – набор процессов i -го уровня иерархии. Набор i образует множество N всех уровней иерархии, рассматриваемых в данном исследовании.

Набор j образует множество M всех процессов на данном уровне иерархии. Обозначения процессов указаны в последнем столбце таблицы.

Результаты обследования дистанции

Работа	Участники	Продолжительность работы	Документ на выходе работы	Факторы, влияющие на продолжительность	Обозначение процесса в иерархии
Формирование и выдача ТУ	ШЧ, Ш	3–5 сут.	ТУ ШЧ, ТУ Ш	Срок, указанный в телеграмме на выдачу ТУ	A01
Строительство	Строительная организация, подрядная организация, ШЧ, ПЧ, ДС	6 мес.	Уведомление от строителей об окончании СМР, исполнительная документация, рабочий экземпляр проекта	Объем строительно-монтажных работ (СМР)	A03
Пуско-наладочные работы	Бригада ПНР	2 недели	Телеграмма в «адрес 13»	Сложность оборудования, объем СМР	A04
Комплексное опробование	Бригада ПНР, рабочая комиссия (СТР, ШЧ, ПЧ, ЭЧ, РЦС, ДС)	2, 4, 6, 8, 12 и более часов	Заполненные проверочные таблицы, телеграмма в «адрес 14»	В зависимости от объема проводимых проверок и сложности оборудования	A05
Внесение в БД АСУ-Ш	Тех. отдел ШЧ	1–3 дня	Заполненная БД	Объем вносимых данных, сложность заполняемых форм	A06
Архивирование и ведение ТД в дистанции	Группа тех. док. ШЧ	1–2 недели	Контрольный экземпляр, экземпляр участка, экземпляр службы	Объем технической документации, кол-во изменений в проекте	A07

Формализация полученных данных в виде IDEF0-диаграмм

Переходить от результатов обследования (см. таблицу) к ИМ предлагается на основе международных IDEF-стандартов [7]. IDEF-методология позволяет получать и анализировать модели деятельности сложных информационных систем, в том числе ЭДТД. При

этом детализация обследования определяется самим разработчиком, что позволяет не перегружать создаваемую модель лишними данными.

Для описания процессов ЭДТД применим стандарт IDEF0, являющийся методологией функционального моделирования. С помощью наглядного графического языка изучаемая система формализуется в виде набора взаи-

мосьязанных функций (функциональных или программных блоков – в терминах IDEF0). Описание средствами IDEF0 – переходный этап изучения любой системы при анализе ее деятельности и создания ИМ.

Структура блока в стандарте IDEF0 включает в себя следующие элементы: блок с названием выполняемой функции; вход для данных (информация, ресурсы и т. п.); выход с результатом функционирования блока; управление; механизм (исполнитель) (рис. 3 а).

Однако с точки зрения представления ЭДТД в стандарте IDEF0 типового блока недостаточно, так как необходимо учитывать воздействие на выполняемую блоком функцию нормативной документации (НД), а также контроля и мониторинга (КМ) по результатам выполнения. В соответствии с [1] предлагается использовать расширенный блок IDEF0 (рис. 3 б), который учитывает эти особенности ЭДТД СЖАТ.

Предложенная структура расширенного функционального блока позволяет строить IDEF0 – диаграммы для ЭДТД, отражающие все особенности и свойства его процессов. Функциональный блок представляет собой процесс, где документы либо создаются, либо претерпевают изменения. Переходы между блоками – сами документы, качество и ско-

рость формирования которых необходимо отслеживать.

Реализация IDEF0-диаграммы, описывающей электронный документооборот ТД при внедрении новой СЖАТ, представлен на рис. 4. На диаграмме для понимания картины в целом отображены все процессы ЭДТД при внедрении новой СЖАТ; блоки, участником которых является дистанция СЦБ, выделены жирной линией.

Детализация представления результатов обследования определяется требованиями конкретного исследования, при этом каждый функциональный блок IDEF0-диаграммы можно представить как отдельную, более подробную IDEF0-диаграмму. На рис. 5 приведена детализация блока «пуско-наладочные работы».

Представим детализацию процессов 1 (A_{0j}) уровня иерархии с помощью графа (рис. 6), который отображает последовательность выполнения работ и переходы по результатам оценки качества работ (линии k_j). Граф строится для удобства перехода от IDEF0-модели к ПЛСА.

На рис. 6 процесс «A02» включает в себя предпроектные обследования, проектирование системы, согласование и утверждение готовой проектно-сметной документации, однако из-за отсутствия в данных процессах дистанции

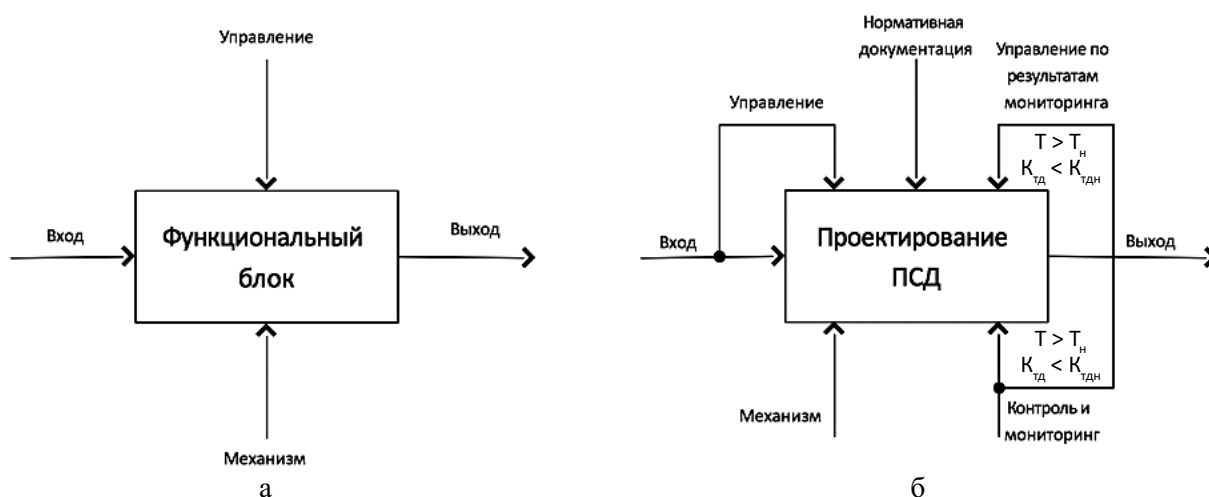


Рис. 3. Типовой (а) и расширенный (б) блоки IDEF0:

T – фактическое время обработки ТД; T_n – нормативное время обработки ТД;

$K_{тд}$ – фактическое качество ТД; $K_{тдн}$ – нормативное качество ТД

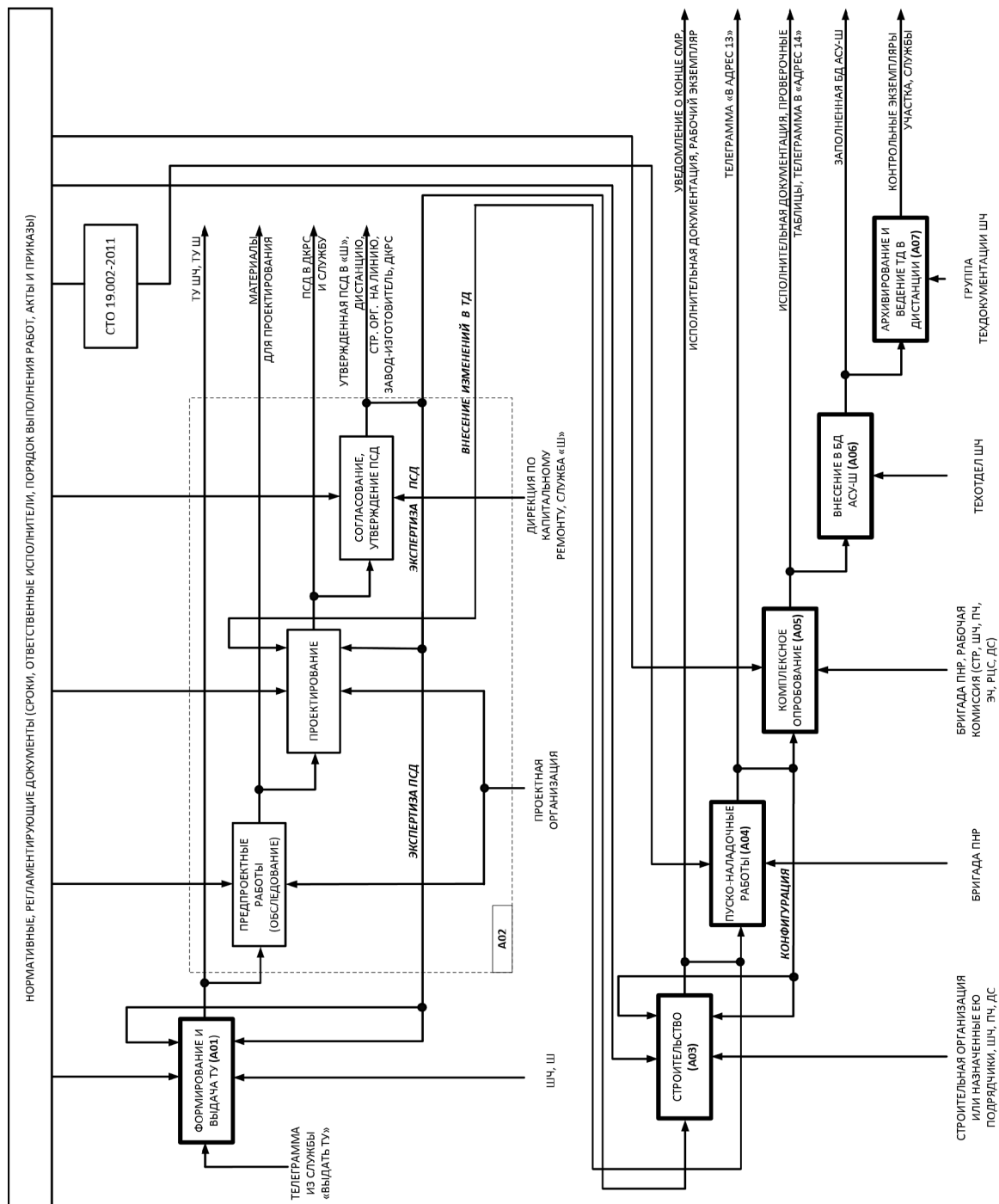


Рис. 4. Реализация IDEFO-диаграммы ДТД в дистанции СЦБ

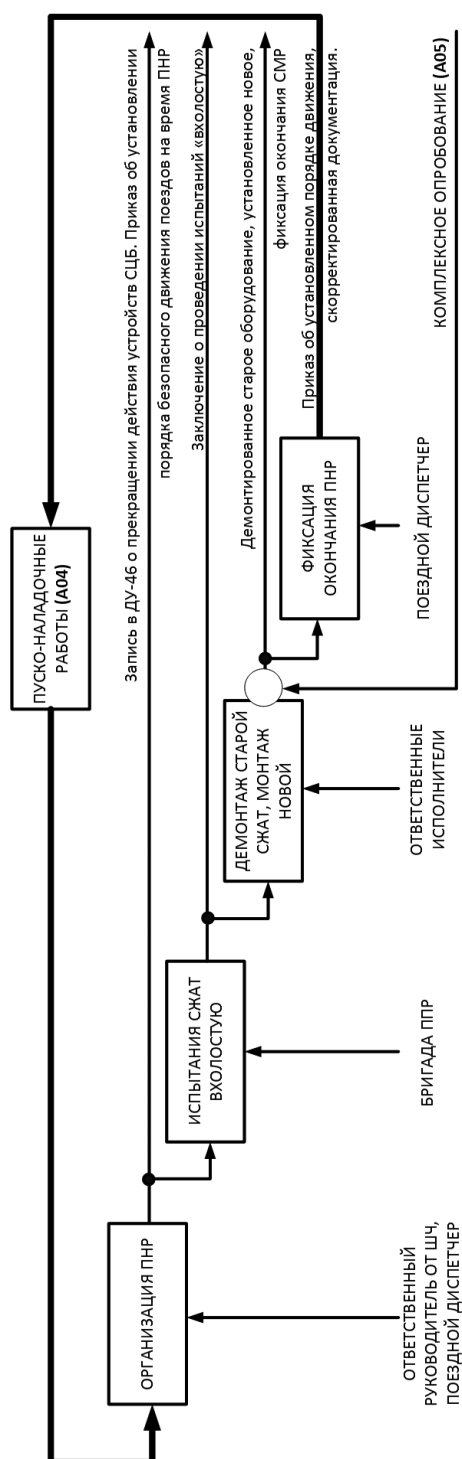


Рис. 5. Детализация блока «пуско-наладочные работы»

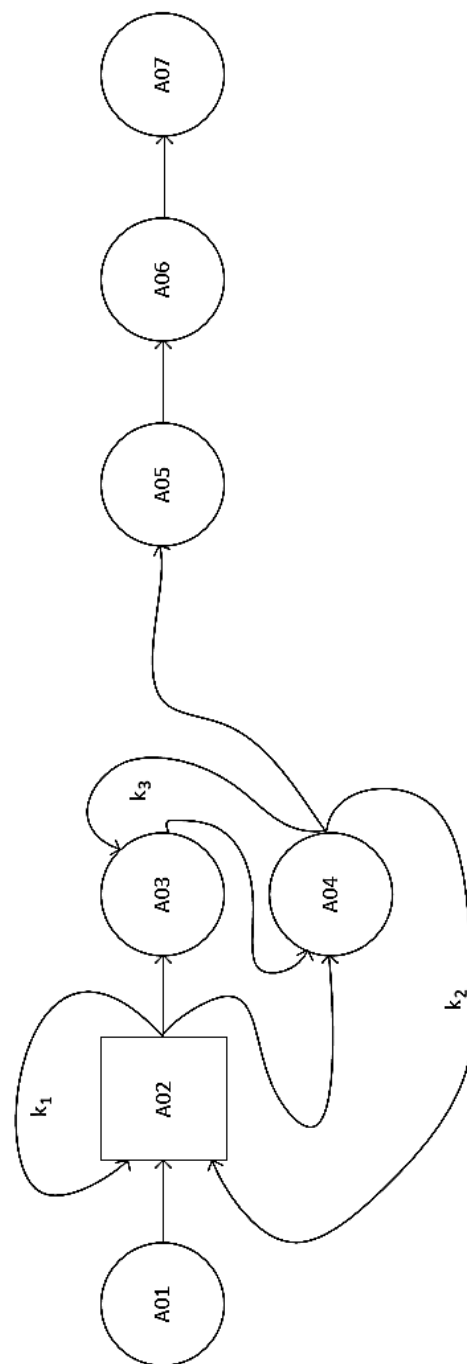


Рис. 6. Граф алгоритмов ЭДТД

как исполнителя на данном уровне они рассматриваются как один и не исследуются.

Согласно алфавиту параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА) [5] и дополнительным обозначениям, для учета качества ТД составляется ПЛСА процессов ДТД в диспетчере.

Зададим некоторые логические условные переходы, согласно которым определяется, соответствует ли качество ТД нормам или его необходимо повышать.

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_2 = \begin{cases} 1 - \text{проектирование,} \\ \text{внутренняя проверка завершены} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases} \\ \alpha_3 = \begin{cases} 1 - \text{замечаний при ПНР для ПрО} \\ \text{нет} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases} \\ \alpha_4 = \begin{cases} 1 - \text{замечаний при ПНР для СтО} \\ \text{нет} \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases} \end{array} \right.$$

$$A_{\text{дтд}} = V_1 \downarrow_2 V_2 K_{02} \Pi_{02} \alpha_2 \uparrow^2 \downarrow_3 V_3 \tau_{03} V_4 \Pi_{04} \tau_{04} K_{04} \alpha_4 \uparrow^2 \alpha_3 \uparrow^3 V_5 V_6 V_7, \quad (2)$$

где $V_1 - V_7$ соответствуют операциям из таблицы (А01–А07); K_{02}, K_{04} – операции, обеспечивающие качество документации; Π_{02}, Π_{04} – операции, повышающие качество документации; $\alpha_{02}, \alpha_{03}, \alpha_{04}$ – логические условные переходы.

Полученная ПЛСА является основой для имитационной модели, которая позволит проанализировать эффективность ДТД диспетчере, выявить слабые места и предложить наиболее рациональные решения по оптимизации процессов ДТД.

Заключение

Дальнейшей задачей исследования ДТД является синтез ИМ на основе полученных

ПЛСА, однако возникает задача автоматизации перехода от функциональных схем процессов к ИМ, минуя создание ПЛСА вручную. Для автоматизированного синтеза ИМ ЭДТД на основе полученных IDEF0-диаграмм необходимо решить следующие задачи:

- определить множество операций, логических условий, алгоритмов выполнения процессов ЭДТД;
- разработать формальные процедуры перехода от IDEF0-диаграмм к ПЛСА, т. е. к дискретному представлению процессов системы ЭДТД как сложных систем массового обслуживания;
- определить вероятностно-временные свойства операций и логических условий, выполняемых участниками ЭДТД в соответствии с ПЛСА;
- разработать программные средства автоматизированного выполнения первых трех пунктов данного списка.

Библиографический список

1. Булавский П. Е. Автоматизация синтеза электронного документооборота систем железнодорожной автоматики на основе международных стандартов / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Изв. ПГУПС. – 2013 – Вып. 4. – С. 17–24.
2. Булавский П. Е. Иерархическая многоматричная формализация имитационной модели электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Актуальные вопросы развития систем ж. д. автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов ПГУПС. – СПб., 2013. – С. 52–59.
3. Булавский П. Е. Концептуальная модель электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский // Транспорт РФ. – 2011. – № 1. – С. 60–63.
4. Булавский П. Е. Синтез формализованной схемы электронного документооборота систем железнодорожной автоматики и телемеханики / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 2. – С. 108–115.

5. Лазарев В. Г. Синтез управляющих автоматов / В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. – М. : Энергия, 1984. – 408 с.

6. Марков Д. С. Матричный метод формализации имитационных моделей сложных систем массового обслуживания / Д. С. Марков, П. Е. Бу-

лавский // Изв. ПГУПС. – 2010. – Вып. 4. – С. 186–195.

7. Р 50.1.028–2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – М. : Госстандарт России.

УДК 656.2

И. М. Кокурин

Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН

А. Б. Васильев

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПОЕЗДНОГО ДИСПЕТЧЕРА ПО ВЫБОРУ СТАНЦИЙ СКРЕЩЕНИЯ

Организация движения поездов при отклонениях от нормативного графика и от диспетчерского расписания – одна из основных задач поездных диспетчеров, решение которой существенно осложняется на однопутных участках. При этом результаты эксплуатационной работы железнодорожных участков зависят от правильности принятия и реализации диспетчерских решений. В статье предлагается метод формализованного алгоритмического описания процессов принятия решений поездным диспетчером по определению станций скрещения с целью развития информационной поддержки и автоматизации функций управления движением поездов.

Поездной диспетчер, управление движением поездов, выбор станций скрещения, алгоритмическое описание решений, информационная поддержка, автоматизация диспетчерского управления.

Современные системы железнодорожной автоматики и телемеханики совместно с информационными технологиями открывают широкие возможности повышения показателей процессов перевозок. Однако разработки в этой области не всегда дают ожидаемый эффект из-за недостаточного исследования условий и процессов принятия диспетчерами решений по организации движения поездов, поскольку необходимо изучить влияние множества факторов, особенно сложно взаимодействующих на однопутных линиях.

В работах [3–5] заложены основы алгоритмического описания содержания труда железнодорожного оперативно-диспетчерского персонала, на этой основе разработаны методы определения границ зон управления и оценки технико-технологической и экономической эффективности информационного обеспечения и автоматизации функций управления процессами перевозок.

Для алгоритмического описания процессов принятия решений поездным диспетчером необходимо разработать математиче-

прибудет поезд $j-1$, а вторым со скоростью V_j эту станцию без остановки проследует поезд j . Возможность сокращения длительности стоянки поезда $j-1$ при выборе станции скрещения доказывает предложение 1.

Предложение 1

Если станции $i-1$, i и $i+1$ расположены последовательно на расстоянии сближения встречных поездов, то длительность стоянки поезда $j-1$ при скрещении на станции $i-1$ $\tau_{ctj-li-1}$ и поезда $j-1$ при скрещении на станции i τ_{ctj-li} составят соотношение

$$\tau_{ctj-li-1} > \tau_{ctj-li}.$$

Длительность стоянки поезда $j-1$ на станции скрещения $i-1$ составит

$$\tau_{ctj-li-1} = t_{nji-1} - t_{nj-li-1} + \tau_{ckjj-li-1},$$

где t_{nji-1} и $t_{nj-li-1}$ – ожидаемые моменты времени прибытия поездов j и $j-1$, соответственно, на станцию скрещения $i-1$; $\tau_{ckjj-li-1}$ – интервал скрещения поездов j и $j-1$ на станции $i-1$ с остановкой поезда $j-1$.

Длительность стоянки поезда $j-1$ на станции скрещения i составит

$$\tau_{ctj-li} = t_{nji-1} - \tau_{xjii-1} - t_{nj-li-1} - \tau_{xj-li-li} + \tau_{ckjj-li},$$

где t_{nji-1} и $t_{nj-li-1}$ – ожидаемые моменты времени прибытия поездов j и $j-1$, соответственно, на станцию скрещения $i-1$; τ_{xjii-1} и $\tau_{xj-li-li}$ – перегонное время хода поездов j и $j-1$, соответственно, между станциями i и $i-1$; $\tau_{ckjj-li}$ – интервал скрещения поездов j и $j-1$ на станции i с остановкой поезда $j-1$.

Разность длительности стоянок поездов j и $j-1$ на станциях $i-1$ и i будет равна

$$\begin{aligned} \tau_{ctj-li-1} - \tau_{ctj-li} &= t_{nji-1} - t_{nj-li-1} + \\ &+ \tau_{ckjj-li-1} - t_{nji-1} + t_{nj-li-1} + \\ &+ \tau_{xjii-1} + \tau_{xj-li-li} - \tau_{ckjj-li} = \\ &= \tau_{xj-li-li} + \tau_{xjii-1} + \Delta\tau_{ck} > 0, \end{aligned}$$

где $\Delta\tau_{ck}$ – разность интервалов скрещения поездов $j-1$ и j на станциях $i-1$ и i .

Поскольку $\tau_{ctj-li-1} - \tau_{ctj-li} > 0$, то $\tau_{ctj-li-1} > \tau_{ctj-li}$. Предложение 1 доказано.

Таким образом, если время прибытия поезда $j-1$ на станцию $i-1$ (рис. 1) больше предельного времени его прибытия на эту станцию

$$t_{nj-li-1} > t''_{nj-li-1} = t_{nji} - \tau_{нпнjj-li} - \tau_{xj-li-li},$$

то для исключения задержки поезда j скрещение с остановкой поезда $j-1$ следует перенести со станции i на станцию $i-1$.

Если время прибытия поезда $j-1$ на станцию i меньше предельного времени его прибытия t''_{nj-li}

$$t_{nj-li} < t''_{nj-li} = t_{nji+1} - \tau_{нпнjj-li+1} - \tau_{xj-li+1},$$

то для сокращения стоянки поезда $j-1$ его скрещение с поездом j следует перенести со станции i на станцию $i+1$.

Интервал (тип II) неодновременного прибытия поезда с остановкой и проследования без остановки встречного поезда [1, 2] $\tau_{нпоjj-li}$ (рис. 1), равный разности моментов времени прибытия на станцию скрещения i приоритетного t_{nji} и останавливаемого t_{nj-li} поездов $\tau_{нпоjj-li} = t_{nji} - t_{nj-li}$, должен быть достаточным для своевременного открытия входного и выходного светофоров для безостановочного проследования приоритетного поезда j , исключая его задержку. Современные системы диспетчерской централизации (ДЦ) передают поезвному диспетчеру моменты времени выполнения всех технологических операций скрещения, суммарная продолжительность промежутков времени между которыми составляет интервал неодновременного прибытия поезда с остановкой и проследования без остановки встречного поезда (см. таблицу).

Для исключения задержки приоритетного поезда j интервал попутного прибытия на станцию скрещения i должен быть не менее суммы длительностей выполнения следующих технологических операций:

Технологические операции, составляющие при ДЦ интервалы
неодновременного прибытия поезда с остановкой $j-1$ и проследования
без остановки встречного поезда j и интервал скрещения этих поездов

Технологическая операция	Обозначение операций
Время освобождения останавливаемым поездом $j-1$ последней изолированной секции маршрута приема на станцию скрещения i	$t_{\text{омп}j-1i}$
Время размыкания последней изолированной секции маршрута приема останавливаемого поезда $j-1$ на станцию скрещения i	$t_{\text{рмп}j-1i}$
Время открытия поездным диспетчером входного светофора для безостановочного пропуска приоритетного поезда j по станции скрещения i	$t_{\text{овх}ji}$
Время вступления приоритетного поезда j на первый участок приближения к станции скрещения i	$t_{1\text{уп}ji}$
Время освобождения приоритетным поездом j последней секции маршрута приема на станцию скрещения i	$t_{\text{омп}ji}$
Время занятия приоритетным поездом j первой секции маршрута отправления со станции скрещения i	$t_{1\text{см}oji}$
Время размыкания последней секции маршрута приема приоритетного поезда j на станцию скрещения i	$t_{\text{рмп}ji}$
Время открытия выходного светофора поездным диспетчером для отправления останавливаемого поезда $j-1$ со станции скрещения i	$t_{\text{овых}j-1i}$
Время занятия поездом $j-1$ первой секции маршрута отправления	$t_{1\text{см}oj-1i}$

$$\tau_{\text{нпо}jj-1i} = t_{\text{п}ji} - t_{\text{п}j-1i} = t_{\text{омп}ji} - t_{\text{омп}j-1i};$$

$$\tau_{\text{нпн}jj-1i} \geq \frac{\tau_{\text{рмп}j-1i} + \tau_{\text{овх}ji}}{60} + 0,06 \frac{(L_{1\text{уп}ji} + L_{\text{мп}ji} + 2 \cdot 0,5 L_{\text{п}j})}{V_{ji}},$$

где $\tau_{\text{рмп}j-1i} = t_{\text{рмп}j-1i} - t_{\text{омп}j-1i}$ – длительность размыкания последней секции маршрута приема на станцию скрещения i останавливаемого поезда $j-1$, продолжительность которой равна разности моментов времени размыкания последней изолированной секции маршрута приема и ее освобождения поездом $j-1$, с; $\tau_{\text{овх}ji}$ – затраты времени на передачу информации поездному диспетчеру, на принятие решения, передачу и выполнение команды на открытие входного светофора для безостановочного

пропуска приоритетного поезда j по станции скрещения i , с;

$$t_{\text{омп}ji} - t_{1\text{уп}ji} = 0,06 \frac{(L_{1\text{уп}ji} + L_{\text{мп}ji} + 2 \cdot 0,5 L_{\text{п}j})}{V_{ji}}$$

– интервал времени от вступления приоритетного поезда j на первый участок приближения к станции скрещения i до освобождения им последней изолированной секции маршрута приема (рис. 2).

В этом выражении

$L_{1\text{уп}ji}$ (м) – длина первого участка приближения к станции скрещения i не позже времени вступления приоритетного поезда j , на который входной светофор должен быть открыт;

$L_{\text{мп}ji}$ (м) – длина маршрута приема поезда j на станцию i , равная расстоянию от входного

светофора до изолирующего стыка пути приема;

$0,5L_{пj}$ (м) – половина длины приоритетного поезда j ;

V_{ji} (м) – скорость приоритетного поезда j на указанном расстоянии. Коэффициент $0,06 = 60/1000$ обеспечивает перевод метров в километры, а часов – в минуты.

Интервал скрещения поездов $j-1$ и j на станции i (рис. 2) составит:

$$\tau_{скjj-1i} = t_{лсмoj-1i} - t_{лсмoji};$$

$$\tau_{скjj-1i} = \frac{\tau_{рмji} + \tau_{овыхj-1i} + \tau_{взмj-1i}}{60},$$

где $\tau_{рмji} = t_{рмпji} - t_{омпji}$ – длительность размыкания последней секции маршрута приема приоритетного поезда j на станцию скрещения i , продолжительность которой равна разности моментов времени размыкания последней изолированной секции маршрута и ее освобождения поездом j , с; $\tau_{овыхj-1i}$ – затраты времени на передачу информации поездному диспетчеру, принятие решения, передачу и выполнение команды на открытие выходного светофора для отправления останавливаемого поезда $j-1$ со станции скрещения i , с; $\tau_{взмj-1i}$ – затраты времени на восприятие машинистом открытия выходного светофора и занятие поездом $j-1$ первой изолированной секции маршрута отправления, с.

Алгоритмическое описание решений по выбору станции скрещения

В результате исследования процесс принятия и выполнения решения поездным диспетчером или автоматическим устройством по выбору станции скрещения при условии безостановочного проследования приоритетного поезда j можно представить в виде следующего алгоритмического описания:

$$F_{02} = S_{01} C_{01} C_{02} C_{03} A_{01} P_{01} B_{01} D_{01} C_{04} B_{02} (B_{01}) C_{05} C_{06} C_{07} A_{02} P_{02} B_{03} W_{01} S_{02} S_{03} W_{02} S_{04} S_{05} S_{06} S_{07} S_{08} W_{03} S_{09} S_{10} C_{08} B_{02} (B_{03}) C_{09} C_{10} C_{11} A_{03} P_{03} B_{04} W_{04} S_{11} S_{12} W_{05} S_{13} S_{14} S_{15} S_{16} S_{17} W_{06} S_{18} S_{19} C_{12} B_{02} (B_{04}) C_{13} C_{14} C_{15} A_{04} P_{04} B_{05} W_{07} S_{20} S_{21} W_{08} S_{22} S_{23} S_{24} S_{25} S_{26} W_{09} S_{27} S_{28} C_{16} B_{02} (B_{05}).$$

В алгоритме использованы следующие операторы и логические условия:

S_{01} – получение информации о встречающихся поездах j и $j-1$, поступающих на станции $i+1$ и $i-1$;

C_{01} – прогноз перегонного времени хода поездов j и $j-1$ от станций $i+1$ и $i-2$ до станции $i-1$;

C_{02} – прогноз времени прибытия поездов j и $j-1$ на станцию $i-1$ с учетом времени на замедление при остановке на станции скрещения $i-1$;

C_{03} – расчет ожидаемого и нормируемого интервалов неодновременного прибытия поездов j и $j-1$ на станцию скрещения $i-1$;

A_{01} – сравнение ожидаемого и нормируемого интервалов неодновременного прибытия поездов j и $j-1$ на станцию скрещения i
 $\tau_{нпоjj-1i-1} - \tau_{нпнjj-1i} \geq 0$;

P_{01} – выполняется условие $\tau_{нпоjj-1i-1} < \tau_{нпнjj-1i-1}$, при котором не допускается скрещение поездов j и $j-1$ на станции $i-1$, и необходимо выполнить скрещение на станции $i-2$;

D_{01} – переговоры с диспетчером соседнего участка о выполнении скрещения на станции $i-2$;

C_{04} – расчет фактического перегонного времени хода поезда $j-1$ между станциями $i-2$ и $i-1$ как разности моментов времени освобождения поездом маршрута приема и занятии первой секции маршрута отправления с предыдущей станции;

B_{02} – переход к организации пропуска поездов j и $j-1$ после скрещения на станции $i-2$;

B_{01} – условие P_{01} не выполняется, $\tau_{нпоjj-1i-1} \geq \tau_{нпнjj-1i-1}$, это позволяет определить возможность скрещения на станции $i-1$ с помощью операторов, расположенных за (B_{01}) ;

C_{05} – прогноз перегонного времени хода поездов $j-1$ и j от станций $i-1$ и $i+1$ до станции i ;

C_{06} – прогноз времени прибытия поездов $j-1$ и j на станцию i с учетом затрат времени на замедление при остановке τ_{3j-1i} ;

C_{07} – расчет нормируемого и ожидаемого интервалов неодновременного прибытия поездов j и $j-1$ на станцию i ;

A_{02} – сравнение нормируемого ожидаемого интервалов неодновременного прибытия поездов $j-1$ и j на станцию i $\tau_{\text{нпо}jj-1i} - \tau_{\text{нпн}jj-1i} \geq 0$;

P_{02} – выполняется условие $\tau_{\text{нпо}jj-1i} < \tau_{\text{нпн}jj-1i}$, поэтому необходимо выполнить скрещение на предыдущей станции участка $i-1$;

W_{01} – команда открыть входной светофор на станции $i-1$ поезду $j-1$ с остановкой для скрещения с поездом j ;

S_{02} – получение информации об освобождении последней секции маршрута приема останавливаемым поездом $j-1$ на станции $i-1$ и времени этого события $t_{\text{омп}j-1i-1}$;

S_{03} – получение информации о размыкании последней секции маршрута приема останавливаемого поезда $j-1$ на станцию $i-1$ и времени этого события $t_{\text{рмп}j-1i-1}$;

W_{02} – команда открыть входной и выходной светофоры для безостановочного проследования приоритетного поезда j по станции скрещения $i-1$;

S_{04} – получение информации об открытии входного и выходного светофоров для проследования поезда j по станции $i-1$ скрещения и времени этого события $t_{\text{овых}ji-1}$, $t_{\text{овх}ji-1}$;

S_{05} – получение информации о последовательном занятии прибывающим на станцию $i-1$ поездом j первого и второго участков приближения, изолированных секций маршрута и о пути приема, фиксация времени этих событий;

S_{06} – получение информации о времени освобождения прибывающим поездом j последней изолированной секции маршрута приема на станцию $i-1$;

S_{07} – получение информации о времени размыкания прибывающим поездом j послед-

ней изолированной секции маршрута приема на станцию $i-1$;

S_{08} – получение информации о времени занятия прибывающим поездом j первой изолированной секции маршрута отправления со станции $i-1$;

W_{03} – команда открыть выходной светофор для отправления остановленного поезда $j-1$ со станции скрещения $i-1$;

S_{09} – получение информации о времени открытия выходного светофора остановленному поезду $j-1$;

S_{10} – получение информации о времени занятия первой секции маршрута отправляемым поездом $j-1$;

C_{08} – расчет фактического перегонного времени хода поездов j и $j-1$ между станциями $i-1$ и $i-2$, $i-1$ и i как разности моментов времени освобождения поездом маршрута приема и занятия первой секции маршрута отправления с предыдущей станции;

B_{02} – безусловный переход к операторам алгоритма после скрещения поездов в пределах станций $i-1$, i , $i+1$, расположенных за оператором (B_{02});

B_{03} – условие P_{02} не выполняется, $\tau_{\text{нпо}jj-1i} \geq \tau_{\text{нпн}jj-1i}$, это позволяет определить возможность скрещения на станции i с помощью операторов, расположенных за (B_{03});

C_{09} – прогноз перегонного времени хода поездов $j-1$ и j от станций i и от $i+2$ до станции $i+1$;

C_{10} – прогноз времени прибытия поездов $j-1$ и j на станцию $i+1$ с учетом затрат времени на замедление при остановке $\tau_{3j-1i+1}$;

C_{11} – расчет нормируемого и ожидаемого интервалов неодновременного прибытия поездов j и $j-1$ на станцию $i+1$;

A_{03} – сравнение нормируемого и ожидаемого интервалов неодновременного прибытия поездов $j-1$ и j на станцию $i+1$ $\tau_{\text{нпо}jj-1i+1} - \tau_{\text{нпн}jj-1i+1} \geq 0$;

P_{03} – выполняется условие $\tau_{\text{нпо}jj-1i+1} < \tau_{\text{нпн}jj-1i+1}$, поэтому необходимо выполнить скрещение на предыдущей станции участка i ;

W_{04} – команда открыть входной светофор на станции i поезду $j-1$ с остановкой для скрещения с поездом j ;

S_{11} – получение информации об освобождении последней секции маршрута приема останавливаемым поездом $j-1$ на станции i и времени этого события $t_{\text{омп}j-l_i}$;

S_{12} – получение информации о размыкании последней секции маршрута приема останавливаемого поезда $j-1$ на станцию i и времени этого события $t_{\text{рмп}j-l_i}$;

W_{05} – команда открыть входной и выходной светофоры для безостановочного проследования приоритетного поезда j по станции скрещения i ;

S_{13} – получение информации об открытии входного и выходного светофоров для проследования поезда j по станции i скрещения и времени этого события $t_{\text{овых}ji}$, $t_{\text{овх}ji-1}$;

S_{14} – получение информации о последовательном занятии прибывающим на станцию i поездом j первого и второго участков приближения, изолированных секций маршрута и пути приема, фиксация времени этих событий;

S_{15} – получение информации о времени освобождения прибывающим поездом j последней изолированной секции маршрута приема на станцию скрещения i ;

S_{16} – получение информации о времени размыкания прибывающим поездом j последней изолированной секции маршрута приема на станцию скрещения i ;

S_{17} – получение информации о времени занятия прибывающим поездом j первой изолированной секции маршрута отправления;

W_{06} – команда открыть выходной светофор для отправления остановленного поезда $j-1$ со станции скрещения i ;

S_{18} – получение информации о времени открытия выходного светофора остановленному поезду $j-1$;

S_{19} – получение информации о времени занятия первой секции маршрута отправляемым поездом $j-1$;

C_{12} – расчет фактического перегонного времени хода поездов j и $j-1$ между станциями i

и $i-1$, i и $i+1$ как разности моментов времени освобождения поездом маршрута приема и занятия первой секции маршрута отправления с предыдущей станции;

B_{02} – безусловный переход к операторам алгоритма после скрещения поездов в пределах станций $i-1$, i , $i+1$, расположенных за оператором (B_{02});

B_{04} – условие P_{03} не выполняется, $\tau_{\text{нпо}jj-l_{i+1}} \geq \tau_{\text{нпн}jj-l_{i+1}}$, это позволяет определить возможность скрещения на станции $i+1$ с помощью операторов, расположенных за (B_{04});

C_{13} – прогноз перегонного времени хода поездов $j-1$ и j от станций $i-1$ и $i+1$ до станции $i+2$;

C_{14} – прогноз времени прибытия поездов $j-1$ и j на станцию $i+2$ с учетом затрат времени на замедление при остановке $\tau_{3j-l_{i+2}}$;

C_{15} – расчет нормируемого и ожидаемого интервалов неодновременного прибытия поездов j и $j-1$ на станцию $i+2$;

A_{04} – сравнение нормируемого и ожидаемого интервалов неодновременного прибытия поездов $j-1$ и j на станцию $i+2$ $\tau_{\text{нпо}jj-l_{i+2}} - \tau_{\text{нпн}jj-l_{i+2}} \geq 0$;

P_{04} – выполняется условие $\tau_{\text{нпо}jj-l_{i+2}} < \tau_{\text{нпн}jj-l_{i+2}}$, поэтому необходимо выполнить скрещение на предыдущей станции участка $i+1$;

W_{07} – команда открыть входной светофор на станции $i+1$ поезду $j-1$ с остановкой для скрещения с поездом j ;

S_{20} – получение информации об освобождении последней секции маршрута приема останавливаемым поездом $j-1$ на станции $i+1$ и времени этого события $t_{\text{омп}j-l_{i+1}}$;

S_{21} – получение информации о размыкании последней секции маршрута приема останавливаемого поезда $j-1$ на станцию $i+1$ и времени этого события $t_{\text{рмп}j-l_{i+1}}$;

W_{08} – команда открыть входной и выходной светофоры для безостановочного проследования приоритетного поезда j по станции скрещения $i+1$;

S_{22} – получение информации об открытии входного и выходного светофоров для про-

следования поезда j по станции $i+1$ скрещения и времени этого события $t_{\text{овых}j,i+1}$, $t_{\text{овх}j,i+1}$;

S_{23} – получение информации о последовательном занятии прибывающим на станцию $i+1$ поездом j первого и второго участков приближения, изолированных секций маршрута и пути приема, фиксация времени этих событий;

S_{24} – получение информации о времени освобождения прибывающим поездом j последней изолированной секции маршрута приема на станцию скрещения $i+1$;

S_{25} – получение информации о времени размыкания прибывающим поездом j последней изолированной секции маршрута приема на станцию скрещения $i+1$;

S_{26} – получение информации о времени занятия прибывающим поездом j первой изолированной секции маршрута отправления;

W_{09} – команда открыть выходной светофор для отправления остановленного поезда $j-1$ со станции скрещения $i+1$;

S_{27} – получение информации о времени открытия выходного светофора остановленному поезду $j-1$;

S_{28} – получение информации о времени занятия первой секции маршрута отправляемым поездом $j-1$;

C_{16} – расчет фактического перегонного времени хода поездов j и $j-1$ между станциями $i+1$ и i , $i+1$ и $i+2$ как разности моментов времени освобождения поездом маршрута приема и занятия первой секции маршрута отправления с предыдущей станции;

B_{02} – безусловный переход к операторам алгоритма после скрещения поездов в пределах станций $i-1$, i , $i+1$, расположенных за оператором (B_{02});

B_{05} – условие P_{04} не выполняется, $\tau_{\text{нпо}jj-l+2} \geq \tau_{\text{нпн}jj-l+2}$, это позволяет определить возможность скрещения на других станциях соседнего участка.

Заключение

Предложен метод алгоритмического описания принятия решений поездным диспетчером о выборе станций скрещения с учетом приоритета поездов и их параметров. Алгоритм предназначен для использования при построении автоматизированных систем информационного обеспечения поездных диспетчеров и управления движением поездов.

Библиографический список

1. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов. – М., 2011.
2. Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД». – М., 2006. – 179 с.
3. Кокурин И. М. Нормы времени и нормативы численности маневровых (станционных) диспетчеров, дежурных и операторов железнодорожных станций / И. М. Кокурин, А. Б. Никитин, Н. А. Сапунов и др. // Сб. Проектного и внедренческого центра организации труда МПС. – М., 1990. – 98 с.
4. Кокурин И. М. Определение длин диспетчерских участков в условиях автоматизации управления железнодорожными перевозками / И. М. Кокурин // Транспорт : наука, техника, управление. – 1992. – № 4. – С. 9–12.
5. Кокурин И. М. Теория и методы обоснования уровня автоматизации управления процессами перевозок на основе систем железнодорожной автоматики и телемеханики : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.08 / И. М. Кокурин. – Л., 1986. – 322 с.

УДК 629.42.067

А. С. Корнев, Д. С. СмирновПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ
СТОЛКНОВЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

Рассмотрена возможность адаптации систем, использующих средства технического зрения, для применения на железных дорогах с целью предотвращения столкновений. Исследованы система с активно-импульсной телевизионной камерой и стереовидеосистема на базе двух CCD-видеокамер для установления наиболее подходящего с технической точки зрения объекта дальнейшего усовершенствования и внедрения в качестве системы безопасности. Приведены алгоритмы обнаружения препятствий на пути движения поезда и определения степени их опасности в режиме реального времени.

Точка схода, плоскость ректификации, юстировка, ортофото, признаковое изображение.

