

# ТРАНСПОРТ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

## УРАЛ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ:  
РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО  
ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**

**ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК  
УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА  
ПАССАЖИРОПОТОКОВ ГОРОДСКОГО  
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ  
ДАННЫХ БИЛЕТНЫХ ВАЛИДАТОРОВ**

**АДАПТАЦИЯ СЕРВИСНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ  
К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН  
В АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОМ КОМПЛЕКСЕ**





# TRANSPORT

## SCIENTIFIC JOURNAL OF THE URALS

### МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. Галкин Александр Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор, главный редактор, УрГУПС, Екатеринбург, Россия
2. Буйносов Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург, Россия
3. Козлов Петр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, научно-производственный холдинг «СТРАТЕГ», Москва, Россия
4. Симармата Джулиатер, доктор менеджмента, Институт транспорта и логистики Трисакти, Джакарта, Индонезия
5. Цяо Цун, канд. техн. наук, Чжэнчжоуский железнодорожный профессиональный технический институт, Чжэнчжоу, Китай

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Александров Александр Эрнстович, д-р техн. наук, доцент, научный редактор, Екатеринбург
2. Бородин Андрей Федорович, д-р техн. наук, профессор, Москва
3. Галиев Ильхам Исламович, д-р техн. наук, профессор, Омск
4. Гриценко Александр Владимирович, д-р техн. наук, доцент, Челябинск
5. Куренков Петр Владимирович, д-р экон. наук, профессор, Москва
6. Лапшин Василий Федорович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
7. Ларин Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
8. Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербург
9. Локтев Алексей Алексеевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, Москва
10. Неволин Дмитрий Германович, д-р техн. наук, с. н. с., Екатеринбург
11. Сай Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора, Екатеринбург
12. Сирина Нина Фридриховна, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
13. Смольянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
14. Тушин Николай Андреевич, д-р техн. наук, доцент, Екатеринбург
15. Хоменко Андрей Павлович, д-р техн. наук, профессор, Иркутск
16. Якунин Николай Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Оренбург

### INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

1. Galkin Alexander Gennadyevich, DSc, professor, editor-in-chief, USURT, Ekaterinburg, Russia
2. Buynosov Alexander Petrovich, DSc, professor, USURT, Ekaterinburg, Russia
3. Kozlov Petr Alexeevich, DSc, professor, Research & Production Holding STRATEG, Moscow, Russia
4. Simarmata Juliater, DSc, Trisakti Institute of Transportation and Logistics, Jakarta, Indonesia
5. Qiao Cong, PhD, Zhengzhou Railway Vocational and Technical Institute, Zhengzhou, China

### EDITORIAL BOARD

1. Alexandrov Alexander Ernstovich, DSc, associate professor, science editor, Ekaterinburg
2. Borodin Andrey Fedorovich, DSc, professor, Moscow
3. Galiev Ilkham Islamovich, DSc, professor, Omsk
4. Gritsenko Alexander Vladimirovich, DSc, associate professor, Chelyabinsk
5. Kurenkov Petr Vladimirovich, DSc, professor, Moscow
6. Lapshin Vasilii Fedorovich, DSc, professor, Ekaterinburg
7. Larin Oleg Nikolaevich, DSc, professor, Moscow
8. Ledyayev Alexander Petrovich, DSc, professor, St. Petersburg
9. Loktev Alexey Alexeevich, DSc, professor, Moscow
10. Nevolin Dmitriy Germanovich, DSc, senior staff scientist, Ekaterinburg
11. Say Vasilii Mikhaylovich, DSc, professor, deputy editor-in-chief, Ekaterinburg
12. Sirina Nina Fridrikhovna, DSc, professor, Ekaterinburg
13. Smolyaninov Alexander Vasilyevich, DSc, professor, Ekaterinburg
14. Tushin Nikolay Andreevich, DSc, associate professor, Ekaterinburg
15. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk
16. Yakunin Nikolay Nikolaevich, DSc, professor, Orenburg



## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

*А. Ф. Бородин, Р. В. Шиндеров, Р. Г. Строченков.***Использование ресурсов железнодорожной сети:  
результативность планирования и управления ..... 3***П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. В. Якушев, К. М. Тимухин.***Функциональное исследование структуры горловин  
железнодорожных станций ..... 11**

## ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА

*А. П. Буйносов, А. А. Козлова, С. С. Папуловский.***Применение технологии плазменного термоупрочнения  
для повышения износостойкости колесных пар электропоездов ..... 15***Н. Э. Амиров, П. В. Шепелин.***Моделирование процесса регенеративного торможения  
при различных условиях пропуска поездов ..... 20**

## ГРУЗОВЫЕ И ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ

*Н. Ф. Сирина, А. Г. Сахаров.***Подходы к формированию характеристик  
управляющих устройств эксплуатационной работы ..... 25***С. В. Карасев, А. Р. Черняк.***Определение максимальной допустимой длины однопутных  
элементов специализированной грузовой линии по условию  
достаточности наличной пропускной способности ..... 32***В. С. Колокольников, Т. А. Фалалеева.***Ограничение входного потока на станции  
в зависимости от загрузки каналов и бункеров ..... 42***А. В. Мартыненко, Д. Ж. Сайфутдинов.***Информационная система мониторинга  
пассажиропотоков городского общественного транспорта  
на основе данных билетных валидаторов ..... 49***В. А. Оленцевич.***Совершенствование технологических процессов работы  
пункта коммерческого осмотра вагонов станции  
с целью снижения трудозатрат ..... 59**

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

*В. И. Карагодин, А. Ю. Горелов.***Адаптация сервисного сопровождения к условиям  
эксплуатации машин в автомобильно-дорожном комплексе ..... 66***Н. В. Поживилов, Г. А. Крылов.***Нормирование расхода запасных частей для текущего ремонта  
подвижного состава автотранспортного предприятия ..... 71**

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

*Н. О. Фролов, Е. М. Елькин.***Способ определения предотказных состояний  
тяговых двигателей электровоза 2ЭС6 на основе анализа  
данных бортового регистратора параметров его работы ..... 77***Д. В. Ольховатов, Н. В. Гребенников, А. В. Шевкунова.***Модернизация асинхронного электропривода  
компрессора электровоза ..... 82**

## АСПИРАНТСКАЯ ТЕТРАДЬ

*В. С. Просвирнин.***Способ полезной утилизации тепловой энергии  
отработавших газов энергетической установки  
маневрового тягового автономного подвижного состава  
с методикой определения его эффективности ..... 89***Ц. Цзинь.***Анализ системы управления дорожным движением в КНР ..... 96**

## GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

*A. F. Borodin, R. V. Shinderov, R. G. Strochenkov.***Use of railway network resources:  
productivity of planning and operation ..... 3***P. A. Kozlov, V. S. Kolokolnikov, N. V. Yakushev, K. M. Timukhin.***Functional research of the yard neck structure  
of railway stations ..... 11**

## ROLLING STOCK AND TRACTION

*A. P. Buynosov, A. A. Kozlova, S. S. Papulovskiy.***The use of plasma thermal hardening technology to increase  
the wear resistance of electric train wheelsets ..... 15***N. E. Amirov, P. V. Shepelin.***Simulation of the regenerative braking process  
under various train passing conditions ..... 20**

## CARGO AND PASSENGER TRANSPORTATION

*N. F. Sirina, A. G. Sakharov.***Approaches to the formation for characteristics  
of operational control devices ..... 25***S. V. Karasev, A. R. Chernyak.***Determination of the maximum permissible length  
of single-track elements of a specialised freight line  
under the condition of sufficiency of available capacity ..... 32***V. S. Kolokolnikov, T. A. Falaleeva.***Limiting the input flow at the station depending  
on the loading of channels and bunkers ..... 42***A. V. Martynenko, D. Zh. Sayfutdinov.***Information system for monitoring passenger  
flow of urban public transport based  
on ticket validator data ..... 49***V. A. Olentsevich.***Improving the technological processes  
of the station's point commercial inspection  
of cars in order to reduce labor costs ..... 59**

## MOTOR TRANSPORT

*V. I. Karagodin, A. Yu. Gorelov.***Adaptation of service support to the operating conditions  
of cars in the automobile and road complex ..... 66***N. V. Pozhivilov, G. A. Krylov.***Rationing of the consumption of spare parts  
for the current repair of rolling stock of a motor transport company ..... 71**

## ELECTRIC TRACTION

*N. O. Frolov, E. M. Elkin.***Method for determining the pre-failure conditions of traction engines  
of an electric locomotive 2ES6 based on the analysis  
of data from the on-board recorder of its operation parameters ..... 77***D. V. Olkhovатов, N. V. Grebennikov, A. V. Shevkunova.***Modernization of asynchronous electric drive  
of electric locomotive compressor ..... 82**

## RESEARCH OF YOUNG SCIENTISTS

*V. S. Prosvirnin.***A method for the useful utilization  
of thermal energy from exhaust gases  
of a shunting traction autonomous rolling stock power plant  
with a methodology for determining its effectiveness ..... 89***Z. Jin. Analysis of the traffic management system***in the People's Republic of China ..... 96**



Научная статья  
УДК 656.22

## Использование ресурсов железнодорожной сети: результативность планирования и управления

Андрей Федорович Бородин<sup>1</sup>, Роман Викторович Шиндеров<sup>1</sup>, Ричард Георгиевич Строченков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

## Use of railway network resources: productivity of planning and operation

Andrey F. Borodin<sup>1</sup>, Roman V. Shinderov<sup>1</sup>, Richard G. Strochenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

### Аннотация

Рассмотрены факторы несоординированности между объемами перевозок, наличием перевозочных ресурсов и возможностями железнодорожной инфраструктуры для их размещения. Определены классы решений по повышению уровней полезного использования пропускной и провозной способности. Предложен принципиальный алгоритм взаимоувязки технического нормирования и оперативного планирования эксплуатационной работы. Представлена программная реализация решений в автоматизированной системе организации вагонопотоков.