Одним из значимых факторов повышения безопасности движения поездов на железных дорогах РФ послужило внедрение микропроцессорных локомотивных систем безопасности нового поколения, к которым относятся:

- единая комплексная система (ЕКС) управления и обеспечения безопасности движения на тяговом подвижном составе, включающая системы автоведения поезда (УСАВП) и автоматического торможения (САУТ-ЦМ), комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У) с функцией принудительной остановки локомотива (КУПОЛ) по команде поездного диспетчера или дежурного по станции, передаваемой по цифровому радиоканалу, и подключаемую к КЛУБ-У телемеханическую систему контроля бдительности машиниста (ТСКБМ);

- безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК), объединивший на программном и аппаратном уровне КЛУБ-У, САУТ и ТСКБМ.

Однако эти системы не предназначены для предотвращения столкновений поездов, следующих в попутном и встречном направлениях. Не существует и каких-либо технических

средств, которые предупреждали бы машиниста о нахождении людей на путях, а работников путевых служб – о приближении поезда. Безопасность в этом случае обеспечивается внимательностью машиниста и бдительностью работников и значительно снижается в темное время суток и в условиях плохой видимости.

Для решения задачи обнаружения препятствия на расстоянии, которое позволит избежать столкновения, рассмотрим более подробно две системы технического зрения и выберем самую подходящую.

**Система предупреждения
столкновений с активно-импульсной
телевизионной камерой****Технические характеристики**

Одним из вариантов решения задачи предотвращения столкновений является создание локомотивной системы, основанной на техническом зрении. Работа этой системы базируется на использовании активно-импульсной телевизионной камеры с оптическим увеличением изображения, которая позволяет рас-

познавать объекты на расстоянии до 2500 м круглосуточно в любых погодных условиях и определять расстояние до них (рис. 1).

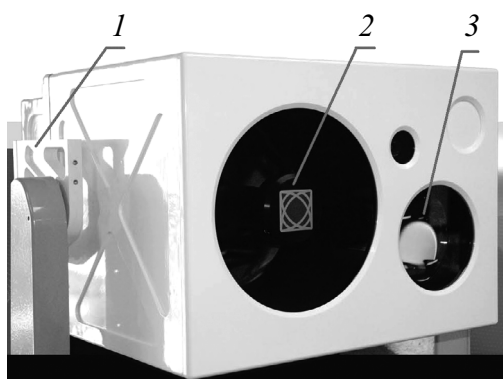


Рис. 1. Камера ARGС-2400:
1 – поворотное устройство; 2 – объектив
блока наблюдения; 3 – импульсный
лазерный осветитель

Габаритные размеры:
длина 0,55 м;
ширина 0,37 м;
высота 0,52 м.

Определение степени опасности обнаруженных объектов

Для определения степени опасности обнаруженных объектов, находящихся в области интереса относительно оси пути следования

поезда, необходимо вычислить поправочные коэффициенты точки схода W в единой системе координат (ЕСК) с помощью плоскости ректификации (нижней плоскости железнодорожной инфраструктуры) [4]. Построение плоскости ректификации осуществляется с помощью двух прямых – C_1 и C_2 , касательных к рельсам железнодорожного пути, и уточненной координаты точки схода W , являющейся точкой пересечения этих прямых на уровне горизонта (рис. 2). Координаты точек касательных вычисляются во время юстировки (проверки и наладки) системы технического зрения в целях определения углов наклона видеокамеры относительно гиросtabilизируемой платформы. Координаты точки W вычисляются решением системы уравнений касательных [3]:

$$\begin{cases} y = a_1x + b_1; \\ y = a_2x + b_2, \end{cases}$$

где $a_1 = \operatorname{tg}\theta_1$; $a_2 = \operatorname{tg}\theta_2$; b_1 и b_2 вычисляются из уравнений прямой с использованием точек юстировки $C_1(x_1, y_1)$, $C_1(x_2, y_2)$, $C_2(x_1, y_1)$, $C_2(x_2, y_2)$.

Увеличение угла обзора

Для успешной адаптации системы технического зрения с целью предотвращения стол-

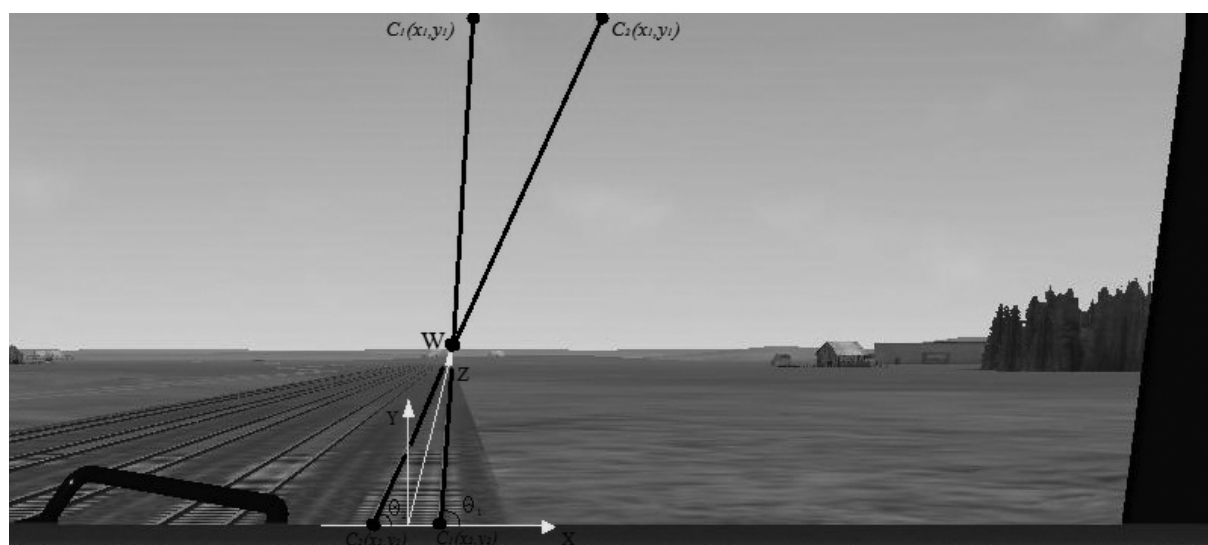


Рис. 2. Геометрическое положение касательных линий C_1 и C_2

кновений на железных дорогах необходимо увеличить угол обзора системы. Это позволит обеспечить распознавание не только объектов, находящихся в очертаниях габарита подвижного состава, но и потенциально опасных объектов в непосредственной близости от него.

Существенным ограничением применения системы технического зрения является недостаточная дальность видимости объектов при следовании поезда в кривой и на подъеме (спуске). Снизить влияние этого ограничения можно, если обеспечить поворот камеры в горизонтальной плоскости на угол β и в вертикальной плоскости на угол γ .

В этом случае угол β будет прямо пропорционален углу поворота кривой α и обратно пропорционален радиусу кривой R (рис. 3).

Таким образом, $\beta = f(\alpha, R)$, причем

$$\alpha = \frac{i_{\text{Э(К)}} \cdot l_n}{12,2},$$

где $i_{\text{Э(К)}}$ (‰) – уклон, эквивалентный дополнительному сопротивлению от кривой; l_n (м) – длина поезда.

$$\text{Поскольку } i_{\text{Э(К)}} = \frac{700}{R}, \quad \alpha = \frac{57,4 \cdot l_n}{R}.$$

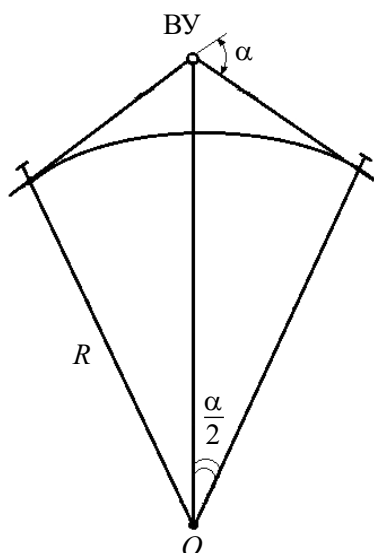


Рис. 3. Круговая кривая железнодорожного пути: ВУ – вершина угла

Наименьший радиус кривых при проектировании дополнительных главных путей и усилении (реконструкции) имеющихся железных дорог устанавливаются в зависимости от намечаемых скоростей движения пассажирских и грузовых поездов и радиусов кривых проложенного пути. Минимально допустимый радиус кривой 200 м, максимальный – 4000 м.

Угол $\gamma = f(h, l)$, или $\gamma = f(i)$, где h (м) – длина перпендикуляра, проведенного из высшей точки подъема (спуска) на горизонтальную плоскость; l (м) – длина прямой от начала подъема (спуска) до перпендикуляра h ; i (‰) – уклон поверхности, равный тангенсу угла δ :

$$\text{tg} \delta = \frac{h}{l}.$$

Обнаружение и распознавание объектов

Алгоритм обнаружения и распознавания препятствий включает процедуры оценки признаков непрерывности линий и сравнения текущих значений цвета, яркости, формы и размера с занесенными в базу системы эталонными значениями этих параметров [3].

Система предупреждения столкновений с двумя CCD-видеокамерами

Стереовидеосистема на базе двух CCD-видеокамер – это бортовой компьютер с платами оцифровки ТВ-изображений и спецвычислителем, поддерживающим набор функций обработки изображений на аппаратном уровне.

Алгоритм обнаружения препятствий. Метод радиального ортофото

В основе алгоритма обнаружения препятствий лежит метод радиального ортофото (ортогональные проекции левого и правого изображений стереопары на вспомогательную плоскость, построенные в полярной системе

координат). На первом этапе выполняется пространственная реконструкция подстилающей поверхности (железнодорожного полотна).

Для описания поверхности выбрана аналитическая модель [2]:

$$Z(X, Y) = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Y,$$

где X, Y, Z – координаты точки поверхности в системе координат ($OX_c Y_c Z_c$).

Ось OX_c направлена вперед по ходу движения поезда, ось OY_c перпендикулярна оси OX_c и ориентирована вправо, ось OZ_c направлена вверх по нормали к поверхности, плоскость $OX_c Y_c$ совпадает с плоскостью подстилающей поверхности.

Параметры $a_i, i = 0, 1, 2, 3$ модели $Z(X, Y)$ определяются методом наименьших квадратов по набору трехмерных точек рельсов, которые принадлежат поверхности и заведомо не относятся к обнаруживаемому объекту.

Для построения радиального ортофото в масштабе реального времени используется алгоритм, основанный на кусочно-билинейной трансформации изображений. Область железнодорожного полотна разбивается на участки с фиксированным шагом по дальности. Каждый участок имеет четыре угловые точки, задаваемые положением рельсов на текущей дальности. Для каждой точки определяется соответствующая ей точка на трансформированном изображении.

Преобразование набора из четырех точек исходного изображения в набор из четырех точек трансформированного изображения, записанное в виде

$$x = x(\varepsilon, \eta); \quad y = y(\varepsilon, \eta),$$

где x, y – координата точки на исходном изображении; ε, η – координата точки на трансформированном изображении, может быть реализовано в билинейной форме:

$$x = B\varepsilon + C\varepsilon\eta + E\eta + F;$$

$$y = H\varepsilon + K\varepsilon\eta + M\eta + N,$$

где B, C, E, F, H, K, M, N – коэффициенты преобразования.

Алгоритм стереоотождествления

Алгоритм стереоотождествления вертикальных контуров использует условие расположения препятствия в области, ограниченной линиями рельсов, что позволяет существенно уменьшить область поиска пути, задающего стереосоответствие. Область железнодорожного полотна разбивается на участки, ограниченные линиями рельсов. На каждом участке область поиска пути, задающего стереосоответствие, ограничивается (рис. 4):

- прямыми, отвечающими значениям угловой диспаратности $A(D_{\min})$ и $A(D_{\max})$ на минимальной $D_{\min}$ и максимальной $D_{\max}$ дальности участка;
- положением линий рельсов на минимальной дальности участка.

В качестве результирующей области поиска рассматривается объединение областей, полученных на отдельных участках. Полученные стереоконтурные передаются в блок много-

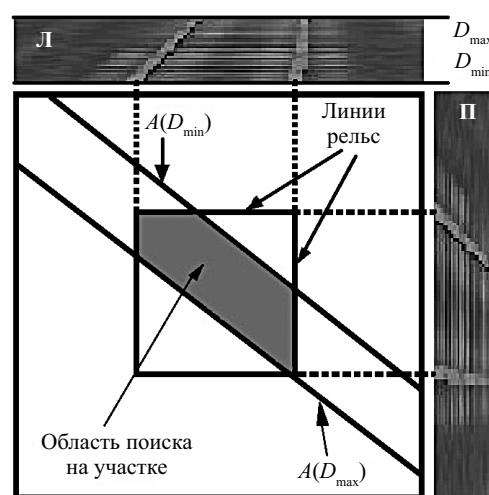


Рис. 4. Построение области поиска пути, задающего стереосоответствие для интервала дальностей $[D_{\min}, D_{\max}]$ (показаны фрагменты левого (Л) и правого (П) признаковых изображений (свертка радиального ортофото с маской модифицированного оператора Собеля) для $[D_{\min}, D_{\max}]$ и положение линий рельсов)

канальной вторичной обработки информации, отличительной особенностью которой является сопровождение отдельных стереоконтуров, а не объектов в целом. Преимущество такой обработки проявляется в том, что в результирующей сборке гипотез участвуют только те контуры, информация о которых подтверждена последовательностью кадров и динамические атрибуты которых укладываются в рамки реально возможных перемещений исследуемых объектов.

Компенсация движения камеры относительно сцены наблюдения

Алгоритмы, обеспечивающие автоматическую оценку и компенсацию движения камеры относительно сцены наблюдения, разработаны в ГосНИИАС и характеризуются следующими особенностями: быстрая корреляционная привязка фона по пирамиде изображений либо по набору динамически выделяемых особых точек; морфологическое проецирование яркости Ю. П. Пытьева; сравнение текущей межкадровой разности с накопленной разностной матрицей; опора на несколько динамически формируемых базовых кадров [1].

Заключение

Технический уровень современной техники позволяет обнаружить и распознать объекты на железнодорожных путях и вблизи них

на расстоянии, достаточном для предотвращения возможных столкновений.

Наиболее подходящей для решения поставленной задачи является стереовидеосистема на базе двух CCD-видеокамер. Достаточно простой алгоритм обнаружения препятствий позволяет предотвращать столкновения при высокой скорости движения поезда.

Библиографический список

1. Визильтер Ю. В. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов // Сб. трудов науч.-технич. конф.-семинара «Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010», Таруса, 16–18 марта 2010 г. – М. : КДУ, 2011. – С. 11–44.
2. Выголов О. В. Обнаружение препятствий перед наземным мобильным объектом в бортовой системе технического стереозрения реального времени / О. В. Выголов, С. Ю. Желтов, Ю. В. Визильтер // Сб. трудов науч.-технич. конф.-семинара «Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010», Таруса, 16–18 марта 2010 г. – М. : КДУ, 2011. – С. 202–216.
3. Иванов Ю. А. Технология компьютерного зрения для наблюдения за объектами путевой инфраструктуры / Ю. А. Иванов // Техника железных дорог. – 2011. – № 4 (16). – С. 57–61.
4. Ким Н. В. Автоматическая система предотвращения столкновений локомотива, основанная на техническом зрении / Н. В. Ким, Ю. А. Иванов // Техника железных дорог. – 2013. – № 1 (21). – С. 67–70.

УДК 629.4.053.3

А. М. Костроминов, М. Ю. Королев, Т. В. КрючковаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**РАЗРАБОТКА СТРУКТУР И АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ
ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Рассматриваются вопросы применения RFID-технологии в системах автоматического контроля (САК) движения поездов на метрополитене, таких как САК пробега вагонов и САК перемещения вагонов. Определены задачи и функции указанных систем, их структуры. Разработаны алгоритмы функционирования системы автоматического контроля пробега вагонов и системы автоматического контроля перемещения вагонов, целью которых является более точный учет расстояния и времени пробега вагонов метрополитена, а также контроль фактического перемещения вагонов.

RFID-технология, радиометка, ридер, СБПП.

На метрополитене необходимо точно учитывать пробег вагонов, чтобы вычислять режим прицельного торможения поезда на закрытых станциях, где требуется высокая точность остановки в створе со станционными дверьми. Чтобы точно контролировать фактический пробег вагонов, предлагается использовать оригинальный метод автоматической калибровки меры пройденного пути [1].

Достоверная оперативная информация о пробеге, полученная от системы автоматического контроля с применением RFID-технологии, позволяет улучшить продвижение вагонопотоков, сократить потребность в вагонах для перевозки, перейти на организацию их ремонта по фактическому пробегу, существенно уменьшить численность персонала, выполняющего операции, связанные с получением и обработкой информации. Кроме того, появляется возможность отказаться от нынешних перевозочных документов и перейти на безбумажную систему управления.

Еще более востребовано повышение точности пройденного пути, получаемой от датчика, для отметки координат обнаруженных дефектов диагностическими скоростными средствами.

**Разработка структуры и алгоритма
функционирования системы
автоматического контроля пробега
вагонов метрополитена**

Основные функции системы автоматического контроля пробега вагонов (САКПВ) сводятся к обеспечению:

- учета фактического расстояния и времени пробега вагонов метрополитена, оборудованных средствами САКПВ, с относительной погрешностью не более 1 %;
- оперативного представления пользователям результатов фактического расстояния и времени пробега вагонов;
- автоматического представления пользователям предупреждений об остаточном ресурсе расстояния и времени пробега вагонов по заданным нормативам.

Алгоритм работы САКПВ следующий.

Поезд с вагонами, оснащенными радиометками, в память которых занесены номера этих вагонов, выходит из депо и на первой прилегающей к депо станции регистрирует номера вагонов (а также при необходимости тип, конструктивные особенности, место приписки и др.) с помощью станционных и вагон-

ных устройств системы бесконтактной привязки к пути СБПП [2] на головном вагоне. С пикета, где установлена метка «Остановка первого вагона» (ОПВ), начинается отсчет как расстояния, так и времени пробега всех вагонов поезда.

Далее в течение времени до возвращения поезда в депо система САКПВ накапливает данные о пробеге.

При необходимости текущие данные о пробеге могут передаваться с поезда в центральный пост комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления (ЦП КАС ДУ) со станций, оборудованных устройствами СБПП.

По завершении графической работы состава на линии перед возвращением поезда в депо на прилегающей к депо станции информация об отправлении поезда в депо поступает на головной вагон от ЦП КАС ДУ, при получении этой информации головной вагон передает сведения о накопленном пробеге (времени и расстоянии) на станционный контроллер САКПВ в привязке к номерам вагонов, которые были зарегистрированы на этой станции при выходе поезда на линию. При этом информация о пробеге в привязке к номерам вагонов после регистрации станционным контроллером передается в депо на АРМ диспетчера, а на головном вагоне обнуляется пробег для его новой регистрации в следующей смене.

Структурная схема системы автоматического контроля пробега вагонов представлена на рис. 1, на котором выделены дополнения для автоматического контроля пробега вагонов.

Основные преимущества предлагаемого варианта системы автоматического контроля пробега вагонов:

- САКПВ является дополнением к имеющейся системе СБПП и выступает по отношению к ней как подсистема;
- поскольку САКПВ интегрируется в СБПП, она использует ресурсы последней, поэтому максимально экономична;
- развитие СБПП в направлении расширения функции контроля пробега вагонов позво-

ляет избежать появления разнотипных несовместимых систем, создающих трудности для обслуживания и ремонта;

- данное предложение ориентировано на отечественного производителя, использующего новейшие технологии и однородную элементную базу;
- элементная база и новейшие технологии адаптированы к условиям метрополитена.

Разработка структуры и алгоритма функционирования системы автоматического контроля перемещения вагонов метрополитена

Не менее актуальна задача контроля перемещения вагонов. Для ее решения предлагается над воротами с внутренней стороны депо установить систему автоматического контроля перемещения вагонов – RFID-депо. В ее состав входят: антенна ридера, ридер, контроллер ридера для каждого деповского пути (возможно применение одного контроллера и одного ридера с двумя антеннами таким образом, чтобы контролировать два пути). Блок-схема алгоритма работы системы представлена на рис. 2.

Подвижной состав (вагоны и другие рельсовые подвижные единицы) необходимо оборудовать двумя метками, аналогичными используемым в СБПП, расположенными на уровне крыши пассажирских вагонов для возможности определения направления движения (в/из депо) и ориентации вагона (актуально для головных вагонов поездов) (рис. 3).

На рис. 3 головные пассажирские вагоны, оснащенные СБПП, дооборудованы подсистемой контроля пробега ПКП, в которую входят счетчик пройденного пути и осевой датчик пройденного пути.

Устройства системы RFID-депо следует дополнить приемными радиомодемными устройствами для передачи информации с ПКП головного вагона о пробеге прибывшего с линии состава (рис. 3).

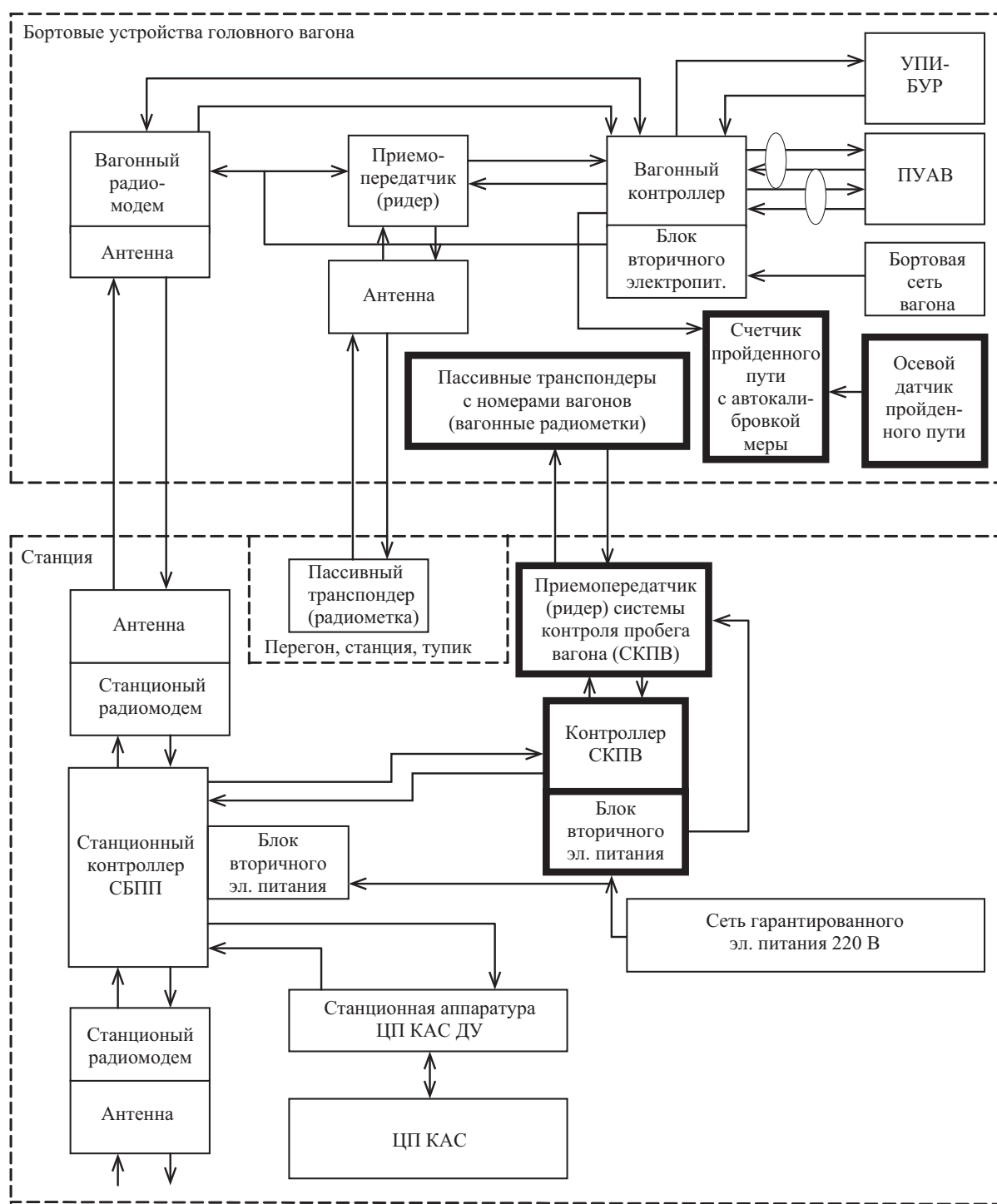


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического контроля пробега вагонов

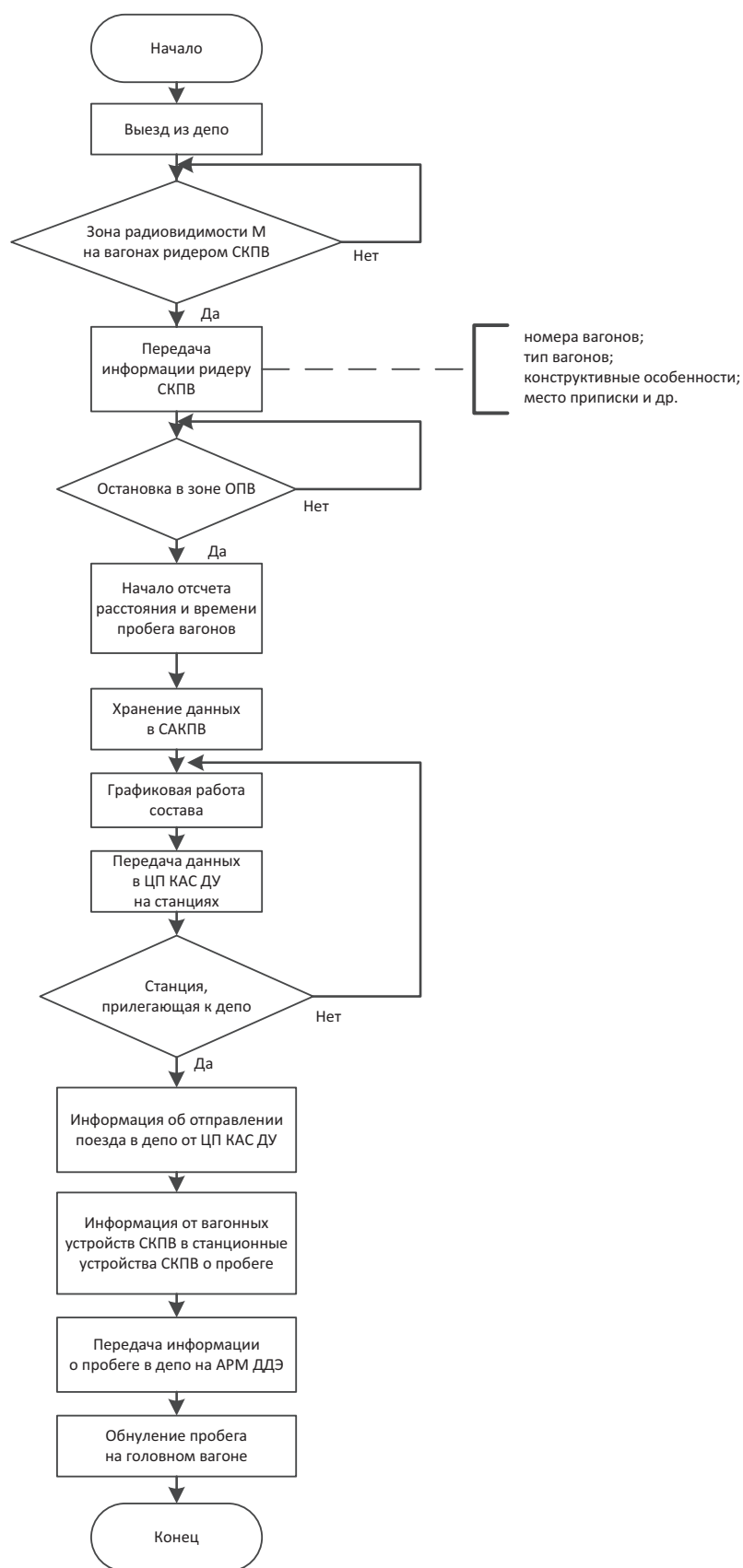


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы системы автоматического контроля пробега вагонов

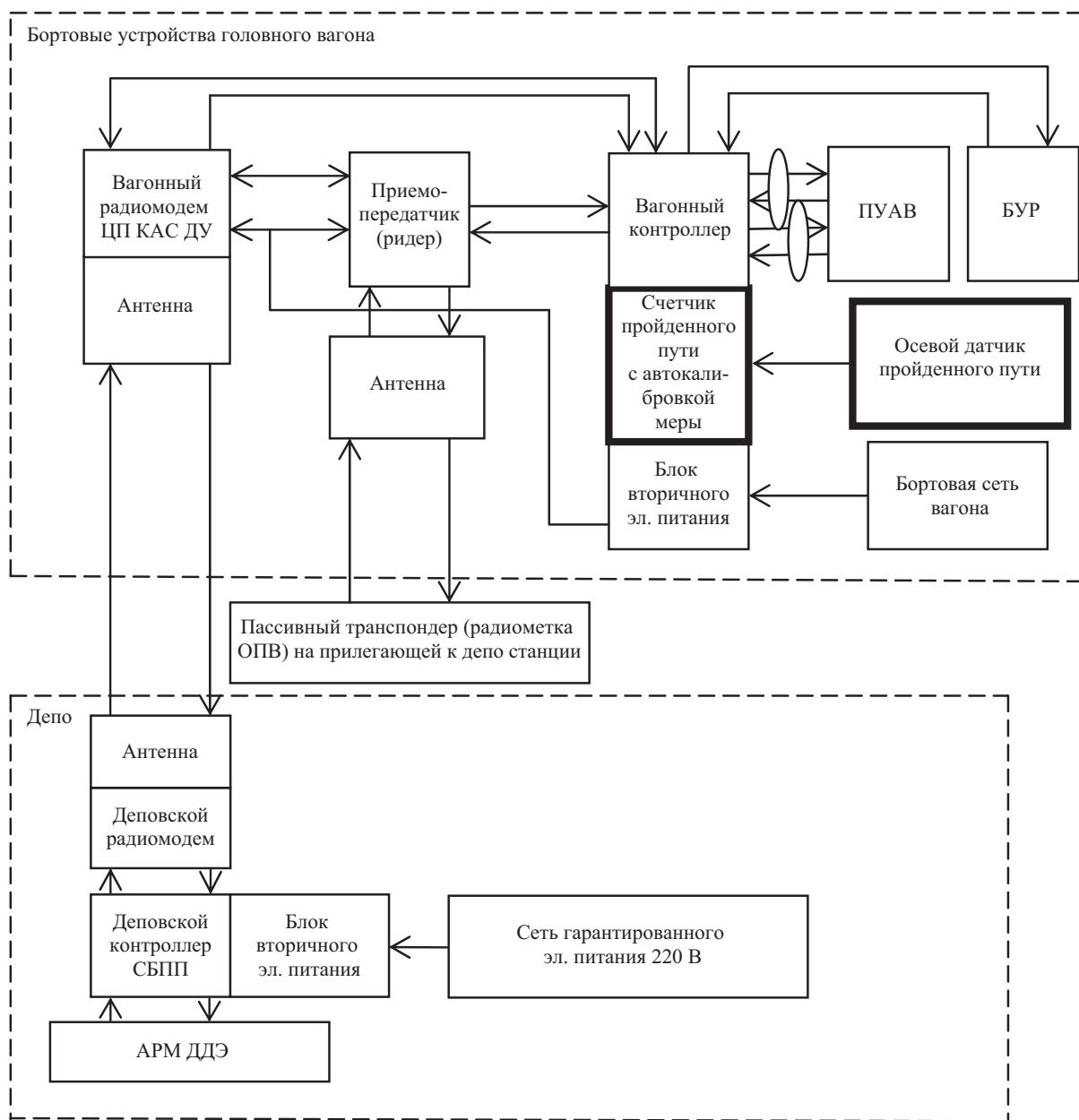


Рис. 3. Структурная схема системы автоматического контроля перемещения вагонов

Систему RFID-депо необходимо увязать с сервером АРМ диспетчера.

На рис. 4 дополнения для автоматического точного учета расстояния, времени пробега вагонов, их перемещений, автоматической регистрации номера, типа, конструктивных особенностей (например, ориентации кабины в головном вагоне), места приписки и другого выделены для вывода на электронную доску.

Алгоритм работы системы RFID-депо следующий. При перемещении рельсовой подвижной единицы (РПЕ) в сторону депо при ее прохождении под антенной ридера в зоне ворот депо ридер считывает информацию из меток в верхней части вагона и определяет направление движения по очередности фиксации меток. При этом в АРМ заносится

вся информация о РПЕ, записанная в метке (номер, тип, конструктивные особенности, например ориентация кабины в головном вагоне, место приписки и др.), и порядок поступления РПЕ на данный путь депо, позволяя заполнять электронную доску нужной для оператора информацией.

Если в депо заходит пассажирский поезд, с головного вагона передается информация о пробеге, после чего на вагоне обнуляется счетчик пройденного пути. Началом нового отсчета пробега будет вхождение головного вагона в зону метки ОПВ на прилегающей к депо станции с автоматическим добавлением фиксированного расстояния от места стоянки поезда в депо до метки ОПВ. Номера вагонов, которые были в составе поезда, считываются с меток этих вагонов.

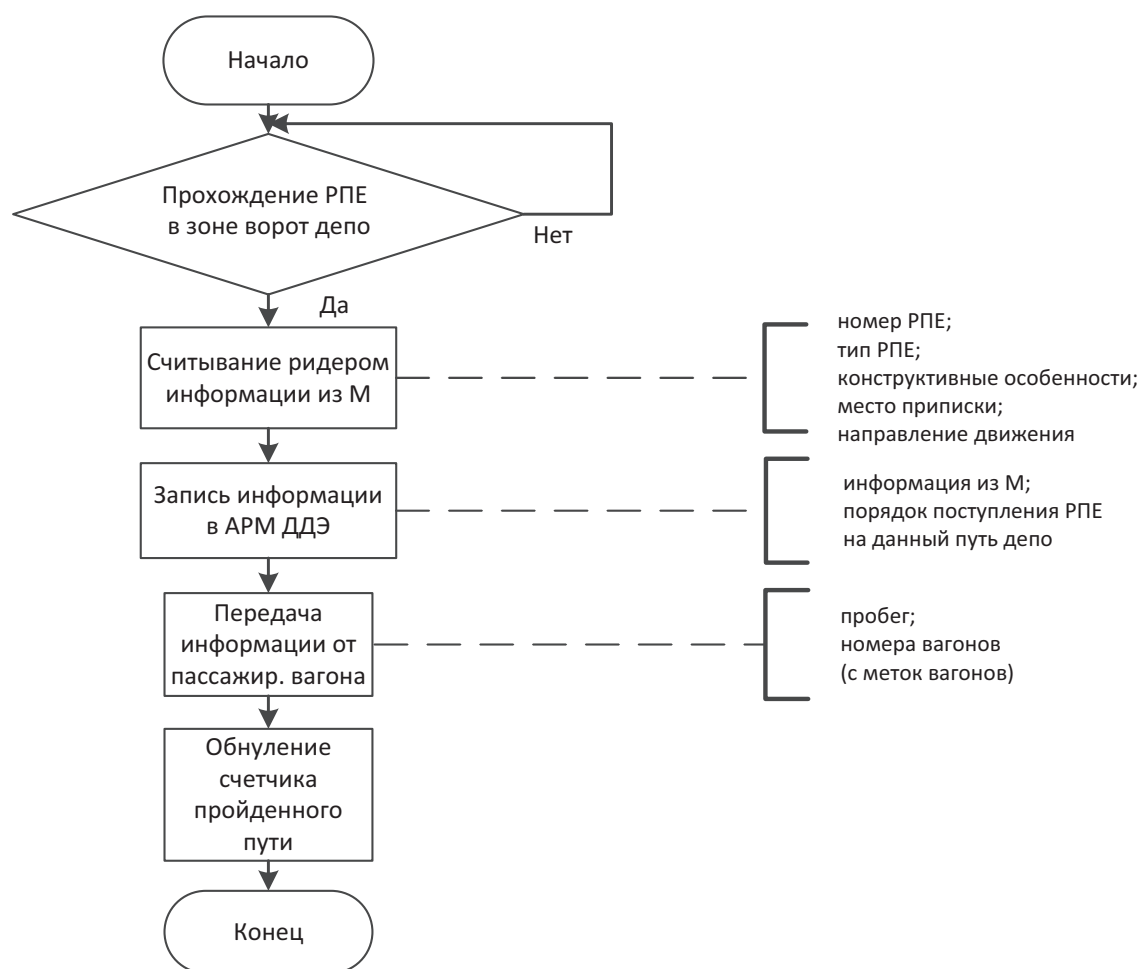


Рис. 4. Блок схема алгоритма работы системы автоматического контроля перемещения вагонов

Заключение

В настоящее время растет интерес к технологии радиочастотной идентификации (RFID-технологии) во всех сферах жизни, в том числе на железнодорожном транспорте. Можно предположить, что применение RFID-технологии на метрополитене позволит облегчить техническое обслуживание, улучшить технологичность, повысить качество контроля, надежность и безопасность систем контроля движения поездов, снизить эксплуатационные расходы, расширить функциональные возможности.

Библиографический список

1. Костроминов А. М. Метод и средства калибровки меры пройденного пути в метрополитене / А. М. Костроминов, М. Ю. Королев, В. В. Гаврилов, Т. В. Крючкова // Сб. 65-й науч.-технич. конф., посвященной Дню радио. – СПб. : ПГУПС, 2010.
2. Костроминов А. М. Применение RFID-технологий в системе автоведения поездов метрополитена / А. М. Костроминов, М. Ю. Королев, В. В. Гаврилов, Т. В. Крючкова // Изв. ПГУПС. – 2009. – Вып. 3 (20). – С. 91–97.

УДК 629.424.3: 629.4.027

В. А. Кручек, А. М. Евстафьев

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСЕВОГО РЕДУКТОРА КОЛЕСНОЙ ПАРЫ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕАКТИВНОЙ ТЯГОЙ

Изложены выводы кинематических зависимостей и закономерностей осевых редукторов с вертикальной реактивной тягой карданного группового привода колесных пар. Представлены расчетные графические зависимости перемещения, скорости и ускорения элементов крепления осевого редуктора и анализ наиболее характерных вариантов положений реактивной тяги при различных параметрах перемещения экипажа во время движения локомотива.

Статья рассчитана на работников, связанных с проектированием и расчетом механической части экипажей тягового подвижного состава различного назначения, включая промышленные тепловозы и локомотивы высокоскоростного пассажирского движения.

Тяговый подвижной состав, элементы механической части экипажа, групповой тяговый привод колесных пар, осевой редуктор, вертикальная реактивная тяга, кинематические параметры, перемещение, скорость, ускорение.

Основной задачей технического прогресса в области дизельного моторвагонного подвижного состава является приведение его в соответствие с изменяющимися потребностями

рынка пассажирских железнодорожных сообщений разной дальности. В соответствии с этим в последние годы на неэлектрифицированных с относительно малым пассажиропото-

ком линиях железных дорог России вводятся в эксплуатацию рельсовые автобусы и дизель-поезда новых типов и серий. Такой же тенденции придерживаются и конструкторы новой железнодорожной техники в Европе при организации пассажирского движения на различные расстояния. В тяговом приводе колесных пар большей части этого подвижного состава применена гидромеханическая или гидродинамическая передача, обладающая рядом преимуществ перед другими видами тяговых передач, такими как механическая и электрическая.

Длительная эксплуатация маневровых тепловозов (ТГМ4, ТГМ6, ТГМ23, ТГМ40 и др.), автомотрис и автодрезин (АДМ, ДГК^у, АГВ, МГП4, АС1, АС4 и др.) с гидравлической передачей мощности, выпущенных еще во времена СССР и по сей день работающих на железнодорожных путях ОАО «РЖД» и промышленных предприятий, подтвердила эксплуатационную надежность применяемого на них группового привода колесных пар.

В настоящее время отечественные и зарубежные заводы и компании, имеющие многолетний опыт разработки и изготовления локомотивов с гидравлическими передачами, в соответствии с актуальной тенденцией представляют новые варианты этих изделий для подвижного состава с подкузовным расположением силовых агрегатов и тягового привода.

Применение гидравлической передачи в качестве тяговой подразумевает объединение колесных пар в механическую схему группового тягового привода, наиболее распространенные варианты которой представлены на рис. 1.

При создании группового тягового привода применяется дышлавый, зубчатый и карданный способ спаривания колесных пар. Наибольшее распространение получил привод, когда осевые редукторы колесных пар соединяются карданными валами между собой и выходным валом гидропередачи. Конструктивное исполнение тяговой передачи таково: гидравлическая передача размещается на главной раме локомотива, а осевые редукторы – на колесных парах.

Конструктивные особенности крепления реактивных тяг осевых редукторов колесных пар в групповом тяговом приводе локомотивов

Особенностью работы группового карданного тягового привода является то, что во время движения рессорное подвешивание экипажа первой ступени (буксовая ступень) совершает вертикальные перемещения, усиливая девиационные колебания карданных валов осевых редукторов, особенно тех, которые расположены ближе к выходному фланцу гидропередачи и имеют с ним механическую связь. Так как перекося и угол скручивания карданного вала (девиация кардана) при колебаниях рессорного подвешивания влияет на степень неравномерности вращения самого карданного вала, возникает неравномерность передачи плавного вращающего момента выходного фланца гидропередачи к осевым редукторам колесных пар. Причем планетарная конструкция вилок карданных валов такова, что за один оборот выходного фланца гидропередачи девиация карданного вала, изменяясь, проходит два максимальных и два минимальных значения, вызывая дополнительные напряжения скручивания.

Элементом крепления осевого редуктора колесной пары является реактивная тяга, воспринимающая и передающая реактивные силы от крутящего момента карданного вала на раму ходовой тележки локомотива или главную раму автомотрисы (или автодрезины). В зависимости от пространственной возможности конструкции экипажа реактивная тяга может быть расположена горизонтально (ТГМ4, ТГМ6 и др.), вертикально (дизель-поезд ДР1 и др.) (рис. 2) или под некоторым углом к раме.

Расчет кинематических зависимостей параметров осевого редуктора колесной пары с вертикальной реактивной тягой

На рис. 3 показаны расчетные схемы кинематики осевого редуктора только при верти-

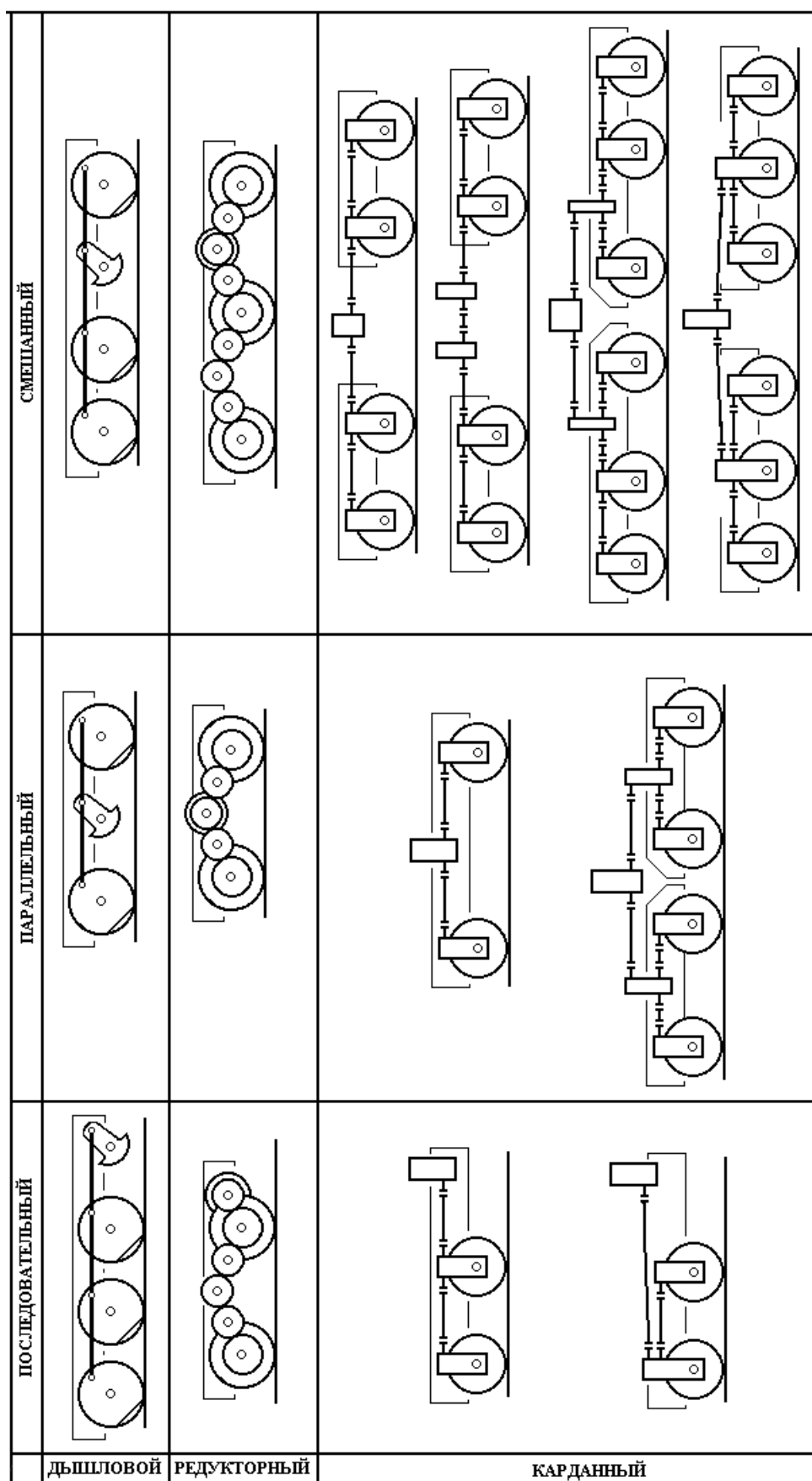


Рис. 1. Схемы группового тягового привода колесных пар железнодорожного тягового подвижного состава

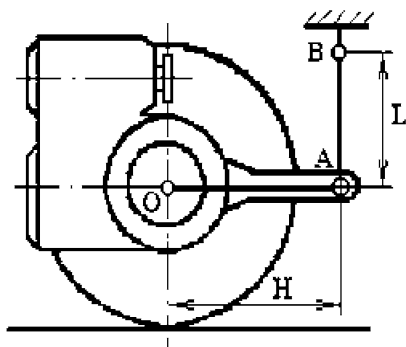


Рис. 2. Осовой редуктор колесной пары с вертикальной реактивной тягой: АВ (L) – длина реактивной тяги, ОА (H) – длина рычага приложения реактивной тяги

кальных перемещениях колесной пары относительно точки крепления реактивной тяги, расположенной на раме тележки, или главной рамы относительно колесной пары (головки рельса).

Такое перемещение может быть вызвано перемещением рамы тележки во время работы рессорного подвешивания (рис. 3а) или прохождением колесной пары по неровности рельсовой нитки (например, стыка) (рис. 3б).

Установим зависимость параметров кинематики вращательного перемещения осевого редуктора при отклонениях, когда $\alpha \neq 0^\circ$ и $\beta \neq 90^\circ$, а также между величиной перемещения точки соединения редуктора с реактивной

тягой $\delta_{Z_T}^B$, $\delta_{Z_K}^B$ и вертикальными перемещениями рамы тележки Z_T и колесной пары Z_K .

Из прямоугольного треугольника $A_1B_1C_1$ расчетной схемы (рис. 3а) получим:

$$L^2 = (L \sin \alpha + \delta_{Z_T}^B \cos \beta)^2 + (L \cos \alpha - \delta_{Z_T}^B \sin \beta + Z_T)^2. \quad (1)$$

После преобразования (1) выразим $\delta_{Z_T}^B$ с учетом направления поворота редуктора относительно оси вращения колесной пары:

$$\delta_{Z_T}^B = -[L \sin(\beta - \alpha) - Z_T \sin \beta] + \sqrt{[L \sin(\beta - \alpha) - Z_T \sin \beta]^2 - (Z_T^2 + 2LZ_T \cos \alpha)}. \quad (2)$$

Из прямоугольного треугольника $A_2B_2C_2$ (рис. 3б) получим величину $\delta_{Z_K}^B$ от перемещения центра оси колесной пары на величину Z_K :

$$\delta_{Z_K}^B = -[L \sin(\beta - \alpha) - Z_K \sin \beta] + \sqrt{[L \sin(\beta - \alpha) - Z_K \sin \beta]^2 - (Z_K^2 - 2LZ_K \cos \alpha)}. \quad (3)$$

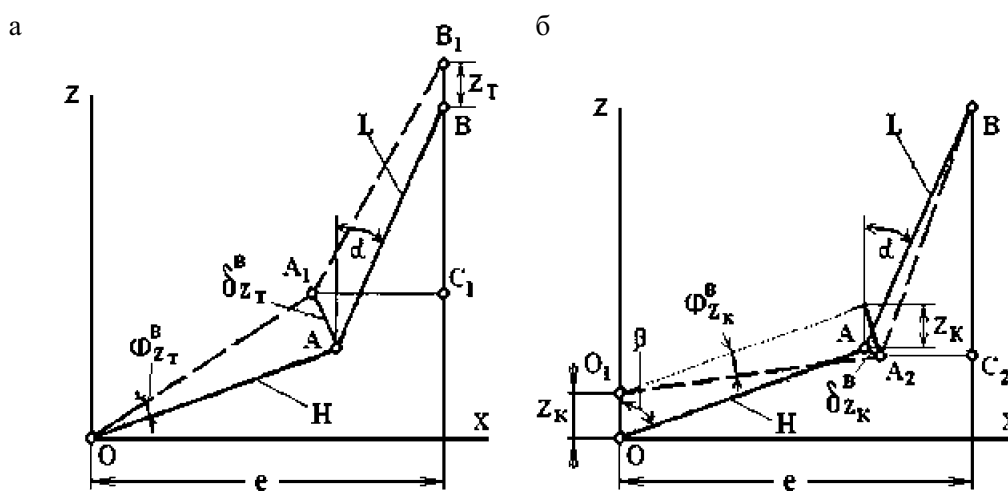


Рис. 3. Расчетная схема кинематики вертикальной реактивной тяги осевого редуктора колесной пары группового тягового привода при перемещении: а) рамы относительно колесной пары; б) колесной пары относительно рамы

Выражения (2) и (3) разложим в степенной ряд Маклорена по степеням Z_T и Z_K , ограничиваясь первыми двумя членами, и получим:

$$\begin{aligned} \delta_{Z_T}^B &= -\frac{\cos \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} Z_T - \\ &- \left(\frac{1}{2L \sin(\beta - \alpha)} - \frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha}{L \sin^2(\beta - \alpha)} - \frac{\cos^2 \alpha}{2L \sin^3(\beta - \alpha)} \right) Z_T^2; \\ \delta_{Z_K}^B &= \frac{\cos \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} Z_K - \\ &- \left(\frac{1}{2L \sin(\beta - \alpha)} - \frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha}{L \sin^2(\beta - \alpha)} - \frac{\cos^2 \alpha}{2L \sin^3(\beta - \alpha)} \right) Z_K^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Анализ схем расположения наклонной вертикальной тяги осевого редуктора показал, что в реальности возможны два варианта таких схем (рис. 4).

В варианте I угол α положительный, так как его направление совпадает с принятым направлением поворота осевого редуктора $\varphi_{Z_{T,K}}^B$. В варианте II угол α отрицательный,

так как его направление противоположно принятому направлению поворота осевого редуктора $\varphi_{Z_{T,K}}^B$.

Заменив в (4) значение угла α на $-\alpha$, получим выражения для определения $\delta_{Z_T}^B$ и $\delta_{Z_K}^B$ по варианту II:

$$\begin{aligned} \delta_{Z_T}^B &= -\frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} Z_T - \\ &- \left(\frac{1}{2L \sin(\alpha + \beta)} - \frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha}{L \sin^2(\alpha + \beta)} + \frac{\cos^2 \alpha}{2L \sin^3(\alpha + \beta)} \right) Z_T^2; \\ \delta_{Z_K}^B &= \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} Z_K - \\ &- \left(\frac{1}{2L \sin(\alpha + \beta)} - \frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha}{L \sin^2(\alpha + \beta)} - \frac{\cos^2 \alpha}{2L \sin^3(\alpha + \beta)} \right) Z_K^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Граничные условия для определения величины углов α и β , в пределах изменения которых справедливы формулы (4) и (5), приведены на рис. 4.

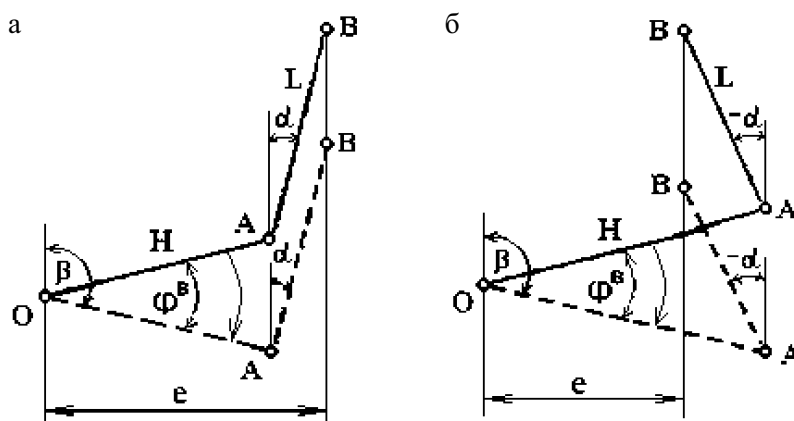


Рис. 4. Схемы расположения наклонной вертикальной тяги осевого редуктора колесной пары:

$$\begin{aligned} \text{а) I вариант } \arcsin \frac{e}{H+L} < |\beta| < 180^\circ - \arcsin \frac{e}{H+L}; \quad \text{б) II вариант } \arcsin \frac{e}{H} < |\beta| < 180^\circ - \arcsin \frac{e}{H} \\ 0^\circ < |\alpha| < \arcsin \frac{e}{H+L} & \quad 0^\circ < |\alpha| < \arcsin \frac{H-e}{L} \end{aligned}$$

Угол поворота осевого редуктора с вертикальной тягой, вызванный вертикальными перемещениями рамы тележки Z_T и колесной пары Z_K , определяется формулами

$$\varphi_{Z_T}^B = \frac{\delta_{Z_T}^B}{H}; \quad \varphi_{Z_K}^B = \frac{\delta_{Z_K}^B}{H}. \quad (6)$$

Анализ зависимостей кинематических параметров схем крепления вертикальных реактивных тяг осевого редуктора колесной пары

Проведем теоретические исследования вращательного перемещения угла поворота редуктора с вертикальной тягой для двух наиболее характерных для практики вариантов (рис. 4).

Зависимости $\delta_{Z_T}^B(Z_T)$ и $\delta_{Z_K}^B(Z_K)$ выражаются квадратичными функциями

$$\begin{aligned} \delta_{Z_T}^B &= -a_{V_Z} Z_T - b_{V_Z} Z_T^2; \\ \delta_{Z_K}^B &= a_{V_Z} Z_K - b_{V_Z} Z_K^2, \end{aligned} \quad (7)$$

где a_{V_Z} , b_{V_Z} – коэффициенты квадратичных функций из (4) и (5), которые равны:

$$\begin{aligned} a_{V_Z} &= \frac{\cos \alpha}{\sin(\beta \mp \alpha)}; \\ b_{V_Z} &= \frac{1}{2L \sin(\beta \mp \alpha)} - \\ &- \frac{\sin \beta \cos \alpha}{L \sin^2(\beta \mp \alpha)} + \frac{\cos^2 \alpha}{2L \sin^2(\beta \mp \alpha)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Знак «плюс» (+) соответствует варианту II, а знак «минус» (–) – варианту I схем расположения вертикальной тяги (рис. 4).

Варьируя значения углов α и β в коэффициентах a_{V_Z} и b_{V_Z} , получим:

• при $\alpha = 0^\circ$ и $\beta = 90^\circ$, а также при $\alpha \neq 0^\circ$ и $\beta = 90^\circ$ имеем

$$\delta_{Z_T}^B = -Z_T; \quad \delta_{Z_K}^B = Z_K. \quad (9)$$

Величина перемещения точки соединения редуктора с реактивной тягой равна вертикальному перемещению рамы тележки или колесной пары;

• при $\alpha = 0^\circ$ ($\alpha = idem$) и $\beta \neq 90^\circ$ имеем:

$$\begin{aligned} \delta_{Z_T}^B &= -\frac{1}{\sin \beta} Z_T - \frac{\cos^2 \beta}{2L \sin^3 \beta} \cdot Z_T^2; \\ \delta_{Z_K}^B &= \frac{1}{\sin \beta} Z_K - \frac{\cos^2 \beta}{2L \sin^3 \beta} \cdot Z_K^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом, наблюдается рост коэффициентов a_{V_Z} и b_{V_Z} , а следовательно, и значений функций $\delta_{Z_T}^B$ и $\delta_{Z_K}^B$;

• при $\alpha \neq 90^\circ$ и $\beta = idem$ значения $\delta_{Z_T}^B$ и $\delta_{Z_K}^B$ увеличиваются или уменьшаются в зависимости от варианта схемы расположения тяги;

• значения функций $\delta_{Z_T}^B$ и $\delta_{Z_K}^B$ в большей степени зависят от отклонения линии центров редуктора от горизонтального положения ($\beta \neq 90^\circ$) при $\alpha = idem$, чем от отклонения реактивной тяги от вертикального положения ($\alpha \neq 0^\circ$) при $\beta = idem$.

Это положение просматривается при анализе графиков зависимостей $\delta_{Z_{T,K}}^B(\beta)$ при $\alpha = 5^\circ$, а также $\delta_{Z_{T,K}}^B(\alpha)$ при $\beta = 85^\circ$ для максимальных значений $Z_T = \pm 25$ мм, $Z_K = \pm 15$ мм и $L = 400$ мм варианта I схемы расположения реактивной тяги редуктора (рис. 5).

Отметим, что смещение m оси симметрии параболы от начала координат квадратичных зависимостей $\delta_{Z_T}^B(Z_T)$ и $\delta_{Z_K}^B(Z_K)$, согласно (7), равно

$$\begin{aligned} m &= \\ &= \left[\frac{L \cdot \cos \alpha}{1 - \frac{\cos \alpha}{\sin(\beta \mp \alpha)} \left(2 \sin \beta - \frac{\cos \alpha}{\sin(\beta \mp \alpha)} \right)} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

При $\alpha = 0^\circ$

$$m = |L \cdot \operatorname{tg}^2 \beta|. \quad (12)$$

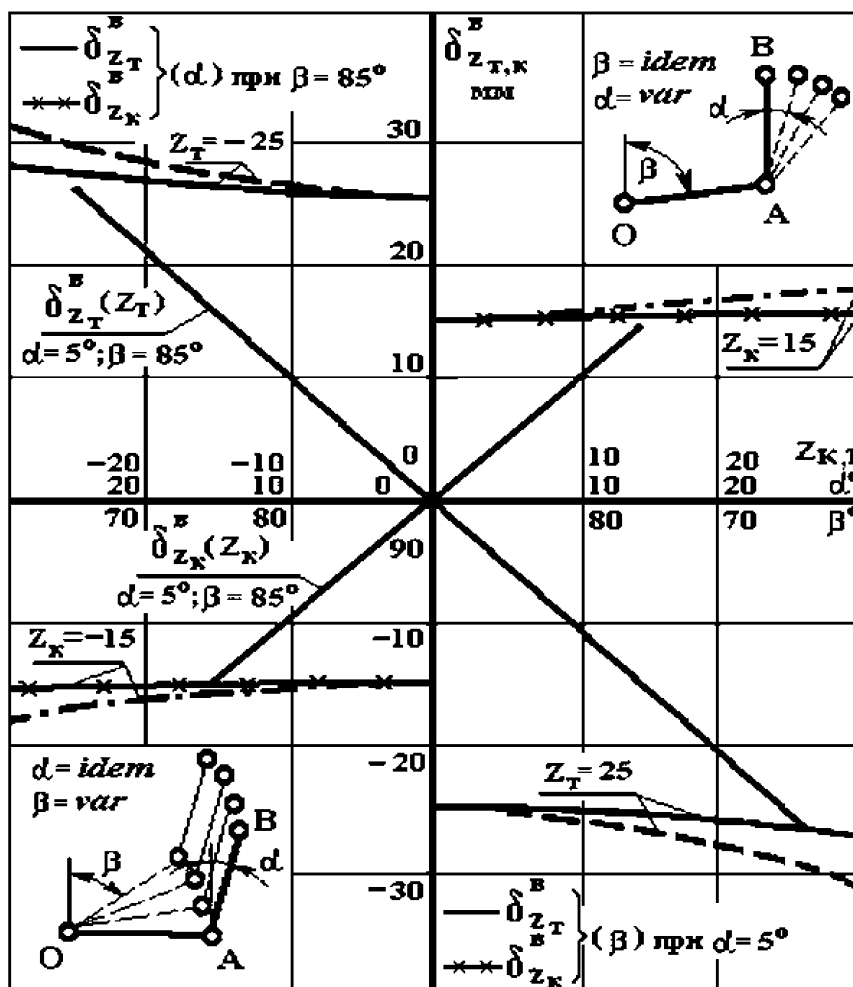


Рис. 5. Графики зависимостей $\delta_{Z_{T,K}}^B(\alpha)$ и $\delta_{Z_{T,K}}^B(\beta)$ для вертикальной реактивной тяги осевого редуктора колесной пары при различных параметрах перемещений ($Z_T = \pm 25$ мм, $Z_K = \pm 15$ мм, $L = 400$ мм, $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 85^\circ$)

Так как при вертикальной реактивной тяге $\alpha \rightarrow 0^\circ$ и $\beta \rightarrow 90^\circ$, а длина реактивной тяги $L \gg |Z_{T,K}^0|$, из (11) и (12) следует, что

$$m \gg |Z_{T,K}^0|. \quad (13)$$

Ось симметрии в этом случае смещена от начала координат на величину значительно большую, чем максимальные значения вертикальных перемещений рамы тележки и колесной пары. Значения функций $\delta_{Z_T}^B$ и $\delta_{Z_K}^B$ при выполнении условия (13) располагаются на участке одной из ветвей параболы, значительно удаленном от ее вершины. Следовательно, при определении величины перемещения точ-

ки соединения осевого редуктора с вертикальной реактивной тягой достаточно учитывать только линейный член функциональных зависимостей (7). Приведенные на рис. 5 графики зависимостей $\delta_{Z_T}^B(Z_T)$ и $\delta_{Z_K}^B(Z_K)$, построенные по выражениям (7), подтверждают это.

Выводы

Таким образом, в результате полученных аналитических зависимостей и анализа построенных графиков, можно сделать следующие выводы:

1. Выражения для определения угла поворота редуктора с вертикальной тягой от вертикальных перемещений рамы тележки и колесной пары:

$$\varphi_{Z_T}^B = -\frac{a_{h_z}}{H} Z_T; \quad \varphi_{Z_K}^B = \frac{a_{h_z}}{H} Z_K;$$

2. Скорость и ускорение вращательного перемещения редуктора, вызванные вертикальными перемещениями рамы тележки и колесной пары, определяются по выражениям

$$\dot{\varphi}_{Z_T}^B = -\frac{a_{h_z}}{H} \dot{Z}_T; \quad \ddot{\varphi}_{Z_T}^B = -\frac{a_{h_z}}{H} \ddot{Z}_T;$$

$$\dot{\varphi}_{Z_K}^B = \frac{a_{h_z}}{H} \dot{Z}_K; \quad \ddot{\varphi}_{Z_K}^B = \frac{a_{h_z}}{H} \ddot{Z}_K;$$

3. Суммарный угол поворота редуктора, вызванный одновременными вертикальными перемещениями рамы тележки и колесной парой, определяется по формуле

$$\varphi_Z^B = \frac{a_{h_z}}{H} (Z_K - Z_T); \quad (14)$$

4. Скорость и ускорение вращательного перемещения редуктора определяется как первая и вторая производная от выражения (14) по времени.

Библиографический список

1. Бирюков И. В. Динамика и прочность привода / И. В. Бирюков // Сб. науч. тр. МИИТ. – 1960. – Вып. 121.
2. Палкин А. П. Дизельные поезда. Устройство, эксплуатация, ремонт и устранение неисправностей / А. П. Палкин, Б. М. Лернер и др. – М. : Транспорт, 1970. – 310 с.
3. Шацилло А. А. Тяговый привод электроподвижного состава / А. А. Шацилло. – М. : МПС, 1961.

УДК 625.032.32

А. М. Орлова, А. А. Воробьев, А. В. Саидова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

Д. Е. Керенцев

АО «Выксунский металлургический завод»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА КОЛЕСА С РЕЛЬСОМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛУВАГОНА

Представлены результаты расчетов параметров контактного взаимодействия колес грузового вагона с рельсами Р65 (темпа износа колес, площадей пятен контакта колес с рельсами, мощностей сил трения в пятнах контакта) для различных эксплуатационных условий на сети дорог ОАО «РЖД». Группы эксплуатационных условий выбраны на основе методики ранжирования характеристик главных путей дорог в плане и профиле. Установлены количественные значения параметров контактного взаимодействия, произведен их сравнительный анализ для рассматриваемых условий.

Грузовой вагон, контакт колесо – рельс, площадь пятна контакта, износ колеса, мощность сил трения.

Изнашивание и образование выщербин в системе колесо – рельс – сложные процессы, зависящие от множества факторов, связанных с экипажем, путем и с условиями их взаимодействия. Ученые исследуют эти процессы давно, однако задача оценки ресурса колес остается актуальной. Натурные испытания на колесах и рельсах требуют существенных затрат и носят долговременный характер. В связи с этим исследование процессов взаимодействия колес и рельсами может быть проведено с помощью машин трения, позволяющих моделировать процессы износа для различных видов стали. Однако для подобных испытаний необходимо знать основные параметры контактного взаимодействия экипажа с путем.

Целью данной работы являлась постановка натурного эксперимента по определению параметров изнашивания и выщербинообразования колесной стали для дальнейшей оценки ресурса колеса. В статье рассмотрено решение первой задачи – определение параметров контакта колес вагона с рельсами (размера пятна контакта, сил крипа, мощностей сил трения и псевдоскольжения, износа колеса) и ранжирование по различным условиям эксплуатации экипажа на российских железных дорогах.

В качестве объекта исследования выбран универсальный грузовой полувагон, установленный на традиционные тележки модели 18–100 с колесами по ГОСТ 10791 [2], с расчетной статической осевой нагрузкой 23,5 тс. Репрезентативные участки пути, характерные для региональных подразделений сети ОАО «РЖД», выбирали на основе анализа статистических данных основных параметров по главным путям дорог РФ. Параметры контактного взаимодействия колес с рельсами определяли в программном комплексе Medyna [12].

Анализ влияния ширины колеи, уширений в кривых и возвышений наружных рельсов на показатели износов гребней колес

Необходимо определить факторы, которые в наибольшей степени влияют на показатели,

оценивающие интенсивность износа. Это поможет в дальнейшем совершенствовать систему экипаж – путь за счет корректировки и управления допустимыми уровнями этих факторов. Для работ, выполненных ранее по этой тематике, характерен подход к выбору наиболее значимых параметров, основанный на опыте и интуиции.

Аналитический обзор данных [4, 8, 10] по износу колесных пар в зависимости от ширины колеи, радиуса кривой, подуклонки рельса и непогашенного ускорения показал, что:

- увеличение ширины колеи приводит к уменьшению удельной работы сил трения и интенсивности изнашивания в контакте колесо – рельс. Сужение ширины колеи на 4 мм (с 1524 до 1520 мм) приводит к увеличению удельной работы сил трения между колесами и рельсами экипажа на 3–10 % в зависимости от радиуса кривых. А во всем исследованном диапазоне ширины колеи (1510–1550 мм) суммарная удельная работа сил трения может различаться до 3 раз (при радиусе кривой 650 м);

- в кривых радиусом 350 м при движении со скоростью, близкой к равновесной, характеристики изнашивания и удельная работа трения между колесами и рельсами для груженых вагонов уменьшаются: в диапазоне ширины колеи 1520–1530 мм – на 22 %, при увеличении ширины колеи свыше 1530 до 1545 мм – дополнительно на 20–30 %;

- в прямых участках пути с увеличением ширины колеи в диапазоне с 1510 до 1540 мм удельная работа сил трения меняется незначительно. Однако в диапазоне 1520–1530 мм имеет место ее минимум. Влияние ширины колеи на интенсивность износа поверхности катания и гребней колес в большой мере зависит от склонности экипажа к вилянию и от степени износа колес;

- увеличение подуклонки вызывает увеличение удельной работы сил трения и интенсивности износа в паре колесо – рельс в основном в период приработки, так как меняются условия контакта: увеличиваются контактные давления и относительные проскальзывания;

• возвышение наружного рельса оказывает определенное влияние на износ колесных пар и рельсов. Механизм этого влияния определяется обратнопропорциональной взаимосвязью величин возвышения и непогашенного ускорения при постоянной скорости подвижного состава, при снижении непогашенного ускорения на $0,3 \text{ м/с}^2$, что допускается нормативными документами, интенсивность износа снижается на 7–9 %.

Выбор репрезентативных маршрутов движения, характерных для ресурса колес

В работах [1, 13] предложена методика совместного моделирования износа профилей колеса и рельса, учитывающая статистическое многообразие факторов, влияющих на результаты расчетов. В связи с тем, что любой фраг-

мент железнодорожной сети, принимаемый за объект моделирования, имеет прямые, переходные и кривые участки пути различного радиуса, а эксплуатируемый на этом участке подвижной состав, как правило, различен по типу и техническому состоянию, процесс износа профилей колес и рельсов целесообразно рассматривать как частично детерминированный. Величину износа профиля колеса и рельса, таким образом, целесообразно определять, используя методы вероятностного моделирования. Таким образом, из всей сети железных дорог были выделены репрезентативные маршруты, имеющие тяжелые, нормальные и благоприятные условия с точки зрения реализации ресурса колеса (табл. 1).

Для выбора репрезентативных участков пути на основе анализа статистических данных о характеристиках главных путей в плане и профиле использовалась методика их ранжирования по каждому из следующих фак-

ТАБЛИЦА 1. Параметры репрезентативных маршрутов

Радиус кривых, м	Принятый для расчетов радиус, м	Протяженность, км	Длина круговой кривой, м	Длина переходной первой, м	Возвышение наружного рельса в кривой, мм	Скорость движения экипажа, м/с (км/ч)
Тяжелые условия эксплуатации						
Менее 400	323	240	237	80	100	20,83 (75)
400–700	548	600	298	44	82	25,00 (90)
700–1000	828	184	271	41	57	25,00 (90)
Более 1000	1604	381	245	32	27	25,00 (90)
Нормальные условия эксплуатации						
Менее 400	310	151	199	80	78	19,20 (69)
400–700	598	711	284	36	75	25,00 (90)
700–1000	842	314	251	33	59	25,00 (90)
Более 1000	1913	784	282	27	35	25,00 (90)
Благоприятные условия эксплуатации						
Менее 400	335	32	189	80	15	16,39 (75)
400–700	580	403	331	45	77	25,00 (90)
700–1000	838	167	295	42	57	25,00 (90)
Более 1000	1663	507	297	35	29	25,00 (90)

торов, влияющих на интенсивность износа и напрямую связанных с параметрами пути:

- доля кривых малого радиуса (менее 400 м);
- доля кривых среднего радиуса (от 400 м до 700 м);
- доля кривых большого радиуса (более 700 м);
- средняя длина обоих переходных кривых;
- суммарная доля кривых малого и среднего радиуса с возвышением менее 40 мм;
- доля уклонов;
- средняя крутизна уклонов.

Таким образом, например, к тяжелым условиям эксплуатации были отнесены маршруты, имеющие в совокупности участки с минимальным радиусом кривых, максимальной протяженностью и возвышение наружного рельса.

Скорость движения экипажа в кривых рассчитывалась исходя из величины допустимого непогашенного ускорения $0,7 \text{ м/с}^2$ и принималась не более указанной для грузовых вагонов в табл. 84 [6].

Математическая модель вагона и износа в контакте колеса с рельсом

Движение груженого полувагона на тележках модели 18–100 смоделировано в программном комплексе Medyna с использованием математической модели, подобной описанной в [5, 9]. Расчетная схема вагона содержит 23 твердых тела: кузов, две надрессорные балки, четыре боковые рамы, четыре колесные пары, четыре участка пути и восемь участков рельсов (рис. 1).

Геометрические и инерционные характеристики вагона приведены в табл. 2, 3.

Вычисление износа в модели основывается на теории абразивного износа (теория Арчарда, [11]). Масса изношенного материала пропорциональна работе сил трения в контакте (A), причем различаются фазы слабого и сильного износа, для каждой из которых устанавли-

вается свой коэффициент пропорциональности (k_v):

$$I = k_v \cdot A. \quad (1)$$

Переход от сильного износа к слабому учитывается через отношение мощности сил трения в пятне контакта к его площади.

Для расчета износа колес грузового вагона использовали следующие параметры [9]:

- коэффициент износа $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ г/Н} \cdot \text{м}$ для стадии сильного износа;
- коэффициент износа $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ г/Н} \cdot \text{м}$ для стадии слабого износа;
- отношение мощности сил трения в пятне контакта колеса с рельсом к его площади, соответствующее переходу от слабого износа к сильному, 7 МВт/м^2 ;
- коэффициент трения на поверхности катания колеса 0,25;
- коэффициент трения на гребне колеса 0,28.

Результаты расчета параметров контактного взаимодействия колеса с рельсом

Расчет параметров контактного взаимодействия вагона с путем производили в соответствии с указанными в табл. 1 условиями при движении вагона по рельсам Р65 с неровностями согласно РД 32.68-96 [7]. Для учета прохода вагоном одновременно левой и правой кривых для левого и правого колес каждой колесной пары задавалась идентичность.

Износ профиля колеса для поверхности катания оценивался на расстоянии 70 мм от грани обода, для гребня колеса – на высоте 18 мм от его вершины. На рис. 2 представлен пример полученного изношенного профиля колеса первой по ходу движения колесной пары при проходе вагоном 26 тыс. км в тяжелых условиях в кривых радиусом менее 400 м.

Три вида условий эксплуатации (тяжелые, нормальные и благоприятные) сравнивали между собой по показателю приведенного

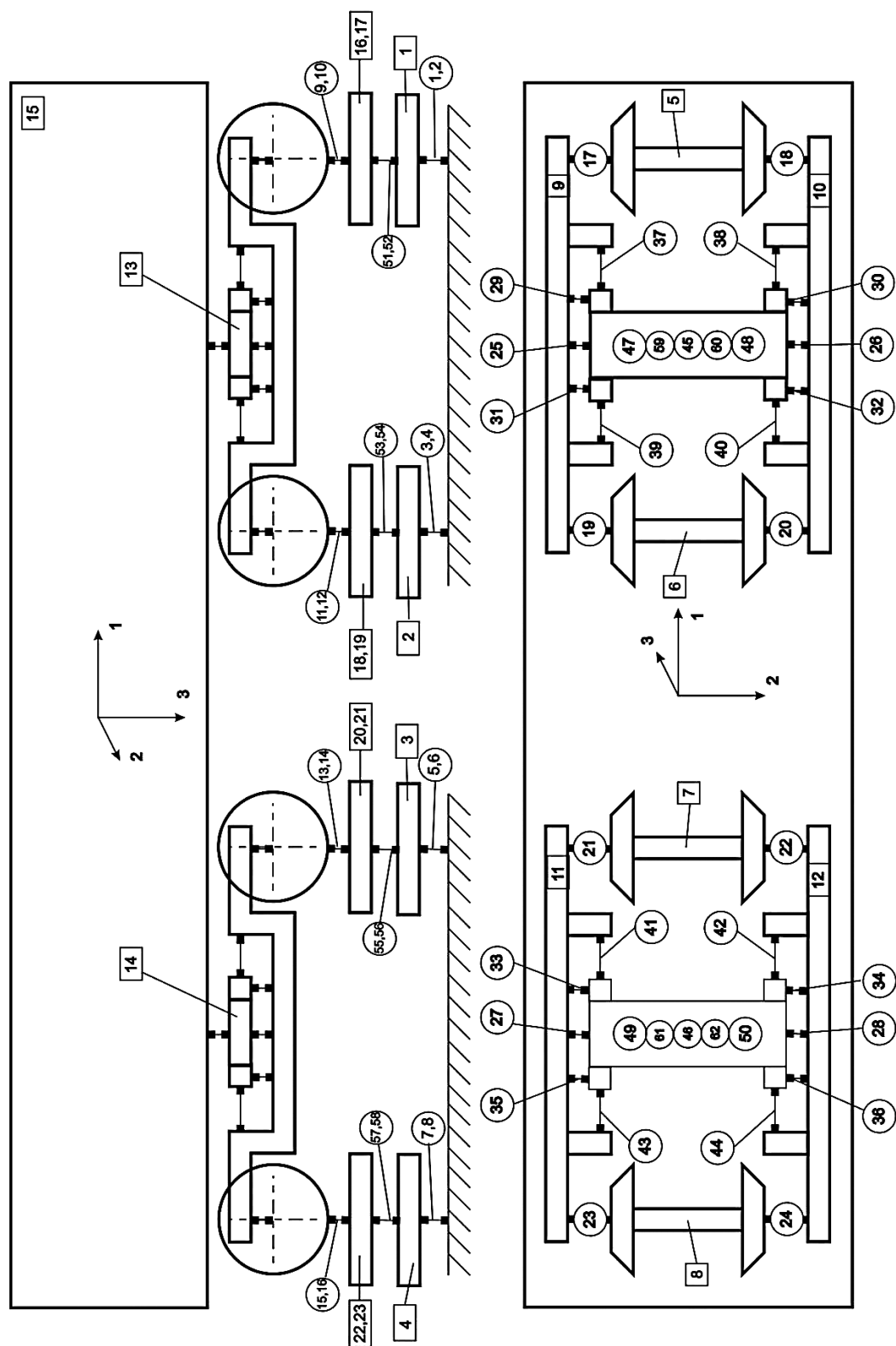


Рис. 1. Расчетная схема вагона; в прямоугольниках – номера тел, в кружках – номера связей

ТАБЛИЦА 2. Геометрические характеристики вагона

Параметр	Величина
База вагона, м	8,650
База тележки, м	1,850
Поперечное расстояние между центрами рессорных комплектов, м	2,036
Высота центра масс кузова груженого вагона над УГР, м	2,350
Высота центра масс боковой рамы тележки над УГР, м	0,475
Высота центра масс надрессорной балки тележки над УГР, м	0,475
Диаметр колес по кругу катания, м	0,950

ТАБЛИЦА 3. Инерционные характеристики вагонов

Элемент вагона	Масса, кг	Главный центральный момент инерции, кг·м ² , для оси		
		продольной	поперечной	вертикальной
Кузов груженный	84 400	11 279 524	1 279 033	1 293 439
Боковая рама*	584	16	195	180
Надрессорная балка**	682	370	9	373
Колесная пара	1475	1300	170	1300

Примечания. * – учитывается 2/3 веса рессорного комплекта. ** – учитывается 1/3 веса рессорного комплекта.

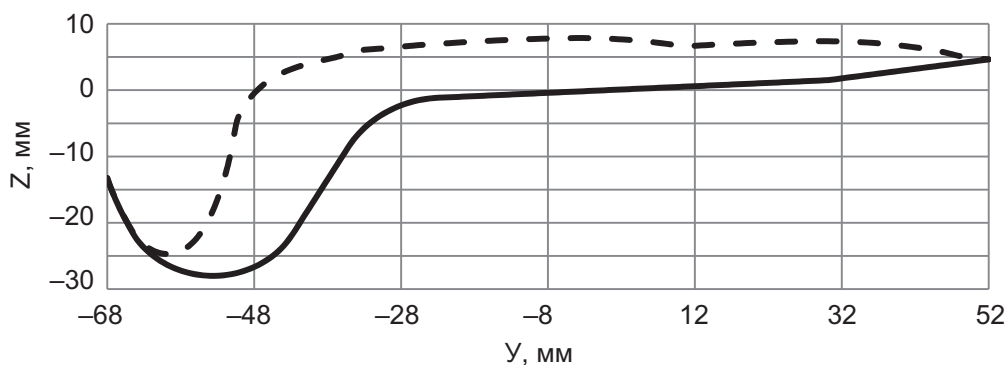


Рис. 2. Изношенный профиль обода колеса (пунктирная линия) в сравнении с новым по ГОСТ 10791 (сплошная линия)

темпа износа колес (отдельно для гребней и поверхностей катания), учитывающего протяженность кривых различных радиусов в общей длине каждого маршрута:

$$P^{\text{прив}} = \sum \frac{P_i \cdot L_i}{L}, \quad (2)$$

где P_i – темп износа гребня/поверхности катания колеса, мм/10 тыс. км, при движении вагона в кривой i -го радиуса; L_i – протяженность участка пути с кривой i -го радиуса, км; L – общая протяженность маршрута, км.

На рис. 3, 4 представлены результаты расчетов приведенного темпа износа поверхно-

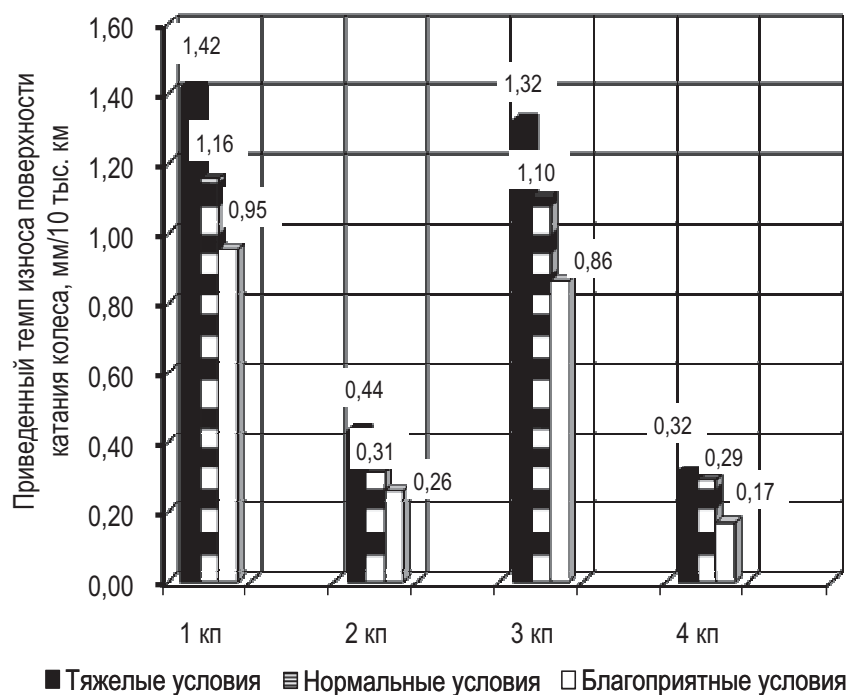


Рис. 3. Диаграмма приведенного темпа износа поверхностей катания колес вагона в зависимости от условий эксплуатации. Здесь и далее «кп» – колесная пара, номера колесных пар по ходу движения вагона

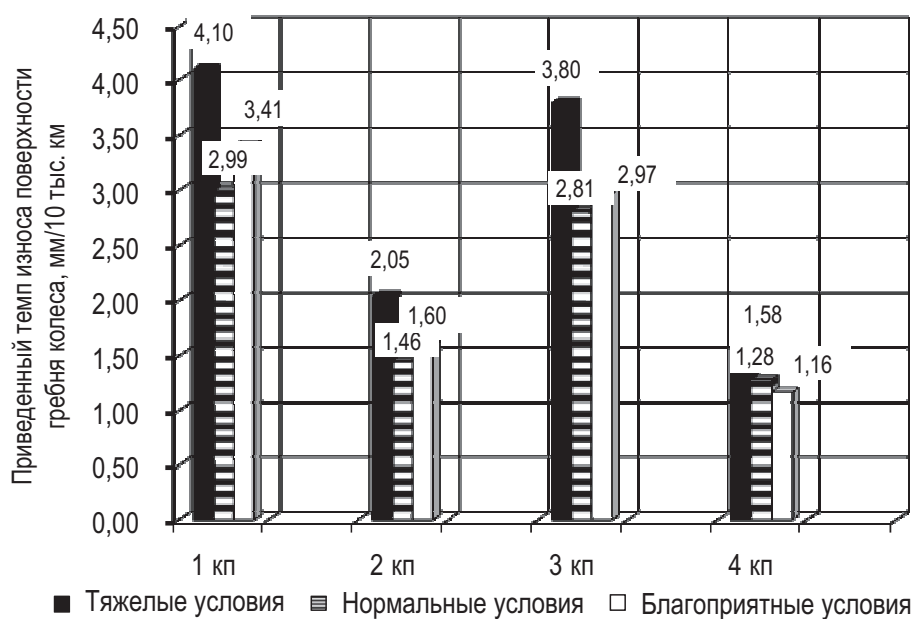


Рис. 4. Диаграмма приведенного темпа износа гребней колес вагона в зависимости от условий эксплуатации

сти катания и гребня колеса, соответственно, отдельно для каждой колесной пары при движении вагона в различных условиях.

Анализ диаграмм приведенного темпа износа поверхностей катания и гребня показал, что наибольший темп износа характерен для

перовой колесной пары при тяжелых условиях эксплуатации и составляет 1,42 мм/10 тыс. км для поверхности катания и 4,1 мм/10 тыс. км – для гребня колеса.