**Ключевые слова:** объем перевозок, перевозочные ресурсы, инфраструктура, пропускная и провозная способность, техническое нормирование, оперативное планирование, автоматизированная система, организация вагонопотоков

### Abstract

The factors of uncoordinated traffic volumes, the availability of transportation resources and the capabilities of the railway infrastructure for their placement are considered. Classes of solutions for increasing the levels of use of throughput and carrying capacity are defined. A fundamental algorithm for the interconnection of technical rationing and operational planning of operational work is proposed. The software implementation of solutions in an automated system for organizing car traffic is presented.

**Keywords:** transportation volume, transportation resources, infrastructure, throughput and carrying capacity, technical rationing, operational planning, automated system, organization of car traffic

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-3-10

### ПРОБЛЕМА

Среди участников перевозочного процесса, специалистов железнодорожного транспорта и пользователей его услугами не прекращаются дискуссии. Причем одна сторона обращает внимание на избыток парка грузовых вагонов, мешающий эффективной работе сети железных дорог. Действительно, парк грузовых вагонов российской принадлежности в 2024 г. обновил исторический максимум, превысив 1,3 млн физических единиц, однако многие грузоотправители отнюдь не наблюдают профицита и повышенного предложения вагонов для отправления своих грузов. Другие участники видят проблему не в профиците вагонов, а в дефиците инфраструктуры и тяги, но не дают реалистичных предложений о путях его устранения.

При этом избыток вагонов рабочего парка на груженом рейсе, затрудняющий эксплуатационную работу ОАО «РЖД», нередко удобен оператору подвижного состава, которого устраивает нахождение лишних вагонов на ответственности перевозчика: оператор при этом получает арендную плату за вагоно-сутки и не платит за отстой своих вагонов.

Вместе с тем, несмотря на расхождения во взглядах, весь спектр аргументов и фактов указывает на несоординированность между объемами перевозок, наличием перевозочных ресурсов и возможностями инфраструктуры для их размещения. Проблему усугубляет недостаток системности при декомпозиции структур и функций управления, что существенно снижает эффективность алгоритмов принятия решений как в инвестиционной, так и в операционной деятельности железнодорожного транспорта.

### УРОВНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТЕВЫХ РЕСУРСОВ

Инвестиции в развитие пропускных и провозных способностей имеют мало смысла, если не обеспечиваются эффективные уровни их использования.

Допустимые уровни загрузки лимитирующих элементов рассчитывают исходя из обеспечения беспрепятственного продвижения поездопотоков без задержек по неприему грузовыми и техническими станциями, стыковыми пунктами подразделений железнодорожной сети, а также без задержек обмена

вагонами с железнодорожными путями необщего пользования. Для этого эксплуатационная надежность по приему поездов без задержек у входных светофоров и на предшествующих раздельных пунктах должна быть (согласно [1]) не ниже 0,995 в расчете за год.

Но эти допустимые уровни загрузки, как правило, недостижимы в практических условиях. Несинхронность в структуре и динамике транспортных потоков и другие факторы неизбежных потерь в использовании инфраструктурных ресурсов установлены в предшествующих исследованиях, включая работу [2]. Так, в статье [3] это показано на простом примере взаимодействия парка приема и горки на сортировочной станции.

В разных областях техники, экономики и социального развития решаются прикладные задачи управления потоками в сетях. Специалисты разных предметных областей, решающие такие задачи, на опыте убеждаются в том, что случайный доступ единиц потока к сетевым ресурсам обеспечивает их полезную загрузку не более чем на 20–25 % [4].

Технологические формы организации эксплуатационной работы (технологические процессы работы станций и их взаимодействия с путями необщего пользования, технология тягового обслуживания, нормы массы и длины поездов, план формирования и график движения поездов) упорядочивают и организуют транспортный поток во времени и пространстве, доводя уровни полезной загрузки результирующей пропускной и провозной способности подразделений железнодорожной сети до 55–85 % (рис. 1). Столь существенный разброс значений допустимых нагрузок объясняется не только сложностью конфигураций обслуживаемых потоков, но и необходимостью компенсации незапланированных потерь при выполнении перевозок. Эту компенсацию обеспечивают оперативное управление движением и системы автоматизации, активизируя таким образом динамические резервы [5] и доводя полезную загрузку лимитирующих элементов сети до 80–95 %.

Для этого, во-первых, границы диспетчерских участков, зон оперативного управления станционного, дорожного (регионального), полигонного уровней должны прежде всего обе-

спечивать: 1) наилучшее использование наиболее дефицитного ресурса; 2) предотвращение сбоев и опозданий, а при их возникновении — скорейшее восстановление графического режима продвижения поездов [6].

При существенных изменениях структуры и мощности транспортных потоков, реконструкции и развитии железнодорожных направлений и узлов, пропускных и перерабатывающих способностей железнодорожной инфраструктуры необходимо рассчитать и при необходимости реконфигурировать зоны управления, чтобы обеспечить эффективное оперативное руководство движением в изменившихся условиях. Соответствующие мероприятия следует предусматривать в комплексных обоснованиях инвестиций.

Во-вторых, для того чтобы и технология перевозочного процесса, и структура диспетчерского управления, и средства автоматизации работали на эффективное использование наиболее дефицитного ресурса, требуется правильно ответить на вопрос, какой ресурс является самым дефицитным. Ответ во многих случаях неочевиден, и для него необходим должный уровень развития средств прескриптивной аналитики и производственных правил.

В-третьих, регулирование в принципе невозможно, если для него не выделены пространственно-временные ресурсы. Таковыми ресурсами должны быть прежде всего накопительные и регулирующие емкости путевого развития станций, где организуется транспортный поток во времени и пространстве [7, 8].

При недостатке регулирующих («буферных») емкостей не реально ритмично питать груженными вагонами грузопогашающие, а порожними — грузообразующие комплексы. Отсутствие таких емкостей на участках и направлениях с высокой интенсивностью движения (как грузового, так и, например, пассажирского в пригородно-городских сообщениях) приводит к невозможности перестроения транспортного потока при сбоях в движении, и в результате сбои и задержки быстро распространяются в пространстве и долго сохраняются во времени. Сейчас это подтверждает, в частности, практика пригородно-городского движения на Московских центральных диаметрах.

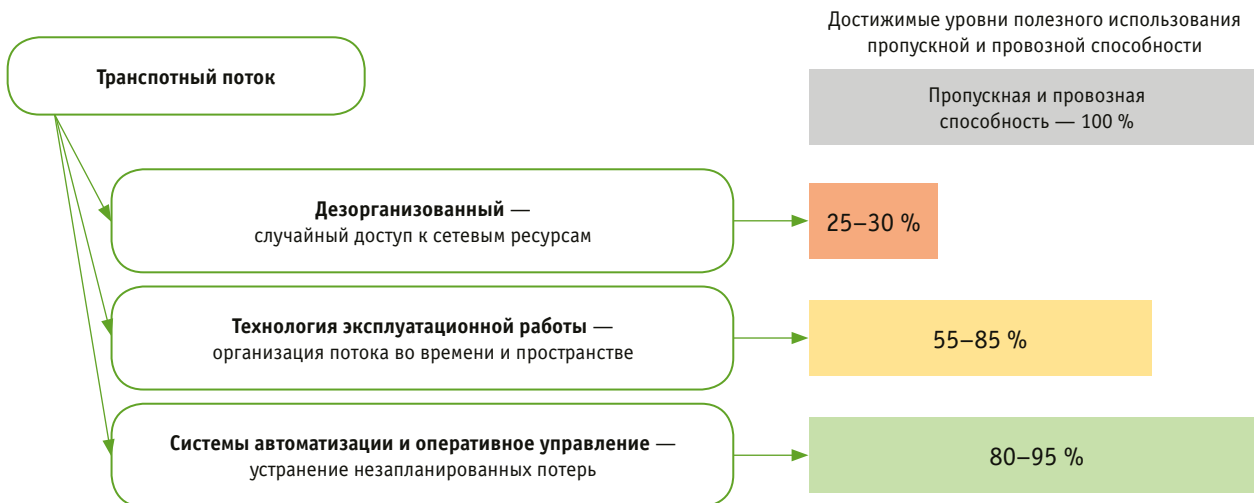


Рис. 1. Роль технологии и оперативного управления в использовании сетевых ресурсов

## АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

В основе решения задач, регламентированных методикой [9], лежит набор взаимосвязанных сетевых потоковых моделей  $G$  (рис. 2), описывающий:

сеть перегонов и отдельных пунктов (неориентированный граф  $G_1$ );

сеть участков обращения локомотивов (УОЛ) и работы локомотивных бригад (УРЛБ), выделенных технических и грузовых станций (ориентированный граф  $G_2$ );

сеть назначений плана формирования поездов и грузевых и порожних маршрутов (ориентированный граф  $G_3$ );

технологические объекты работы вагонного парка (ориентированный граф  $G_4$ ).