Кроме износа и темпа износа колес грузового вагона для каждой колесной пары оценивали площади пятен контакта колеса с рель-

сом и мощность сил трения в них при проходе вагона по кривым различного радиуса (пробег вагона составлял 25–50 тыс. км для различных расчетных случаев). На рис. 5, 6 представлены результаты расчета средней площади пятна контакта колеса с рельсом (для поверхности катания и гребня, соответственно) в зависимо-

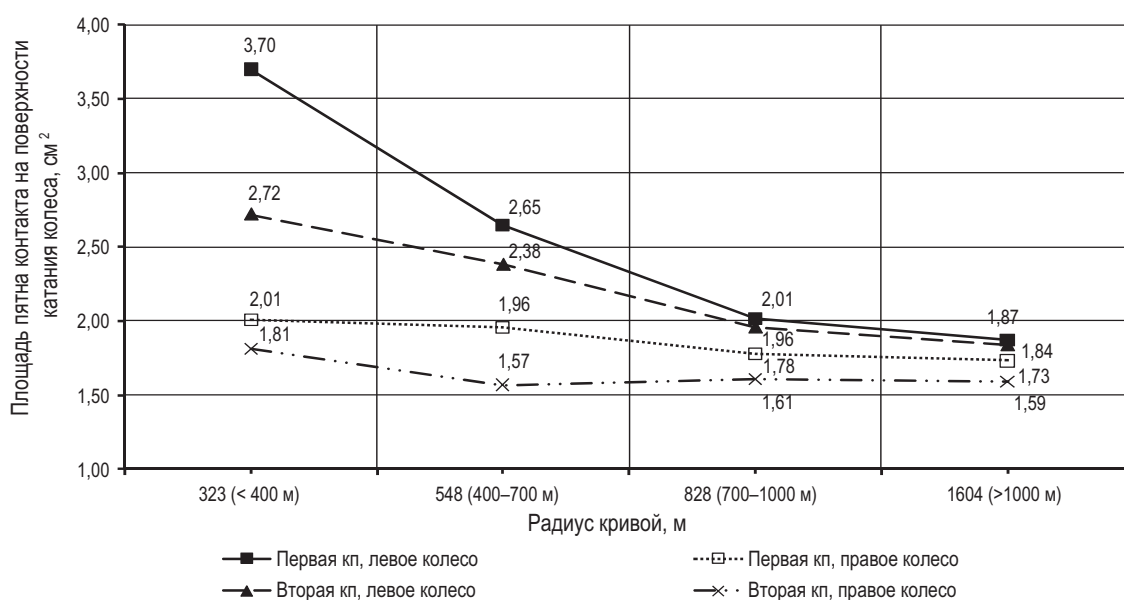


Рис. 5. Площадь пятна контакта на поверхности катания колеса в зависимости от радиуса кривой

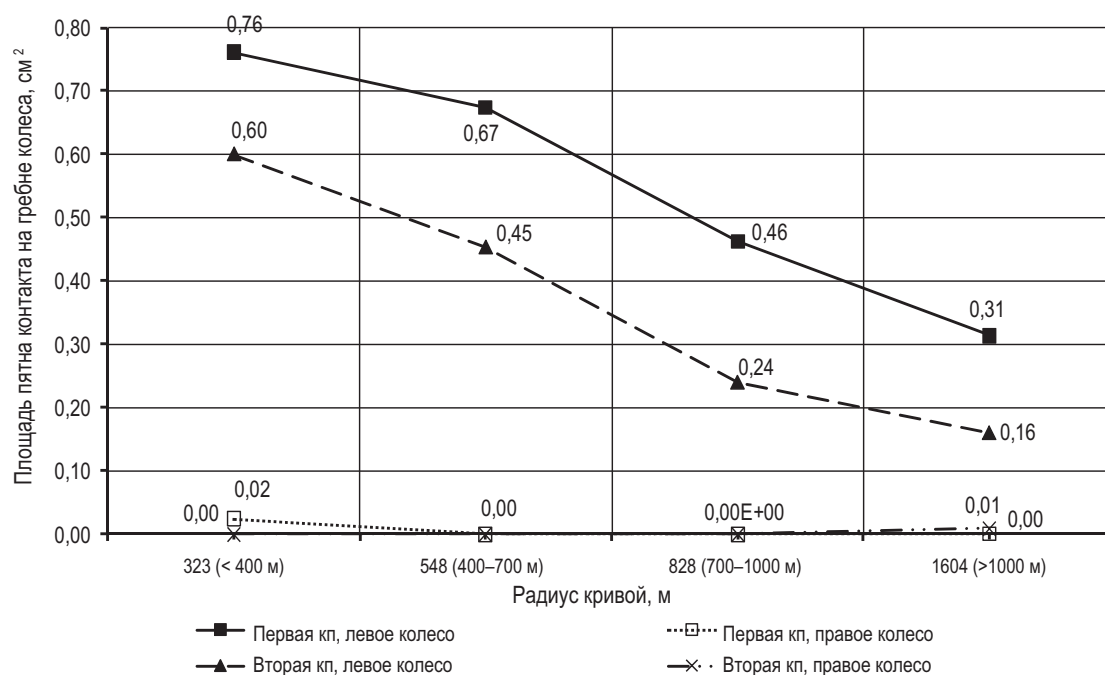


Рис. 6. Площадь пятна контакта на гребне колеса в зависимости от радиуса кривой

сти от радиуса кривой при следовании вагона в тяжелых условиях (наибольшие полученные площади пятен контакта из всех рассматриваемых условий). Максимальная площадь пятна контакта соответствует кривой малого радиу-

са (323 м) и составляет $3,7 \text{ см}^2$ по поверхности катания и $0,76 \text{ см}^2$ по гребню.

На рис. 7, 8 представлены результаты расчета приведенной по участкам пути с различными радиусами средней мощности сил трения

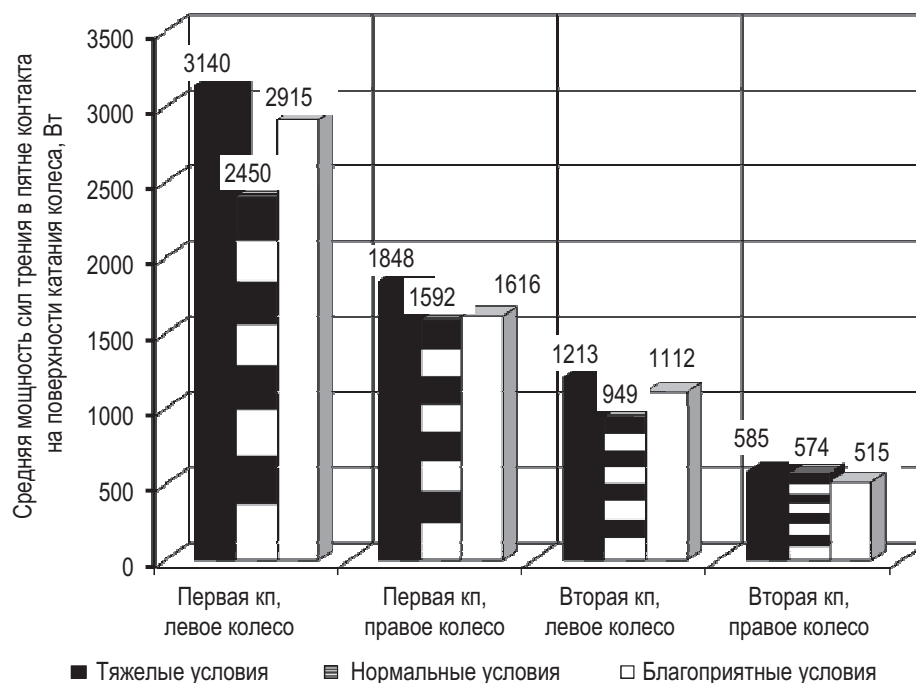


Рис. 7. Зависимость средней мощности сил трения в пятне контакта на поверхности катания колеса от условий эксплуатации

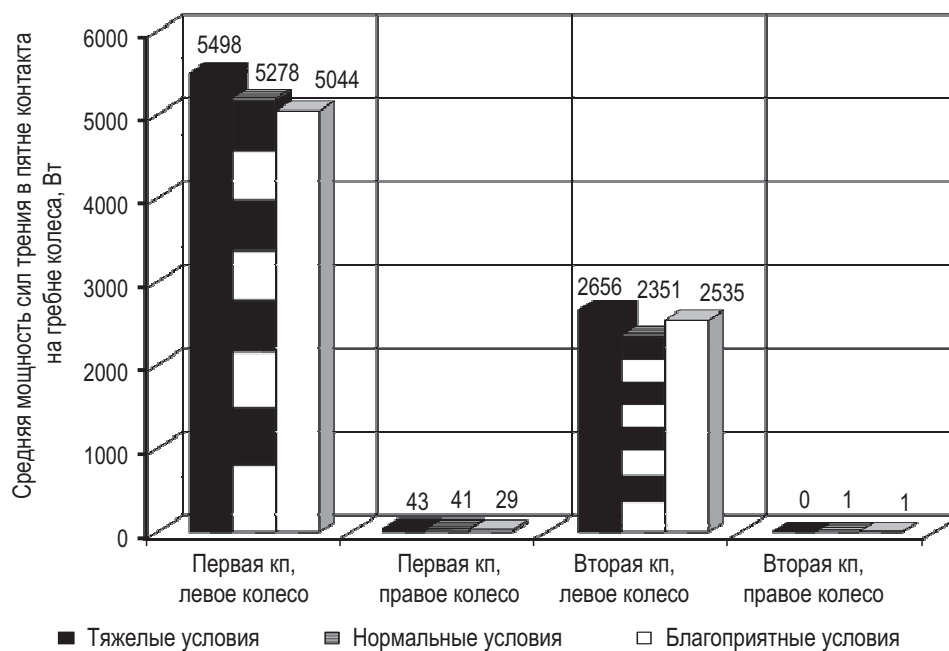


Рис. 8. Зависимость средней мощности сил трения в пятне контакта на гребне колеса от условий эксплуатации

и псевдоскольжения в пятне контакта колеса с рельсом (для поверхности катания и гребня, соответственно) при следовании вагона в различных условиях.

Анализ результатов расчета площадей контакта и мощностей сил трения позволил установить, что среднее значение площади пятна контакта на поверхности катания и на гребне колеса для тяжелых условий составило $2,56 \text{ см}^2$ и $0,35 \text{ см}^2$, соответственно, для нормальных – $2,23 \text{ см}^2$ и $0,19 \text{ см}^2$, для благоприятных – $2,51 \text{ см}^2$ и $0,37 \text{ см}^2$. Максимальные средние значения мощности сил трения и псевдоскольжения на поверхности колеса для тяжелых условий составили $3,14 \text{ кВт}$, для нормальных – $2,45 \text{ кВт}$, для благоприятных – $2,92 \text{ кВт}$. Максимальные средние значения мощности сил трения на гребне колеса для тяжелых условий составили $5,50 \text{ кВт}$, для нормальных – $5,28 \text{ кВт}$, для благоприятных – $5,04 \text{ кВт}$.

Полученные данные могут быть использованы в дальнейших работах по моделированию контактов колес грузовых вагонов с рельсами Р65 на машинах трения (отдельно гребней с боковой гранью головки рельса и поверхностей катания с головкой рельса) в различных эксплуатационных условиях.

Заключение

Методом математического моделирования движения универсального груженого полувагона на тележках модели 18–100 по криволинейным участкам пути, соответствующим различным эксплуатационным условиям, определены параметры контактного взаимодействия колес по ГОСТ 10791 с рельсами Р65:

- приведенный по участкам пути различных радиусов темп износа поверхности катания колеса составил от $1,42 \text{ мм}/10 \text{ тыс. км}$ до $0,17 \text{ мм}/10 \text{ тыс. км}$ в зависимости от расположения колесной пары в тележке (первая/вторая по ходу движения) и условий эксплуатации вагона (тяжелые, нормальные и благоприятные);

- приведенный темп износа гребня колеса составил от $4,10 \text{ мм}/10 \text{ тыс. км}$ до $1,16 \text{ мм}/10 \text{ тыс. км}$;

- средняя площадь пятна контакта составила до $0,37 \text{ см}^2$ на поверхности катания и $2,56 \text{ см}^2$ гребне колеса;

- максимальные средние значения мощности сил трения составили $3,14 \text{ кВт}$ на поверхности катания и $5,50 \text{ кВт}$ на гребне колеса.

Полученные данные могут быть использованы при подборе параметров роликов на машинах трения в целях моделирования контактов колес вагонов с рельсами Р65 в различных эксплуатационных условиях.

Библиографический список

1. Воробьев А. А. Сопоставление территориальных филиалов ОАО «РЖД» по условиям эксплуатации колесных пар подвижного состава / А. А. Воробьев, О. А. Конограй // Новые материалы и технологии в машиностроении : сб. науч. трудов по итогам междунар. науч.-технич. конф. / под общ. ред. Е. А. Панфилова. – Брянск : БГИТА, 2015. – Вып. 21. – С. 98–107.
2. ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатанные. Технические условия (введ. 01.01.2012). – М. : Стандартинформ, 2011. – 33 с.
3. Захаров С. М. Анализ влияния параметров экипажей и пути на интенсивность износа в системе колесо – рельс (на основе полного факторного численного эксперимента) / С. М. Захаров, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов // Вестн. ВНИИЖТ. – 2010. – № 2. – С. 31–35.
4. Захаров С. А. Влияние радиуса кривых на характеристики взаимодействия колеса и рельса / С. А. Захаров, И. А. Жаров // Устройство содержания пути и подвижного состава при тяжеловесном и скоростном движении поездов. Колесо – рельс : сб. науч. трудов науч.-практич. конф. ОАО «ВНИИЖТ». – М. : ИНТНКТ, 2008. – 240 с.
5. Орлова А. М. Требования к динамическим качествам грузовых вагонов и методы их подтверждения : учеб. пособие / А. М. Орлова, В. С. Лесничий, Е. А. Рудакова и др. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – 37 с.

6. Приказ № 41 от 12.11.2001 «Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта». – М. : Транспорт, 2001. – 126 с.
7. РД 32.68-96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов (введ. 01.01.1997). – М., 1996. – 17 с.
8. Рожкова Е. А. Анализ влияния ширины колеи, уширений в кривых и возвышений наружных рельсов на показатели износов гребней колес (мощности сил трения между гребнем и рельсом) / Е. А. Рожкова, В. В. Закирова // Проблемы трансферта современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт : материалы междунар. науч.-практич. конф., Чита, 13–14 окт. 2011 / Забайкальский ин-т ж.-д. трансп. и др. – Чита : ЗаБИЖТ, 2011. – С. 104–108.
9. Саидова А. В. Совершенствование прогнозирования износа профилей колес грузовых вагонов : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Саидова ; ПГУПС. – СПб., 2013. – 121 с.
10. Черкашин Ю. М. Анализ влияния параметров экипажа и пути на показатели, определяющие безопасность движения / Ю. М. Черкашин, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов // Вестн. ВНИИЖТ. – 2010. – № 2. – С. 3–9.
11. Archard J. F. Elastic deformation and the laws of friction // Proc. Royal Society. – L, 1957. – Ser. A243. – P. 190–205.
12. MEDYNA / Arge Care, Computer Aided Railway Engineering : Руководство пользователя / под ред. Ю. П. Бороненко. – СПб. : НБЦ «Вагоны», 1997.
13. Szabó A., Zobory I. On Deterministic and Stochastic Simulation of Wheel and Rail Profile Wear Process // Periodica Polytechnica, Transp. Eng. ; Tech. Univ. Budapest, 1998. – Vol. 26.

УДК 625.111

Х. К. Умаров, Е. С. Свинцов

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИМИТИРУЮЩЕГО ПЕРЕГОНА ЛИНИИ АНГРЕН – ПАП

Непрерывное развитие промышленности, сельского хозяйства республики Узбекистан, увеличение объемов капитального строительства, освоение природных богатств в новых необжитых районах, укрепление экономических отношений с Ферганской долиной вызывает постоянный рост размеров перевозок. Это требует дальнейшего усиления мощности сети железных дорог страны, в частности линии Ангрен – Пап, с позиций увеличения пропускной способности.

Предлагается вариант по увеличению пропускной способности лимитирующего перегона линии Ангрен – Пап. Организация безостановочного скрещения – как правило, этап усиления мощности однопутной железной дороги по мере увеличения интенсивности движения.

Линия Ангрен – Пап, пропускная способность, безостановочное скрещение поездов, двухпутная вставка.

До распада Советского Союза транспортное сообщение Республики Узбекистан со своими восточными участками (Ферганской долиной)

было возможно только через территорию соседнего государства Таджикистан (линии Бекабад – Коканд). Однако после распада СССР в

1991 г. границы нынешних государств разделили многие железнодорожные линии, что потребовало заключения соглашений между странами, главным образом, для местных перевозок. Постоянные проблемы задержки и тарифные ставки транзита при прохождении, например через территорию Таджикистана, снизили использование железнодорожного транспорта до минимума и наконец вовсе остановили его в 2001 г. [1, с. 41, 42; 5].

В настоящее время внутренняя транспортная связь Ферганской долины с остальными регионами Узбекистана осуществляется единственной автомобильной трассой между Ташкентской областью и Папским районом Наманганской области через перевал Камчик. В зимнее время из-за угрозы схода лавин автотрасса на данном участке периодически закрывается (рис. 1).

Нынешняя автомобильная трасса не справляется с непрерывно растущим объемом грузоперевозок между Ферганской долиной и остальными регионами республики, т. е. не удовлетворяет потребности народного хозяйства и населения. В связи с этим в 2013 г.

правительство Узбекистана приняло решение о строительстве однопутной электрифицированной железной дороги Ангрен – Пап протяженностью 124,14 км, соединяющей Ферганскую долину с остальной частью страны. Сдача линии в эксплуатацию запланирована в 2016 г., после чего железные дороги страны будут объединены в общую сеть [4]. Следует отметить, что Ферганская долина занимает удобное географическое положение, что требует наличия связи с таким важным партнером, как Китай (через Кыргызстан).

Развитие транспортного сектора экономики имеет особое значение для Узбекистана из-за обширной территории и неравномерного распределения ресурсов, поэтому объединение сети железных дорог весьма актуально.

Строящаяся железнодорожная линия Ангрен – Пап состоит из 7 перегонов протяженностью от 13 до 24 км. Проект предусматривает строительство тоннеля протяженностью 19 км на третьем перегоне ст. Сардала – Разъезд 2. Тоннель стоимостью 432,25 млн дол. проектировала и строит китайская компания; немецкая компания DB International GmbH



Рис. 1. Полигон железнодорожной сети Республики Узбекистан и соседних стран

оказывает консалтинговые услуги в рамках проекта «Проектирование, строительство, доставка, монтаж, обучение специалистов и сдача в эксплуатацию железнодорожного тоннеля».

Анализ проекта строящейся линии Ангрэн – Пап

Протяженность кривых из общей длины линии Ангрэн – Пап составляет 44,19 км (36%), в том числе 13,74 км (11,2%) кривых радиусом 300 м; протяженность напряженного хода с уклоном двойной тяги – 34,83 км. Применение в плане криволинейных участков позволяет уменьшить объем работ и стоимость строительства. Эта цель достигается в основном за счет уменьшения радиусов кривых. В этом состоит важное преимущество кривых малых радиусов. В то же время кривые малых радиусов ухудшают ряд эксплуатационных и строительных показателей.

Принятый проект на строительство линии Ангрэн – Пап имеет некоторые эксплуатационные недостатки. Один из наиболее серьезных – необходимость снижения скорости движения поездов, что приводит к увеличе-

нию времени хода, к задержке пассажиров и грузов, замедлению оборота локомотивов и вагонов, потере кинетической энергии при торможении и дополнительным затратам электроэнергии (топлива) для последующего набора скорости. Тяговые расчеты показали, что установленные допустимые скорости на участках спроектированного пути во многих случаях необоснованно занижены из-за отступлений параметров плана участка, выраженных затяжными крутыми уклонами с радиусом 300 м на перегонах.

Строящийся тоннель по проекту имеет двускатное очертание (+20; 10; 5,4 и –5,5‰). Расстояние от ст. Сардала до начала тоннеля составляет 3,2 км с максимальным уклоном 25‰, от конца тоннеля до Разъезда 2 – 1,3 км с максимальным уклоном 26‰. Начало тоннеля со стороны ст. Сардала имеет крутой уклон (25‰), что не дает поезду достичь расчетной скорости (рис. 2).

Возможное усиление мощности перегона ст. Сардала – Разъезд 2

По проекту на перегоне ст. Сардала – Разъезд 2 предполагаются грузовые перевозки в

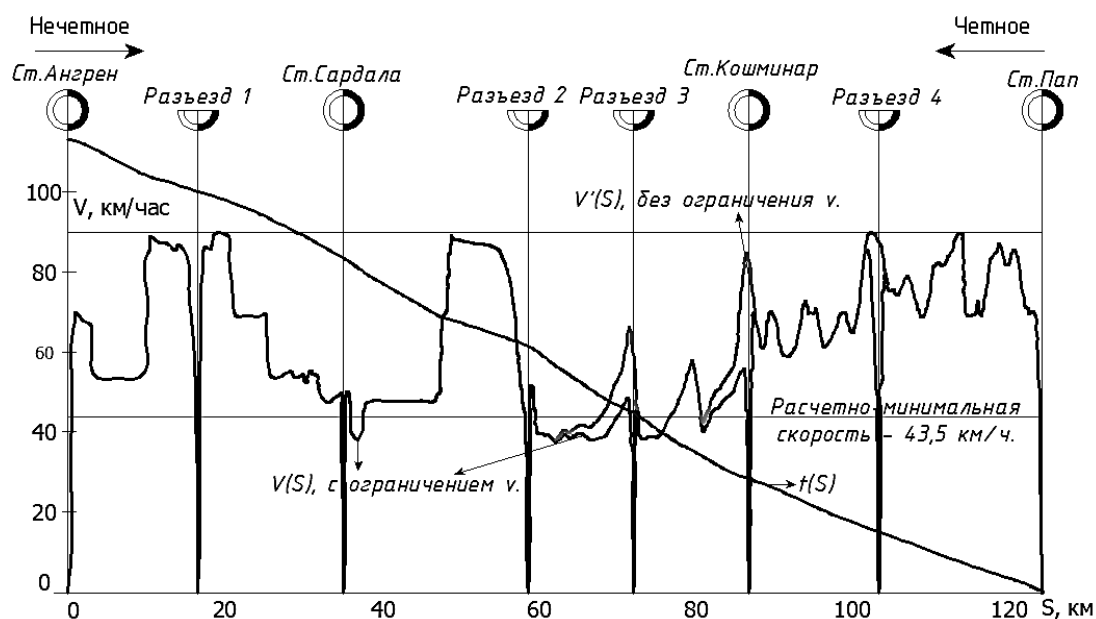


Рис. 2. Диаграммы скоростей грузовых поездов на линии Ангрэн – Пап

количестве 21 пара поездов в сутки. Очевидно, что усиление мощности перегона необходимо в перспективе, а это в проекте линии Ангрэн – Пап не учтено. Увеличение мощности перегона ст. Сардала – Разъезд 2 в перспективе – мероприятие сложное и дорогостоящее.

Для организации безостановочного скрещения необходим двухпутный участок достаточно большого протяжения (не менее 4–5 км), что требует значительных капиталовложений, поэтому безостановочное скрещение вводится, как правило, в качестве этапа усиления мощности однопутной железной дороги по мере увеличения интенсивности движения. При этом наряду с двухпутными участками, образованными путем удлинения одного из станционных путей, как правило, для существенного увеличения пропускной способности линии сооружают двухпутные вставки (рис. 3).

Введение безостановочного скрещения поездов позволяет увеличить пропускную способность участка (перегона) в 1,5–1,7 раза и повысить участковую скорость на 40–60 % [2], снизив тем самым потребное количество локомотивов, вагонов, локомотивных бригад и т. д.

Рассмотрим аналитический метод определения длины двухпутного участка безостановочного скрещения поездов.

Как видно из рис. 3, при расчете длины участка скрещения ($L_{уч.с}$) фиксируют три положения поездов:

I – момент, когда середина нечетного поезда находится на оси безостановочного скрещения (ОБС), а четный еще не вступил на участок скрещения;

II – хвост четного поезда за предельным столбиком входной стрелки и не достиг изолирующего стыка, т. е. не освободил перегон. В этот момент голова нечетного поезда должна находиться от выходного сигнала нечетного направления на расстоянии, равном длине тормозного пути $l_{т.нч}$ с учетом дополнительного расстояния ($l_{доп}$), эквивалентного времени, необходимого для установки маршрута и открытия выходного сигнала, т. е. $l_{доп} = 16,7V_{нч} \times t_m + l_{т.нч}$; здесь t_m – время подготовки маршрута, $l_{т.нч}$ – длина тормозного пути нечетного поезда (определяется тяговыми расчетами);

III – момент, когда середина четного поезда находится на ОБС.

Из изложенного ясно, что за время от I до II положения нечетный поезд проходит расстояние L_1 :

$$L_1 = L_{р.нч} - \left(\frac{t_m}{2} + 16,7V_{нч} \cdot t_m + l_{т.нч} \right), \text{ м, (1)}$$

где $L_{р.нч}$ – расстояние от ОБС до выходного сигнала в нечетном направлении; $V_{нч}$ – скорость движения нечетного поезда от ОБС до выходного светофора, км/ч; t_m – время формирования маршрута (при автоблокировке со-

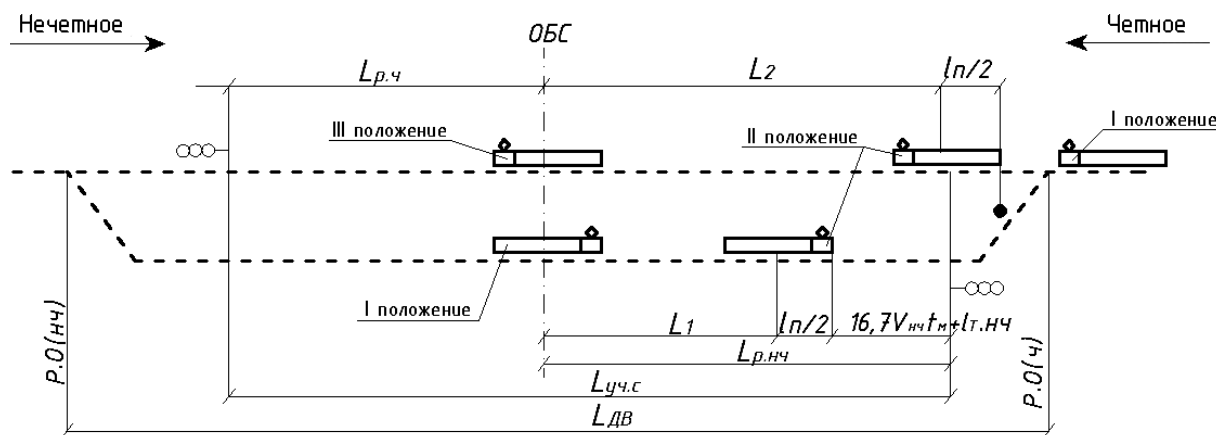


Рис. 3. Схема участка безостановочного скрещения поездов на перегоне: РО (нч), РО (ч) – расчетные оси (начало) двухпутного участка нечетного и четного направлений, соответственно

ставляет 0,2–0,3 мин); $l_{т.нч}$ – расчетная длина тормозного пути, затратив время

$$t_1 = \frac{L_1}{16,7 \cdot V_{нч}}, \text{ мин.} \quad (2)$$

Если обозначить время хода поезда между II и III положениями t_2 , мин, и принять, что предельный столбик входной стрелки и выходной сигнал размещены в одном сечении, то получим:

$$t_2 = \frac{L_2}{16,7 \cdot V_{вх.ч}} = \frac{L_{р.нч} - \frac{l_{п.ч}}{2}}{16,7 \cdot V_{вх.ч}}, \text{ мин,} \quad (3)$$

где $l_{п.ч}$ – длина поезда, м; L_2 – расстояние между II и III положениями поезда, движущегося в четном направлении.

Сумма $(t_1 + t_2)$, мин, характеризует величину разновременности прибытия поездов:

$$\begin{aligned} t_{\text{разн}} &= t_1 + t_2 = \\ &= \frac{L_{р.нч} - (\frac{l_{п.ч}}{2} + 16,7 \cdot V_{нч} \cdot t_{\text{м}} + l_{т.нч})}{16,7 \cdot V_{нч}} + \\ &+ \frac{L_{р.нч} - \frac{l_{п.ч}}{2}}{16,7 \cdot V_{нч}}, \text{ мин.} \end{aligned} \quad (4)$$

Решив полученное уравнение относительно $L_{р.нч}$, имеем:

$$\begin{aligned} L_{р.нч} &= \frac{l_{п.ч}}{2} + \\ &+ \frac{16,7(t_{\text{разн}} + t_{\text{м}})V_{нч} \cdot V_{вх.ч} + l_{т.нч} \cdot V_{вх.ч}}{V_{нч} + V_{вх.ч}}, \text{ м,} \end{aligned} \quad (5)$$

а $L_{р.ч}$ определим по формуле

$$\begin{aligned} L_{р.ч} &= \frac{l_{п.ч}}{2} + \\ &+ \frac{16,7(t_{\text{разн}} + t_{\text{м}})V_{ч} \cdot V_{вх.нч} + l_{т.ч} \cdot V_{вх.нч}}{V_{нч} + V_{вх.ч}}, \text{ м.} \end{aligned} \quad (6)$$

Длина участка скрещения (расстояние между выходными сигналами)

$$L_{\text{уч.с}} = L_{р.нч} + L_{р.ч}, \text{ м,} \quad (7)$$

где $L_{р.ч}$, $L_{р.нч}$ – расстояние от ОБС до выходного сигнала в четном и нечетном направлениях, соответственно,

а полная длина двухпутной вставки с учетом длины горловин

$$L_{\text{дв}} = L_{\text{уч.с}} + L_{\text{г}}, \text{ м,} \quad (8)$$

где $L_{\text{уч.с}}$ – длина участка безостановочного скрещения поездов четного и нечетного направлений; $L_{\text{дв}}$ – полная длина двухпутной вставки с учетом горловин; $L_{\text{г}}$ – длина горловины.

Меры усиления перегона

Расстояние от ОБС до выходного сигнала в четном и нечетном направлениях на перегоне ст. Сардала – Разъезд 2:

$$\begin{aligned} L_{р.нч} &= \frac{651}{2} + \\ &+ \frac{16,7(3 + 0,2) \cdot 50 \cdot 40 + 1200 \cdot 40}{50 + 40} = \\ &= 2046,4 \text{ м;} \\ L_{р.ч} &= \frac{651}{2} + \\ &+ \frac{16,7(3 + 0,2) \cdot 40 \cdot 50 + 1200 \cdot 50}{50 + 40} = \\ &= 2179,7 \text{ м.} \end{aligned}$$

Длина участка скрещения (расстояние между выходными сигналами) определяется по формуле (7):

$$L_{\text{уч.с}} = 2046,4 + 2179,7 = 4226,1 \text{ м.}$$

Длина двухпутной вставки с учетом длины горловин на перегоне ст. Сардала – Разъезд 2 определяется по формуле (8):

$$L_{\text{дв}} = 4226,1 + 2 \cdot 39,063 = 4304,23 \text{ м.}$$

На участке безостановочного скрещения поездов необходимо уложить второй путь, два стрелочных перевода. На рис. 4 приведены итоговые результаты увеличения пропускной способности перегона ст. Сардала – Разъезд 2.

Таким образом, при безостановочном скрещении поездов на одном из раздельных пунктов пропускная способность перегона в парах поездов (рис. 5) составит, согласно [3],

$$n = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_n}{t' + t'' + \tau_{\text{бс}}}, \text{ пар поездов / сут}; \quad (9)$$

$$n = \frac{(1440 - 90) \cdot 0,95}{17,0 + 18,5} = 36 \text{ пар поездов / сут},$$

где $t_{\text{техн}}$ – технологические окна, на основе статистических данных $t_{\text{техн}}$ на однопутных линиях принимается равным 90 мин; α_n – коэффициент надежности с учетом отказов подвижного состава. В целом коэффициент надежности при расчете наличной пропускной способности принимается на электрифицированных однопутных линиях 0,95; t' и t'' – время хода поездов в нечетном и четном направлениях между осями остановочного и безостановочного скрещения, соответственно, с учетом разгона и замедления при остановках и снижениях скорости, мин; $\tau_{\text{бс}}$ – интервал безостановочного скрещения поездов на расчетной оси.

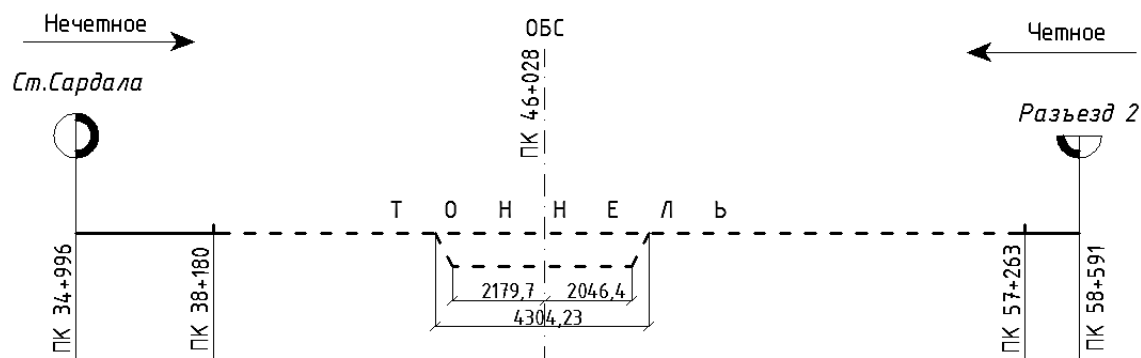


Рис. 4. Результаты увеличения пропускной способности перегона ст. Сардала – Разъезд 2

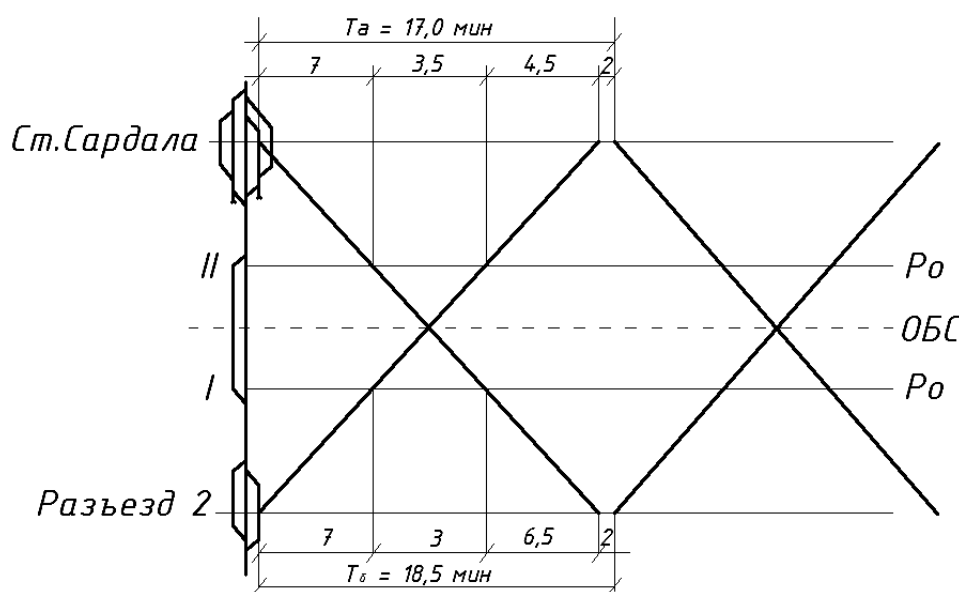


Рис. 5. Организация движения поездов при наличии двухпутной вставки на перегоне ст. Сардала – Разъезд 2

Количество грузовых поездов на участках с преимущественным грузовым движением определяется по формуле

$$n_{гр} = n - n_{пс} \cdot \epsilon_{пс} - n_{сб}(\epsilon_{сб} - 1), \quad (10)$$

пар поездов/сут,

$$n_{гр} = 36 - 2 \cdot 1,7 - 1 \cdot (1,8 - 1) = 32$$

пар поездов/сут,

где n – пропускная способность участка; $\epsilon_{пс}$, $\epsilon_{сб}$ – коэффициент съема для пассажирских и сборных грузовых поездов, соответственно, $\epsilon_{пс} = 1,7$; $\epsilon_{сб} = 1,8$; $n_{пс}$, $n_{сб}$ – размеры движения (поездов, пар поездов) различных категорий, пассажирских и сборных поездов, соответственно, $n_{пс} = 2$; $n_{сб} = 1$.

На перегоне ст. Сардала – Разъезд 2 устройство двухпутной вставки позволит организовать безостановочное скрещение поездов, повысить количество грузовых поездов на участках на 11 пар в сутки.

Заключение

Овладение перевозками предполагается на перегоне ст. Сардала – Разъезд 2 путем строительства двухпутной вставки. На этом перегоне устройство двухпутных вставок позволит организовать безостановочное скрещение поездов и тем самым повысить пропускную способность однопутной линии. Это наибо-

лее экономичный вариант развития линии, так как требует менее значительных капитальных вложений, чем строительство второго пути на перегоне. Если он будет выполнен во время реализации основного проекта, это будет экономически на 20–25 % выгоднее, чем строительство рассматриваемого перегона в перспективе.

Библиографический список

1. Бизнес-план ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» на 2012 год.
2. Савченко И. Е. Железнодорожные станции и узлы / И. Е. Савченко, С. В. Зембликов, И. И. Страковский. – М. : Транспорт, 1973.
3. Свинцов Е. С. Комплексный проект реконструкции (модернизации) железной дороги. Ч. I. Подготовка исходной информации к разработке проекта модернизации и усиления мощности эксплуатируемых железных дорог : учеб. пособие / Е. С. Свинцов, О. Б. Суровцева, В. С. Меркушева ; под ред. Е. С. Свинцова. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 113 с.
4. Строительство новой электрифицированной железнодорожной линии Ангрен – Пап : предварительное технико-экономич. обоснование. Пояснит. записка. – Ташкент, 2012. – 500 с.
5. Умаров Х. К. Строительство железнодорожной линии Ангрен – Пап и ее роль в формировании сети железных дорог республики Узбекистан / Х. К. Умаров, Е. С. Свинцов // Изв. ПГУПС. – 2014. – Вып. 4 (41). – С. 80–86.



УДК 539.421

Е. Р. БогдановаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОНА,
ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННОГО СИНТЕТИЧЕСКОЙ
ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ФИБРОЙ**

Представлены результаты экспериментальных исследований четырех партий опытных образцов бетона, дисперсно армированных синтетической полипропиленовой фиброй. Оценены прочностные характеристики бетона с различным массовым содержанием фибры. Построены графики «нагрузка – СМОД». Проведен сравнительный анализ полученных результатов, в ходе которого выявлено наиболее рациональное содержание фибры по массе. Обозначена проблема снижения прочностных характеристик опытных образцов при перearмировании фиброй.

Дисперсное армирование, фибробетон, полипропиленовая фибра, экспериментальное исследование.

В начале XX в. впервые возникла идея дисперсного упрочнения бетона рубленым канатом. Упразднение трудоемких арматурных и сварочных работ, уменьшение массы конструкции делает идею дисперсного армирования бетона при производстве строительных конструкций весьма привлекательной и перспективной. Во многих странах ведется активная научно-исследовательская деятельность в отношении свойств дисперсно армированного бетона, фибробетон широко применяется при облицовке тоннелей, возведении фундаментов под оборудование динамического действия, в дорожном строительстве.

Широкое распространение при изготовлении фибробетона получили три вида армирующих волокон: отрезки тонкой стальной проволоки, стекловолокна и синтетические волокна на основе полипропилена. Последние относятся к так называемому низко модульному типу волокон, характеризующихся повышенной деформативностью. Однако высокая

химическая стойкость синтетического волокна в щелочной среде сохраняет перспективность применения данного типа волокон при армировании бетона. Установлено, что синтетические волокна не увеличивают прочностные характеристики бетона при статическом нагружении, однако улучшают сопротивление материала при ударных нагрузках, например, повышают сопротивление бетона раздроблению и сколу при взрыве [6].

В ИЛ «Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского» [4, 5] проведено комплексное исследование образцов бетона и опытных образцов бетона с содержанием по массе полипропиленовой фибры Durus S400 (длиной 55 мм) 3,5; 5 и 7,5 кг/м³ для определения оптимального содержания фибры по массе (рис. 1). Опытные образцы фибробетона испытаны на четырехточечный изгиб для определения максимального напряжения при изгибе, на трехточечный изгиб, для установления остаточной прочности на растяжение при



Рис. 1. Фибра полипропиленовая Durus S400

изгибе, на истираемость. В задачи исследования входило получение экспериментальных данных и анализ результатов.

Определение остаточной прочности при раскрытии трещин

Для определения одного из основных показателей качества фибробетона – остаточной прочности на растяжение при изгибе испытаны четыре комплекта призм по методике СТО НОСТРОЙ ФБТК-2013 [7]: № 1 – бетон, № 2 – фибробетон с концентрацией полимерной фибры $3,5 \text{ кг/м}^3$, № 3 – фибробетон с концентрацией полимерной фибры 5 кг/м^3 , № 4 – фибробетон с концентрацией полимерной фибры $7,5 \text{ кг/м}^3$. В исследованиях для всех образцов

использовали бетон класса В35 (определение класса бетона по прочности производили по ГОСТ 10180–2012 [2]). Образцы для испытаний представляют собой призмы размером $150 \times 150 \times 600 \text{ мм}$ с надрезом посередине (рис. 2). Ширина прорези составляет не более 5 мм , глубина $25 \pm 1 \text{ мм}$. Образец нагружали сосредоточенной нагрузкой на универсальной испытательной машине Instron™ модели SATEC™ грузоподъемностью 1200 кН . Схема нагружения образца и экспериментальная установка представлены на рис. 3.

Для замера величины перемещения внешних граней надреза (CMOD) на образец установили датчик перемещения C. O. D. Gauge Instron. Датчик монтируется по центру образца и надреза таким образом, чтобы расстояние между нижней частью образца и линией измерения составляло менее 5 мм , как показано на рис. 3. Испытания проводили до достижения $\text{CMOD} = 4 \text{ мм}$ либо до разрушения образца с разделением на две части. Результаты испытаний приведены в табл. 1, обработанные результаты – в виде графиков «нагрузка – CMOD» (рис. 4).

Результаты испытаний на четырехточечный изгиб

Испытания проводили по методике ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения

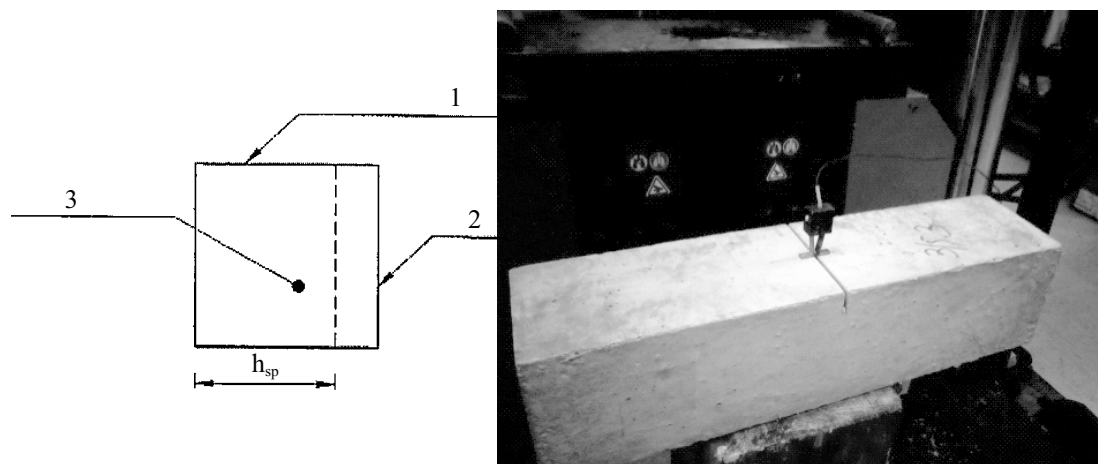


Рис. 2. Расположение надреза в испытательном образце:

1 – верхняя поверхность бетонирования; 2 – надрез; 3 – сечение испытательного образца

ТАБЛИЦА 1. Результаты испытаний на трехточечный изгиб

Марки- ровка образца	Остаточное сопротивление на растяжение при изгибе, Н/мм ²							Предел пропорцио- нальности (L _{OP}), Н/мм ²	Макси- мальная изгибаю- щая на- грузка, Н
	CMOD, мм								
	0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5		
Образцы бетона									
0.1	0,54	—	—	—	—	—	—	4,42	13 429,7
0.2	0,36	—	—	—	—	—	—	4,35	13 319,7
0.3	0,25	0,08	—	—	—	—	—	3,81	11 911,1
0.4	0,16	0,05	—	—	—	—	—	3,76	12 015,3
0.5	0,17	0,05	—	—	—	—	—	4,04	12 750,3
0.6	0,21	0,09	—	—	—	—	—	4,06	12 775,3
Среднее значе- ние	0,28	0,07						4,07	—
Образцы фибробетона, концентрация 3,5 кг/м ³									
3/5.1	1,26	1,23	1,17	1,16	1,12	1,10	1,09	3,81	12 100,6
3/5.2	0,90	0,97	1,04	1,09	1,10	1,10	1,11	3,95	12 122,6
3/5.3	1,05	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10	3,62	11 537,1
3/5.4	0,86	0,88	0,92	0,91	0,94	0,97	0,97	3,73	11 696,2
3/5.5	0,96	0,94	0,99	1,05	1,09	1,13	1,12	3,74	11 500,9
3/5.6	1,04	1,09	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	3,59	11 400,3
Среднее значе- ние	1,01	1,02	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	3,74	—
Образцы фибробетона, концентрация 5 кг/м ³									
5.1	0,96	0,92	0,94	0,97	0,99	0,99	0,94	3,92	12 388,9
5.2	1,75	1,85	1,95	2,03	2,10	2,14	2,15	4,83	15 425,9
5.3	1,81	1,84	1,92	2,00	2,07	2,12	2,16	3,83	12 317,8
5.4	1,42	1,41	1,46	1,45	1,44	1,44	1,46	4,25	13 530,7
5.5	1,44	1,48	1,55	1,58	1,62	1,68	1,74	4,02	12 611,7
5.6	1,24	1,23	1,25	1,28	1,32	1,34	1,31	4,40	13 929,5
Среднее значе- ние	1,44	1,46	1,51	1,55	1,59	1,62	1,63	4,21	—
Образцы фибробетона, концентрация 7,5 кг/м ³									
7/5.1	2,13	2,30	2,48	2,54	2,56	2,56	2,57	4,24	13 632,7
7/5.2	2,20	2,38	2,49	2,59	2,66	2,71	2,73	4,25	13 527,7
7/5.3	1,93	1,99	2,05	2,10	2,13	2,13	2,00	3,87	12 486,1
7/5.4	1,59	1,62	1,68	1,74	1,77	1,77	1,75	4,35	13 717,5
7/5.5	1,57	1,63	1,70	1,76	1,82	1,93	2,05	3,75	12 163,2
7/5.6	1,51	1,56	1,64	1,71	1,76	1,81	1,80	4,37	14 124,5
Среднее значе- ние	1,82	1,91	2,01	2,07	2,12	2,15	2,15	4,14	—

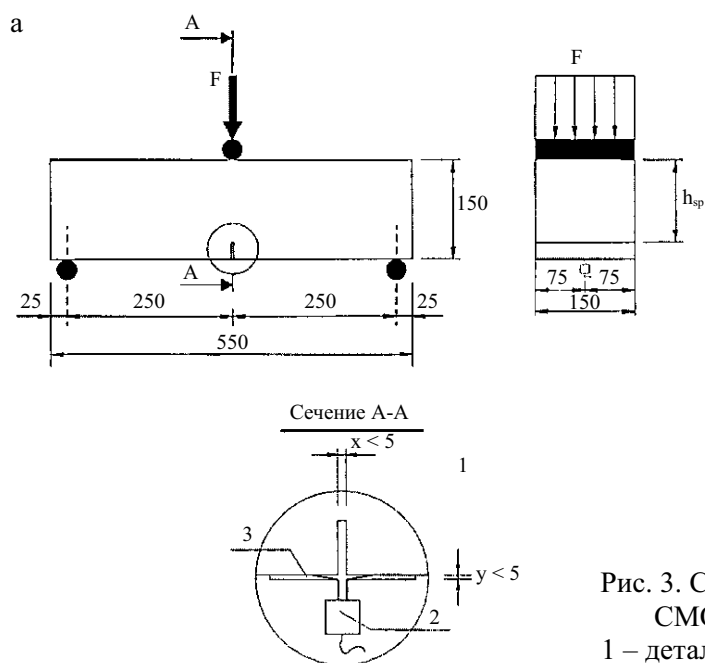
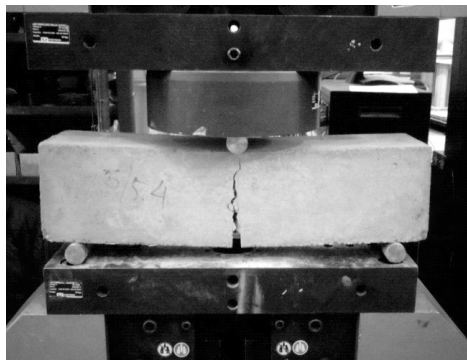
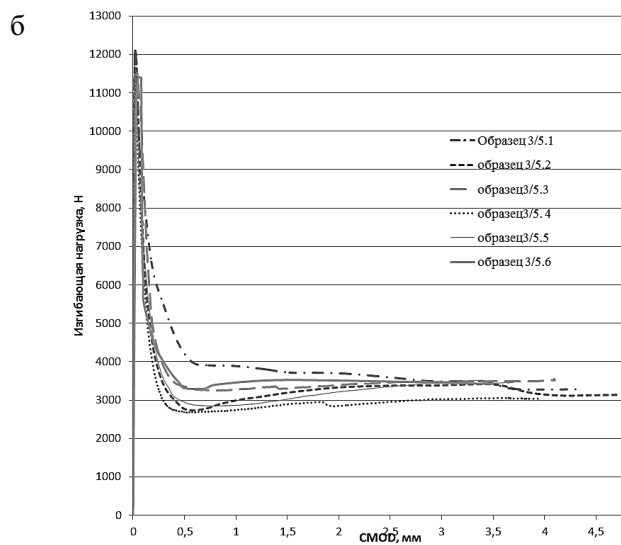
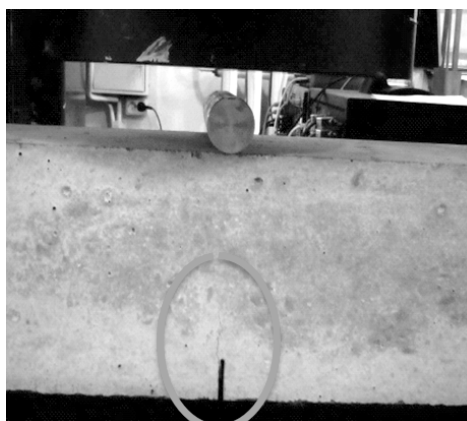
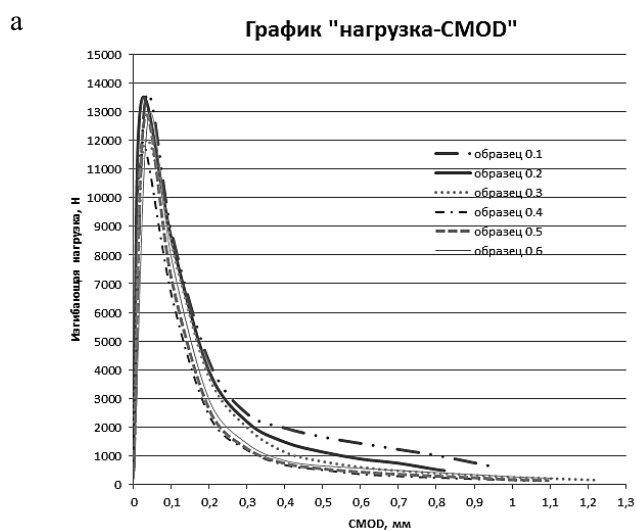
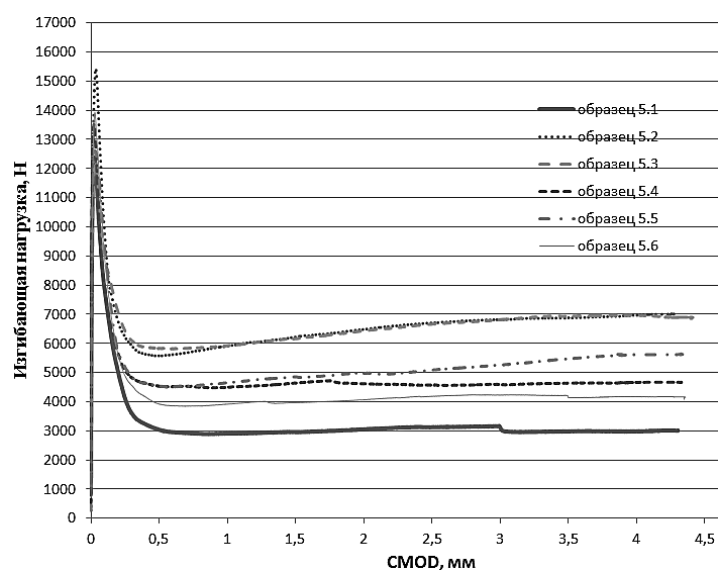


Рис. 3. Схема нагружения образца для измерения CMOD (а) и внешний вид установки (б):
1 – деталь (надрез), 2 – датчик, 3 – ребро призмы



В



Г

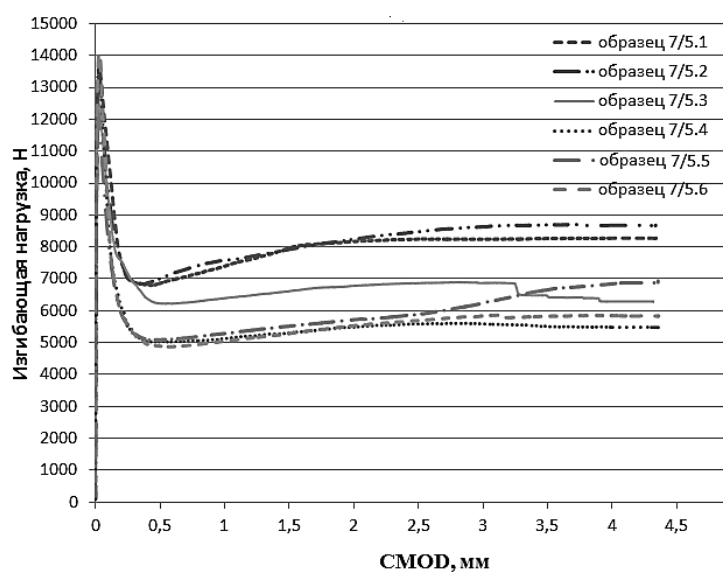


Рис. 4. Графики «нагрузка – CMOD»: а) образцы бетона; б–г) образцы фибробетона: при концентрации полимерной фибры 3,5 кг/м³ (б); 5 кг/м³ (в); 7,5 кг/м³ (г)

прочности по контрольным образцам» [2] на призматических образцах. Испытания проводили на испытательной машине AG-300. Вид

экспериментальной установки представлен на рис. 5. Результаты испытаний на четырехточечный изгиб сведены в табл. 2.



Рис. 5. Экспериментальная установка

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний на четырехточечный изгиб

Маркировка образца	Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	Расстояние между опорами, мм	Расстояние между нагрузками, мм	Разрушающая нагрузка, кН	Напряжение при изгибе, Н/мм ²	Среднее значение напряжения, Н/мм ²
Бетон							
0.1	101,3	98,6	300	100	14,573	4,321	4,16
0.2	100,5	99,	300	100	13,723	4,105	
0.3	98,8	99,5	300	100	14,164	4,375	
0.4	99,0	100,4	300	100	12,582	3,836	
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 3,5 кг/м ³							
3/5.1	99,2	100,8	300	100	12,147	3,674	3,64
3/5.2	99,3	100,6	300	100	11,491	3,475	
3/5.3	100,7	101,2	300	100	11,853	3,465	
3/5.4	98,4	101,0	300	100	12,851	3,942	
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 5 кг/м ³							
5.1	98,8	101,0	300	100	13,810	4,202	4,21
5.2	99,2	101,0	300	100	12,798	3,863	
5.3	99,0	100,6	300	100	14,316	4,356	
5.4	98,8	100,5	300	100	14,480	4,428	
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 7,5 кг/м ³							
7/5.1	99,5	100,3	300	100	12,953	3,913	4,02
7/5.2	99,0	100,1	300	100	13,339	4,079	
7/5.3	98,4	100,4	300	100	13,179	4,067	

Результаты испытаний на истираемость

Испытания на истираемость проводили в ИЦ «Прочность» по методике ГОСТ 13087-81 «Бетоны. Методы определения истираемости» [3] на кубических образцах на лабораторном круге истирания ЛКИ-3. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Выводы

Образцы дисперсно армированного бетона с низкомолекулярными полипропиленовыми волокнами не показали улучшения прочностных характеристик бетонной матрицы. Однако остаточное сопротивление растяжению при

изгибе фибробетонных образцов оказалось выше, чем у неармированных бетонных образцов. Ниспадающая ветвь на графике «нагрузка – СМОД» (см. рис. 4) для образцов фибробетона имеет пологий протяженный участок трещинообразования матрицы, что обусловлено процессом выдергивания фиброволокон из бетонной матрицы в сечении трещины в отличие от образца неармированного бетона с хрупким характером разрушения.

Результаты испытаний показали, что концентрация фибры по массе 5 кг/м^3 наиболее оптимальна. При содержании фибры по массе $7,5 \text{ кг/м}^3$ происходит переармирование образца, что приводит к понижению прочностных характеристик образцов и истираемости по сравнению с образцами с концентрацией фибры 5 кг/м^3 . Так, предел пропорциональности

ТАБЛИЦА 3. Результаты испытаний на истираемость

Маркировка образца	Истираемость, г/см ²	Средняя величина истираемо- сти, г/см ²
Бетон		
0.1	0,62	0,6
0.2	0,60	
0.3	0,45	
0.4	0,64	
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 3,5 кг/м ³		
3/5.1	0,77	0,8
3/5.2	0,79	
3/5.3	0,78	
3/5.4	0,79	
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 5 кг/м ³		
5.1	0,85	0,8
5.2	0,73	
5.3	0,77	
5.4	0,82	
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 7,5 кг/м ³		
7/5.1	0,70	0,7
7/5.2	0,66	
7/5.3	0,73	
7/5.4	0,68	

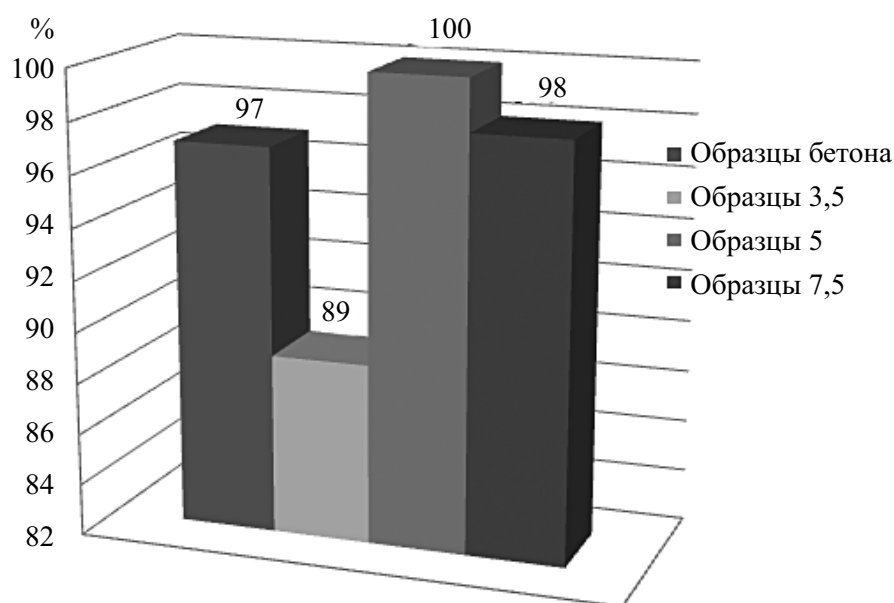


Рис. 6. Процентное соотношение предела пропорциональности образцов

для образцов с концентрацией фибры $7,5 \text{ кг/м}^3$ снизился на 2 % (рис. 6), истираемость для образцов с концентрацией фибры $7,5 \text{ кг/м}^3$ – на 12 %.

Библиографический список

1. Бенин А. В. Планирование эксперимента / А. В. Бенин, В. В. Гарбарук. – СПб. : ПГУПС, 2010. – 90 с.
2. ГОСТ 10180-2012. «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
3. ГОСТ 13087-81. «Бетоны. Методы определения истираемости».
4. Елизаров С. В. Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского. Страницы 155-летней истории / С. В. Елизаров, Ю. П. Каптелин, А. В. Бенин. – СПб. : ПГУПС, 2009. – 75 с.
5. Елизаров С. В. Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского (к 200-летию Петербургского государственного университета путей сообщения) / С. В. Елизаров, Ю. П. Каптелин, А. В. Бенин // Alma mater (Вестн. высш. шк.). – 2009. – № 9. – С. 58–64.
6. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции : моногр. / Ф. Н. Рабинович. – М. : АСВ, 2004. – 560 с.
7. СТО НОСТРОЙ ФБТК-2013 (проект документа).

УДК 656.25

П. Е. Булавский, Д. С. Марков, В. Б. СоколовПетербургский государственный университет путей сообщения
императора Александра I**МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПОРЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Описан метод динамического порционного моделирования (МПМД) в области технологических процессов обеспечения движения поездов. Разработана обобщенная формализованная схема (ОФС) описания ССМО, формализуемых с помощью МПМД для систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Приведены характеристики потока порций заявок, структурно-алгоритмическое и параметрическое отображение ССМО для МПМД. Предложена методика описания процессов обслуживания заявок в ОФС с использованием параллельных логических схем алгоритмов. Предложены концепция и средства построения МПМД-G в среде GPSS World.

Сложные системы массового обслуживания, порционное динамическое моделирование, обобщенная формализованная схема, параллельные логические схемы алгоритмов.

Математическая схема массового обслуживания является самым распространенным подходом к исследованию сложных дискретных процессов со случайными переменными методом имитационного моделирования (ИМ). Именно такой подход широко распространен в исследованиях перевозочного и технологических процессов обеспечения движения поездов на железнодорожном транспорте и метрополитене [4, 7]. Имитационное моделирование сложных систем массового обслуживания (ССМО) в области железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) выполнили сотрудники кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ПГУПС [1, 3].

В качестве заявок в ИМ рассматриваются единичные объекты, например, подвижные единицы, технические документы, информационные сообщения, электрические сигналы и т. п. Это позволяет получить оценки всего спектра операционных показателей ССМО, включая временные характеристики обслуживания заявок. Однако такой подход предполагает разработку сложных программных комплексов даже при использовании специализированных систем моделирования, таких

как GPSS World, и требует больших затрат машинного времени на имитационные исследования. В то же время множество ССМО имеют следующие свойства: отдельные заявки имеют малый вес в процессе обслуживания; количество заявок, поступающих на входы системы и находящихся в процессе обслуживания, велико и распределено неравномерно во времени; система обслуживания представляет собой сложную сеть с большим количеством разнородных обслуживающих устройств и накопителей; маршруты обслуживания заявок разнообразны и сложны. К системам такого класса относятся: железнодорожная сеть по перевозкам грузов и пассажиров; метрополитены по обслуживанию пассажиропотоков; системы технической диагностики и удаленного мониторинга устройств СЖАТ по обработке диагностических и измерительных сообщений; автоматизированные системы управления организационно-технологического типа в хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики (АСУ-Ш) по обработке информационных сообщений от линейных предприятий и т. п. Важнейшие задачи операционных исследований таких систем: определение

узких мест в процессе обслуживания заявок, оценка дефицита (профицита) емкостей накопителей и пропускной способности обслуживающих устройств с учетом плановых ремонтов и отказов, определение наличия и оценка характеристик очередей заявок. Решить эти задачи можно более эффективными методами формализации имитационных моделей, исключающими необходимость в программных средствах организации и ведения различных списков состояний заявок.

Основные положения

Авторы предлагают метод имитационного моделирования указанного класса систем, основанный на понятии «порция» заявок – метод порционного моделирования (МПМ) ССМО [6].

Порция – это совокупность заявок, поступающих в систему за заданный интервал времени, рассматриваемая как единый элемент P_i ; $i = \overline{1, I}$ потока, где i – индекс порции по расположению на оси времени от начала моделируемого периода. Для ССМО, как правило, $P_i = \sum p_{i,j}$; $j = \overline{1, J}$, где $p_{i,j}$ – порция заявок, поступивших за i -й интервал на j -й вход, а J – количество входов в систему.

В [6] предложена версия МПМ, основанная на расчете операционных характеристик ССМО по пропускным способностям устройств, действовавших в обслуживании заявок. Эта версия имеет следующие недостатки:

- не учитывает влияние результатов обслуживания порций P_i на процесс обслуживания порций P_{i+1} ;
- невозможно оценить временные характеристики процессов обслуживания заявок в ССМО.

Первый недостаток означает невозможность анализа операционных характеристик загрузки ССМО в динамике, так как для каждого периода ΔT_i процесс рассматривается как законченный и, следовательно, нет привязки к текущему времени t , что особенно важно при изучении систем с неравномерной во времени нагрузкой $\lambda_i = f(t)$.

Второй недостаток является скорее не недостатком, а свойством МПМ. Однако попытка учесть временные параметры обслуживания заявок на уровне порций $\tau_{i,j}^0$ представляется целесообразной, поскольку позволяет оценить не только операционные характеристики загрузки ССМО, но и – в какой-то степени – временные затраты на обслуживание заявок.

Следует отметить, что сформулированные задачи можно решить в рамках парадигмы МПМ, но с организацией ведения времени обслуживания порций $p_{i,j}$, что предполагает разработку динамической модели – МПМД.

Формализованная схема МПМД

Содержательное описание ССМО в [2] предложено выполнять на основе обобщенной формализованной схемы (ОФС), которая строго определяет состав и форму представления информации для синтеза ИМ конкретных систем. ОФС с учетом последствия порций включает: описание внешней среды в виде потока порций заявок P_i ; $i = \overline{1, I}$; структурно-алгоритмическое (Sa) и параметрическое (Pr) описания ССМО, в том числе характеристики (расположение в системе и емкость) накопителей. Именно ввод в ОФС накопителей в явном виде позволяет организовать в ИМ учет влияния P_i на обслуживание P_{i+1} (последствие).

Характеристика потока порций заявок P_i

Порция P_i характеризуется размером Kp и временем поступления в систему t_i . Размер порции Kp может принимать значение от единицы $Kp = 1$ до полного количества заявок в потоке за период моделирования T $Kp = Kp_T$. Например, при оценке качества обслуживания пассажиропотоков метрополитеном величина Kp определялась для «особенных» интервалов времени, таких как периоды наибольшей и наименьшей интенсивности входных пассажиропотоков, т. е. $1 < Kp < Kp_T$.

Момент t_i поступления порции P_i не связан с реальным поступлением какой-либо заявки

и означает начало интервала ΔT_i , за который рассчитывается Kp_i . Очевидно, что количество заявок в порции Kp_i определяется величиной интервала $\Delta T_i = t_{i+1} - t_i$ до поступления следующей порции P_{i+1} , средней интенсивностью потока λ^c на интервале ΔT_i , моментом t_i поступления в ССМО, т.е. его положением на оси времени при неравномерном потоке заявок $\lambda_i = f(t)$. Величину ΔT_i пользователь выбирает в соответствии с задачами исследований с учетом вида зависимости $\lambda_i = f(t)$, она может быть неодинакова для разных значений t_i . Кроме того, при выборе величины ΔT_i необходимо учитывать предварительные оценки времени обслуживания заявок в ССМО. Таким образом, входной поток заявок в МПМ аппроксимируется порциями P_i , поступающими в ССМО через заданные интервалы времени по всем входам системы.

Структурно-алгоритмическое и параметрическое отображение ССМО

Структурно-алгоритмическое отображение ССМО включает: формализованное описание множества подсистем, элементов, накопителей и учитываемых в конкретных исследованиях связей между ними; алгоритмическое описание процессов обслуживания P_i . Основой структурно-алгоритмического отображения ССМО в МПМД является алгоритмическое описание процессов обслуживания порций P_i на языке параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА) [5], имеющем средства представления операций и логических условий, достаточные для моделирования различных дискретных процессов на железнодорожном транспорте. Структура моделируемой системы в этом случае задается в МПМД неявно в виде установленных соотношений между множеством выполняемых системой операций по обслуживанию заявок и выполняющих их обслуживающих устройств, в качестве которых рассматриваются элементы и накопители ССМО. Приведенные положения позволяют формализовать Sa в следующем виде:

$$Sa = \{A_n [O, \mathbb{E}, Q, G, R, \&, \Omega]; U, H\},$$

где A_n – n -й алгоритм обслуживания порций $n = \overline{1, N}$, где N – общее количество алгоритмов, рассматриваемых в конкретном исследовании; O – множество выполняемых системой операций o_v ; $v = \overline{1, V}$, где V – общее количество рассматриваемых операций; $\mathbb{E}$ – множество ждущих логических условий α_k ; $k = \overline{1, K}$, где K – общее количество рассматриваемых ждущих логических условий; Q – множество собственно-логических условий q_l ; $l = \overline{1, L}$, где L – общее количество рассматриваемых собственно-логических условий; G – множество вероятностных логических условий g_s ; $s = \overline{1, S}$, где S – общее количество рассматриваемых вероятностных логических условий; $R, \&, \Omega$ – вспомогательные операторы распараллеливания, объединения параллельных ветвей A_n и тождественно-ложные логические условия, соответственно; U – множество обслуживающих устройств u_m ; $m = \overline{1, M}$, где M – общее количество рассматриваемых обслуживающих устройств; H – множество накопителей h_z ; $z = \overline{1, Z}$, где Z – общее количество рассматриваемых накопителей.

Каждому обслуживаемому устройству $u_m \in U$ сопоставляется подмножество выполняемых операций $O_m \in O$. Аналогичным образом каждому накопителю в ПЛСА A_n ; $n = \overline{1, N}$ ставится в соответствие множество операций $O_z \in O$, контролирующих длину очереди в соответствующем h_z ; $z = \overline{1, Z}$. Установление в МПМ указанных соответствий однозначно отображает структуру моделируемой ССМО в отношении цели моделирования.

Параметрическое отображение ССМО в МПМД

Такое отображение включает

$$P_r = \{\lambda_{i,j}^c; \Pi_{v,m}; \lambda_{i,m}^c; \tau_{v,m}^i; W_z; \tau_z^i; \Theta_s\},$$

где $\lambda_{i,j}^c$ – средняя интенсивность потока заявок за i -й интервал по j -му входу (среднее количество заявок в единицу времени, поступающих на j -й вход системы в течении i -го интервала);

$\Pi_{v,m}$ – производительность m -го устройства по выполнению v -й операции (количество заявок, обслуживаемых устройством в единицу времени); $\lambda_{i,m}^c$ – средняя интенсивность потока заявок на входе m -го устройства на i -м интервале; $\tau_{v,m}^i$ – время обслуживания i -й порции m -м устройством по выполнению v -й операции; W_z – емкость z -го накопителя h_z ; $z = \overline{1, Z}$ (максимально допустимое количество заявок в накопителе); τ_z^i – время пребывания i -й порции в z -м накопителе (без учета времени ожидания в очереди); θ_s – вероятности выполнения вероятностных логических условий g_s ; $s = \overline{1, S}$.

Концепция синтеза МПМД

Метод динамического порционного моделирования ССМО формализуется на основе следующих положений:

- время моделирования ССМО разбивается на интервалы, причем величина ΔT_i ; $i = \overline{1, I}$ принимается одной и той же для всего множества входов $j = \overline{1, J}$. Величина ΔT_i для значений i может быть различной в зависимости от задач моделирования и вида зависимости $\lambda_i = f(t)$;

- каждому j -му входу для каждого i -го интервала приписывается порция $p_{i,j}$, время поступления которой в ССМО t_p , а величина $Kp_{i,j} = \lambda_{i,j}^c \cdot \Delta T_i$;

- обработка порций $p_{i,j}$ в МПМД соответствует ПЛСА A_n ; $n = \overline{1, N}$. В частном случае $n = j$, т.е. для каждого входа ССМО, обслуживание $p_{i,j}$ выполняется по своему алгоритму. Для реальных систем, как правило, характерно наличие общих частей различных A_n , поэтому синтез МПМД должен включать этап объединения ПЛСА таких алгоритмов [2]. Последовательность выполнения операций o_v ; $v = \overline{1, V}$ в каждой конкретной реализации A_n определяется значениями логических условий α_k , $k = \overline{1, K}$; q_l , $l = \overline{1, L}$; g_s , $s = \overline{1, S}$.

Ждущие логические условия:

$$\alpha_k = 1 \text{ при } f(x) = 1;$$

собственно-логические условия:

$$q_l = \begin{cases} 1 - \text{при } f(x) = 1 \\ 0 - \text{при } f(x) = 0 \end{cases};$$

вероятностные логические условия:

$$g_s = \begin{cases} 1 - \text{с вероятностью } \theta \\ 0 - \text{с вероятностью } 1 - \theta \end{cases},$$

где $f(x)$ – логическая функция от состояния обслуживающих устройств, загрузки накопителей и т.п. Все указанные логические условия определяют либо задержку обслуживания (α_k), либо изменение последовательности выполнения операций (q_l, g_s) в ПЛСА A_n . Однако для моделирования ССМО на основе порций P_i необходимо ввести в алфавит ПЛСА дополнительные вероятностные логические условия вида $g_s^d(\theta)$. Выполнение логического условия $g_s^d(\theta)$ означает, что $Kp_i \cdot \theta$ заявок порции P_i перейдет к следующей операции ПЛСА, а $Kp_i - Kp_i \cdot \theta$ – к операции по ссылке. Иначе говоря, $g_s^d(\theta)$ делит порцию на две составляющие заявки с Kp_i , пропорционально вероятности θ . Маршрут обслуживания порции может включать множество $g_s^d(\theta)$. В этом случае для каждой составляющей $p_{i,j}$ на выходе ССМО должна определяться соответствующая оценка $\tau_{i,j}^0$;

- время обслуживания заявок $\tau_{i,j}^0$ в МПМД складывается из времени выполнения операторов ПЛСА обслуживающими устройствами и времени ожидания обслуживания. Ожидать обслуживания можно по следующим причинам: из-за очередей на обслуживание устройствами или их группой; отказа и последующего восстановления или замены отказавшего устройства; выполнения регламентных работ по техническому обслуживанию; отсутствия обслуживающего устройства в момент прихода заявки. Первые три причины очевидны и не требуют пояснений. Четвертая характерна для транспортных систем в тех случаях, когда в качестве обслуживающих устройств выступают подвижные единицы, например, поезда на железнодорожном транспорте и в метрополитене;

• операции o_v ; $v = \overline{1, V}$ выполняются обслуживающими устройствами u_m ; $m = \overline{1, M}$. ПЛСА A_n задает последовательность обращений к обслуживающим устройствам по соотношениям $O_m u_m$. Расчет времени выполнения операции o_v по обслуживанию порции $p_{i,j}$ или ее составляющей производится по выражению

$$\tau_{v,m}^i = Kp_{i,j} / \Pi_{v,m},$$

где $v = \overline{1, V}$, $m = \overline{1, M}$;

• время использования накопителя зависит от размера и количества $p_{i,j}$, находящихся в накопителе, и включает время его занятия в отсутствие очереди и время ожидания обслуживания при наличии очереди. В общем случае время использования зависит от пути следования заявки в накопителе и может поглощаться временем ожидания. Очередь в накопителе возникает при перегрузке следующего за ним в соответствии с ПЛСА A_n устройства. Величина $Q_{i,m}$; $m = \overline{1, M}$ определяется либо дефицитом $\Pi_{v,m}$ (наличием очереди), либо ее профицитом и рассчитывается по выражению

$$Q_{i,m} = (\lambda_{i,m}^c - \Pi_{v,m}) \cdot \Delta T_i.$$

Положительное значение $Q_{i,m}$ означает наличие очереди и ее величину, а отрицательное – наличие и величину профицита $\Pi_{v,m}$. В процессе моделирования ССМО с использованием МПМД величину $Q_{i,m}$ удобнее рассчитывать по выражению

$$Q_{i,m} = \sum Kp_{i,j,m} - \Pi_{v,m} \cdot \Delta T_i,$$

где $p_{i,j,m}$ – порция заявок, ожидающая освобождения устройства u_m .

Следует отметить, что в одной очереди $Q_{i,m}$ перед одним устройством u_m может находиться множество порций $p_{i,j,m}$ и их составляющих, поступивших на обслуживание в соответствии с ПЛСА A_n с разных входов ССМО и в результате разделения порций логическими условиями $g_s^d(\theta)$.

Принципы реализации концепции синтеза МПМД в среде GPSS World

На основе анализа формализованной схемы ССМО, предложенной концепции синтеза МПМД и возможностей инструментальных средств имитационного моделирования ССМО сформулированы предложения по синтезу МПМД в среде GPSS World (МПМД-G):

1. Порция заявок $p_{i,j}$ представляется динамическим объектом GPSS – транзактом, в параметры которого записывается следующая информация:

- P1 – индекс j входа ССМО, на который поступила порция $p_{i,j}$;
- P2 – метка времени t_i поступления $p_{i,j}$ в ССМО;
- P3 – величина интервала ΔT_i ;
- P4 – величина $\lambda_{i,j}^c$;
- P5 – величина $Kp_{i,j}$ порции заявок по j -му входу для i -го интервала;

2. Ввод транзактов в МПМД-G выполняется подпрограммами генерации потоков заявок, построенными на основе операторов GENERATE и ASSIGN, в операнды которых заносятся значения ΔT_i (generate) и $j, t_i, \Delta T_i, \lambda_{i,j}^c, Kp_{i,j}$ в параметры P1–P5, соответственно (assign);

3. Обслуживающие устройства ССМО представляются в МПМД-G объектами обслуживания GPSS, одноканальные обслуживающие устройства u_m – «устройствами», а многоканальные – «элементами памяти». Занятие и освобождение объектов «устройство» транзактами выполняют операторы STIZE, RELEASE, в операнды которых записывается идентификатор соответствующего «устройства». Занятие и освобождение объектов «память» выполняют операторы ENTER, LEAVE, в операндах которых указываются идентификаторы «элементов памяти» и количество занимаемых и освобождаемых транзактом каналов многоканального устройства, соответственно. Таким образом, в МПМД-G осуществляется моделирование операций o_v ; $v = \overline{1, V}$;

4. Время занятия «устройств» и «элементов памяти» реализует оператор AVANCE, в операнды которого записывается значение $\tau_{v,m}^i$;

5. Накопители h_z ; $z = \overline{1, Z}$ представляются в МПМД-G объектом «список пользователя», в который транзакты вводятся при занятости соответствующих «устройств» или «элементов памяти» и образуют очередь $Q_{i,m}$. Ввод транзактов в список пользователя выполняется оператором LINK с учетом емкости накопителя W_z , а вывод – оператором UNLINK при освобождении «устройства» или «памяти». В операндах указанных операторов записываются идентификаторы и условия вывода транзактов из «списка пользователя» (link);

6. Логические условия α_k , $k = \overline{1, K}$; q_l , $l = \overline{1, L}$; g_s , g_s^d (θ), $s = \overline{1, S}$ выполняются логическими операторами GPSS: GATE, TEST, TRANSFER, в операндах которых записываются логические функции $f(x)$ и идентификаторы операторов, к которым переходит транзакт при различных значениях $f(x)$ в соответствии с ПЛСА A_n . Особенностью вероятностного условия g_s^d (θ) является разделение входящего транзакта на два с записью в P5 основного транзакта значения $Kp_i \cdot \theta$, а транзакта-копии – $Kp_i - Kp_i \cdot \theta$. Разделение транзактов осуществляет оператор SPLIT, в операндах которого указывается количество создаваемых копий (в данном случае – 1) и идентификатор оператора, к которому переходит транзакт-копия;

7. Вспомогательные операторы R, &, Ω служат для организации записи параллельных процессов (R, &) и строчной записи ПЛСА (Ω). Операторы ПЛСА R, &, Ω выполняют в ПМД-G операторы GPSS: SPLIT, ASSEMBLE и TRANSFER, соответственно, в режиме безусловного перехода;

8. Определение времени пребывания транзактов в МПМД-G (времени обслуживания заявки в ССМО $\tau_{i,j}^0$) осуществляется средствами ведения модельного времени GPSS с использованием значения t_i в параметре P2 транзакта-порции;

9. Синтез МПМД-G как моделирующей программы на языке GPSS может осуществляться непосредственно по ПЛСА, а также с использованием матричной [1] или морфологической формализации имитационных моделей ССМО.

Заключение

Таким образом, в статье:

- поставлена задача развивать метод порционного моделирования до модели порционного динамического моделирования ССМО с оценкой времени обслуживания заявок – МПМД;
- предложены формализованная схема и концепция синтеза МПМД;
- сформулированы основные положения по синтезу МПМД в среде GPSS World – МПМД-G.

Перспективными направлениями развития предложенного метода МПМД являются:

- разработка моделирующего алгоритма МПМД-G;
- разработка и отладка моделирующей программы МПМД-G;
- верификация МПМД-G;
- разработка приложений в областях электронного документооборота технической документации систем железнодорожной автоматики (порция – комплект проектных документов), систем информационного обеспечения технологических процессов технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики (порция – совокупность информационных сообщений за ΔT_i), процессов обслуживания пассажиропотоков на метрополитене (порция – совокупность пассажиров за ΔT_i).

Библиографический список

1. Марков Д. С. Матричный метод формализации имитационных моделей сложных систем массового обслуживания / Д. С. Марков, П. Е. Булавский // Изв. ПГУПС. – 2010. – Вып. 4. – С. 186–195.
2. Булавский П. Е. Обобщенная формализованная схема ведения заказных спецификаций / П. Е. Булавский, Д. С. Марков, Д. Х. Баратов // Изв. ПГУПС. – 2010. – Вып. 2. – С. 63–74.
3. Булавский П. Е. Электронный документооборот технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 2. – С. 2–5.

4. Василенко М. Н. Имитационная модель обслуживания пассажиропотоков на метрополитене / М. Н. Василенко, Д. С. Марков, В. Б. Соколов и др. // Конструирование, сертификация и техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. – СПб. : ПГУПС, 2003. – С. 17–25.

5. Лазарев В. Г. Синтез управляющих автоматов / В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. – М. : Энергия, 1984. – 408 с.

6. Марков Д. С. Метод порционного моделирования транспортных систем массового обслуживания / Д. С. Марков, В. Б. Соколов // Развитие элементной базы и совершенствование методов

построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. – СПб. : ПГУПС, 2014. – С. 43–47.

7. Марков Д. С. Метод формализации имитационных моделей технологических процессов в хозяйстве автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте / Д. С. Марков, А. А. Лыков // Изв. ПГУПС. – 2012. – Вып. 1. – С. 23–28.

8. Марков Д. С. Определение загрузки станций и узлов Петербургского метрополитена в экспертной системе / Д. С. Марков, В. А. Яковлев, В. Б. Соколов // Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : сб. науч. тр. – СПб. : ПГУПС, 2009. – С. 45–50.

УДК 621.39

А. К. Канаев, М. М. Лукичев

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

А. А. Муравцов

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

СИНТЕЗ ПОТОКОВОЙ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается формирование имитационной модели путем синтеза потоковой структуры и имитационного аппарата систем массового обслуживания на языке GPSS Word, позволяющее определить такие параметры качества транспортной сети, как математическое ожидание задержки пакетов, ее среднеквадратичное отклонение, а также гистограмму распределения задержки предложенной к рассмотрению сети связи. Кроме этого, модель позволяет определить участки сети, которые необходимо модернизировать, чтобы удовлетворить потребность пользователей в качественных показателях сети связи.

Имитационное моделирование, телекоммуникационные сети, пакетная коммутация, GPSS Word.

С увеличением потребности в высокоскоростном доступе к информационной среде в значительной степени увеличилась нагрузка на современные транспортные сети, возникли жесткие требования к показателям качества обслуживания в сети. Однако требуется не только определить текущее (проектируемое) состояние транспортной сети, но и рассмотреть ее

возможность сохранять заданные качественные показатели с увеличением потоков нагрузки.

Сегодня для определения вышеуказанных показателей используют:

- измерения и статический анализ реальной сети (если сеть передачи данных уже построена и находится в процессе развития);
- натуральное моделирование;

- математическое моделирование;
- имитационное моделирование [3].

В данной работе рассмотрим имитационное моделирование, выполняемое на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ), которое в настоящее время является наиболее эффективным методом получения информации о поведении системы и действенности альтернативных вариантов ее построения [1]. Например, можно выделить:

- отсутствие существенных вложений в приобретение оборудования для моделирования сети;
- гибкость – т.е. можно либо рассматривать все процессы системы для получения точных результатов, либо вводить рамки, упрощающие модель, для определения порядка интересующих показателей, либо моделировать интересующие фрагменты сети;
- способность быстро менять потоки нагрузки и принципы обслуживания пакетов;
- максимальное приближение результата моделирования к действительности вплоть до детализации процессов.

В качестве примера составим имитационную модель функционирования транспортной сети и определим основные показатели каче-

ства обслуживания клиентов, такие как средняя задержка, девиация задержки, а также укажем наиболее загруженные узлы в данной сети.

Постановка задачи

Пусть задана телекоммуникационная сеть (ТКС) в виде графа G (рис. 1), где $A = \{a_i\}$ представляет собой множество узлов ТКС, а $B = \{b_i\}$ – множество ребер ТКС. В общем случае направление передачи информации по линиям связи, которые соединяют представленные узлы ТКС, двусторонне, и соответствующий граф сети ТКС является неориентированным. Также исходными данными для имитационного моделирования являются потоковая структура существующей сети, которая задана в виде графа (рис. 1), сверху ребер которого указана длина линии, снизу – нагрузка на данное ребро. Предположим, что для телекоммуникационной сети передачи данных требуется определить параметры качества обслуживания для необходимой к реализации КП от узла a_1 к узлу a_{10} со скоростью 10 Мб/с. Кроме этого, установим технологию передачи транспортной сети.