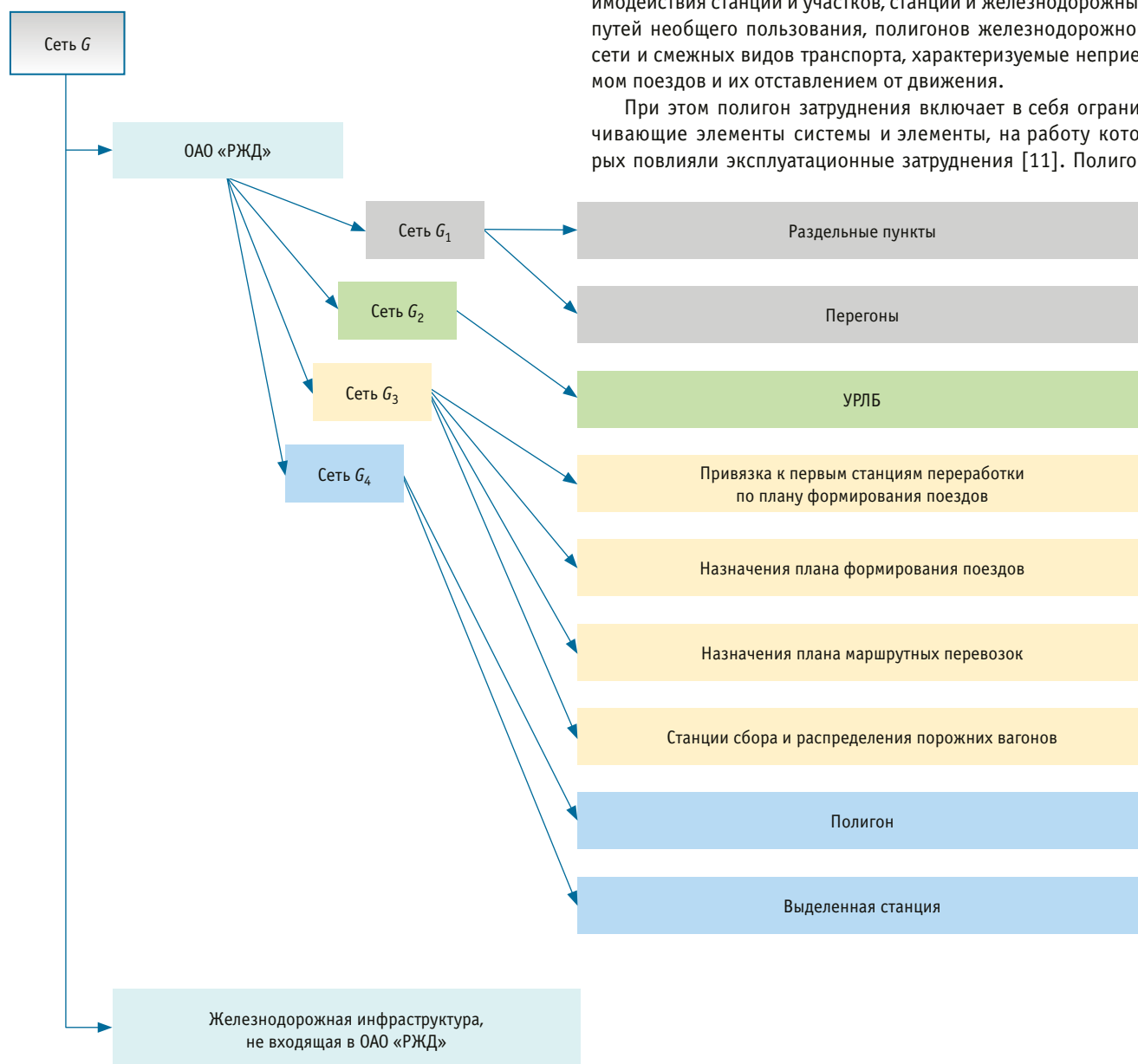


Рис. 2. Структура взаимосвязанных сетевых потоковых моделей

В качестве технологических объектов работы вагонного парка в сетевой модели могут быть определены либо полигон (в общем случае — совокупность территориально и технологически взаимосвязанных станций и перегонов задаваемой конфигурации), либо выделенная железнодорожная станция.

Для моделирования развития и устранения эксплуатационных затруднений вводятся подграфы полигона распространения затруднения  $G^*(t)$  и полигона регулирования  $G^{**}(t)$ , границы которых являются динамическими и в общем случае не совпадают.

Понятие «эксплуатационные затруднения» применяется в практике и в публикациях, однако содержательно оно сформулировано в исследовании [10] как нарушения условий взаимодействия станций и участков, станций и железнодорожных путей необщего пользования, полигонов железнодорожной сети и смежных видов транспорта, характеризующиеся неприемлемым поездов и их отставанием от движения.

При этом полигон затруднения включает в себя ограничивающие элементы системы и элементы, на работу которых повлияли эксплуатационные затруднения [11]. Полигон



регулирования в зависимости от характера регулировочных мер (рис. 3) может быть либо больше полигона затруднения, либо меньше, либо пересекающимся или совпадающим. В общем случае при наличии регулировочных ресурсов преимущественными являются внутренние меры регулирования, позволяющие за счет интенсификации работы и форсирования использования устройств локализовать затруднение и предотвратить его распространение. Но в конкретных ситуациях выбор набора регулировочных мер должны определять динамика устранения затруднения и динамика изменения финансового результата [12]. По этим критериям более эффективными могут быть внешние или комбинированные меры.

Динамика устранения затруднения оценивается на основе постройного и поэлементного сопоставления балансового и нормативного наличия грузовых вагонов рабочего парка [13].

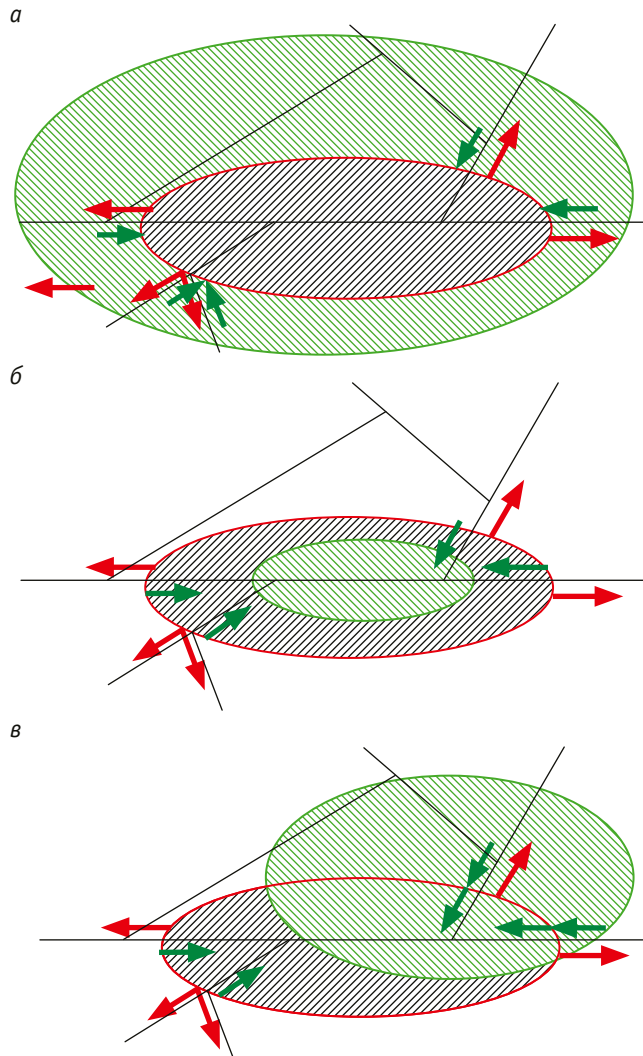


Рис. 3. Распространение и устранение эксплуатационных затруднений при внешних (а), внутренних (б) и комбинированных (в) регулировочных мерах:

— полигон затруднения; — полигон регулирования; — распространение затруднения; — устранение затруднения

Ранее в статье [14] сформулированы условия непрерывности перевозочного процесса и определения текущих возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов, а также предложены механизмы обеспечения преемственности в оперативном планировании и управлении движением. Взаимоувязка технического нормирования и оперативного планирования эксплуатационной работы (рис. 4) предусматривает следующие этапы:

1) расчет технических норм на месяц с детализацией (в необходимых случаях) по внутримесячным календарным периодам, характеризуемым датами начала и завершения плановых ремонтно-строительных работ на определенных участках и станциях; назначения в обращение поездов для интенсивных перевозок пассажиров в определенных сообщениях; заданных периодов нормализации поездной обстановки и решения иных регулировочных задач;

2) проверку условий необходимости пересчета технических норм;

3) мониторинг постройного и поэлементного наличия вагонов на рейсе;

4) мониторинг выполнения контрольных показателей.

На рис. 4 используются следующие обозначения:  $A$  — управляющая переменная,  $d$  — текущая дата,  $t = 1, \dots, T$  — даты календарного периода действия варианта технорм.

Расчет технических норм предусматривает вычисление:

нормативного наличия вагонов рабочего парка  $P$  исходя из межстанционной шахматки вагонопотоков  $|N_{ij}|$ , вагонов/сут, и постройных нормативных оборотов вагонов  $|\Theta_{ij}|$ , сут;

работы вагонного парка  $U'$ , вагонов/сут, с учетом отправления поездов, задержанных в продвижении в предшествующем периоде ( $p_3, p_3^{\text{доп}}$  — фактическое и допустимое наличие задержанных поездов;  $m$  — расчетный состав поезда, физических вагонов);

работы вагонного парка  $U''$ , вагонов/сут, с учетом устранения превышения балансового наличия вагонов над нормативным ( $P_0$  — балансовое наличие вагонов рабочего парка;  $\varepsilon_p^+$  — допустимое превышение балансового наличия над нормативным;  $t_{\text{норм}}$  — заданная длительность периода нормализации, сут).