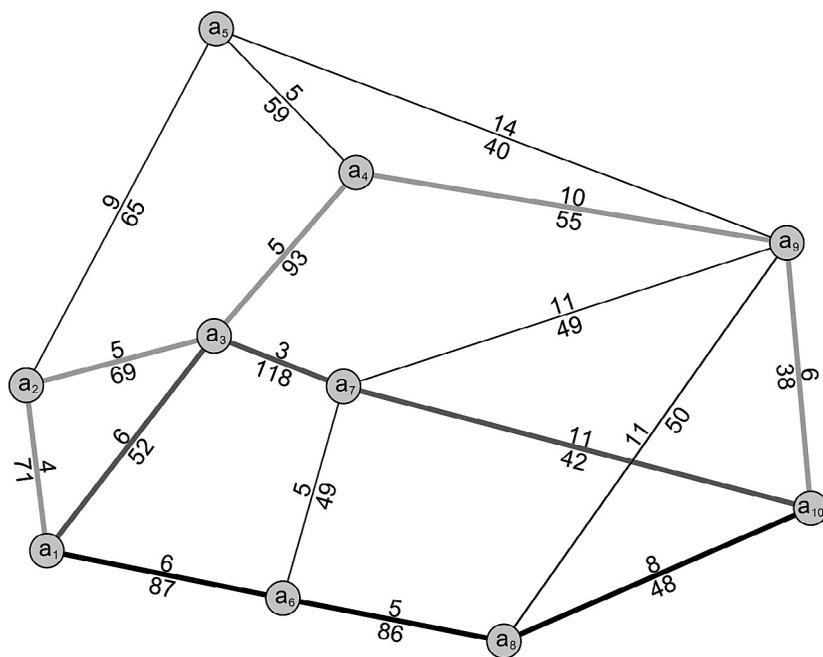


Рис. 1. Потоковая структура рассматриваемой сети

С развитием телекоммуникационного оборудования стало целесообразно использовать технологию пакетной передачи информации, так как данное семейство технологий имеет высокую гибкость, масштабируемость сети, а также меньшую стоимость по сравнению с синхронной передачей информации. Наибольшее распространение получили семейство протоколов и технологий передачи данных – TCP/IP/Ethernet.

Объект моделирования

Для дальнейшего моделирования также требуется определить способ прохождения пакета через узел обработки информации. Предположим, что в каждом узле (рис. 1) расположен коммутатор с общей шиной (backplane). Данный тип коммутаторов использует для связи портов процессоров высокоскоростную шину, которая функционирует в режиме разделения времени.

После того как данные преобразуются в приемлемый для передачи по шине формат (находясь в буфере интерфейса, принявшего пакет), они помещаются на шину и далее передаются в порт назначения. Производительность backplane шины в современных коммутаторах, по крайней мере, в десять раз превосходит производительность наиболее скоростного интерфейса рассматриваемого оборудования [5]. В рамках рассмотренного принципа обработки пакетов с целью упрощения моделирования, предположим, что модель коммутатора транспортной сети будет содержать только неограниченный по объему буфер интерфейса, передающего пакеты в линию, так как в современном коммутационном оборудовании задержка на обработку пакета минимальна и, как правило, постоянная коммутационная матрица в несколько раз превосходит скорость самого производительного интерфейса, а следовательно, задержка на переход пакета от буфера принимающего интерфейса к буферу передающего также минимальна.

Составление маршрутов для передачи исследуемого потока

Для исследуемого потока определим три независимых маршрута с помощью алгоритма Дейкстры, а в качестве веса ребер будем использовать длину линий передачи, значения которых указаны сверху над ребрами (рис. 1). Произведя необходимые расчеты, получим кратчайшие маршруты для КП $a_1 a_{10}$:

$$M_1^{a_1 a_{10}} = \{b1, 6; b6, 8; b8, 10\} = 19;$$

$$M_2^{a_1 a_{10}} = \{b1, 3; b3, 7; b7, 10\} = 20;$$

$$M_3^{a_1 a_{10}} = \{b1, 2; b2, 3; b3, 4; b4, 9; b9, 10\} = 30.$$

Определив независимые маршруты, рассчитаем распределения потока от КП $a_1 a_{10}$. Также для формализации «расщепления» исследуемого потока по нагрузкам, определенным для каждого маршрута, выясним вероятность перехода одного пакета к одному из трех маршрутов. В итоге получим:

$$V_1^{a_1 a_{10}} = \{b1, 6; b6, 8; b8, 10\} = 3,871 \text{ Мб/с};$$

$$P_1 = 0,387;$$

$$V_2^{a_1 a_{10}} = \{b1, 3; b3, 7; b7, 10\} = 3,677 \text{ Мб/с};$$

$$P_2 = 0,368;$$

$$V_3^{a_1 a_{10}} = \{b1, 2; b2, 3; b3, 4; b4, 9; b9, 10\} = \\ = 2,452 \text{ Мб/с}; P_3 = 0,245.$$

Для следующего этапа моделирования требуется определить задержку при передаче пакетов от узла-«отправителя» к узлу-«приемнику», которая составляет 5 мкс/км [2].

Имитационная модель транспортной сети связи

Таким образом, для создания имитационной модели остается определить исходные данные для моделирования – характеристики

входных потоков, а также дисциплину обслуживания данных в узлах сети. Как известно, каждому виду трафика в телекоммуникационных сетях свойствен свой закон распределения интервалов поступления пакетов. Трафику, циркулирующему в современных телекоммуникационных сетях с пакетной коммутацией, присущи свойства самоподобия, что включает в себя долговременную зависимость, медленно затухающую дисперсию, бесконечные моменты, распределение с «тяжелыми хвостами» (распределение Парето, Вейбулла, нормальное распределение) [4]. В данном примере в качестве демонстрации возможностей имитационного моделирования будем рассматривать характер исследуемого потока как экспоненциальный, поток нагрузки – Пуассона и статическую задержку в узлах обработки с незначительной случайной частью.

Значения потоков нагрузки исследуемой транспортной сети определены на рис. 1. Также предположим, что все рассматриваемые интерфейсы оборудования обладают производительностью, равной 100 Мб/с. Для определения математического ожидания времени между моментами формирования пакетов за основу возьмем кадр максимального размера, который вместе с преамбулой имеет длину 1526 байт, или 12208 бит. Период следования составляет $12208 \text{ бит} + 96 \text{ бит} = 12304 \text{ бит}$, а частота кадров при скорости передачи 100 Мбит/с составит $1/123,04 \text{ мкс} = 8127 \text{ кадр/с}$.

Имитационная модель любой сложной системы состоит из моделей ее элементов, а также моделей взаимодействия элементов между собой и с элементами внешней среды. Применительно к транспортной сети эти взаимодействия (информационные процессы взаимодействия) реализуются по каналам передачи информации. Для решения поставленной задачи произведем имитационное моделирование исследуемой транспортной сети с помощью специальной программы GPSS Word, обладающей максимальной простотой описания моделей данного класса задач, с использованием минимального количества ресурсов ЭВМ.

Упрощенный алгоритм работы программы, отображающей свойства рассматриваемой модели, представлен на рис. 2. Из алгоритма работы имитационной модели видно, что она отображает основные свойства требуемого участка транспортной сети с учетом всех указанных ограничений и допущений. Это означает, что по данному алгоритму может быть составлена программа на языке GPSS Word.

Таким образом, полученная программа отображает основные процессы, протекающие при прохождении исследуемого потока по рассматриваемой транспортной сети и содержит 186 строк.

Результаты моделирования

После имитационного моделирования программа GPSS Word выдает стандартный отчет, в котором в форме таблицы указаны количество пакетов, прошедших через каждый блок, статистика использования узлов, а также статистика использования буфера интерфейсов.

Из анализа отчета GPSS также можно отметить, что на момент окончания моделирования в буфере интерфейса 1 узла 3 осталось 251 837 пакетов, что говорит о низкой пропускной способности интерфейсов между узлами a_3 и a_7 . Данный результат также подтверждает коэффициент использования данного интерфейса, тоже входящий в отчет GPSS Word, равный 1. Так как поток нагрузки превышает пропускную способность данного узла, очередь в буфере интерфейса 1 узла a_3 будет расти с увеличением времени моделирования. В данном случае требуется либо перераспределить потоковую структуру исходного графа, либо увеличить пропускную способность ребра.

Программа GPSS Word позволяет строить гистограммы по заданным измеряемым величинам. В нашем примере мы фиксировали время прохождения исследуемого потока по каждому маршруту. На рис. 3 отображена гистограмма времени прохождения исследуемого потока по моделируемой транспортной

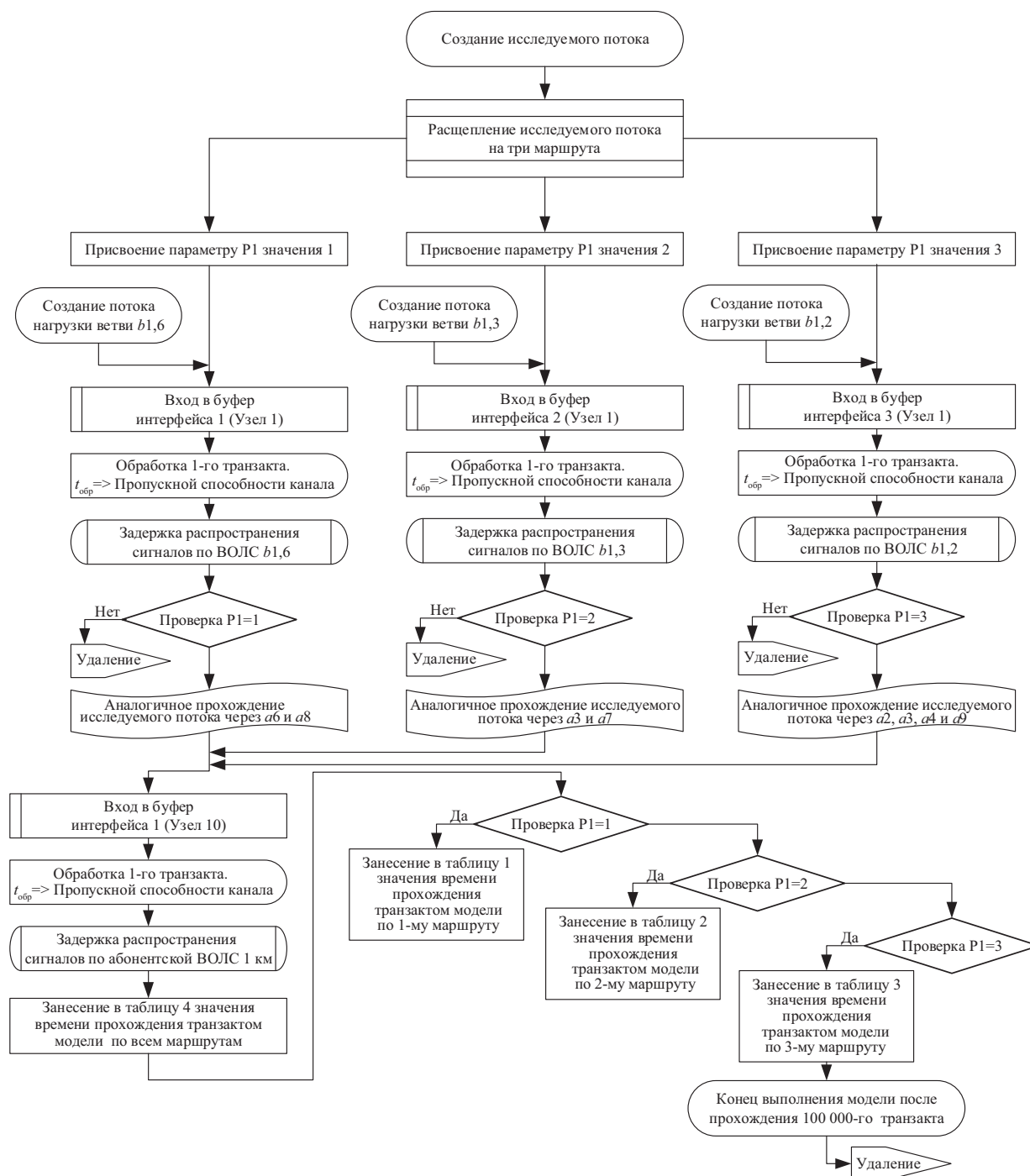


Рис. 2. Алгоритм работы модели, разработанный для языка GPSS Word

сети, при этом средняя задержка составила 757,742, а ее дисперсия 69,341 единиц модельного времени. Так как единица модельного времени равна 10^{-6} реальной секунды, то можно утверждать, что по заданной потоковой структуре по первому маршруту пройдет поток с задержкой 0,7 мс и отклонением 0,07 мс. Из гистограммы на рис. 4 видно, что задержка растет пропорционально времени моделирования. Для гистограммы на рис. 5 можно отметить задержку в 1,1 мс и дисперсию в 0,1 мс. При этом можно сравнить данные результаты с результатами, полученными для

первого маршрута. Величина задержки третьего маршрута больше, что объясняется его большей длиной. Увеличение же дисперсии связано с наличием дополнительного узла обработки информации, а также с большей очередью в буфере интерфейсов маршрута.

Заключение

Результаты моделирования не противоречат известным закономерностям распределения потоков в транспортной сети связи. Модель

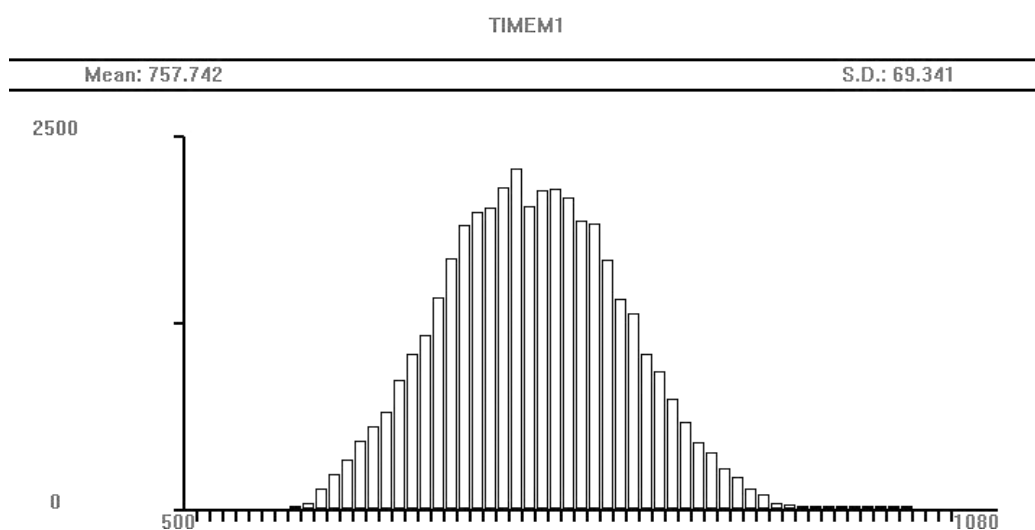


Рис. 3. Распределение времени прохождения пакетов исследуемого потока по первому маршруту модели

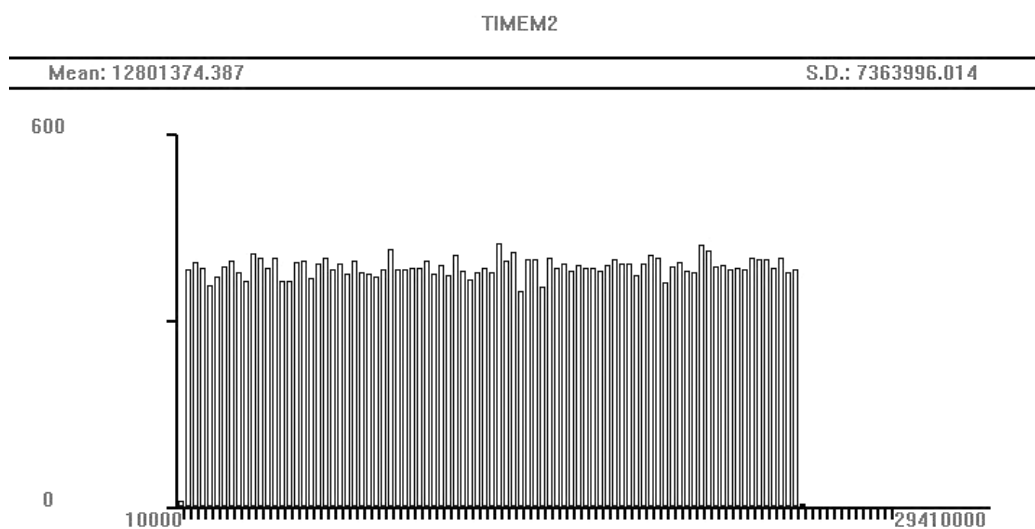


Рис. 4. Распределение времени прохождения пакетов исследуемого потока по второму маршруту модели

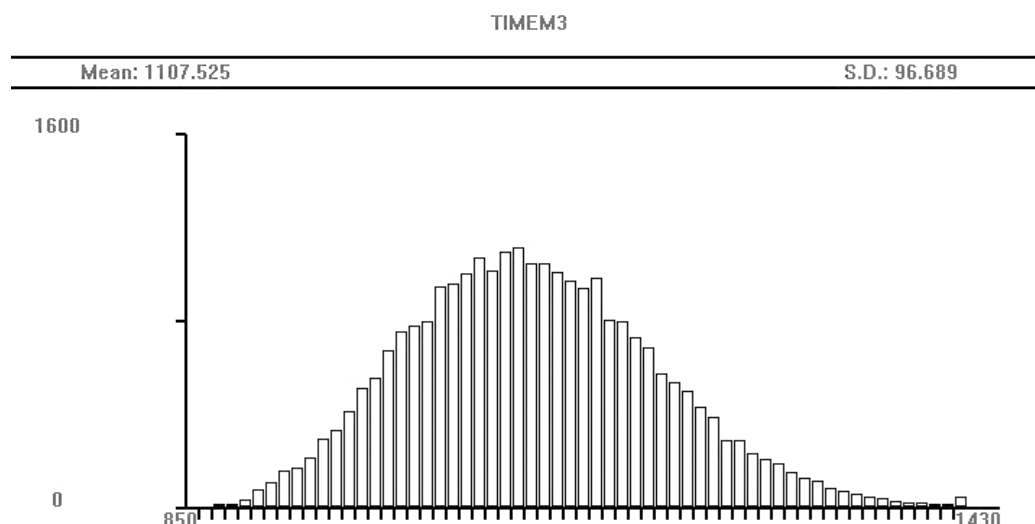


Рис. 5. Распределение времени прохождения пакетов исследуемого потока по третьему маршруту модели

также показала чувствительность к основным факторам, влияющим на распределение потоков в сети, таким как длина пути маршрута, суммарная нагрузка на узлах, соотношение нагрузка – пропускная способность интерфейса и другие. Модель продемонстрировала масштабируемость с точки зрения как размеров сети, так и количества и видов генераторов нагрузки. Кроме этого, среда GPSS Word обладает дискретно-событийным системным ходом времени, поэтому увеличение масштабов сети до масштабов реальных сетей не приведет к росту реального времени моделирования на ЭВМ, так как оно зависит только от количества генерируемых пакетов в модели.

Имитационные модели транспортных сетей связи можно использовать в качестве методики оптимизации плана распределения потоков, где на каждой итерации определяются участки сети, вызывающие деградацию качества сервисов, предоставляемых клиентам, что дает новые исходные данные для последующих изменений в рассматриваемой сети.

Подводя итог, следует отметить, что имитационная модель позволяет воспроизвести весь процесс функционирования любой системы с сохранением логической структуры, связи между явлениями и последовательность их протекания во времени, учесть большое

количество реальных деталей функционирования моделируемого объекта. Имитационная модель незаменима на стадиях проектирования и модернизации систем.

Библиографический список

1. Аглазинов Э. К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Э. К. Аглазинов, А. А. Сирота. – М. : Диалог-МИФИ, 2009. – 412 с.
2. Алиев Т. И. Моделирование и анализ подуровня агрегирования мультисервисной телекоммуникационной сети / Т. И. Алиев, И. Е. Никульский, В. О. Пяттаев // Техника связи. – 2009. – № 2. – С. 12–18.
3. Березко М. П. Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных / М. П. Березко, В. М. Вишневский, Е. В. Левнер, Е. В. Федоров // Информационные процессы. – 2001. – Т. 1, № 2. – С. 103–125.
4. Лемешко А. В. Разработка и исследование потоковой модели адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях с балансировкой нагрузки / А. В. Лемешко, Т. В. Вавенко // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 3 (29). – С. 100–108.
5. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учеб. для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 944 с.



УДК 338.48

П. А. БобиковаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**УПРАВЛЕНИЕ ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТЬЮ
ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

На современном этапе для дорожно-строительных компаний особенно актуальна проблема управления дебиторской задолженностью, поскольку она часто «омертвляет» значительную долю оборотного капитала. В статье предлагается методика управления дебиторской задолженностью как одна из мер повышения результативности транспортного строительства.

Финансовый менеджмент, транспортное строительство, дебиторская задолженность, инкассация.

Устойчивое развитие России в перспективе возможно только при существенном росте и модернизации объектов инфраструктуры, а значит, при повышении эффективности транспортного строительства.

В свою очередь, развитие отрасли потребует повышения как коммерческой эффективности отдельных предприятий, так и бюджетной эффективности дорожно-строительного комплекса в целом. Бюджетная эффективность же предполагает выполнение плановых объемов работ с высоким качеством в установленные сроки и по заданной стоимости. При таком понимании эффективности, а значит, и соответствующем подходе к госфинансированию отрасли только рациональный финансовый менеджмент обеспечит коммерческую эффективность предприятий. Соответственно, актуальным вопросом управления финансами становится снижение себестоимости производимых работ, во многом определяемой «омертвлением» оборотного капитала в дебиторской задолженности. Чтобы преодолеть данную трудность, необходимо иметь инструменты

воздействия на дебиторов. Поскольку любой инструмент потребует затрат, необходимы методы, которые, во-первых, позволили бы оптимизировать дебиторскую задолженность дорожно-строительных компаний, во-вторых, определили бы целесообразность мер к взысканию задолженности с учетом того, что соответствующие затраты скажутся на конечной эффективности (результативности транспортного строительства).

Разработке методики подобного рода и посвящена эта статья.

**Дебиторская задолженность
как экономическая категория
и ее особенности в транспортном
строительстве**

Дебиторская задолженность – это сумма долгов, причитающихся предприятию от юридических и физических лиц при финансовых взаимоотношениях с ними [2]. Дебиторская

задолженность – это чистое отвлечение финансовых ресурсов предприятия из его оборота, иммобилизация средств предприятия в пользу третьих лиц [1]. Таким образом, дебиторская задолженность по экономической сути – это отвлеченные из оборота предприятия денежные средства, представляющие собой долг контрагентов за товары (работы, услуги), полученные на условиях отсрочки платежа.

Дебиторская задолженность в дорожно-строительной отрасли – проблема не столько экономическая, сколько социальная. Неплатежи между организациями – участниками строительства затем оборачиваются потерями в других отраслях и в общественной сфере, т.е. проблема имеет даже не отраслевой, а макроэкономический характер. В дорожном строительстве распространены схемы работы, рассчитанные на уклонение от оплаты задолженности: фирмы-однодневки, фиктивные конкурсы и т.п. В результате классические юридические и арбитражные методы зачастую оказываются неэффективными.

Эти особенности обуславливают поиск новых методов разрешения долговых проблем, возникающих между организациями – участниками дорожного строительства.

Методика управления дебиторской задолженностью предприятия и порядок алгоритмизации указанного управленческого процесса

Особенностями финансовых потоков транспортно-строительного комплекса обуславливается и разработка методики управления дебиторской задолженностью.

Прежде всего, следует перечислить обязательные элементы искомой методики (рис. 1).

Построение эффективной методики управления дебиторской задолженностью для проектной организации подразумевает ряд последовательных действий в двух направлениях (в соответствии с двумя элементными кластерами на схеме (рис. 1)). Первая группа мероприятий направлена на оптимизацию существующей дебиторской задолженности, вторая относится к планированию дебиторской задолженности и оценке ее влияния на финансовые результаты фирмы.

Логику построения алгоритма управления дебиторской задолженностью для проектных организаций обуславливает, с одной стороны, потребность предприятий данной сферы в постоянном повышении оборачиваемости ресурсов, с другой стороны, необходимость

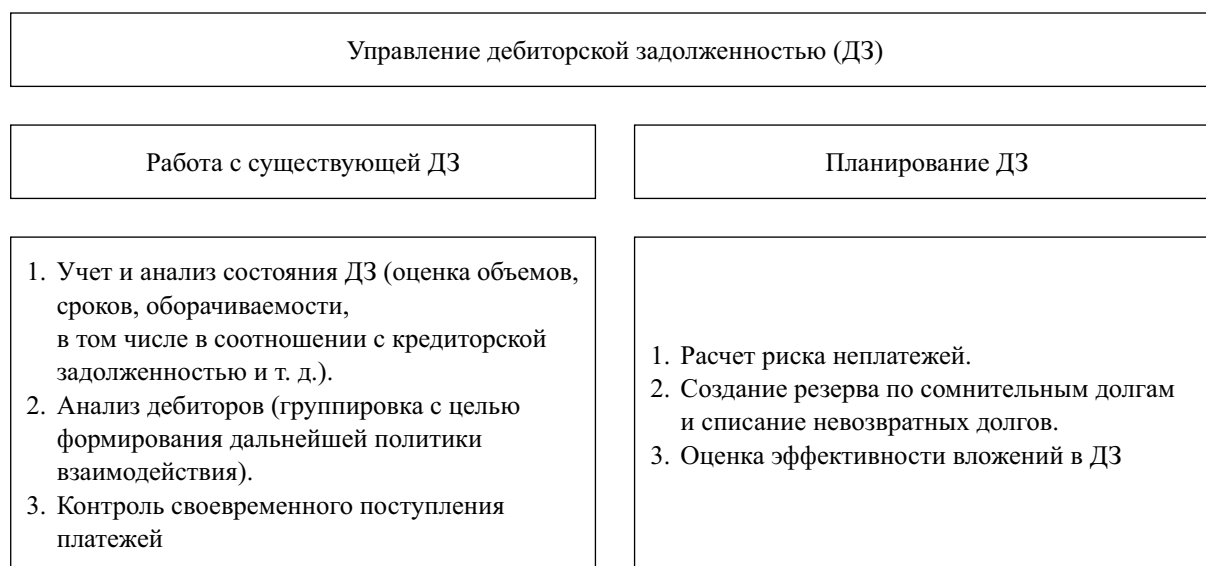


Рис. 1. Схема методики управления ДЗ

минимизации дополнительных издержек, связанных с инвестированием средств в дебиторскую задолженность и с ее инкассацией.

Началом процесса управления дебиторской задолженностью (рис. 2) является факт отсутствия оплаты после подписания акта приема работ. Финал процесса – это возвращение сумм в деловой оборот предприятия.

Таким образом, формирование процедур планирования и контроля дебиторской задолженности, а также алгоритмизация процесса управления подразумевает выполнение мероприятий по следующим этапам:

1) контроль образования и анализ состояния дебиторской задолженности (учет возникающих долгов);

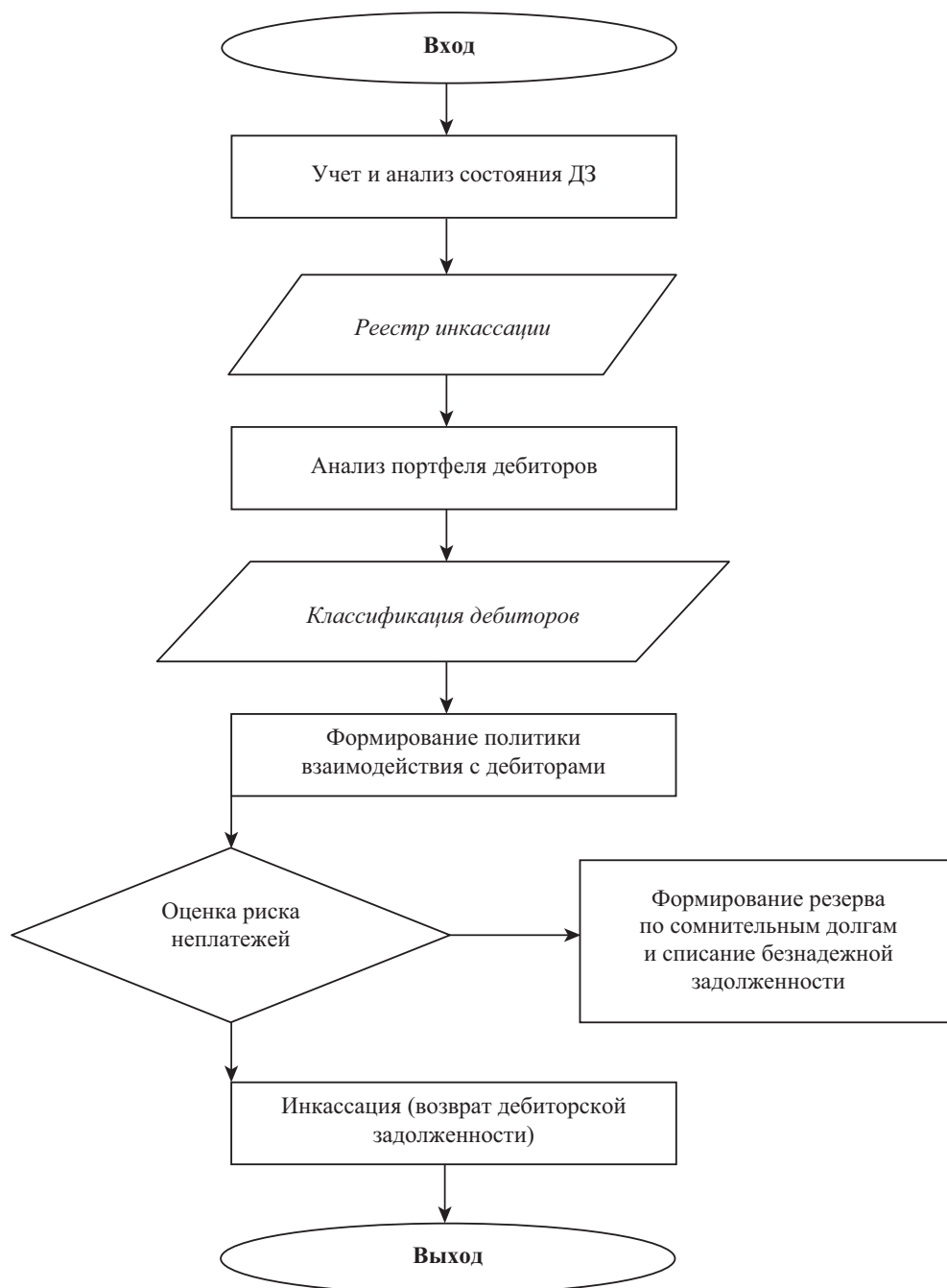


Рис. 2. Процесс управления дебиторской задолженностью

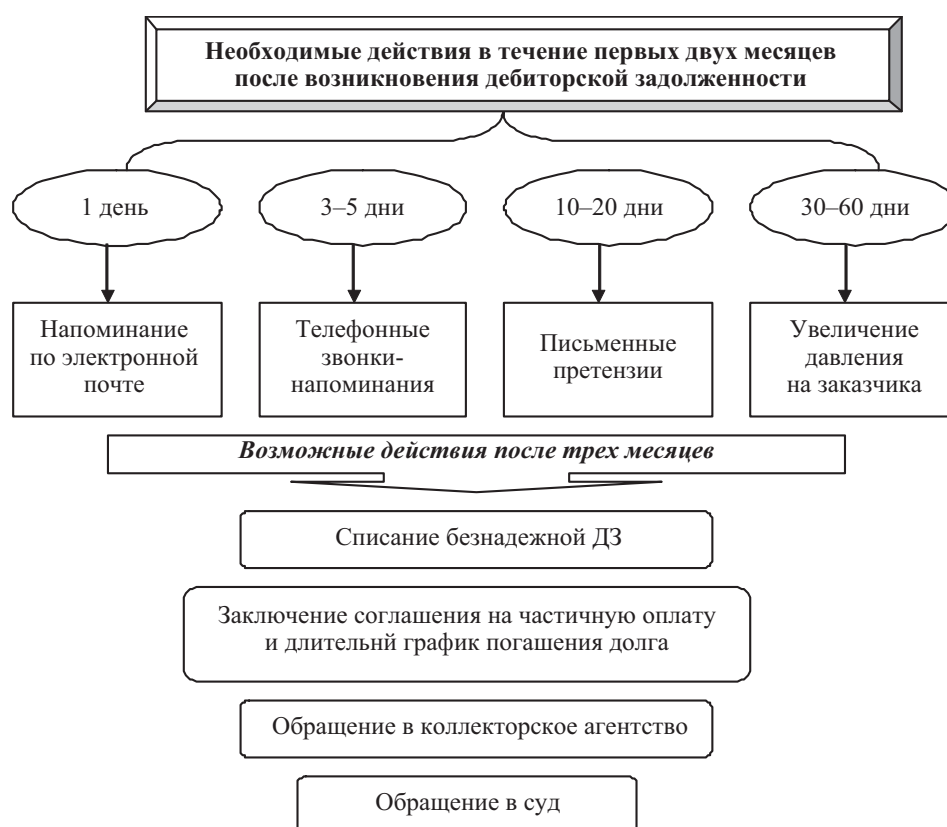


Рис. 3. Процедура взыскания дебиторской задолженности

2) ранжирование и присвоение рейтинга перспективности заказчиков (классификация дебиторов);

3) принятие решений о дальнейшей работе с каждой группой дебиторов в соответствии с их рейтинговой оценкой;

4) определение приемов ускорения возврата дебиторской задолженности (с учетом организационно-психологических аспектов процедуры инкассации).

Необходимо отметить, что для группировки дебиторов используется оценка риска неплатежей по заключаемым договорам. Иными словами, классификация дебиторов позволяет присвоить представителям каждой группы рейтинговую характеристику, влияющую на условия вновь заключаемых сделок. На основании присвоенных рейтинговых оценок определяются процедуры планирования дальнейшего взаимодействия с контрагентами.

Возможные действия после 30 дней задержки платежа представлены на рис. 3.

При постановке работы с дебиторской задолженностью очень важно определить, кто именно в компании отвечает за ее погашение. Обязанности каждого сотрудника при управлении дебиторской задолженностью должны быть закреплены документально. Фиксируются базовые инструкции о порядке действий для максимального возврата дебиторской задолженности.

Переговоры, которые по сути являются тонкой психологической игрой с дебиторами, можно разделить на три этапа: информирование (напоминание о долге), психологическое давление (так называемый «метод заезженной пластинки») и переход к жестким и юридическим методам работы (что может привести к разрыву отношений с контрагентом).

Следует отметить, что дебиторская задолженность также снижает общую рентабельность, поскольку инициируются дополнительные издержки по следующим направлениям:

- расходы на работу с дебиторами (связь, командировки и пр.);
- период оборота дебиторской задолженности без ее индексации;
- потери от безнадёжной дебиторской задолженности (списание средств в убытки).

В этих условиях до принятия решения о финансировании мер по инкассации задолженности логично оценить соответствующий экономический эффект (эффект «инвестиций» в управление дебиторской задолженностью).

Эффект инвестирования можно оценить следующим образом:

1) прогнозируется сумма дополнительно притока денежных средств от увеличения объема инкассированной дебиторской задолженности;

2) рассчитывается сумма дополнительных затрат по инкассации долга и/или прямых финансовых потерь от его невозврата;

3) с учетом фактора времени сравниваются данные суммы путем вычисления эффекта от каз от инвестирования:

$$\mathcal{E}_{\text{дз}} = \frac{\Pi_{\text{дз}}}{(1+k)^n} - (Z_{\text{дз}} + Y_{\text{дз}}),$$

где $\Pi_{\text{дз}}$ – дополнительные денежные средства, получаемые благодаря своевременной инкассации дебиторской задолженности; n – период дисконтирования; k – ставка дисконтирования; $Z_{\text{дз}}$ – затраты, связанные с инкассацией долга; $Y_{\text{дз}}$ – сумма списанной дебиторской задолженности в связи с истечением сроков давности.

Если рассчитанная величина оказывается положительной, то предприятию проще искать компромисс с должником, нежели прибегать к юридическим процедурам и/или услугам коллекторов по взысканию долга.

Представленный подход к учету и регулированию дебиторской задолженности может стать одним из инструментов финансового менеджмента крупных проектов в транспортном строительстве. В совокупности с рациональной методикой управления дебиторской задолженностью на отдельных предприятиях он будет способствовать улучшению состояния всего отраслевого комплекса.

Для использования предлагаемой методики управления дебиторской задолженностью не требуется создания дополнительных структурных подразделений внутри организации; бизнес-процессы являются операционно-функциональными единицами деятельности имеющегося персонала (как правило, это сотрудники планово-экономических служб).

Заключение

Представленный подход к управлению реальной и скрытой дебиторской задолженностью может стать одним из инструментов финансового менеджмента крупных проектов в транспортном строительстве. В совокупности с рациональной системой управления финансовыми потоками на отдельных предприятиях он будет способствовать повышению эффективности всего отраслевого комплекса.

Библиографический список

1. Ковалёв В. В. Финансовый менеджмент : теория и практика / В. В. Ковалёв. – М. : Проспект, 2014. – 1104 с.
2. Современный экономический словарь / Л. Лозовский, Б. Райзберг, Е. Стародубцева. – М. : Инфра-М, 2010. – 512 с.

УДК 656.22

Г. М. Грошев, В. Л. БелозеровПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**Н. В. Климова**

Санкт-Петербургский информационно-вычислительный центр ОАО «РЖД»

**ВЫБОР СПОСОБА ДОСТАВКИ КОНТЕЙНЕРОВ МЕЖДУ ТЫЛОВЫМ
ЛОГИСТИЧЕСКИМ ТЕРМИНАЛОМ И МОРСКИМ ТОРГОВЫМ ПОРТОМ**

Проанализированы способы доставки партии контейнеров с тылового логистического терминала в морской торговый порт при экспортных перевозках. Изложены основные положения методики сравнения вариантов доставки контейнеров в узле разрозненными группами вагонов и контейнерными блок-поездами. Приведены наборы аналитических выражений экономической оценки эффекта для независимых участников перевозки и пример расчета с их использованием. Расчет оценки эффективности организации контейнерных блок-поездов на станции Предпортовая Октябрьской железной дороги и на примыкающем к ней тыловом терминале ООО «Модуль» показывает целесообразность использования данной технологии для перевозки контейнеров в «Большой порт Санкт-Петербург».

Партия контейнеров, экспортная перевозка, тыловой логистический терминал, железнодорожный узел, морской торговый порт, независимые участники перевозки, методика экономического обоснования.

Одно из приоритетных направлений в развитии транспорта России – контейнерные перевозки. Предполагается, что контейнерные железнодорожные перевозки в нашей стране будут неуклонно расти [3]. Затруднения в их развитии вызваны недостатком складских мощностей на крупных морских контейнерных терминалах. Значимость этого вопроса возрастает в связи с перспективами роста перевозок между странами Азиатско-Тихоокеанского региона и Европы с использованием железнодорожного и морского транспорта России.

Выходом из сложившейся ситуации стал перенос контейнерных терминалов за пределы прибрежных зон морских портов с созданием тыловых логистических терминалов (ТЛТ). Для железной дороги в этом случае требуется выбрать такой способ доставки готовой партии контейнеров с ТЛТ в морской торговый порт (МТП), который принесет доход основным участникам перевозочного процесса.

**Способы доставки
партии контейнеров
в порт**

Для доставки готовых партий контейнеров в порт широко применяется автомобильный и железнодорожный транспорт.

К основным способам подвода партии контейнеров к конкретному судну в МТП по железной дороге можно отнести:

- подвод вагонов с контейнерами непосредственно ко времени прибытия судна за счет накопления вагонов на подходах и в транспортных узлах с использованием «складов на колесах»;
- подвод вагонов на основе согласованной работы порта и станции примыкания без предварительной концентрации вагонов;
- совмещенный вариант, когда часть контейнеров подводится в МТП до прибытия судна, а оставшаяся часть – когда судно уже пришвар-

товано к причалу и выполняется перевалка ранее доставленных контейнеров.

Создание ТЛТ дает возможность использовать два варианта доставки:

- разрозненными группами вагонов (базовая технология);
- контейнерными блок-поездами (новая технология).

Базовая технология предусматривает подачу группами порожних фитинговых платформ с путей станции примыкания ТЛТ под погрузку на пути необщего пользования ТЛТ. После погрузки и обработки группа платформ с груженными контейнерами выставляется на пути станции и включается в состав поезда своего формирования назначением на припортовую станцию с последующим отправлением по расписанию движения передаточных поездов в железнодорожном узле. На припортовой станции партия контейнеров накапливается на территории МТП. Там же выполняется таможенный досмотр.

По новой технологии состав из порожних фитинговых платформ подается со станционных путей на пути ТЛТ целиком, за одну-две подачи. Таможенный досмотр контейнеров происходит на путях ТЛТ. После расстановки платформ по фронтам погрузки, погрузки, объединения групп и выполнения операций по обработке состав контейнерного поезда, равный размеру партии контейнеров (или ее части) на конкретное судно, переставляется на пути станции. После прицепки поездного локомотива и выполнения операций по отправлению контейнерный блок-поезд отправляется на припортовую станцию по специальному твердому расписанию. На этой станции состав целиком подается на пути МТП, где контейнеры перегружаются с платформ на судно [1].

Методика расчета эффективности способа доставки партии контейнеров блок-поездами в сравнении с базовой технологией

Разработанная комплексная методика предусматривает расчет эксплуатационной и

коммерческой экономической эффективности организации движения контейнерных блок-поездов на том или ином железнодорожном полигоне как в целом, так и отдельно для ОАО «РЖД», ТЛТ, МТП, оператора подвижного состава, грузовладельца.

Для ОАО «РЖД» оцениваются два фактора эффективности: ежесуточная разница затрат вагоно-часов нахождения вагонов с контейнерами на путях станции примыкания ТЛТ и припортовой станции; разница объемов маневровой работы с ними.

Для ТЛТ и МТП в качестве факторов эффективности приняты: сокращение срока хранения контейнеров на территории терминалов и как результат – освобождение дополнительных складских мощностей; сокращение непроизводительного простоя погрузочно-разгрузочных механизмов в ожидании погрузочно-разгрузочных работ с контейнерами.

В качестве факторов эффективности для операторов подвижного состава выделяем два: сокращение капитальных вложений в собственный вагонный парк за счет сокращения времени нахождения вагонов на станции примыкания ТЛТ и припортовой станции; ускорение оборота собственных вагонов оператора.

Эффективность для грузовладельца на станции погрузки и выгрузки определяется как экономия от ускорения доставки грузов (сокращения массы грузов на колесах) за счет сокращения простоя груженых вагонов.

В качестве исходных данных для расчета принимаются технические нормы нахождения на станции и на путях необщего пользования вагонов, которые установлены на основании объема и характера работы на станциях и терминалах, плана формирования и другого.

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения простоя вагонов и объема маневровой работы

Методика определения экономии эксплуатационных расходов за счет сокращения про-

стоя вагонов и объема маневровой работы за год при организации контейнерных блок-поездов в сравнении с базовой технологией и пример расчета рассмотрены в [4].

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения простоя вагонов за год определена по формуле, тыс. руб./год:

$$\Theta_{в-ч} = m \cdot \Delta t_{ст} \cdot N \cdot e_{в-ч} \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где m – количество вагонов в составе (принимается равным размеру партии контейнеров или ее части); $\Delta t_{ст}$ – сокращение времени на обработку поездов на станции примыкания ТЛТ и МТП, ч; N – количество контейнерных поездов в сутки; $e_{в-ч}$ – расходная ставка на 1 ваг. -ч, руб.

Экономия за счет сокращения объема маневровой работы за год в тыс. руб./год определяем по формуле

$$\begin{aligned} \Theta_{м.р} &= \Theta_{сост} + \Theta_{м.л-ч} = \\ &= (t_{м.р}^1 - t_{м.р}^2) \cdot (e_{сост} + e_{м.л-ч}) \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (2) \end{aligned}$$

где $t_{м.р}^1, t_{м.р}^2$ – объем маневровой работы при базовой технологии и при организации движения контейнерных блок-поездов, соответственно; $e_{сост}$ – расходная ставка одного часа работы составителя поездов, руб.; $e_{м.л-ч}$ – затраты на 1 лок.-ч маневровой работы, руб.

Общая годовая экономия эксплуатационных расходов, тыс. руб./год, для ОАО «РЖД» за счет двух факторов – сокращения простоя вагонов и объема маневровой работы – определяется по формуле

$$\Theta_{общ} = \Theta_{в-ч} + \Theta_{м.р}. \quad (3)$$

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения срока хранения контейнеров на терминалах и сокращения непроизводительного простоя погрузочно-разгрузочных механизмов

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения срока хранения контейнеров

на терминалах за год и как результат – освобождения дополнительных складских мощностей, тыс. руб./год:

$$\begin{aligned} \Theta_{хр}^{ТЛТ(МТП)} &= \\ &= c_{хр.уд} \cdot \Delta T_{хр}^{ТЛТ(МТП)} \cdot m \cdot N \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (4) \end{aligned}$$

где $c_{хр.уд}$ – удельная стоимость хранения контейнеров на ТЛТ (в МТП) – объем затрат на одну единицу складской мощности в единицу времени, руб./конт-сут.; $\Delta T_{хр}^{ТЛТ(МТП)}$ – сокращение срока хранения контейнеров на ТЛТ (в МТП).

Сокращение срока хранения контейнеров на территории ТЛТ достигается за счет подачи и погрузки единовременно целого состава. Экономия эксплуатационных расходов для ТЛТ, тыс. руб./год, составит

$$\begin{aligned} \Theta_{хр}^{ТЛТ} &= c_{хр.уд} \cdot [(t_{групп}^{погр} + t_{групп}^{под ТЛТ}) \times \\ &\times k - t_{б/п}^{погр} - t_{б/п}^{под ТЛТ}] \cdot m \cdot N \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (5) \end{aligned}$$

где $t_{групп}^{погр}, t_{б/п}^{погр}$ – время на погрузку группы вагонов и целого состава блок-поезда, соответственно, ч; $t_{групп}^{под ТЛТ}, t_{б/п}^{под ТЛТ}$ – время на подачу, соответственно, группы вагонов и целого состава блок-поезда на пути ТЛТ, ч; k – количество групп вагонов.

Сокращение срока хранения контейнеров в МТП достигается за счет их подачи целым составом для перегрузки на судно и переноса таможенного оформления контейнеров с территории МТП на территорию ТЛТ. Экономия эксплуатационных расходов для МТП, тыс. руб./год, составит

$$\begin{aligned} \Theta_{хр}^{МТП} &= c_{хр.уд} \cdot [(t_{групп}^{выгр} + t_{групп}^{под МТП}) \cdot k + \\ &+ t_{парт}^{погр.суд} + t_{МТП}^{тамож.оф} - t_{б/п}^{перегр} - t_{б/п}^{под МТП}] \times \\ &\times m \cdot N \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (6) \end{aligned}$$

где $t_{групп}^{выгр}$ – время на выгрузку группы вагонов на путях МТП, ч; $t_{групп}^{под МТП}, t_{б/п}^{под МТП}$ – время на подачу, соответственно, группы вагонов и целого состава блок-поезда на пути МТП, ч;

$t_{\text{парт}}^{\text{погр.суд}}$ – время на погрузку партии контейнеров на судно, ч; $t_{\text{МТП}}^{\text{тамож.оф}}$ – время на таможенное оформление партии контейнеров, ч; $t_{\text{б/п}}^{\text{перегр}}$ – время на перегрузку контейнеров с фитинговых платформ на морское судно.

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения непроизводительного простоя погрузочно-разгрузочных механизмов за год в ожидании погрузочно-разгрузочных работ, тыс. руб./год:

- для ТЛТ

$$\Theta_{\text{п-р}}^{\text{ТЛТ}} = e_{\text{м-ч}}^i \cdot (t_{\text{груп}}^{\text{под ТЛТ}} \cdot k - t_{\text{б/п}}^{\text{под ТЛТ}}) \times N \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где $e_{\text{м-ч}}^i$ – стоимость машино-часа работы i -го погрузочно-разгрузочного механизма, руб.;

- для МТП

$$\Theta_{\text{п-р}}^{\text{МТП}} = e_{\text{м-ч}}^i \cdot (t_{\text{груп}}^{\text{под МТП}} \cdot k - t_{\text{б/п}}^{\text{под МТП}}) \times N \cdot 365 \cdot 10^{-3}. \quad (8)$$

Общая годовая экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения срока хранения контейнеров на территории терминалов и сокращения непроизводительного простоя погрузочно-разгрузочных механизмов, тыс. руб./год:

$$\Theta_{\text{ТЛТ(МТП)}} = \Theta_{\text{хр}}^{\text{ТЛТ(МТП)}} + \Theta_{\text{п-р}}^{\text{ТЛТ(МТП)}}. \quad (9)$$

Экономия эксплуатационных расходов за счет ускорения оборота собственных вагонов оператора, экономия капитальных вложений в вагонный парк

Экономия эксплуатационных расходов за счет ускорения оборота собственных вагонов оператора, тыс. руб. в год:

$$\Theta_{\text{ПТО}} = (e_{\text{пн}}^{\text{гр}} + e_{\text{пн}}^{\text{п}}) \cdot \Delta t_{\text{то}} \cdot N \cdot m \times 2 \cdot \frac{L}{2L_{\text{бр}}} \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (10)$$

где $e_{\text{пн}}^{\text{гр}}$ – приведенная стоимость 1 вагоно-часа простоя груженого вагона; $e_{\text{пн}}^{\text{п}}$ – приведенная стоимость 1 вагоно-часа простоя порожнего вагона; $\Delta t_{\text{то}}$ – сокращение простоя вагонов на припортовой станции в связи с отменой их технического обслуживания по прибытии, ч; L – расстояние пробега блок-поезда от станции погрузки до станции выгрузки, км; $L_{\text{бр}}$ – длина участка работы локомотивных бригад, км.

Экономия капитальных вложений, тыс. руб./год, в вагонный парк за счет сокращения времени нахождения вагонов на станции примыкания ТЛТ и на припортовой станции:

$$K_{\text{ваг.п}} = \frac{\delta_{\text{в}} \cdot N \cdot m \cdot \Delta t_{\text{ст}} \cdot c_{\text{в}}}{24}, \quad (11)$$

где $\delta_{\text{в}}$ – коэффициент перехода от эксплуатируемого к инвентарному парку вагонов; $c_{\text{в}}$ – стоимость одного вагона, тыс. руб.

Общая годовая экономия приведенных затрат для операторов подвижного состава, тыс. руб./год, составит

$$\Theta_{\text{общ}}^{\text{прив}} = \Theta_{\text{ПТО}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{ваг.п}}, \quad (12)$$

где $E_{\text{н}}$ – коэффициент эффективности капитальных вложений.

Экономия от ускорения доставки грузов за счет сокращения простоя груженных вагонов

Эффект от ускорения доставки грузов за год рассчитан от изменения простоя вагонов на грузовых станциях ($\Delta t_{\text{гр}}$) по формуле, тыс. руб./год [2]:

$$\Theta_{\Delta t_{\text{гр}}} = \left[\Pi_{\text{гр}}^{\text{пр}} \cdot P_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{гр}}^{\text{баз}} - t_{\text{гр}}^{\text{расч}}) \cdot N_{\text{гр}} \cdot \varepsilon_{\text{гр}} \cdot \frac{1}{24} \right] \times 365 \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

где $C_{гр}^{пр}$ – средняя цена 1 тонны груза при нахождении на грузовых станциях, руб.; $P_{ст}$ – статическая нагрузка вагона, т; $t_{гр}^{баз}$, $t_{гр}^{расч}$ – простой вагонов под одной грузовой операцией в сравниваемых условиях, ч; $N_{гр}$ – количество погруженных вагонов с применением ресурсосберегающих мероприятий за сутки; $\varepsilon_{гр}$ – доля времени простоя вагона на грузовой станции в грузе в состоянии.

Пример расчета эффективности доставки партии контейнеров блок-поездами в сравнении с базовой технологией

Выполнены расчеты для оценки эксплуатационной и экономической эффективности организации контейнерных блок-поездов на станции Предпортовая Октябрьской железной дороги и примыкающем к ней ТЛТ «Предпортовый» ООО «Модуль» с отправлением на станцию Автово для сдачи в МТП «Большой порт Санкт-Петербург».

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения простоя вагонов за год при организации контейнерных блок-поездов:

$$\Theta_{в-ч} = 50 \cdot [(1,95 - 0,58) + (2,31 - 1,33)] \cdot 2 \times \\ \times 11,68 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 1001 \text{ тыс. руб./год.}$$

Экономия за счет сокращения маневровой работы:

$$\Theta_{м.р} = (5,82 - 4,0) \cdot (268,58 + 847,43) \times \\ \times 365 \cdot 10^{-3} = 741 \text{ тыс. руб./год.}$$

Общая годовая экономия эксплуатационных расходов от сокращения простоя вагонов и объемов маневровой работы составит

$$\Theta_{общ} = \Theta_{в-ч} + \Theta_{м.р} = 1001 + 741 = \\ = 1742 \text{ тыс. руб./год.}$$

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения срока хранения контейнеров

на ТЛТ ООО «Модуль» за год по формуле (4) составит

$$\Theta_{хр}^{ТЛТ} = \frac{500 \cdot [3,45 + 0,46 \cdot 3 - 3 - 0,5]}{24} \times \\ \times 50 \cdot 2 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 1011 \text{ тыс. руб./год.}$$

Экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения непроизводительного простоя погрузочно-разгрузочных механизмов (ричстакеров) на ТЛТ ООО «Модуль» за год по формуле (5) составит

$$\Theta_{п-р}^{ТЛТ} = 975,5 \cdot (0,46 \cdot 3 - 0,5) \times \\ \times 2 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 627 \text{ тыс. руб./год.}$$

Общая годовая экономия эксплуатационных расходов за счет сокращения срока хранения контейнеров на территории ТЛТ и сокращения непроизводительного простоя погрузочно-разгрузочных механизмов:

$$\Theta_{ТЛТ(МТП)} = 1011 + 627 = 1638 \text{ тыс. руб./год.}$$

Экономия капитальных вложений в вагонный парк за счет сокращения времени нахождения вагонов на станции примыкания ТЛТ ООО «Модуль» определяется по формуле (11):

$$K_{ваг.п} = \frac{1,05 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 2,31 \cdot 2140}{24} = \\ = 21\,627 \text{ тыс. руб./год.}$$

Экономия приведенных затрат для операторов подвижного состава:

$$\Theta_{общ}^{прив} = 0,15 \cdot 21\,627 = 3244 \text{ тыс. руб./год.}$$

Экономия от ускорения доставки грузов определяем по формуле (13):

$$\Theta_{\Delta t_{гр}} = [10221,0 \cdot 17,4 \times \\ \times (12,19 - 6,52) \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{24}] \times \\ \times 365 \cdot 10^{-3} = 766\,792 \text{ тыс. руб./год.}$$

Годовая экономия эксплуатационных расходов для участников перевозки
контейнерными блок-поездами на станции Предпортовая

Участник перевозки	Экономия эксплуатационных расходов, тыс. руб./год	Доля экономии от общей суммы, %
ОАО «РЖД»	1742	0,23
Оператор подвижного состава	3244	0,42
Транспортно-логистический терминал	1638	0,21
Грузовладелец	766 792	99,14

В результате при доставке партии контейнеров в порт блок-поездами по сравнению с доставкой отдельными группами каждый независимый участник перевозки получит экономическую выгоду (см. таблицу).

Заключение

Разработанная методика позволяет оценить выгоду для различных независимых участников перевозки партии контейнеров блок-поездами между ТЛТ и МТП в железнодорожном узле.

Расчет для оценки эксплуатационной и экономической эффективности организации контейнерных блок-поездов на станции Предпортовая Октябрьской железной дороги и примыкающем к ней ТЛТ «Предпортовый» ООО «Модуль» показывает целесообразность использования данной технологии в Санкт-Петербургском транспортном узле для перевозки контейнеров в МТП «Большой порт Санкт-Петербург».

Библиографический список

1. Белозеров В. Л. Использование прогрессивных форм транспортных услуг при организации работы припортовой станции / В. Л. Белозеров, Г. М. Грошев, В. И. Ковалев, Н. В. Климова // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 2 (35). – С. 31–43.
2. Витченко М. Н. Методические указания к выполнению экономической части дипломных проектов для студентов факультета «Управление процессами перевозок» специальности «Грузовая и коммерческая работа». Ч. 1 / М. Н. Витченко. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2008. – 53 с.
3. Григорьев Л. Готовы к конкуренции / Л. Григорьев, Д. Вискне // Гудок. – 2011. – № 183 (24903). – С. 3.
4. Грошев Г. М. Оценка эффективности организации контейнерных блок-поездов на станции примыкания транспортно-логистического терминала / Г. М. Грошев, Н. В. Климова, Т. В. Васильева // Экономика железных дорог. – 2013. – № 5. – С. 60–67.

УДК 338.47:656

М. А. Лякина, Е. М. ВолковаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**И. Л. Сакович**

Октябрьская железная дорога – филиал ОАО «РЖД»

**АНАЛИЗ МАКРОСРЕДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПРИГОРОДНОЙ ПАССАЖИРСКОЙ КОМПАНИИ**

Обоснована необходимость и описана методика проведения PEST-анализа внешней среды пригородной пассажирской компании. Идентифицированы и описаны факторы каждой группы, их возможное влияние на результаты деятельности пригородной компании. Выполнены количественная оценка значимости и волатильности каждого фактора, а также сводная оценка. Обобщены результаты PEST-анализа в сводной таблице. Разработаны рекомендации менеджменту по предотвращению негативных последствий или усилению положительного влияния каждого фактора на деятельность пригородной компании.

Пригородные пассажирские перевозки, PEST-анализ, стратегия развития, макроэкономический фактор.

Условия функционирования пригородных пассажирских компаний (ППК) после организационного выделения их в отдельный вид бизнеса в 2006–2011 гг. значительно изменились. Трансформируются структуры региональных рынков пригородных перевозок, усиливается межвидовая конкуренция, обостряются проблемы взаимодействия ППК с регуляторами рынка – органами исполнительной власти субъектов РФ. В 2014 г. определены основные стратегические направления развития железнодорожного пригородного сообщения на федеральном уровне, с учетом которых каждый регион самостоятельно вырабатывает политику по отношению к рынку пригородных перевозок. В этих условиях пригородная компания должна выстроить гибкую стратегию функционирования и развития, учитывающую не только ее внутреннее состояние, но и возможные изменения внешней среды. На первом этапе формирования стратегии развития любой компании необходим предварительный анализ и прогноз изменения факторов ее внешней среды.

**Методика
PEST-анализа**

Для анализа внешней среды компании целесообразно использовать такой инструмент, как PEST-анализ, включающий идентификацию и оценку основных групп факторов: политико-правовых (political), экономических (economical), социально-культурных (socio-cultural) и технологических (technological). [1, 2, 5].

При оценке факторов в PEST-анализе не только учитывается их фактическое состояние, но и прогнозируются возможные изменения каждого фактора на несколько лет вперед. Горизонт прогнозирования может быть различным, но обязательно должен соответствовать периоду разработки стратегии компании.

PEST-анализ выполняется в пять этапов:

- 1) идентификация и описание внешних факторов, которые могут повлиять на продажи и прибыль компании;
- 2) анализ динамики каждого фактора и характера его возможного влияния (положитель-

ного, отрицательного) на результаты деятельности пригородной компании;

3) оценка значимости и степени влияния каждого фактора на компанию;

4) составление сводной таблицы PEST-анализа, содержащей ранжирование факторов по весу;

5) выработка рекомендаций менеджменту по предотвращению негативных последствий и/или усилению положительного влияния каждого фактора.

Приведем результаты PEST-анализа среды функционирования Северо-Западной (СЗ) ППК, которая имеет обширный полигон обслуживания, включающий регионы с различным уровнем экономического развития, демографического состояния, плотности населения и интенсивности пассажиропотоков в пригородном сообщении. PEST-анализ проводили эксперты отрасли, имеющие непосредственное отношение к рынку железнодорожных пригородных перевозок: руководство ОАО «СЗ ППК» и Октябрьской железной дороги, экономисты ППК, исследователи в области экономики транспорта.

Степень влияния каждого фактора на продажи и прибыль пригородной компании оценивалась по 3-балльной шкале, где:

1 балл – влияние фактора мало, любое изменение фактора практически не влияет на деятельность компании;

2 балла – только значимое изменение фактора влияет на продажи и прибыль компании;

3 балла – влияние фактора высоко, любые колебания вызывают значимые изменения в продажах и прибыли компании.

Вероятность изменения каждого фактора оценивалась по 5-балльной шкале, где 1 балл – низкая вероятность, 5 баллов – высокая. Горизонт прогнозирования для всех групп факторов, влияющих на СЗ ППК, составляет 5 лет, поскольку в условиях неопределенности и высокой волатильности многих факторов внешней среды компания разрабатывает долгосрочную стратегию развития именно на такой период времени.

Результаты анализа могут применяться для других ППК в части политико-правовых, макроэкономических, технологических факторов, а также дополняться и конкретизироваться для определенного сегмента рынка или субъекта РФ.

Оценка факторов макросреды Северо-Западной ППК

В соответствии с описанной методикой PEST-анализа эксперты определили факторы макросреды, воздействующие на ППК и представляющие возможности или угрозы для ее функционирования. Эти факторы схематично представлены в таблице.

Политико-правовые факторы связаны с изменением подходов к регулированию рынка пригородных перевозок на федеральном уровне и с принятием Концепции развития пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом. Данная концепция определяет механизм государственного заказа как основную форму взаимодействия ППК и субъектов РФ [4]. Наиболее вероятна реализация таких факторов, как закрепление условий предоставления «инфраструктурной субсидии», гарантирующее ППК полное возмещение выпадающих доходов, выделение нерегулируемого сегмента в пригородных перевозках (прежде всего, в крупных агломерациях – в Москве и Санкт-Петербурге), изменение режима налогообложения для ППК.

Экономические факторы связаны с динамикой макроэкономических показателей: ВВП, доходов населения. Прогноз изменения этих показателей с учетом введенных против нашей страны санкций пессимистичен. В соответствии с прогнозами экономических ведомств (Минэкономразвития, Банка России) и независимых аналитических центров предстоящий период (до 2017 г.) будет характеризоваться снижением реальных доходов населения [3]. Валютный курс характеризуется крайне высокой неопределенностью, резкая девальвация рубля, прошедшая осенью – зи-

Оценка значимости и степени влияния факторов внешней среды на СЗ ППК

Факторы	Влияние фактора, баллы	Вес фактора	Средняя оценка (вероятность изменения)	Оценка с поправкой на вес
Политико-правовые				
<i>Возможности</i>				
Принятие ФЗ «Об организации регулярного пассажирского железнодорожного сообщения в Российской Федерации»	3	0,048	1,7	0,082
Упрощение процедуры взимания штрафа с безбилетных пассажиров	2	0,032	2,7	0,087
Закрепление условий предоставления «инфраструктурной субсидии»	3	0,048	4,7	0,227
Изменение структуры пригородного тарифа	2	0,032	1,3	0,042
Выделение нерегулируемого сегмента в пригородных перевозках	1	0,016	2,3	0,037
Изменение режима налогообложения, введение нулевой ставки НДС по пригородным перевозкам	3	0,048	4,3	0,208
<i>Угрозы</i>				
Закрепление конкурсной процедуры выбора обслуживающих ППК	2	0,032	1,7	0,055
Экономические				
<i>Возможности</i>				
Замедление темпов автомобилизации населения	3	0,048	3,0	0,145
Расширение территориальных границ рынка труда	1	0,016	2,3	0,037
<i>Угрозы</i>				
Замедление темпов роста ВВП	3	0,048	3,7	0,179
Замедление темпов роста доходов населения и их растущая дифференциация	3	0,048	4,3	0,208
Рост стоимости услуг, предоставляемых ОАО «РЖД»	3	0,048	3,7	0,179
Ухудшение инвестиционного климата в отрасли	2	0,032	3,7	0,119
Монополия ОАО «РЖД» в сфере оказания сопутствующих и дополнительных услуг пассажирам пригородной компании	3	0,048	1,7	0,082
Социально-культурные				
<i>Возможности</i>				
Развитие маятниковой миграции и новых форм расселения	2	0,032	3,7	0,119
Возможности развития санаторных, курортных зон и дачных поселков в регионах	2	0,032	2,7	0,087
Возможности развития туризма.	2	0,032	3,0	0,097
Формирование доступной среды на транспорте	1	0,016	2,3	0,037

Окончание табл.

Факторы	Влияние фактора, баллы	Вес фактора	Средняя оценка (вероятность изменения)	Оценка с поправкой на вес
<i>Угрозы</i>				
Снижение доли городского населения, падение численности населения	2	0,032	2,0	0,065
Ухудшение отношения потребителя к компании, качеству услуг, имиджу используемой технологии	3	0,048	1,7	0,082
Изменение возрастного и социального состава населения, рост безработицы	3	0,048	1,3	0,063
Технологические				
<i>Возможности</i>				
Развитие информационных и коммуникационных технологий	2	0,032	4,3	0,139
Сокращение времени поездки	3	0,048	2,3	0,111
Повышение уровня технологического развития	2	0,032	1,7	0,055
Снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду	1	0,016	1,3	0,021
Снижение уровня энергоемкости	2	0,032	1,0	0,032
<i>Угрозы</i>				
Высокий уровень развития альтернативных видов транспорта	2	0,032	3,0	0,097
ИТОГ	62	1,000	73,1	2,721

мой 2014 г., обусловлена комплексом причин, прежде всего, неблагоприятной динамикой цен на углеводороды и санкциями к российской банковской системе. Эти изменения, с одной стороны, вызовут рост расходов компании, но с другой – будут способствовать замедлению темпов роста автомобилизации населения вследствие удорожания частных автомобилей, а значит, дадут компании возможность укрепить свои конкурентные позиции. Прогнозируемое снижение темпов экономического роста приведет к росту напряженности на рынке труда, к изменению территориальных границ рынка, привлечению более дешевой рабочей силы из пригородных районов, росту маятниковой миграции.

В настоящее время ОАО «РЖД» является монополистом в сфере предоставления производственных услуг ППК (аренда, обслуживание и ремонт подвижного состава) и оказания сопутствующих услуг пассажирам. Этот факт значительно воздействует на величину расходов ППК и их динамику, на возможность оптимизации затрат и на получение дополнительных доходов.

К социально-культурным факторам отнесены изменение численности, плотности, возрастного и социального состава населения, доли городского населения в общей численности, возможность развития маятниковой миграции и новых форм расселения, туризма, санаторно-курортных зон, дачных поселков,

а также имидж компании в глазах потребителей и возможности формирования доступной среды на транспорте.

Полигон обслуживания СЗ ППК включает в себя регионы, существенно различающиеся по численности и плотности населения. Все эти факторы определяют интенсивность формирования рынков пригородных перевозок, их структуру, величину спроса на пригородные перевозки. В условиях рецессии значительных изменений динамики и уровня перечисленных факторов не предполагается.

Следует отметить, что на всем полигоне работы компании, за исключением Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в период с 2009 по 2014 г. наблюдалось сокращение численности населения как за счет отрицательного значения естественного прироста населения, так и в результате миграции. Проблемные регионы, обслуживаемые компанией (в первую очередь, Псковская и Новгородская области), отличаются высокой долей нетрудоспособного населения, в том числе растущей долей лиц пенсионного возраста. Здесь (а также в Мурманской области и в Республике Карелия) происходит абсолютное сокращение численности экономически активного населения [6].

Позитивная тенденция последних лет связана с развитием туризма и рекреационных услуг в регионе, с ростом популярности отдыха в пригородной зоне. При этом железнодорожный транспорт проигрывает в конкуренции частному автотранспорту высокодоходных сегментов населения. В то же время железнодорожное пригородное сообщение остается основным средством транспорта для жителей дачных поселков, в большинстве своем пользующихся различными формами льготных тарифов.

Технологические факторы связаны с внедрением технологии электронной реализации проездных документов, с уровнем развития автодорог и с возможностями формирования мультимодальных пригородных маршрутов.

В настоящее время в рыночном сегменте пригородных пассажирских перевозок активно развиваются автобусный и таксомоторный

виды транспорта. Для них характерны высокие темпы роста и широкое использование новых технологий. Активно идет строительство высокоскоростных автомагистралей, транспортные средства оснащаются современными телекоммуникационными устройствами. Следует отметить отставание железнодорожного транспорта от автомобильного по уровню технико-технологического развития, обусловленное высоким уровнем износа подвижного состава и недостатком инвестиций в инфраструктуру.

Описанные факторы при проведении PEST-анализа оценивали по вероятности изменения и уровню значимости для компании. Согласованность мнений экспертов оценивали с использованием коэффициента корреляции, значение которого составило 0,78, что говорит об удовлетворительной степени согласованности. Сводная оценка факторов представлена в таблице.

Выводы

По результатам PEST-анализа можно сделать следующие выводы. Итоговая оценка (2,721) указывает на среднюю степень готовности компании реагировать на текущие и прогнозируемые факторы макросреды.

Можно выделить факторы внешней среды, на которые компании следует обратить особое внимание:

- закрепление условий предоставления «инфраструктурной субсидии» (оценка с поправкой на вес – 0,227);
- замедление темпов роста доходов населения и их растущая дифференциация (0,208);
- изменение режима налогообложения, введение нулевой ставки НДС по пригородным перевозкам (0,208);
- рост стоимости услуг, предоставляемых ОАО «РЖД» (0,179).

Результаты PEST-анализа могут служить основой для более углубленного анализа возможностей и угроз ППК. Их следует учесть при разработке стратегии развития ОАО «СЗ

ППК» и можно использовать в качестве базы для оценки факторов макросреды других пригородных пассажирских компаний.

Библиографический список

1. Арутюнова Д. В. Стратегический менеджмент / Д. В. Арутюнова. – Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2010. – 122 с.
2. Дюков И. Стратегия развития бизнеса. Практический подход / И. Дюков. – СПб. : Питер, 2008. – 236 с.
3. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на пери-

од до 2030 года (разработан Минэкономразвития РФ). – URL : <http://base.garant.ru> (дата обращения 15.01.2015).

4. Распоряжение Правительства РФ от 19.05.2014 № 857-р «Об утверждении Концепции развития пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом». – URL : <http://base.consultant.ru> (дата обращения 10.01.2015).

5. Томпсон А. А. Стратегический менеджмент : концепции и ситуации для анализа / А. А. Томпсон, А. Дж. Стрикленд. – М. : Вильямс, 2006. – 928 с.

6. Федеральная служба государственной статистики. – URL : <http://www.gks.ru> (дата обращения 16.01.2015).

УДК 339.138

Т. М. Шманёв, Е. К. Шмарина

Октябрьская региональная служба развития пассажирских сообщений и предоставления доступа к инфраструктуре ОАО «РЖД»

ФОРМИРОВАНИЕ ТАРИФОВ НА УСЛУГИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ОАО «РЖД» В СФЕРЕ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Рассмотрены общие принципы выделения составляющих в структуре доходов и расходов по перевозкам. Проанализирована инфраструктурная составляющая в структуре расходов, выявлена взаимосвязь между вагоно-километровой работой в пригородном сообщении и полученными ОАО «РЖД» доходами от оказания услуг инфраструктуры.

Тариф, инфраструктурная составляющая, вагоно-километр.

В условиях экономических преобразований и реформ в России и ориентации на ускоренное решение социально-экономических проблем, на повышение жизненного уровня населения, на удовлетворение его потребностей, в том числе в передвижении, эффективное развитие системы пассажирских сообщений приобретает особую актуальность.

Правильная тарификация работ и услуг железнодорожного транспорта – задача слож-

ная, поэтому заслуживает комплексного рассмотрения. Установление тарифов (цен) – одно из самых важных решений в любом бизнесе. Поведение цен на рынке представляет собой сложный процесс, и в зависимости от установленной цены компания может как получить большую прибыль, так и понести значительные потери. Важно отметить, что ценообразование не основано на данных какой-то одной науки, а опирается на знания и достижения

множества теоретических разработок, в частности, в области бухгалтерского учета, экономики и маркетинга.

Выделение составляющих в доходах и расходах от перевозок, определение их содержания

Деятельность ОАО «РЖД» составляют грузовые и пассажирские перевозки. Услуги инфраструктуры и локомотивной тяги ОАО «РЖД» можно связать с процессом перевозок.

В структуре доходов и расходов от услуг по перевозкам выделяются элементы, представляющие собой часть работ и затрат на предоставление инфраструктуры (в том числе вокзалов), локомотивной тяги, ремонт подвижного состава, обслуживание и подготовку к перевозкам подвижного состава, обслуживание клиентов, прочие виды работ, отнесенных к себестоимости перевозок. Выделяются три составляющие:

- вагонная;
- локомотивная;
- инфраструктурная (в том числе вокзальная).

Все затраты, относящиеся к эксплуатации вокзалов и к услугам вокзалов (поскольку те являются составной частью инфраструктуры) отнесены к инфраструктурной составляющей, но показываются отдельной строкой [2].

Состав затрат по инфраструктурной составляющей (без учета вокзальной)

В инфраструктурную составляющую расходов ОАО «РЖД» от перевозок включаются следующие группы статей [1]:

- работы по содержанию, текущему и капитальному ремонту и обслуживанию объектов инфраструктуры, амортизационные отчисления по объектам инфраструктуры;

- работы по эксплуатации инфраструктуры и по управлению перевозочным процессом;
- работа локомотивов в хозяйственном движении;
- работы по осуществлению начально-конечных операций (НКО), в том числе работа локомотивов на маневрах;
- работы по содержанию, экипировке, обслуживанию, текущему и капитальному ремонту маневровых локомотивов, амортизационные отчисления по маневровым локомотивам;
- работы по обслуживанию вагонов и контейнеров в пути следования на станциях;
- общепроизводственные и общехозяйственные расходы структурных подразделений, осуществляющих содержание, текущий и капитальный ремонт, обслуживание и эксплуатацию инфраструктуры, а также часть общепроизводственных и общехозяйственных расходов, связанных с работой локомотивов на маневрах, с работами по содержанию, экипировке, обслуживанию, текущему и капитальному ремонту маневровых локомотивов, с обслуживанием вагонов и контейнеров в пути следования на станциях;
- общепроизводственные и общехозяйственные расходы вспомогательно-административных подразделений.

Инфраструктурной составляющей расходов от перевозок соответствует инфраструктурная составляющая доходов от перевозок, которая определяется как сумма инфраструктурных составляющих провозной платы, рассчитанной по тарифам, и инфраструктурных составляющих дополнительных доходов, рассчитываемых исходя из ставок дополнительных сборов. Инфраструктурная составляющая доходов ОАО «РЖД» от перевозок представляет собой сумму доходов по инфраструктурным составляющим тарифов на грузовые и пассажирские перевозки и дополнительных доходов от грузовых и пассажирских перевозок.

Инфраструктурная составляющая в тарифах ОАО «РЖД» на перевозки представляет собой плату за предоставление доступа к инфраструктуре. После принятия инфраструк-

турного преysкуранта (Приказ ФСТ России от 27 июля 2010 г. № 156-т/1) инфраструктурная составляющая в тарифах стала эквивалентна тарифу на предоставление доступа к инфраструктуре, рассчитанного в инфраструктурном преysкуранте и включающего в себя плату за доступ к инфраструктуре и плату за НКО, включенные в тариф.

Плата за доступ к инфраструктуре – это тариф, удерживаемый с перевозчика за предоставление возможности осуществления перевозок на железнодорожных путях общего пользования, покрывающий затраты на содержание и ремонт объектов инфраструктуры, а также затраты на капитальные вложения.

Тарифы на предоставление инфраструктуры рассчитываются исходя из нормативной величины затрат на НКО и на единицу движущихся операций (тонно-километр, вагоно-километр и т. д.).

Инфраструктурная составляющая в дополнительных сборах и дополнительных доходах от грузовых и пассажирских перевозок должна соответствовать сумме дополнительных сборов и доходов, связанных с предоставлением услуг инфраструктуры.

Суммы дополнительных сборов, связанных с предоставлением инфраструктуры, рассчитываются из нормативных затрат на данные операции.

При этом расходы, доходы, тарифы и сборы, связанные с предоставлением услуг инфраструктуры или прочими услугами клиентам, в которых задействована инфраструктура в том случае, если ОАО «РЖД» не является перевозчиком, не относятся к инфраструктурной составляющей, поскольку не являются доходами, расходами и тарифами, связанными с грузовыми или пассажирскими перевозками.

Прозрачность выделения инфраструктурной составляющей в тарифах, дополнительных доходах и сборах, а также в доходах и расходах от перевозок является необходимым и достаточным условием обеспечения недискриминационного доступа к инфраструктуре при формировании новой тарифной системы [5].

Структура тарифов на услуги использования инфраструктуры и перечень работ, затраты по которым учтены в этих тарифах

Перечень работ (услуг), выполняемых ОАО «РЖД», затраты по которым учтены в ценах (тарифах) на услуги по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования при пассажирских перевозках в составе пригородных поездов перевозчика:

1) формирование расписания движения поездов перевозчика в порядке и в сроки, предусмотренные Постановлением Правительства РФ от 20 ноября 2003 г. № 703 «Об утверждении Правил оказания услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования» [4];

2) формирование в пунктах формирования и оборота на путях общего и не общего пользования пассажирских поездов из собственных (арендованных) пассажирских вагонов перевозчика, собственного (арендованного) мотор-вагонного подвижного состава перевозчика в пределах технологического процесса перевозки;

3) предоставление путей общего и не общего пользования, других объектов инфраструктуры для отстоя собственных (арендованных) пассажирских вагонов перевозчиков, собственного (арендованного) мотор-вагонного подвижного состава перевозчика в течение времени, предусмотренного технологическим процессом перевозки и расписанием движения пассажирских поездов (включая текущее обслуживание, текущий и капитальный ремонт пути и других объектов инфраструктуры в пунктах отстоя и ремонта пассажирских вагонов, мотор-вагонного подвижного состава);

4) подача-уборка пассажирских поездов перевозчиков по путям общего пользования от места формирования (отстоя в пункте оборота) к платформе отправления (прибытия) поезда отправления (прибытия) поезда в пределах технологического процесса работы

станции (технологического процесса перевозки);

5) предоставление путей общего пользования, других объектов инфраструктуры, обеспечивающих продвижение поездов перевозчика по инфраструктуре ОАО «РЖД» в соответствии с утвержденным расписанием движения пассажирских поездов (включая текущее обслуживание, текущий и капитальный ремонт пути и других объектов инфраструктуры в местах общего пользования);

6) диспетчерское управление перевозкой;

7) электроэнергия на тягу поездов перевозчиков (при использовании локомотивной и мотор-вагонной тяги);

8) проведение в пути следования маневровой работы по отцепке, прицепке собственных (арендованных) вагонов, по подаче и уборке вагонов от поезда к месту отстоя, если это предусмотрено расписанием движения пассажирских поездов;

9) техническое обслуживание по программе ТО-1 пассажирских вагонов локомотивной тяги в пути следования;

10) экипировка пассажирских вагонов локомотивной тяги пригородного сообщения в пути следования;

11) текущее обслуживание, текущий и капитальный ремонт и амортизация средств вычислительной техники, сети передачи данных, инженерного оборудования и АСУ, текущее обслуживание, текущий и капитальный ремонт и амортизация системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3»;

12) текущий ремонт зданий, сооружений, оборудования и инвентаря, связанных с пассажирскими перевозками в пригородном сообщении (в том числе вокзалов);

13) обслуживание зданий, сооружений, оборудования и инвентаря, связанных с пассажирскими перевозками в пригородном сообщении (в том числе вокзалов);

14) эксплуатация и обслуживание АСОКУ-ПЭ на перронах вокзалов и на остановочных пунктах;

15) амортизация устройств АСОКУПЭ на перронах вокзалов и на остановочных пунктах;

16) содержание восстановительных поездов.

В перечень не входят работы (услуги) по предоставлению локомотивных бригад; услуги локомотивной тяги (исключая электроэнергию на тягу); техническое обслуживание пассажирских вагонов, курсирующих в пригородном сообщении в пунктах формирования и оборота; экипировка пассажирских вагонов, курсирующих в пригородном сообщении в пунктах формирования и оборота; текущий отцепочный ремонт пассажирских вагонов, курсирующих в пригородном сообщении; ремонт пассажирских вагонов, курсирующих в пригородном сообщении.

Взаимосвязь вагоно-километровой работы и полученных доходов ОАО «РЖД» в пригородном сообщении

Вагоно-километровая работа – это количественный показатель работы подвижного состава, который характеризует объем выполненной работы и является основанием для взаиморасчетов ОАО «РЖД» с перевозчиками.

Тарифы на услуги использования инфраструктуры ОАО «РЖД» определяются по базовым ставкам тарифной схемы И1 за 1 поезд и базовым ставкам тарифных схем И2 и И3, установленным в расчете за 1 вагон в составе пригородного поезда в зависимости от типа подвижного состава на соответствующих участках (электрифицированных и смешанных или только на неэлектрифицированных).

Основой для формирования базовых ставок И1, И2, И3 служат эксплуатационные расходы железных дорог по форме 7/у, рассчитанные на соответствующие измерители. Все расходы, связанные с перевозками в пригородном сообщении, постатейно в разрезе хозяйств были распределены на три группы:

1) И1 – расходы, зависящие от размеров движения и дальности поездки (поездо-км). Это самая большая группа расходов. В нее вошли расходы хозяйств движения, автоматики и телемеханики, сигнализации и связи,

электрификации и электроснабжения, а также основная доля расходов хозяйства пути;

2) И2 – расходы, зависящие от размеров движения, составности и дальности поездки (вагоно-км). В эту группу включена часть расходов хозяйства пути, связанная с текущим содержанием и капитальным ремонтом верхнего строения пути (ст. 2101 и 2110 «Номенклатуры расходов основных видов хозяйственной деятельности железнодорожного транспорта» 2002 г.), а также затраты на техническое обслуживание по программе ТО-1 пассажирских вагонов в пути следования (ст. 2005 там же);

3) И3 – расходы, зависящие только от составности. В эту группу включены расходы, связанные с текущим ремонтом и обслуживанием зданий, сооружений, оборудования и инвентаря, с пассажирскими перевозками в пригородном сообщении (ст. 2002, 2004). Зависимость данных расходов от количества вагонов в определенном смысле условна, она отражает пассажиропоток на вокзалах, на станциях и на остановочных пунктах [3].

Понимание структуры тарифной схемы позволяет наиболее эффективно управлять перевозочным процессом в части предоставления услуг инфраструктуры железнодорожного транспорта при перевозке пассажиров в пригородном сообщении.

Доходы от предоставления услуг инфраструктуры железнодорожного транспорта при перевозке пассажиров в пригородном сообщении, а также объем вагоно-километровой работы планируются по дорогам на основании запросов пригородных пассажирских компаний.

При этом прямой зависимости между ростом (снижением) вагоно-километровой работы и доходов от предоставления услуг инфраструктуры нет.

Существенную роль играют внешние изменения вагоно-километровой работы: отмена (назначения) поездов, изменение составности, вид тяги, дальность поездки (см. таблицу).

Так, при ежедневном курсировании поезда моторвагонным подвижным составом на расстояние 150 км доходы инфраструктуры в месяц составят 800 тыс. руб. При снижении составности до четырех вагонов изменение вагоно-километровой работы составит 50 %, а доходы снизятся лишь на 9 %. При обслуживании данного участка вагонами локомотивной тяги при сохранении восьми вагонов в поезде объемные показатели не изменятся, однако доходы от оказания услуг инфраструктуры снизятся на 16 %. При изменении типа тяги и составности снижаются показатели и вагоно-километровой работы, и доходов.

Взаимосвязь изменения вагоно-километровой работы и полученными ОАО «РЖД» доходами от услуг инфраструктуры в пригородном сообщении (для примера – расстояние 150 км)

Количество вагонов	Поездо-километр, тыс. поездо-км	Вагоно-километр, тыс. ваг-км	Доход в месяц, тыс. руб.
8	4,65	37,2	800
Снижение составности			
4	4,65	18,6 (–50 %)	730 (–9 %)
Сравнение видов тяги (на электрифицированном и неэлектрифицированном участке), составность неизменна			
8	4,65	37,2	678 (–16 %)
Сравнение видов тяги (на электрифицированном и неэлектрифицированном участке) с учетом снижения составности			
1	4,65	4,65 (–87 %)	556 (–30 %)

Заключение

С одной стороны, снижение вагоно-километровой работы позволяет уменьшить расходы перевозчиков, с другой – это недополученные доходы ОАО «РЖД». Необходимо найти разумный баланс между данными факторами, чтобы снижение нагрузки на субъекты и на пассажиров (через стоимость проезда) не ухудшило качество содержания инфраструктуры.

Библиографический список

1. Приказ Министерства транспорта РФ от 18.07.2007 г. № 99 «О критериях определения категорий поездов для перевозки пассажиров в зависимости от скорости их движения и расстояния следования».

2. Приказ Министерства транспорта РФ от 31.12.2010 г. № 311 «Об утверждении порядка

ведения отдельного учета доходов, расходов и финансовых результатов по видам деятельности, тарифным составляющим и укрупненным видам работ ОАО «РЖД».

3. Приказ ФСТ России от 27.07.2010 № 156-т/1 «Об утверждении цен (тарифов) на услуги по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, оказываемые ОАО „Российские железные дороги“ при осуществлении перевозок пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в пригородном сообщении в субъектах Российской Федерации и правил их применения».

4. Постановление Правительства РФ от 20.11.2003 № 703 «Об утверждении Правил оказания услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования».

5. Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 г. № 877-р «О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года».