Необходимость пересчета технических норм (см. рис. 4, этап 2) и определения новых значений плановых показателей возникает, если в течение  $z > z^{**}$  ( $z^{**}$  — пороговое число суток невыполнения ограничений для запуска перерасчета техплана):

1) снижение допустимых размеров движения  $n_{tk}(t)$ , поездов/сут, и (или) допустимых размеров перерабатываемого вагонопотока  $N_{tk}(t)$ , вагонов/сут, в сутки  $t$  по ограничивающему элементу железнодорожной сети  $k$  ниже заданных уровней  $n_{tk}^{**}, N_{tk}^{**}$  (по причинам транспортных происшествий, занятия перевозочных мощностей срочными приоритетными перевозками, избытка вагонного парка, острого дефицита тяговых ресурсов);

2) образование вагонопотока  $N_{tk}(t)$ , вагонов/сут, в сутки  $t$  по ограничивающему участку (ребру графа) сети  $k$ , ограничивающему стыковому пункту либо в целом по междорожной корреспонденции более допустимого уровня  $N_{tk}(t)$ ;

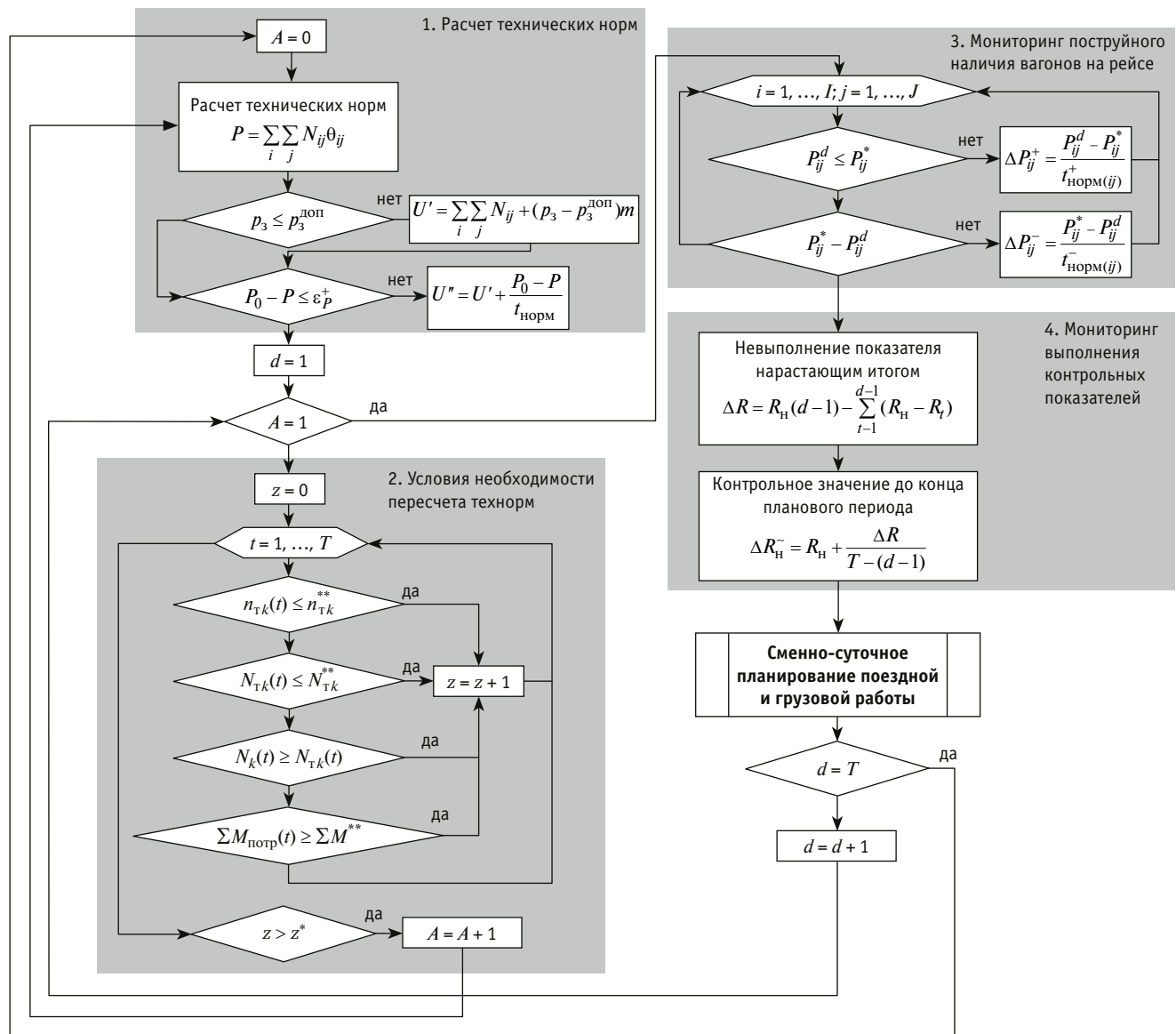


Рис. 4. Принципиальный алгоритм взаимоувязки технического нормирования и оперативного планирования эксплуатационной работы

3) потребный парк локомотивов грузового движения, обеспеченных локомотивными бригадами,  $\Sigma M_{\text{потр}}(t)$ , в сутки  $t$  более доступной величины тяговых ресурсов  $\Sigma M^{**}$ .

Мониторинг наличия вагонов на рейсе (см. рис. 4, этап 3) по межстанционным корреспонденциям ( $i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J$ ) предусматривает сопоставление балансового наличия  $P_{ij}^d$  на начало суток  $d$  с нормативным наличием  $P_{ij}^*$ . В случае выхода балансового наличия за границы допустимого диапазона  $[P_{ij}^* - \varepsilon_{P(ij)}^-; P_{ij}^* + \varepsilon_{P(ij)}^+]$  вычисляются соответствующие суточные задания по снижению балансового наличия  $\Delta P_{ij}^+$  при периоде нормализации  $t_{\text{норм}}^+(ij)$  суток или по увеличению балансового наличия  $\Delta P_{ij}^-$  при периоде нормализации  $t_{\text{норм}}^-(ij)$  суток, которые должны быть обеспечены регулировочными мероприятиями при сменно-суточном планировании поездной и грузовой работы.

Мониторинг выполнения контрольных показателей (см. рис. 4, этап 4) предусматривает:

численную оценку невыполнения показателя  $\Delta R$  нарастающим итогом за  $d - 1$  предшествующих суток ( $R_n$  — норма,  $R_t$  — факт в сутки  $t$ );

вычисление индикативного значения показателя  $R_n^-$  для восполнения отставания от нормы до конца планового периода, для учета при сменно-суточном планировании поездной и грузовой работы.

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Поскольку перемещение вагонных парков осуществляется через потоки поездов, ключевую роль в управлении этими потоками играет автоматизированная система организации вагонопотоков (АСОВ). Обновленное программное обеспечение

разработки и ведения плана формирования грузовых поездов предоставляет возможности:

ввода корректировок плана формирования с задаваемой пользователем длительностью действия с автоматическим возвратом к предыдущему значению при применении мер по оперативному управлению вагонопотоками;

генерации корректировок на основе исторических версий плана формирования по станциям.

Для автоматизированного принятия решений об оперативном отклонении поездо- и вагонопотоков служит подсистема оперативного управления вагонопотоками (АСОУВ). Она позволяет оценивать эффективность решений, вести реестр приказов об оперативных отклонениях и обеспечивать их передачу в смежные системы управления перевозочным процессом.

Информационная архитектура АСОУВ предусматривает выделение логической единицы — оперативного приказа, включающего различные мероприятия по изменению порядка следования конкретных поездов или их назначений.

Оперативный приказ в АСОУВ — это ключевой инструмент для управления и отклонения вагонопотоков от утвержденного плана. Он содержит различные мероприятия, направленные на изменение порядка следования поездов и включение необходимых изменений в оперативных условиях.

В процессе управления вагонными потоками АСОУВ использует различные типы оперативных приказов для эффективного управления движением поездов. Каждый тип мероприятия оперативного приказа имеет свои особенности и цели, позволяющие оперативно реагировать на изменения в перевозочном процессе, на повышение его эффективности и удовлетворение потребностей клиентов.

Основные типы мероприятий, которые могут включаться в оперативный приказ:

- 1) пропуск поездов кружными станциями или стыковыми пунктами;
- 2) включение в поезда несвойственных вагонов;
- 3) организация поездов вне плана формирования;
- 4) формирование групповых поездов;
- 5) расформирование поезда не на станции первоначального назначения;
- 6) пропуск станции без переработки.

Пропуск поездов через кружные станции или междорожные стыковые пункты — одно из основных мероприятий оперативного управления вагонопотоками, позволяющее сократить время в пути в случае сложной обстановки и улучшить использование сетевых ресурсов. В рамках этого мероприятия поезда перенаправляются через альтернативные маршруты, что обеспечивает эффективные условия для их движения.

Формирование составов вне утвержденного плана и включение в составы поездов вагонов, которые не предназначены для этих поездов по первоначальному плану, являются необходимыми мероприятиями для удовлетворения экстренных или внеплановых логистических потребностей, а также для обеспечения срочной транспортировки определенных грузов.

Расформирование поезда не на станции первоначального назначения, исходя из структуры назначений вагонов в конкретных составах, и пропуск станции без переработки способствуют сокращению времени в пути, что особенно полезно в случаях, когда нет необходимости менять состав груза или проводить другие операции на данной станции [15].

АСОУВ предусматривает иерархически обоснованный способ верификации запросов на оперативные приказы. Проекты электронных приказов, оформленные специалистами диспетчерского центра управления перевозками (ДЦУП), проходят первичную проверку на корректность и обоснованность диспетчером оперативного управления Центральной дирекции управления движением (ЦД) ОАО «РЖД».