ABSTRACTS

V.A. Kudryavtsev, A.A. Svetashev
Petersburg State Transport University

Laws of train formation at the railroad yards with train departure under fixed schedule

The article provides the analysis of train formation at the railroad yard under the train accumulation, and the formation of trains departing for their fixed schedule to determine dependencies, allowing the evaluation of the costs of freight car-hours under accumulation of freight cars, and provides the background of using the fixed schedule. The article determines the differences of the process of accumulation of freight cars at a fixed and flexible schedule. With the help of train formation simulation at fixed schedule the parameters to validate the proposed methodology are calculated and compared.

Fixed schedule, incomplete fixed schedule, average train length, permissible variation of the average train length, costs of freight car-hours, accumulation parameter.

References

1. Kudryavtsev V. A., Kukushkina Ya.V. & Suyunbaev Sh. M. *Zheleznodorozhny transport – Rail Transport*, 2010, no. 3, pp. 29-31.
2. Kudryavtsev V. A. & Suyunbaev Sh. M. Zelesoobraznost' ispol'zovaniya tverdogo grafika dvizheniya gruzovykh poezdov [The feasibility of using a solid schedule of freight trains]. *Sbornik statey Voenno-technicheskogo instituta* (Collection of Articles of the Military Technical Institute). 2010, no.18, pp. 145-149.
3. Suyunbaev Sh. M. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2010, Is. 3, pp. 15-24.

A. V. Aleksandrov
Petersburg State Transport University

Feasibility of on-board DC circuit application for modern multiple unit rolling stock

The article analyzes the structure of energy consumption of its own use of modern multiple unit rolling stock. It includes the data of the energy consumption of its own needs for electrical trains, manufactured in Russia. It also shows the features of the power of static frequency converters of main air compressors and compressors of air conditioning systems. There is a review of expediency of power supply of tubular heating elements of climate control systems using on-board network or high voltage circuit. The article provides the description of different options of the auxiliary converter. The structure of the on-board DC network is also described. The article defines the criteria for choosing the power supply system for the newly designed rolling stock.

On-board power supply network, auxiliary converter, power supply of auxiliary machines.

References

1. Zakharchenko D. D. & Rotanov N. D. Tyagovye elektricheskie mashiny [Traction Electric Machines]. Moscow, Transport, 1991. 343 p.
2. Kokorin O. Ya. Sovremennye sistemy kondicionirovaniya vozduha [Modern air Conditioning Systems]. Moscow, 2003. 272 p.
3. Meleshin V. I. Tranzistornaya preobrazovatel'naya tekhnika [Transistor Converter Hardware]. Moscow, Tekhnosfera, 2005. 632 p.

A. A. Andryushchenko
«TRTrans» LTD.

A. A. Zarif'yan, P. G. Kolpakhch'yan
Rostov state transport university

Indicators of power efficiency for passenger electric locomotives with asynchronous traction drive at DC power supply

The article analyzes the parameters of energy efficiency of passenger electric locomotives with

asynchronous traction drive in various operating conditions with DC power supply. As an example, the article considers the traffic on high-speed flatland railroad section of Oktyabrskaya railroad, at the mountainous area of North Caucasian railroad, and the flatland section of Moscow railroad, that has a speed limitations. It includes the speed, traction force, total power consumption and power for traction diagrams, obtained by on-board recorder. The article considers the indicators of energy efficiency for various conditions, and provides the suggestions for their improvement.

Passenger electric locomotive, asynchronous traction drive, DC circuit, energy efficiency indicator.

References

1. Bakhvalov Yu. A., Zarif'yan A. A. & Kolpakhch'yan P. G. Modelirovanie ehlektromekhanicheskoy sistemy ehlektrovoza s asinhronnym tyagovym privodom [Electrical and Mechanical System Simulating of Electrical Locomotive with Asynchronous Traction Drive], ed. E. M. Plokhov. Moscow, Transport, 2001. 286 p.
2. Gapanovich V. A., Avilov V. D. & Argannikov B. A. Energoberezhenie na zheleznodorozhnom transporte [Energy Savings at Railroad Transport], ed. V. A. Gapanovich. Moscow, MISiS, 2012. 620 p.
3. Zarif'yan A. A. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy – Bulletin of Research Findings*, 2014, no. 4 (13), pp. 29–35, available at: www.brni.info.
4. Ilinsky N. F. Osnovy ehlektroprivoda [Electric Drive Basics]. Moscow, MEI publishing, 2003. 224 p.
5. Sergeev S. V., Fedotov M. V. & Tkachenok A. L. *Locomotive – Locomotive*, 2014, no. 3, pp. 38–42.
6. Sistema upravleniya i diagnostiki ehlektrovoza ЭП10 [System of Managing and Diagnostics of Electric Locomotive ЭП10], ed. S. V. Pokrovsky. Moscow, Intekst, 2009. 356 p.
7. Soltus K. P. *Locomotive – Locomotive*, 2013, no. 4–6.

G. A. Bekbaev, N. V. Evglevskaya, A. A. Privalov, E. V. Skudneva

Petersburg State Transport University

Monitoring method for message transmitting process within telecommunication channels of JSC RZD

To ensure stable operation of telecommunication devices and, consequently, to provide consumers the services with the required quality the system of monitoring is established. There are ways to build monitoring systems, with the implementation of which a large amount of additional information should be transmitted over the telecommunications system (TKS), that extends the TKS control cycle. To reduce the TKS control cycle the authors developed the assessment of condition of JSC “Russian Railways” TKS considering the spectral characteristics of sending messages (packets or data frames) process. Changing the time of messaging (packets or data frames) and the form of the distribution of its deviation from the mean value, usually caused by the changing of TKS channels operation.

Telecommunication systems, normal law of distribution, texponential law of distribution, TKS control cycle time.

References

1. Levin B. P. Teoriya sluchajnykh processov i ee primeneniye v radiotekhnike [Random Process Theory and its Implementation in Radiotechnics]. Moscow, Sovetskoye radio, 1957.
2. Privalov A. A. Metod topologicheskogo preobrazovaniya stohasticheskikh setej i ego ispol'zovaniya dlya analiza sistem svyazi VMF [Method for Topological Transformation of Stochastic Networks and its Implementation for Analysis of Communication Systems of VMF]. Saint Petersburg, VMA, 2000. 160 p.

N. A. Goncharova, E. K. Korovyakovsky
Petersburg State Transport University

Technology and arrangement of inventory management at storage facility GUP St Petersburg underground railroad

The implementation of the logistic function of inventory management plays a key role in material and technical supply of an enterprise. The article proposes to revise the methods of diagnosis and control of inventory condition of the underground railroad, that will free up storage space and funds frozen in overstocking. Solution of the problem involves the grouping of inventory items and analyzing of selected groups to choose the optimal methods of inventory planning and management for the entire range of material resources.

Stocks, material and technical supply, grouping of inventory items, optimal strategy.

References

1. Zaproshy predlozheny GUP "Peterburgsky metropolitan" [Suggestion Requests of GUP "St Petersburg Underground Railroad"], available at: <http://www.metro.spb.ru/mtz/gate/price>.
2. Nikiforova M. S. Razvitie sistem skladov vremennogo hraneniya v RF [Development of Temporary Storage System]. Moscow, GASIS, 2008. 50 p.

I. A. Dobryakov, P. E. Bulavsky, D. S. Markov
Petersburg State Transport University

Document flow analysis for SCB distance, based on international standards

The article describes the technique of the document flow survey of the distance of signaling, centralization and blocking (SCB) for data collection; it also provides the methods of formalizing the data in the form of formalized description, based on the international standard IDEF0. The article suggests methods

for extensions to the standard IDEF0 to describe the process of distance document workflow. It presents the transition process from a formalized description according to IDEF0 to a description in the form of parallel logic algorithms (PLSA), and proposes the concept of automatic transition from the description in the form of IDEF0 to PLSA and, further, to the simulation model of the process.

Electronic document flow of technical documentation (EDTD), formal description, survey, parallel logic algorithms, simulation modeling.

References

1. Bulavsky P. E. & Markov D. S. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2013, Is. 4, pp. 17-24.
2. Bulavsky P. E. & Markov D. S. *Aktual'nye voprosy razvitiya sistem zh. d. avtomatiki i telemekhaniki – Topical issues of Railroad Automatics and Telemechanics Systems Development*. Saint Petersburg, 2013, pp. 52–59.
3. Bulavsky P. E. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2011, no. 1, pp. 60-63.
4. Bulavsky P. E. & Markov D. S. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2013, Is. 2, pp. 108-115.
5. Lazarev V. G. & Piyl' E. I. Sintez upravlyayushchih avtomatov [Synthesis of Control Automation]. Moscow, Energiya, 1984. 408 p.
6. Markov D. S. & Bulavsky P. E. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2010, Is. 4, pp. 186-195.
7. P 50.1.028-2001 Informacionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo cikla produkcii. Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya [Information Technologies for Product Life Cycle Support. Techniques for Operational Simulation]. Moscow, Gosstandart Rossii.

I. M. Kokurin

Solomenko Institute of Transport problems,
Russian Academy of Science

A. B. Vasil'ev

Petersburg State Transport University

Algorithmic description of train dispatcher solutions for crossing station selection

The organization of train traffic under the condition of deviations from the standard schedule and from dispatching schedules is one of the main tasks of train dispatchers, the solution of which is greatly complicated in the single-track sections. At the same time the results of operation of railway sections depend on the correctness of taking and implementation of dispatching decisions. The article proposes a method of algorithmic description of the formalized decision-making by the train dispatcher to determine the crossing stations in order to develop the information support and for automation of train traffic control functions.

Train dispatchers, train traffic control, selection of crossing stations, algorithmic description of solution, information support, automation of dispatching management.

References

1. Instrukciya po opredeleniyu stacionnyh i mezhpoezdnyh intervalov [Manual for Determination of Station and Train-to-Train Space]. Moscow, 2011.
2. Instrukciya po razrabotke grafika dvizheniya poezdov v OAO «RZHD» [Manual for Train Traffic Schedule Development at JSC RZD]. Moscow, 2006. 179 p.
3. Kokurin I. M., Nikitin A. B. & Sapunov N. A. Sbornik proektnogo i vnedrencheskogo tsentra organizatsii truda MPS [Design and Implementation Center of Work Management of the Ministry of Transport]. Moscow, 1990. 98 p.
4. Kokurin I. M. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie – Transport: science, engineering, management*, 1992, no. 4, pp. 9-12.
5. Kokurin I. M. Teoriya i metody obosnovaniya urovnya avtomatizatsii upravleniya processami perevozok na osnove sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Theory and methods of substantiation of the level of automation of transport processes, based on railroad automatics and telemechanic systems]. Leningrad, 1986. 322 p.

A. A. Kornev, D. S. Smirnov

Petersburg State Transport University

Analysis of possible adaptation of machine vision systems in order to prevent collisions at the railroad

The article considers the possibility of adapting the systems, that use machine vision tools, for its application at railways in order to prevent collisions. The article provides the examination of a system with an active-pulse television camera and a stereo-video system, based on two CCD-cameras to determine the most appropriate, from a technical point of view, object of further improvement and implementation as a security system. The article also provides the algorithms for detecting the obstacles at the path of a train and for determination of their danger in real time.

Vanishing point, fraternization plane, alignment, orthophoto, featured image.

References

1. Vizil'ter Yu. V. & Zheltov S. Yu. Problemy tekhnicheskogo zreniya v sovremennyh aviacionnyh sistemah [Vision Problems in Modern Aircraft Systems]. *Trudy nauchno-tekhnicheskoy konferencii-seminara "Tekhnicheskoe zrenie v sistemah upravleniya mobil'nymi ob"ektami-2010"* (Proceedings of sci. conf.-workshop "Machine Vision in Mobile Objects Control Systems – 2010"), Tarusa, March 16–18, 2010. Is. 4, ed. P. P. Nazirova. Moscow, KDU, 2011, pp. 11-44.
2. Vygolov O. V., Zheltov S. Yu. & Vizil'ter Yu. V. Obnaruzhenie prepyatstvy pered nazemnym mobil'nyim ob"ektom v bortovoy sisteme tekhnicheskogo stereozreniya real'nogo vremeni [Detection of Obstacles in Front of the Object in the Land Mobile-Board Stereo Vision System of Technical Real Time]. *Trudy nauchno-tekhnicheskoy konferencii-seminara "Tekhnicheskoe zrenie v sistemah upravleniya mobil'nymi ob"ektami-2010"* (Proceedings of sci. conf.-workshop "Machine Vision in Mobile Objects Control Systems – 2010"), Tarusa, March 16–18,

2010. Is. 4, ed. P.P. Nazirova. Moscow, KDU, 2011, pp. 202-215.

3. Ivanov Yu. A. *Tekhnika zheleznih dorog – Railroad Engineering*, 2011, no. 4 (16), pp. 57-61.

4. Kim N. V. & Ivanov Yu. A. *Tekhnika zheleznih dorog – Railroad Engineering*, 2013, no. 1 (21), pp. 67-70.

**A. M. Kostrominov, M. Yu. Korolev,
T. V. Kryuchkova**

Petersburg State Transport University

Structure and algorithm development for automatic control systems of underground train traffic

The article covers the problem of RFID-technologies application in automatic control systems (SAK) for train traffic at underground railroad, such as car mileage SAK and car movement SAK. The article also determines the tasks and functions of indicated systems, as well as their structures. Algorithms of operation of car mileage and movement SAK are developed for more accurate assessment of the distance and travel time of cars of the underground railroad, as well as for monitoring the actual movement of the cars.

RFID-technologies, RFID tag, reader, SBPP.

References

1. Kostrominov A. M., Korolev M. Yu., Gavrilov V. V. & Kryuchkova T. V. Metod i sredstva kalibrovki mery proydennogo puti v metropolitene [Method and Calibration Tools for Measuring of Distance Covered at Underground Railroad]. *65 nauchno-tekhnicheskaya konferenciya, posvyashchennaya Dnyu radio* (Collect. of Papers of 65th Sci. Conf., Dedicated to Radio Day). Saint Petersburg, PGUPS, 2010.
2. Kostrominov A. M., Korolev M. Yu., Gavrilov V. V. & Kryuchkova T. V. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2009, Is. 3 (20), pp. 91-97.

V. A. Kruchek, A. M. Evstaf'ev

Petersburg State Transport University

Analysis of kinematic parameters of axial gearbox of the wheelset with vertical jet traction

The article provides the summary of the kinematic functions and laws of axial gearboxes with vertical jet traction of cardan group drive of wheelsets. It shows the graphic ratios of movement, velocity and acceleration of fastening elements of the axial gearbox and the analysis of the most characteristic options of the jet traction under different parameters of displacement of the crew during the locomotive movement.

This article is intended for professionals involved into design and calculation of the mechanical part of the crews of traction rolling stock for various purposes, including industrial diesel and high-speed passenger locomotives.

Traction rolling stock, elements of mechanical part of the crew, group traction drive of wheelsets, axial gearbox, vertical jet traction, kinematic parameters, movement, velocity, acceleration.

References

1. Bryukov I. V. Dinamika i prochnost' privoda [Drive Dynamics and Strength]. Moscow, Collect. of Res. Papers MIIT, 1960, Is. 121.
2. Palkin A. P. & Lernier B. M. Dizel'nye poezda. Ustrojstvo, ekspluatatsiya, remont i ustraneniye neispravnostey [Diesel Trains. Technology, Operation, Repair and Trouble Shooting]. Moscow, Transport, 1970. 310 p.
3. Shacillo A. A. Tyagovyy privod ehlektropodvizhnogo sostava [Traction Drive of Electric Stock]. Moscow, MPS, 1961.

A. M. Orlova, A. A. Vorob'ev, A. V. Saidova

Petersburg State Transport University

D. E. Kerentsev

SC Vyksa steel works

Determination of parameters of wheel-rail contact for various conditions of open box car

The article provides the results of the calculation of parameters of contact interaction of freight car wheels and rails R65 (rate of wheel wear, area of contact patches of wheels and rails, power of friction forces in the contact patches) for various operating conditions within the network of JSC "Russian Railways". Groups of operating conditions are selected based on the ranging method of the characteristics of the main railways for front and profile views. The article defines the quantitative values of parameters of contact interaction, and gives its comparative analysis under specified conditions.

Freight cars, wheel – rail contact, contact patch area, wheel wear, power of friction force.

References

1. Vorob'ev A. A. & Konograi O. A. Sopostavlenie territorial'nyh filialov OAO "RZHD" po usloviyam ekspluatacii kolesnyh par podvizhnogo sostava [Comparison of Territorial Branches of JSC RZD for Operation Conditions of Rolling Stock Wheelsets]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii: sbornik nauch. trudov po itogam mezhdunar. nauchno-tekhnicheskoy konferencii* (New Materials and Technologies in Manufacturing Engineering: Collect. of Res. Papers, Summarizing the Results Sci. and Technol. Conf.), ed. E. A. Panfilov. Bryansk, BGITA, 2015. Is. 21, pp. 98-107.
2. GOST 10791-2011. Kolesa cel'nokatannye. Tekhnicheskie usloviya (vveden 01.01.2012) [One-Piece-Rolled Wheels. Technical Specification (impl. 01/01/2012)]. Moscow, Standartinform, 2011. 33 p.
3. Zakharov S. M., Pogorelov D. Yu. & Simonov V. A. *Vestnik VNIIZhT – Bulletin of VNIIZhT*, 2010, no. 2, pp. 31-35.
4. Zakharov S. A. & Zharov I. A. Vliyanie radiusa krivyh na harakteristiki vzaimodejstviya kolesa i rel'sa [Radius of Bend Influence on the Parameters of Wheel-Track Interaction]. *Ustroystvo soderzhaniya puti i podvizhnogo sostava pri tyazhelovesnom i skorostnom dvizhenii poezdov. Koleso – rel's: sbornik nauchnyh trudov nauchno-prakticheskoy konferencii OAO "VNIIZhT"* (Track and Rolling Stock Maintenance Management for Heavy-Duty and High-Speed Train Traffic. Wheel-Track: Collect. of Res. Papers of Sci. and Technol. Conf. JSC VNIIZhT). Moscow, INTNKST, 2008. 240 p.
5. Orlova A. M., Lesnichy V. S. & Rudakova E. A. Trebovaniya k dinamicheskim kachestvam gruzovyh vagonov i metody ih podtverzhdeniya [Requirements for Dynamic Characteristics of Cargo Freight Cars and Methods of its Validation]. Saint Petersburg, FGBOU VPO PGUPS, 2014. 37 p.
6. Prikaz N 41 ot 12.11.2001 "Normy dopuskaemyh skorostej dvizheniya podvizhnogo sostava po zheleznodorozhnym putyam kolei 1520 (1524) mm federal'nogo zheleznodorozhnogo transporta" [Order N 41 of 12/11/2001 "Norms for Allowed Speed of Rolling Stock Traffic for Railroad Track with Gage 1520 (1524) mm of Federal Railroad Transport"]. Moscow, Transport, 2001. 126 p.
7. ПД 32.68-96. Raschetnye nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya ispol'zovaniya pri issledovaniyah i proektirovanii passazhirskih i gruzovyh vagonov (vveden 01.01.1997). [Calculated Irregularities of Railroad Track for Research and Design of Passenger and Cargo Freight Cars (impl. 01/01/1997)]. Moscow, 1996. 17 p.
8. Rozhcova E. A. & Zakirova V. V. Analiz vliyaniya shiriny kolei, ushireny v krivyh i vozvysheny naruzhnyh rel'sov na pokazateli iznosov grebnej koles (moshchnosti sil treniya mezhdu grebnem i rel'som) [Analysis of the Influence of Track Gage, Broadening at Bends and Elevated Outer Rails on the Parameters of Wheel Flange Wear (Friction Forces between the Flange and the Rail)]. *Problemy transferta sovremennyh tekhnologiy v ekonomiku Zabaykal'ya i zheleznodorozhnyy transport: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* (Problems of Modern Technologies Implementation into Zabaykal Region Economy and into Railroad Transport: Materials of int. sci. and pract. conf.), Chita, Oct. 13–14, 2011; Zabaykalskiy Institute of Railway Transport. Chita, ZabIZhT, 2011, pp. 104-108.

9. Saidova A. V. Sovershenstvovaniye prognozirovaniya iznosa profilej koles gruzovyh vagonov [Improvement of Wheel Profile Wear Prediction for Cargo Freight Cars]; PGUPS. Saint Petersburg, 2013. 121 p.
10. Cherkashin Yu. M., Pogorelov D. Yu. & Simonov V. A. *Vestnik VNIIZhT – Bulletin of VNIIZhT*, 2010, no. 2, pp. 3-9.
11. Archard J. F. *Proc. R. Soc. London, Ser. A243*, 1957, pp. 190-205.
12. MEDYNA/Arge Care, Computer Aided Railway Engineering: Rukovodstvo pol'zovatela [Operation manual], ed. Yu. P. Boronenko. Saint Petersburg, NVC "Wagony", 1997.
13. Szabó A. & Zobory I. *Period. Polytech., Transp. Eng. Tech. Univ. Budapest*, 1998, vol. 26.

Kh. K. Umarov, E. S. Svintsov

Petersburg State Transport University

Increasing of capacity of limiting Angren – Pap section

The continuous development of industry and agriculture of the Republic of Uzbekistan, increasing of the volume of capital construction, development of natural resources in new uninhabited areas, strengthening of economic relations with Ferghana Valley result in a permanent growth of the traffic volume. This requires further improvement of the capacity of the country railway network, in particular the Angren – Pap railway, based on increasing of capacity. The article suggests the option for increasing the capacity of limiting Pap-Angren section. Arrangement of non-stop crossing usually is just a step in increasing the capacity of a single-track railway line with increasing of traffic.

Pap-Angren railway, capacity, non-stop crossing of trains, double-track insert section.

References

1. Biznes-plan GAZHK "Uzbekiston temir yullari" na 2012 god. [Business Plan for GAZHK "Uzbekiston temir yullari" for 2012].

2. Savchenko I. E., Zemblikov S. V. & Strakovsky I. I. *Zheleznodorozhnye stancii i uzly* [Railroad Stations and Junctions]. Moscow, Transport, 1973.
3. Svintsov E. S., Surovtseva O. B. & Merkusheva V. S. Kompleksnyj proekt rekonstrukcii (modernizacii) zheleznoy dorogi. Chast' I. Podgotovka iskhodnoy informacii k razrabotke proekta modernizacii i usileniya moshchnosti ekspluatiruemyh zheleznih dorog [Complex Project of Reconstruction (Upgrading) of Railroad. Part 1. Initial Data Preparation for Development of the Project for Upgrading and Capacity Amplification of Railroads], ed. E. S. Svintsov. Saint Petersburg, PGUPS, 2012. 113 p.
4. Stroitel'stvo novoy ehlektrificirovannoy zheleznodorozhnoy linii Angren – Pap: predvaritel'noe tekhniko-ekonomich. obosnovanie. Poyasnitel'naya zapiska [Construction of the New Electrified Railroad Section Angren – Pap: Preliminary Techno-Economic Justification. Calculation Note]. Tashkent, 2012. 500 p.
5. Umarov Kh. K. & Svintsov E. S. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2014, Is. 4 (41), pp. 80-86.

E. R. Bogdanova

Petersburg State Transport University

Experimental study of concrete, reinforced by dispersion of synthetic polypropylene fibers

The article provides the results of experimental studies of four batches of concrete prototypes, reinforced by dispersion of synthetic polypropylene fibers. It estimates the strength characteristics of concretes with different fiber mass content. The article also provides the diagrams "load – CMOD" and give the comparative analysis of obtained results, during which the most efficient fiber mass content was revealed. The article defines the problem of reducing the strength characteristics of the prototypes under fibers over-reinforcement.

Dispersed reinforcement, fibre-reinforced concrete, polypropylene fiber, experimental study.

References

1. Benin A. V. & Grabaruk V. V. Planirovanie eksperimenta [Experiment Planning]. Saint Petersburg, PGUPS, 2010. 90 p.
2. GOST 10180-2012. "Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazcam" [Concretes. Methods for Strength Determination using Test Specimens].
3. GOST 13087-81. "Betony. Metody opredeleniya istiraemosti" [Concretes. Methods for Abrasive Wear Determination].
4. Elizarov S. V., Kaptelin Yu. P. & Benin A. V. Mekhanicheskaya laboratoriya im. prof. N. A. Beleyubskogo. Stranicy 155-letnej istorii [Beleyubsky Mechanical Laboratory. 155 Years of History]. Saint Petersburg, PGUPS, 2009. 75 p.
5. Elizarov S. V., Kaptelin Yu. P. & Benin A. V. *Alma mater (Vestnik vysshey shkoly) – Alma mater (Bulletin of Higher Education Institutions)*, 2009, no. 9, pp. 58-64.
6. Rabinovich F. N. Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstrukcii [Composites on the Base of Fiber-Reinforced Concretes. Theory and Development Issues, Technology, Structures]. Moscow, ASV, 2004. 560 p.
7. STO NOSTROY FBTK-2013 (draft).

P. E. Bulavsky, D. S. Markov, V. B. Sokolov
Petersburg State Transport University

Method for dynamic batchwise simulation of complex queuing systems

The article describes the method for dynamic batchwise simulation (MPMD) in the field of technological processes of train traffic maintenance. The generalized formalized scheme (OFS) for SSMO description, formalized using MPMD for systems of railway automation and

remote control was developed. The article covers the characteristics of the request batches flow, structural and algorithmic and parametric imaging of SSMO for MPMD. It also suggests a method for describing the technology of requests processing within OFS, using parallel logic algorithm circuits. The article provides the concept and means for construction of MPMD-G within GPSS World framework.

Complex queuing systems, dynamic batchwise simulation, generalized formalized scheme, parallel logic algorithm circuits.

References

1. Markov D. S. & Bulavsky P. E. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2010, Is. 4, pp. 186-195.
2. Bulavsky P. E., Markov D. S. & Baratov D. Kh. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2010, Is. 2, pp. 63-74.
3. Bulavsky P. E. & Markov D. S. *Avtomatika, svyaz', informatika – Automation, communication, information*, 2012, no. 2, pp. 2-5.
4. Vasilenko M. N., Markov D. S. & Sokolov V. B. Imitacionnaya model' obsluzhivaniya passazhiropotokov na metropolitene [Simulation Model of Passenger Traffic Flow Service at Underground Railroad]. *Konstruirovaniye, sertifikatsiya i tekhnicheskaya ekspluatatsiya ustroystv i sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki: sbornik nauchnykh trudov* (Design, Certification and Technical Operation of Railroad Automatics and Telemechanics Devices and Systems: Collect. of Res. Papers). Saint Petersburg, PGUPS, 2003, pp. 17-25.
5. Lazarev V. G. & Piyl' E. I. Sintez upravlyayushchih avtomatov [Synthesis of Control Automation]. Moscow, Energiya, 1984. 408 p.
6. Markov D. S. & Sokolov V. B. Metod porcionnogo modelirovaniya transportnykh sistem massovogo obsluzhivaniya [Method of Batchwise Simulation of Transport Queuing Service Systems]. *Razvitie ehlementnoy bazy i sovershenstvovanie metodov postroeniya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki: sbornik nauchnykh trudov* (Hardware Components Development and Modernization of Design Methods for Railroad

Automatics and Telemechanics Devices: Collect. of Res. Papers). Saint Petersburg, PGUPS, 2014, pp. 43-47.

7. Markov D. S. & Lykov A. A. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2012, Is. 1, pp. 23-28.

8. Markov D. S., Yakovlev V. A. & Sokolov V. B. Opređenje zagrúzki stancy i uzlov Peterburgskogo metropolitena v ekspertnoy sisteme [Determination of the Load of Stations and Junctions of Petersburg Underground Railroad within the Expert System]. *Avtomatika i telemekhanika zhelezných dorog Rossii. Tekhnika, tekhnologiya, sertifikatsiya: sbornik nauchnykh trudov* (Russian Railroad Automatics and Telemechanics. Engineering, Technology, Certification: Collect. of Res. Papers). Saint Petersburg, PGUPS, 2009, pp. 45-50.

processov i sistem [Analysis and Computer Simulation of Information Processes and Systems]. Moscow, Dialog-MIFI, 2009. 412 p.

2. Aliev T. I., Nikul'sky I. E. &

Pyattaev V. O. *Tekhnika svyazi – Communication Engineering*, 2009, no. 2, pp. 12-18.

3. Berezko M. P., Vishnevsky V. M., Levner E. V. & Fedorov E. V. *Informatsionnye protsessy – Information Processes*, 2001, vol. 1, no. 2, pp. 103-125.

4. Lemesko A. V. & Vavenko T. V. *Doklady TUSUR – Rep. Tomsk State Univ. of Control Systems and Radio Electron.*, 2013, no. 3 (29), pp. 100-108.

5. Olifer V. G. & Olifer N. A. *Komp'yuternye seti. Principy, tekhnologii, protokoly* [Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols]. 4th is. Saint Petersburg, Piter, 2010. 944 p.

A. K. Kanaev, M. M. Lukichev

Petersburg State Transport University

A. A. Muravtsov

Military Academy of Telecommunication

Synthesis of streaming structure of transportation communication network, using simulation modeling

The article covers the formation of the simulation model by synthesis of a streaming structure and simulation hardware of queuing systems in GPSS Word language, allowing to determine such parameters as the quality of transport network, as well as the expectation of packet delay, its standard deviation and the distribution bar chart of delay of the network under consideration. In addition, the model allows to determine the sections of the network, that should be upgraded to meet user demand for high-quality network performance.

Simulation, telecommunication networks, packet switching, GPSS Word.

References

1. Aglazinov E. K. & Sirota A. A. *Analiz i komp'yuternoe modelirovanie informatsionnykh*

P. A. Bobikova

Petersburg State Transport University

Debts receivables management for transport construction companies

At the present stage the problem of debts receivable is particularly important for road construction companies, as this problem usually “freezes” a significant part of the operating capital. The article proposes a method for debts receivables management, as one of the measures for improvement of transport construction efficiency.

Financial management, transport construction, debts receivable, collection.

References

1. Korolev V. V. *Finansovyye menejment: teoriya i praktika* [Financial Management: Theory and Practice]. Moscow, Prospect, 2014. 1104 p.

2. Lozovsyi L., Rayzberg B. & Starodubceva E. *Sovremennyye ekonomicheskoye slovar'* [Modern Dictionary of Economics]. Moscow, Infra-M, 2010. 512 p.

G. M. Groshev, V. L. Belozеров

Petersburg State Transport University

N. V. Klimova

Saint Petersburg information computer center,
JSC «RZD»

Selection of containers transportation between the rear logistics terminal and sea commercial port

The article analyzes the options for delivery of the container lot from the rear logistics terminal to the commercial seaport for export shipments. This article covers the main provisions of methods for comparison of options for delivery of containers within the hub by separate groups of freight cars and container block-trains. It presents the sets of analytical equations for the economic assessment of the effect for independent parties of this shipment, and an example of calculation, using it. The calculation for evaluating the effectiveness of container block-trains arrangement at the station “Predportovaya” of Oktyabrskaya railroad and adjacent rear terminal “Module” Ltd. shows the feasibility of using of this technology for transportation of containers to “Big Port Saint Petersburg”.

Containers lot, export transportation, rear logistics terminal, railway junction, sea commercial port, independent party of the shipment, economic feasibility technique.

References

1. Belozеров V. L., Groshev G. M., Kovalev V. I. & Klimova N. V. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PGUPS*, 2013, Is. 2 (35), pp. 31-43.
2. Vitchenko M. N. Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu ekonomicheskoy chasti diplomnykh proektov dlya studentov fakul'teta “Upravlenie processami perevozok” special'nosti “Gruzovaya i kommercheskaya rabota”. Ch. 1 [Operational Manual for Economical Justification of thesis for Students of “Transportation Process Management” Department of “Cargo and Commercial Operation” Speciality. Part 1]. Saint Petersburg, PGUPS, 2008. 53 p.

3. Grigor'ev L. & Viksne D. *Gudok – Horn*, 2011, no. 183 (24903), p. 3.

4. Groshev G. M., Klimova N. V. & Vasil'eva T. V. *Ekonomika zheleznih dorog – Railroad Economics*, 2013, no. 5, pp. 60-67.

M. A. Lyakina, E. M. Volkova

Petersburg State Transport University

I. L. Sakovich

Oktyabrskaya railroad – JSC RZD branch

Macro environment analysis of suburban passenger company operation

The article provides the background for necessity and describes the method of PEST-analysis of the external environment of suburban passenger company. It also identifies and describes the factors of each group, their possible impact on the suburban company performance. A quantitative estimation of the value and the volatility of each factor is made, as well as an evaluation summary. The article summarized the results PEST-analysis in the summary table. Recommendations for management to prevent adverse effects or to improve the positive impact of each factor on the activities of the suburban are developed.

Suburban passenger transportation, PEST-analysis, development strategy, macro-economic factors.

References

1. Arutyunova D. V. *Strategicheskyy menedzhment [Strategic Management]*. Taganrog, TTI YuFU, 2010. 122 p.
2. Dyukov I. *Strategiya razvitiya biznesa. Praktichesky podhod [Business Development Strategy. Practical Approach]*. Saint Petersburg, Piter, 2008. 236 p.
3. Prognoz dolgosrochnogo social'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federacii na period do 2030 goda (razrabotan Minekonomrazvitiya RF) [Forecast for Long-Term Social and Economical Development of the Russian Federation up to 2030 (Provided by Ministry for

Economic Development of RF)], available at: <http://base.garant.ru> (date of access 15.01.2015).

4. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 19.05.2014 N 857-r "Ob utverzhdenii Konceptii razvitiya prigorodnykh passazhirskikh perevozok zheleznodorozhnym transportom" [Russian Federation Government decree of 19/05/2014 N 857-r "On Approval of the Concept of Railroad Passenger Transportation"], available at: <http://base.consultant.ru> (date of access 10.01.2015).
5. Tompson A. A. & Strickland A. G. Strategicheskyy menedzhment: koncepcii i situacii dlya analiza [Strategic Management: Concepts and Cases for Analysis]. Moscow, Williams, 2006. 928 p.
6. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service], available at: <http://www.gks.ru> (date of access 16.01.2015).

T. M. Schmanev, E. K. Schmarina

Oktyabrskaya regional service for development of passenger transportation and access to infrastructure of JSC RZD

Pricing of infrastructure services of JSC RZD within suburban passenger transportation

The article covers the general principles of allocation of the components within the structure of revenues and costs for transportation. It also analyzes the infrastructure factor within the cost structure, reveals the relationship between the car-kilometer operation in suburban transportation and the income, obtained by JSC "Russian Railways" from the provision of infrastructure services.

Rate, infrastructure factor, car-kilometer.

References

1. Prikaz Ministerstva transporta RF ot 18.07.2007 goda N 99 "O kriteriyah opredeleniya kategorii poezdov dlya perevozki passazhirov v zavisimosti ot skorosti ih dvizheniya i rasstoyaniya sledovaniya" [Order of the Department of Transportation of RF of 18/07/2007 N 99 "On Criteria for Train Classification for Passenger Transportation, Based on the Speed and Distance Covered"].
2. Prikaz Ministerstva transporta RF ot 31.12.2010 goda N 311 "Ob utverzhdenii poryadka vedeniya razdel'nogo ucheta dohodov, raskhodov i finansovykh rezul'tatov po vidam deyatel'nosti, tarifnym sostavlyayushchim i ukрупnennym vidam rabot OAO 'RZHD'" [Order of the Department of Transportation of RF of 31/12/2010 N 311 "On Approval of Rules of Procedure for Revenue, Costs and Financial Results Accounting, Depending on kind of Activity"].
3. Prikaz FST Rossii ot 27.07.2010 N 156-t/1 "Ob utverzhdenii cen (tarifov) na uslugi po ispol'zovaniyu infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta obshchego pol'zovaniya, okazyvaemye OAO 'Rossijskie zheleznye dorogi' pri osushchestvlenii perevozok passazhirov zheleznodorozhnym transportom obshchego pol'zovaniya v prigorodnom soobshchenii v sub'ektakh Rossiyskoy Federacii i pravil ih primeneniya" [Order of FST of Russia of 27/07/2010 N 156-t/1 "On Price (Rates) Approval for the Services of Infrastructure of Public Railroad Transport, Provided by JSC 'Russian railroads' under Passenger Public Railroad Transportation and Suburban Transportation in Regions of the Russian Federation, and Rules for its Application"].
4. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 20.11.2003 N 703 "Ob utverzhdenii Pravil okazaniya uslug po i spol'zovaniyu infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta obshchego pol'zovaniya" [Russian Federation Government decree of 20/11/2003 № 703 "On Approval of Rules for Providing the Services of Infrastructure of Public Railroad Transport"].
5. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17.06.2008 goda N 877-r "O Strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federacii do 2030 goda" [Russian Federation Government decree of 17/06/2008 N 877-r "On Development Strategy for Railroad Transport in the Russian Federation up to 2030"].

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Александров Артём Валерьевич

аспирант кафедры «Электромеханические комплексы и системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», art641@yandex.ru

Андрющенко Андрей Александрович

кандидат технических наук, начальник отдела ООО «ТРТранс», andrewa62@mail.ru

Бекбаев Гамзатдин Алеутдинович

аспирант кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», gamzat -86@mail.ru

Белозеров Владимир Леонидович

доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», v.belozerov@mail.ru

Бобикова Полина Александровна

ассистент кафедры «Менеджмент и маркетинг» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», bo.polina@mail.ru

Богданова Екатерина Романовна

аспирант кафедры «Прочность материалов и конструкций» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», univer006@mail.ru

Булавский Петр Евгеньевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», pbulavsky@gmail.com

Васильев Алексей Борисович

ассистент кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», goodwin500@list.ru

Волкова Елена Михайловна

кандидат экономических наук, ассистент кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», moonlight34@ya.ru

Воробьев Александр Алфеевич

кандидат технических наук, доцент, заместитель по учебной работе заведующего кафедрой «Технология металлов» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», vorobev_alex@mail.ru

Гончарова Наталья Александровна

аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», nataliegoncharova@list.ru

Грошев Геннадий Максимович

доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», spbgroshev@gmail.com

Добряков Иван Андреевич

аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ivdobryakov@gmail.com

Евглевская Наталья Валерьевна

аспирант кафедры «Электрическая связь»
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»,
n.evglevskaya@gmail.com

Евстафьев Андрей Михайлович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электрическая тяга»
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»,
evstam@mail.ru

Зарифьян Александр Александрович

аспирант кафедры «Электрические машины
и аппараты» ФГБОУ ВПО «Ростовский
государственный университет путей
сообщения»,
zar.plgrph@gmail.com

Канаев Андрей Константинович

доктор технических наук, доцент, заведующий
кафедрой «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
kanaevak@mail.ru

Керенцев Дмитрий Евгеньевич

аспирант кафедры «Конструирование и
проектирование двигателей летательных
аппаратов» Самарского государственного
аэрокосмического университета имени
академика С. П. Королева,
kerentsev@bk.ru

Климова Надежда Викторовна

технолог Санкт-Петербургского
информационно-вычислительного
центра ОАО «РЖД»,
nadya.climowa2012@yandex.ru

Кокурин Иосиф Михайлович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник ФГБУН «Институт
проблем транспорта им. Н. С. Соломенко
Российской академии наук»,
kokyrim@mail.ru

Колпахчян Павел Григорьевич

доктор технических наук, доцент, заведующий
кафедрой «Электрические машины
и аппараты» ФГБОУ ВПО «Ростовский
государственный университет путей
сообщения», kolpahchyan@mail.ru

Корнев Александр Сергеевич

доктор технических наук, профессор кафедры
«Теоретические основы электротехники»
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»,
alex_kornev46@mail.ru

Коровяковский Евгений Константинович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Логистика и
коммерческая работа» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
ekorsky@mail.ru

Королев Михаил Юрьевич

кандидат технических наук,
заместитель главного инженера
ГУП «Петербургский метрополитен»,
m_king@mail.ru5

Костроминов Александр Михайлович

доктор технических наук, профессор
кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
triak@mail.wplus.net

Кручек Виктор Александрович

доктор технических наук, профессор
кафедры «Электрическая тяга» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
victor.kruchek@yandex.ru

Крючкова Татьяна Валентиновна

старший преподаватель кафедры
«Электрическая связь» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
t.kruchkova@mail.ru

Кудрявцев Владимир Александрович

доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», VAK333@mail.ru

Саидова Алина Викторовна

ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», av-saidova@yandex.ru

Лукичев Михаил Михайлович

аспирант кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», mixailsbpy@mail.ru

Сакович Игорь Леонтьевич

заместитель начальника по взаимодействию с органами власти Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», sakovichil@yandex.ru

Лякина Мария Анатольевна

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», malyakina@mail.ru

Светашев Александр Александрович

аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», aleksandr-svetashev@bk.ru

Марков Дмитрий Спиридонович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», mds1945@yandex.ru

Свинцов Евгений Степанович

доктор технических наук, профессор кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», S_ES43@mail.ru

Муравцов Алексей Александрович

кандидат технических наук, начальник кафедры «Военные системы многоканальной электропроводной и оптической связи» Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, maa_vas@rambler.ru

Скуднева Екатерина Валентиновна

аспирант кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», skykatty@gmail.com

Орлова Анна Михайловна

доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», a-orlova@yandex.ru

Смирнов Дмитрий Сергеевич

аспирант кафедры «Теоретические основы электротехники» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», SDS88@yandex.ru

Привалов Андрей Андреевич

доктор военных наук, профессор кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», aprivalov@inbox.ru

Соколов Вадим Борисович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», SVB9@yandex.ru

Умаров Хасан Кобирович

аспирант кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
janobhuk@mail.ru

Шманёв Тимофей Михайлович

начальник Октябрьской региональной службы развития пассажирских сообщений и предоставления доступа к инфраструктуре ОАО «РЖД», аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Шмарина Елена Константиновна

начальник отдела экономики и учета услуг инфраструктуры Октябрьской региональной службы развития пассажирских сообщений и предоставления доступа к инфраструктуре ОАО «РЖД», аспирант кафедры «Менеджмент и маркетинг» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
elenashmarina@yandex.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Александров А. В. 15	Зарифьян А. А. 21	Марков Д. С. 39, 99
Андрющенко А. А. 21	Канаев А. К. 105	Муравцов А. А. 105
Бекбаев Г. А. 29	Керенцев Д. Е. 74	Орлова А. М. 74
Белозеров В. Л. 117	Климова Н. В. 117	Привалов А. А. 29
Бобикова П. А. 112	Кокурин И. М. 47	Саидова А. В. 74
Богданова Е. Р. 91	Колпахчян П. Г. 21	Сакович И. Л. 123
Булавский П. Е. 39, 99	Корнев А. С. 56	Светашев А. А. 5
Васильев А. Б. 47	Коровяковский Е. К. 33	Свинцов Е. С. 84
Волкова Е. М. 123	Королев М. Ю. 61	Скуднева Е. В. 29
Воробьев А. А. 74	Костроминов А. М. 61	Смирнов Д. С. 56
Гончарова Н. А. 33	Кручек В. А. 67	Соколов В. Б. 99
Грошев Г. М. 117	Крючкова Т. В. 61	Умаров Х. К. 84
Добряков И. А. 39	Кудрявцев В. А. 5	Шманёв Т. М. 128
Евглевская Н. В. 29	Лукичев М. М. 105	Шмарина Е. К. 128
Евстафьев А. М. 67	Лякина М. А. 123	