После первичной проверки приказы направляются на согласование ответственному руководителю ЦД. В случае необходимости могут быть выдвинуты требования по доработке мероприятий или переработке приказа в целом. История согласования сохраняется для последующего анализа. Это позволяет оценивать эффективность принятых решений и осуществлять аудит процесса управления вагонопотоками.

Реализованы аналитические формы для оценки риска возникновения затруднений в работе по организации вагонопотоков в поезда и оформления оперативных приказов на изменение направления следования поездов. Предусмотрена функция анализа составов поездов по данным АСОУП-3 и подготовка приказов с учетом регулировочных мероприятий по устранению технологических нарушений в пути следования.

Функционал генерации и ведения базы знаний о допустимых решениях в части оперативного управления вагонопотоками развивается с использованием элементов машинного обучения на исторических данных решений, принимаемых оперативно-диспетчерским персоналом, дополненных алгоритмами восполнения недостающих решений и отсека нежелательных вариантов.

Оперативное управление вагонопотоками через АСОУВ является неотъемлемой частью современных железнодорожных перевозок. Эта система обеспечивает высокую степень гибкости и эффективности в управлении движением поездов, позволяя оперативно реагировать на изменения в логистических потребностях и эксплуатационных условиях [16].



## Сведения об авторах:

**Андрей Федорович Бородин**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ), начальник отдела АО «Институт экономики и развития транспорта»

**Роман Викторович Шиндеров**, аспирант Российского университета транспорта (МИИТ), начальник отдела АО «Институт экономики и развития транспорта»

**Ричард Георгиевич Строченков**, аспирант Российского университета транспорта (МИИТ), эксперт АО «Институт экономики и развития транспорта»

## Authors information:

**Andrey F. Borodin**, DSc in Engineering, Professor, Head of Management of Operational Work and Safety in Transport Department, Russian University of Transport (MIIT), Head of Department, JSC «Institute of Economics and Transport Development»

**Roman V. Shinderov**, postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT), Head of Department, JSC «Institute of Economics and Transport Development»

**Richard G. Strochenkov**, postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT), expert, JSC «Institute of Economics and Transport Development»

## Литература

1. Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования : утв. приказом Минтранса России от 18.07.2018 г. № 266.
2. Кириллова С. Ю., Николаев К. Ю. К определению коэффициентов сдвига пропускной способности участков железных дорог // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 4. С. 230–238. DOI: 10.21780/2223-9731-2020-79-4-230-238.
3. Козлов П. А. Оптимизация развития транспортных узлов и полигонов на основе имитационного моделирования // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». 2023. № 8-2. С. 30–40. ISSN 2500-3283.
4. Бородин А. Ф. Емкость железных дорог и управление вагонами парками // РЖД-Партнер. 2011. № 3. С. 32–34.
5. Козлов П. А. Транспортные системы: теория, моделирование, расчет, оптимизация : монография. Москва : Открытые системы, 2022. 24 с.
6. Эффективные параметры оперативного планирования и диспетчерского управления поездной работой / А. Ф. Бородин, Т. А. Громова, Е. А. Алексевнин, Р. Т. Мерзликин // Железнодорожный транспорт. 2023. № 9. С. 10–18. ISSN 0044-4448.
7. Козлов П. А. Поток и бункер-канал в транспортной системе // Мир транспорта. 2014. Т. 12. № 2 (51). С. 30–37. ISSN 1992-3252.
8. Бородин А. Ф. Эффективно использовать станционные мощности // Железнодорожный транспорт. 2006. № 6. С. 37–43. ISSN 0044-4448.
9. Алгоритмы разработки плановой «шахматки» вагонопотоков в разрезе «станция — станция» и ее применение при планировании и анализе эксплуатационной работы / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. А. Ляханкин, М. А. Полякова // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018) : труды VII научно-технической конференции, Москва, 14 ноября 2018 г. Москва : АО «НИИАС», 2018. С. 75–79.
10. Сайбатов Р. Ф. Методы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург, 2021. 231 с.
11. Тяговое обеспечение поездной работы при изменениях эксплуатационной обстановки / Е. О. Дмитриев, А. А. Сухов, А. С. Петров, Е. А. Алексевнин // Вестник транспорта Поволжья. 2021. № 2 (86). С. 58–66. ISSN 1997-0722.

## References

1. Methods for determining the throughput and carrying capacity of the infrastructure of public railway transport : approved by the Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated July 18, 2018 No. 266. (In Russian).
2. Kirillova S. Yu., Nikolaev K. Yu. To the determination of the capacity descheduling coefficients of railway sections. *Russian Railway Science Journal*. 2020. Vol. 79. No. 4. Pp. 230–238. DOI: 10.21780/2223-9731-2020-79-4-230-238. (In Russian).
3. Kozlov P. A. Development optimization of transport hubs and polygons based on simulation modeling. *Bulletin of the Academic Board of IEDT JSC*. 2023. No. 8–2. Pp. 30–40. ISSN 2500-3283. (In Russian).
4. Borodin A. F. Railway capacity and management of car fleets. *RZD-Partner*. 2011. No. 3. Pp. 32–34. (In Russian).
5. Kozlov P. A. Transport systems: theory, modeling, calculation, optimization : monograph. Moscow : Open systems, 2022. 24 p. (In Russian).
6. Borodin A. F., Gromova T. A., Aleksevnnin E. A., Merzlikin R. T. Effective parameters of operational planning and dispatch control of train operation. *Railway Transport*. 2023. No. 9. Pp. 10–18. ISSN 0044-4448. (In Russian).
7. Kozlov P. A. Flow and bunker-channel in the transport system. *World of Transport and Transportation*. 2014. Vol. 12. No. 2 (51). Pp. 30–37. ISSN 1992-3252. (In Russian).
8. Borodin A. F. Effectively use the station's capacity. *Railway Transport*. 2006. No. 6. Pp. 37–43. ISSN 0044-4448. (In Russian).
9. Borodin A. F., Panin V. V., Lakhankin E. A., Poyarkova M. A. Algorithms for the development of a planned «checkerboard» of car traffic in the context of «station — station» and its application in the planning and analysis of operational work. *Intelligent control systems in railway transport. Computer and mathematical modeling (ISUZHT'2018)*: proceedings of the 7th scientific and technical conference, Moscow, November 14, 2018. Moscow : JSC NIIAS, 2018. Pp. 75–79. (In Russian).
10. Saybatalov R. F. Methods of eliminating difficulties in the operation of polygons of the railway network : PhD in Engineering Thesis. Ekaterinburg, 2021. 231 p. (In Russian).
11. Dmitriev E. O., Sukhov A. A., Petrov A. S., Aleksevnnin E. A. Traction support of train operation when the operating situation is changing. *Bulletin of transport of the Volga region*. 2021. No. 2 (86). Pp. 58–66. ISSN 1997-0722. (In Russian).

12. Сайбаталов Р. Ф. Ключевые задачи перехода к планированию и организации движения на полигонах // Железнодорожный транспорт. 2016. № 6. С. 32–37. ISSN 0044-4448.
13. Алгоритмические решения задач эффективного использования и развития железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. С. Прокофьева, Р. Ф. Сайбаталов // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2019. № 3. С. 28–39. ISSN 2304-9642.
14. Бородин А. Ф. Обеспечение непрерывности перевозок и преемственности в процессах планирования и оперативного управления эксплуатационной работой // Кочневские чтения — 2023. Современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 18–26.
15. Рубцов Д. В., Шиндеров Р. В., Щепанов А. Л. Оперативное управление в рамках технологии организации вагонопотоков // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019) : труды VIII научно-технической конференции, Москва, 21 ноября 2019 г. Москва : АО «НИИАС», 2019. С. 59–62.
16. Решение задач автоматизированного расчета нормативной технологии организации вагонопотоков, оперативного управления и логического контроля / П. О. Новиков, Р. В. Шиндеров, А. Л. Щепанов [и др.] // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021) : труды XIV международной конференции, Москва, 27–29 сентября 2021 г. Москва : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. С. 1020–1027. DOI: 10.25728/8091.2021.47.36.001.
12. Saybatalov R. F. Key tasks of the transition to the planning and organization of movement at polygons. *Railway Transport*. 2016. No. 6. Pp. 32–37. ISSN 0044-4448. (In Russian).
13. Borodin A. F., Panin V. V., Prokofieva E. S., Saybatalov R. F. Algorithmic solutions to the problems of efficient use and development of railway infrastructure and transportation resources. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2019. No. 3. Pp. 28–39. ISSN 2304-9642. (In Russian).
14. Borodin A. F. Ensuring the continuity of transportation and continuity in the planning and operational management of operational work. *Kochnev readings'2023. Modern theory and practice of railway operational work: proceedings of the 2nd International scientific and practical conference*. Moscow, 2023. Pp. 18–26. (In Russian).
15. Rubtsov D. V., Shinderov R. V., Shchepanov A. L. Operational management within the framework of the technology of organizing car traffic. *Intelligent control systems in railway transport. Computer and mathematical modeling (ISUZhT'2019): proceedings of the 8th scientific and technical conference*, Moscow, November 21, 2019. Moscow : JSC NIIAS, 2019. Pp. 59–62. (In Russian).
16. Novikov P. O., Shinderov R. V., Shchepanov A. L. [et al.]. Solving the problems of automated calculation of regulatory technology for the organization of car traffic, operational management and logical control. *Management for development of large-scale systems (MLSD'2021) : proceedings of the 14th International conference*, Moscow, September 27–29, 2021. Moscow : V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 2021. Pp. 1020–1027. DOI: 10.25728/8091.2021.47.36.001. (In Russian).

Объем статьи 1 авторский лист

Научная статья  
УДК 656.21:004.94

## Функциональное исследование структуры горловин железнодорожных станций

Петр Алексеевич Козлов<sup>1</sup>, Виталий Сергеевич Колокольников<sup>2</sup>,  
Николай Васильевич Якушев<sup>2</sup>, Кирилл Максимович Тимухин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-производственный холдинг «СТРАТЕГ», Москва, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

## Functional research of the yard neck structure of railway stations

Petr A. Kozlov<sup>1</sup>, Vitaliy S. Kolokolnikov<sup>2</sup>, Nikolay V. Yakushev<sup>2</sup>, Kirill M. Timukhin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research & Production Holding STRATEG, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

### Аннотация

В статье на примере горловин железнодорожных станций рассмотрена проблема гармонии между структурой и технологиями в транспортных системах. Обосновано, что наиболее корректный метод исследования этой проблемы — имитационное моделирование. В расчетах с использованием имитационной модели станции представлены примеры несоответствия уровня развития горловин и наложенной на них технологии, а также показано, что избыточность параллельных ходов при построении горловин приводит к неоправданным затратам, а следовательно, к удорожанию проектов и эксплуатации.

**Ключевые слова:** структура, технология, горловина, имитационная модель, пропускная способность

### Abstract

The article examines the problem of harmony between structure and technology in transport systems using the example of railway station necks. It is proved that the most correct method of studying this problem is simulation modeling. In calculations using the simulation model of the station, examples of inconsistencies between the level of development of the necks and the technology imposed on them are presented, and it is also shown that the redundancy of parallel moves during the construction of the necks leads to unjustified costs, and therefore to an increase in the cost of projects and operation.

**Keywords:** structure, technology, neck, simulation model, throughput

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-11-14

Проблема расчета горловин железнодорожных станций уже неоднократно обсуждалась во многих публикациях (например, в [1–3]). Вместе с тем мы опять возвращаемся к ней, потому что, во-первых, горловины — это самые неудобные объекты для расчета, во-вторых, разработан более современный аппарат для их исследования, и, в-третьих, появляются все новые и новые читатели.

Сформулируем исходные положения [4].

*Первое.* Единственный корректный метод расчета объектов транспортной инфраструктуры — *имитационное моделирование*. Все процессы на транспорте имеют *смешанный характер* — они частично управляемые, частично случайные. Для таких процессов не существует строгой математики. Поэтому каждая расчетная формула по определению ошибочная. Она либо детерминированная, либо вероятностная. Отобразить взаимодействие управляемых и случайных процессов можно только в динамике, т.е. с использованием имитационной модели.

*Второе.* Рассматривать структуру транспортных объектов вообще и горловин в частности без наложения функциональных связей нельзя. Это приводит к существенным ошибкам.

Горловина, имеющая сложную структуру из нескольких десятков стрелок с наложением на нее «паутины» функциональных связей, непосредственному расчету не поддается. Именно поэтому в утвержденной инструкции пошли по простому пути [5]: «Горловину может представлять одна, наиболее загруженная, стрелка». Утверждается, что самая загруженная стрелка и вызывает наибольшие задержки. Однако проверка на имитационных моделях доказала, что это не так: на задержки влияет не только уровень, но и характер загрузки — более равномерно или более неравномерно, занятость короткими либо продолжительными отрезками времени. То есть расчеты по принятой в методических указаниях [6, 7] формуле некорректны (рис. 1).

Это подтверждают и эксперименты на модели сортировочной станции: как видно из рис. 2, самой загруженной является стрелка 227, а наибольшие задержки возникают из-за стрелки 271.



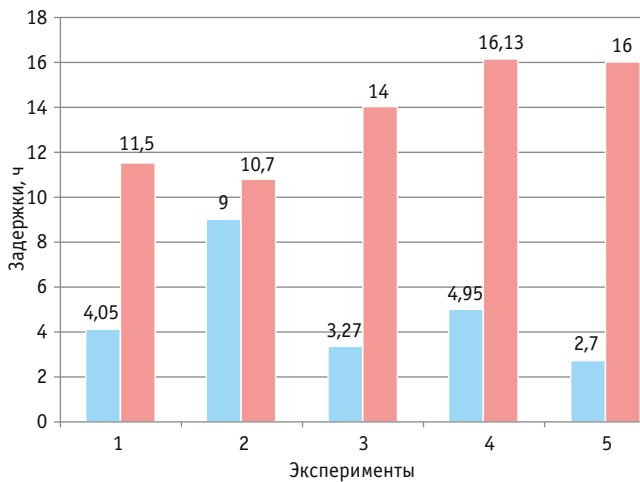


Рис. 1. Расчет задержек в горловине двумя методами:  
— по формуле; — по имитационной модели

Четная НПФ			
название	граф. загрузка	загрузка	задержка
Стр.227		8:45	0:02
Стр.217,219,221,223,229,231		5:45	0:50
Стр.201,205,207,209,211,213,215		5:05	0:37
Стр.271,273,275,281,283,287		4:33	1:44
Стр.269,279,285,303		2:44	0:21
Стр.263		2:35	0:27
Стр.391		1:14	0:00
Стр.241,243,247,249,251,253		1:08	0:00

Рис. 2. Использование стрелок в горловине

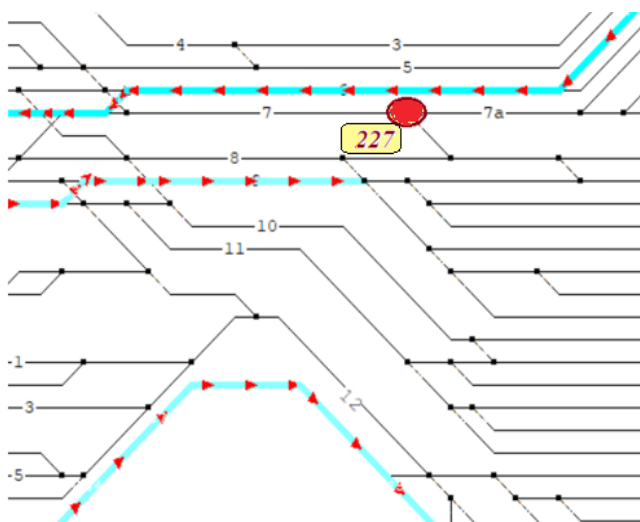


Рис. 3. Передвижения в горловине без участия наиболее загруженной стрелки (имитационная модель)

Мало того, в горловине могут идти передвижения и «мимо» наиболее загруженной стрелки (рис. 3). Поэтому всю горловину одна стрелка представлять никак не может.

Но основная задача статьи другая — оценить, насколько структура горловины соответствует наложенной на нее технологии.

Здесь принимается такой подход. Можно предположить, что пропускная способность горловины будет тем больше, чем больше возможных параллельных передвижений. Однако при увеличении их числа структура горловины сильно усложняется: увеличивается число стрелок, возрастает длина горловины, повышаются затраты. Чтобы не допустить удлинения горловины, некоторые съезды не укладывают, из-за чего возникает необходимость угловых передвижений. Возникает вопрос: а нужна ли по технологии такая большая параллельность? Чтобы ответить на него, нами в имитационную систему был встроен блок, который следит за параллельными передвижениями в динамике.

В показанной на рис. 4 горловине возможны семь параллельных передвижений (в модели они называются структурными каналами).

Рассмотрим, как они используются в реальности, при помощи встроеного блока (рис. 5).

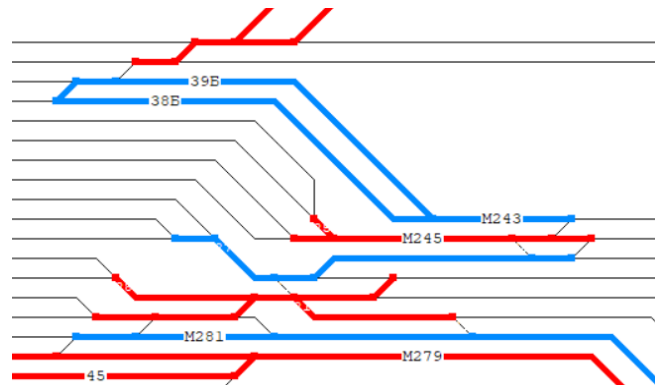


Рис. 4. Горловина с семью параллельными ходами

занято каналов	графически	всего, %
7		0,1
6		0,6
5		6,6
4		17,4
3		17
2		25,6
1		19,4
0		13,3

Рис. 5. Занятость горловины параллельными передвижениями

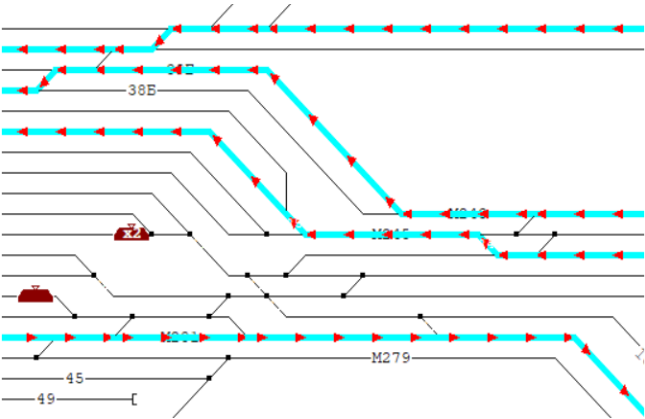


Рис. 6. Конфигурация параллельных передвижений в динамике

Как видно из рис. 5, в структуре горловины есть некоторая избыточность: из возможных семи параллельных передвижений устойчиво встречаются только четыре. А это уже весьма полезная информация для специалиста, который делает проект. Мало того, на схеме горловины можно увидеть конфигурацию параллельных передвижений в динамике (рис. 6). Расчеты показывают, что существуют горловины и с большей, и с меньшей избыточностью. Например, в другой горловине той же станции избыточность практически отсутствует (рис. 7, 8).

Таким образом, проектные институты получают новый аппарат для оценки соответствия между структурой и наложенной технологией горловины. Использование предложен-

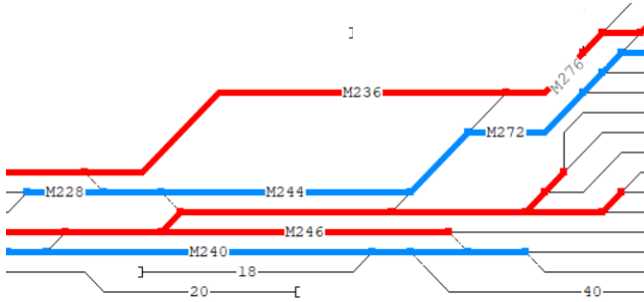


Рис. 7. Горловина с четырьмя параллельными ходами

занято каналов	графически	всего, %
4	<div></div>	8,1
3	<div></div>	15,5
2	<div></div>	24,7
1	<div></div>	23,8
0	<div></div>	27,9

Рис. 8. Занятость горловины с четырьмя параллельными передвижениями

ного подхода при проектировании позволит исключить избыточное развитие станционных горловин, сократить их длину, одновременно повысив маневренность, и в конечном счете снизить капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Значит, в этом вопросе можно достичь гармонии.

Сведения об авторах:

**Петр Алексеевич Козлов**, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии Российской Федерации, президент Научно-производственного холдинга «СТРАТЕГ»

**Виталий Сергеевич Колокольников**, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения

**Николай Васильевич Якушев**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения

**Кирилл Максимович Тимухин**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения

Authors information:

**Petr A. Kozlov**, DSc in Engineering, Professor, Laureate of the State Prize of the Russian Federation, President of Research & Production Holding STRATEG

**Vitaliy S. Kolokolnikov**, DSc in Engineering, Professor of Operations Management Department, Ural State University of Railway Transport

**Nikolay V. Yakushev**, PhD in Engineering, Associate Professor of Operations Management Department, Ural State University of Railway Transport

**Kirill M. Timukhin**, PhD in Engineering, Associate Professor of Stations, Junctions and Freight Work Department, Ural State University of Railway Transport

## Литература

1. Козлов П. А., Колокольников В. С., Тушин Н. А. Определение параметров парков и горловин станций с учетом их взаимодействия // Транспорт Урала. 2017. № 1 (52). С. 3–7. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-1-3-7.
2. Козлов П. А., Владимирская И. П., Осокин О. В. Закономерности структурного взаимодействия в транспортных системах // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 25–28. ISSN 1815-9400.
3. Козлов П. А., Колокольников В. С., Тушин Н. А. О технологии расчета железнодорожных станций // Железнодорожный транспорт. 2017. № 6. С. 42–46. ISSN 0044-4448.
4. Козлов П. А., Тушин Н. А. Имитационная экспертиза проектов развития инфраструктуры // Мир транспорта. 2011. № 2. С. 22–25. ISSN 1992-3252.
5. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог / ОАО «РЖД». Москва, 2010. 124 с.
6. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. Москва, 1998. 123 с.
7. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. Москва, 1988. 468 с.

## References

1. Kozlov P. A., Kolokolnikov V. S., Tushin N. A. Defining the parameters of the tracks and of the station necks considering their interaction. *Transport of the Urals*. 2017. No. 1 (52). Pp. 3–7. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-1-3-7. (In Russian).
2. Kozlov P. A., Vladimirskaia I. P., Osokin O. V. Principles of structural interaction in transport systems. *Transport of the Urals*. 2010. No. 3 (26). Pp. 25–28. ISSN 1815-9400. (In Russian).
3. Kozlov P. A., Kolokolnikov V. S., Tushin N. A. On the technology of calculating of railway stations. *Railway Transport*. 2017. No. 6. Pp. 42–46. ISSN 0044-4448. (In Russian).
4. Kozlov P. A., Tushin N. A. Simulation expertise of infrastructure development projects. *World of Transport and Transportation*. 2011. No. 2. Pp. 22–25. ISSN 1992-3252. (In Russian).
5. Instruction on calculation railways capacity. Moscow : JSC Russian Railways, 2010. 124 p. (In Russian).
6. Methodological recommendations for the evaluation of investment projects in railway transport. Moscow, 1998. 123 p. (In Russian).
7. Methodological guidelines for comparing design options for railway lines, junctions and stations. Moscow, 1988. 468 p. (In Russian).

Объем статьи 0,36 авторских листа



Научная статья  
УДК 629.423.2

## Применение технологии плазменного термоупрочнения для повышения износостойкости колесных пар электропоездов

Александр Петрович Буйносов<sup>1</sup>, Анастасия Александровна Козлова<sup>1</sup>, Семен Святославович Папуловский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

## The use of plasma thermal hardening technology to increase the wear resistance of electric train wheelsets

Alexander P. Buynosov<sup>1</sup>, Anastasiya A. Kozlova<sup>1</sup>, Semen S. Papulovskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

### Аннотация

В статье анализируются причины появления дефектов колесных пар электропоездов. В силу того что цельнокатанные колеса прицепных вагонов менее подвержены износу, рассматриваются только бандажи колесных пар моторных вагонов электропоездов. Предложенная ранее теория о том, что твердость рельса должна быть выше твердости колеса, на практике является нерабочей, поскольку износ бандажей и частое возникновение дефектов — одна из самых актуальных проблем. В статье для повышения уровня твердости и соответственно прочности бандажей представлен способ поверхностного термоупрочнения плазмой, реализуемый на специальном станке с плазмоторнами. В качестве примера рассмотрен эксперимент, проведенный в локомотивном депо. Термоупрочнению подвергались бандажи колесных пар одного моторного вагона электропоезда, затем эти колесные пары устанавливались под вагон. После непродолжительной эксплуатации выполнено сравнение технического состояния бандажей колесных пар моторных вагонов электропоезда, которые подвергались и не подвергались плазменной наплавке. По результатам сравнения сделан вывод о целесообразности применения подобного способа повышения прочности колес.

**Ключевые слова:** электропоезд, механическая часть, колесная пара, бандажи колесных пар, микротвердость, прочность, плазменное термоупрочнение, уровень надежности

### Abstract

The article analyzes the causes of defects in the wheelsets of electric trains. Due to the fact that the solid-rolled wheels of trailed cars are less susceptible to wear, only the wheelsets of motor cars of electric trains are considered. The previously proposed theory that the hardness of the rail should be higher than the hardness of the wheel is in practice non-working, since the wear of the bandages and the frequent occurrence of defects is one of the most pressing problems. In the article, to increase the hardness level and, accordingly, the strength of the bandages, a method of surface thermal hardening with plasma is presented, implemented on a special machine with plasma torches. An experiment conducted in a locomotive depot is considered as an example. The bandages of the wheelsets of one motor car of the electric train were subjected to thermal strengthening, then these wheelsets were installed under the car. After a short operation, a comparison of the technical condition of the wheelset bands of electric train motor cars, which were and were not subjected to plasma surfacing, was performed. Based on the results of the comparison, it was concluded that it is advisable to use such a method to increase the strength of the wheels.

**Keywords:** electric train, mechanical part, wheelset, wheelset bandages, microhardness, strength, plasma thermal hardening, reliability level

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-15-19

Требования к безопасности железнодорожного транспорта связаны с необходимостью принимать множество мер по повышению уровня долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости конструктивных составляющих. Преждевременные отказы и нарушения в работе систем, нестабильное функционирование даже самых мелких деталей — все это может привести не только к отказам систем в целом, но также к отказам локомотивов и электропоездов и, как следствие, к неплановым постановкам на ремонт, повышенным затратам на обслуживание и другим издержкам. Избежать негативных последствий можно либо при совершенствовании конструкции наиболее ненадежных комплектующих, либо при совершенствовании системы обслуживания и ремонта. Совокупность этих двух методов позволит значительно сократить количество отказов и систематических неплановых ремонтов.

К электропоезду, как одному из самых популярных и востребованных видов пассажирского транспорта, предъявляются достаточно жесткие требования надежности [1], которые должны обеспечить безопасность пассажиров.

Проведенные исследования о часто возникающих отказах в системах электропоездов [2] показывают, что непредвиденным выходам из строя более всего подвержены колесные пары и устройства питания низковольтных цепей, а также аккумуляторные батареи.

На протяжении многих лет регулярно предлагаются разнообразные методы повышения уровня надежности колесных пар [3] локомотивов, вагонов, моторвагонного подвижного состава, а также новые способы быстрого и качественного устранения дефектов.

Для повышения уровня надежности колес необходимо, чтобы материал, из которого они изготовлены, имел минимальное содержание структурно свободного феррита, минимальные расстояния между ламелями цемента в перлите, мелкозернистую структуру.

Колеса в колесной паре вагона электропоезда находятся в постоянном соприкосновении круга катания с рельсом [4] (рис. 1), а при прохождении стыков рельсового пути возникают ударные силы, приводящие к местному нагреву, последующему быстрому охлаждению и, как результат, к появлению микротрещин.

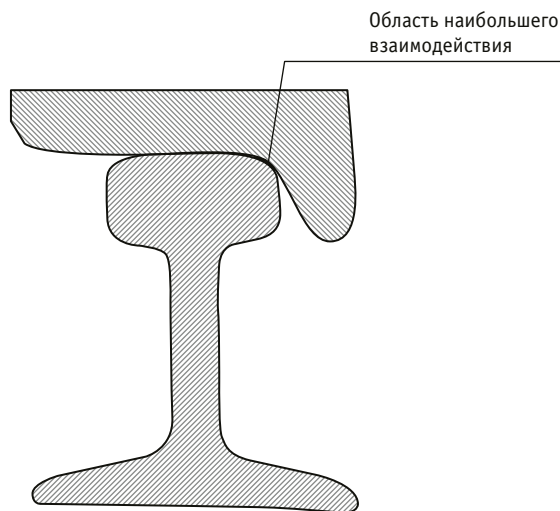


Рис. 1. Область наибольшего взаимодействия колеса и рельса [3]

Как видно из рис. 1, где схематично показана область наибольшего взаимодействия колеса и рельса, именно радиус перехода от гребня бандажа к поверхности катания, называемый далее радиальной поверхностью, — тот самый участок, твердость которого значительно ниже твердости поверхности катания и вершины гребня.

Соответственно цель исследования, представленного в статье, — оценить эффективность метода, направленного на повышение надежности бандажей колес моторных вагонов электропоездов.

Теория, согласно которой твердость рельса должна быть выше твердости колеса, в реальности не оправдывает надежд на планомерный, контролируемый износ. Это подтверждает статистика дефектов колесных пар электропоездов. В отношении колес, для которых характерны постепенный износ и контактная усталость металла, необходимо использование методов, способных повысить прочность. Один из таких методов — поверхностное упрочнение с применением концентрированных лазерных, электронных или плазменных пучков энергии.

Технология плазменного упрочнения [5] основывается на нагреве локальной области бандажа колеса (выкружки), испытывающей наибольшее напряжение и, следовательно, более подверженной дефектообразованию. Упрочнение производится с последующим естественным охлаждением.

В настоящее время широкое распространение получили технологии поверхностного упрочнения сталей мощными концентрированными источниками энергии, такими как лазерный луч, плазменная дуга. Для предотвращения оплавления поверхности и увеличения обрабатываемой площади применя-

ют сканирование источника тепла. Плазменная дуга с поперечными электромагнитными колебаниями широко используется для упрочнения различных деталей из углеродистых сталей, в том числе для упрочнения гребней бандажей колесных пар электропоездов.

Технология плазменного термоупрочнения (иначе ее называют плазменной наплавкой) заключается в подаче низкотемпературной плазмы на радиальную поверхность колеса. Для проведения этой процедуры используется специальная установка упрочнения колесных пар, в состав которой входят механизм, обеспечивающий вращение колесной пары, и два плазмотрона, подающие плазму. Управление установкой осуществляется с компьютера.

Плазмотроны представляют собой устройства с закрытой электрической дугой, генерирующие плазму, образующуюся при взаимодействии дуги с плазмообразующим газом, в качестве которого в данном устройстве применяется технический азот. За один оборот колес плазмотроны обрабатывают наиболее подверженную износу и дефектообразованию поверхность колеса — радиальный переход от гребня к поверхности катания. Поверхность колеса колесной пары после проведения процедуры плазменного термоупрочнения представлена на рис. 2. Упрочненная зона представляет собой плоскость шириной от 50 до 80 мм, при этом в толщину слой достигает 4,5–5 мм.

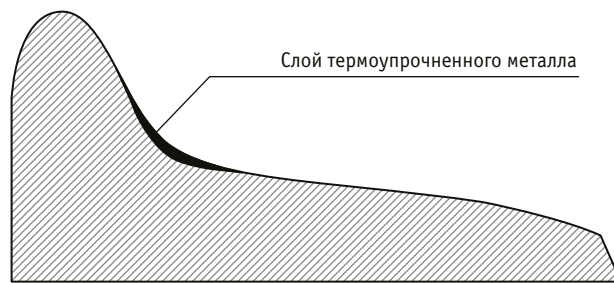


Рис. 2. Поперечное сечение обода колеса после плазменного термоупрочнения [5]

При термоупрочнении поверхности колеса колесной пары [6] образуется неоднородная по объему структура металла, это обусловлено резким нагреванием и дальнейшим остыванием материала, который впоследствии будет представлять собой «слоеную» структуру.

Первый, самый тонкий, верхний слой толщиной около 0,02 мм содержит нитридные фазы, которые образуются за счет его насыщения азотом при непосредственной подаче в процессе наплавки (упрочнения). Этот слой настолько тонкий, что определить его микротвердость не представляется возможным.

Преобладание аустенитно-мартенситной структуры в закаленном металле с каждым последующим слоем снижается, доходя до процентного содержания, характерного для нормальной структуры металла основного объема. Средние значения микротвердости  $H_{0,981}$  (Н/мм<sup>2</sup>) «слоев» упрочненной стали колес колесных пар приведены на рис. 3 (для тонкого поверхностного слоя принято приближительное значение).

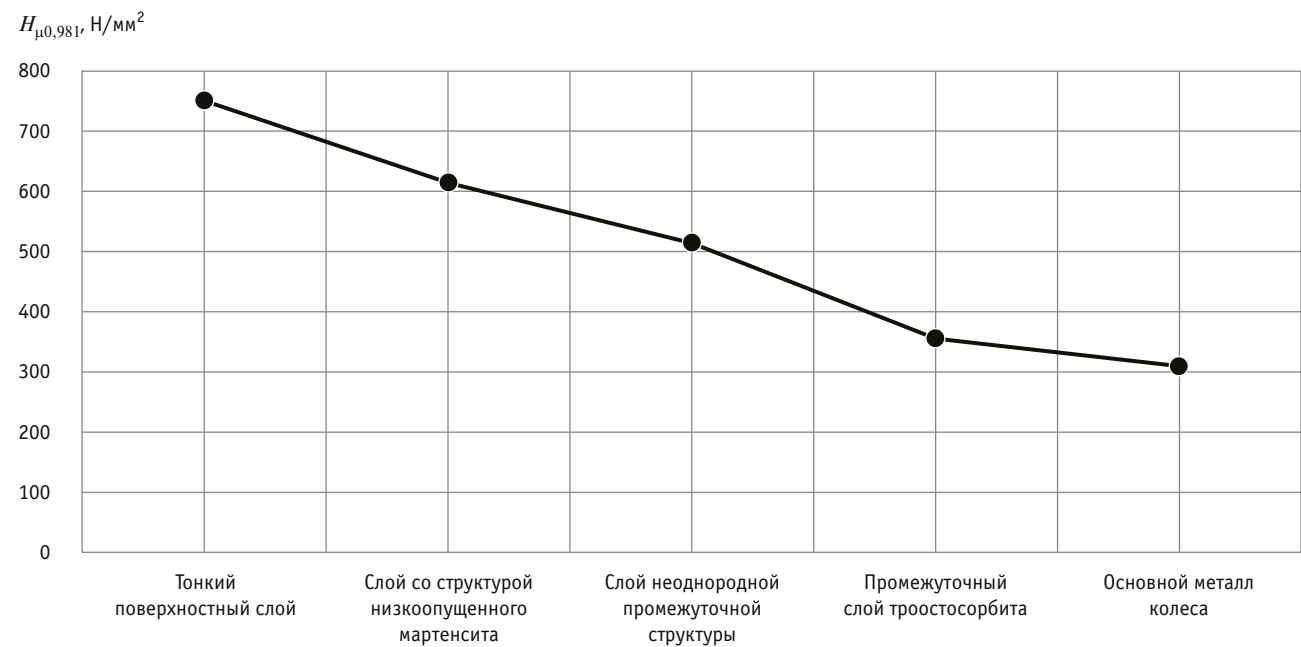


Рис. 3. Значения микротвердости слоев термоупрочненного участка колеса

Из рис. 3 можно сделать вывод, что от поверхности и до объема колеса микротвердость структур уменьшается постепенно, плавно. Это один из факторов, подтверждающий надежность сцепления закаленного слоя с основным металлом.

Как показала многолетняя практика на Горьковской железной дороге, использование технологии плазменно-порошкового упрочнения позволило увеличить срок службы гребней бандажей колесных пар электровозов в 2–3 раза.

Для исследования этой технологии нами проведены эксперименты в одном из локомотивных депо Свердловской области, где используется специальная установка плазменного термоупрочнения (рис. 4). В качестве образцов

были взяты обандаженные [7] колесные пары моторных вагонов электропоездов. Это обусловлено тем, что цельнокатанные колеса прицепных вагонов не подвергаются такому сильному износу, как бандажные.

При проведении экспериментов использовались колесные пары только одного вагона, чтобы в дальнейшем сравнить степень износа закаленных и не подвергавшихся эксперименту колес, эксплуатируемых в одинаковых условиях. Геометрические параметры опытных образцов и нормативные значения по ТУ 0943-218-01124323-2006 [8] приведены в табл. 1, из которой видно, что полученные результаты исследования находятся в диапазонах, соответствующих нормам ТУ.



Рис. 4. Процесс термоупрочнения

Таблица 1

Геометрические параметры опытных образцов после термоупрочнения

Параметр	Значение параметра		
	Образец № 1	Образец № 2	Норма по ТУ 0943-218-01124323-2006
Ширина термоупрочненной области гребня, мм	40	40	От 30 до 40
Расстояние термоупрочненной области от вершины гребня, мм	10	12	От 6 до 12
Толщина зоны упрочнения, мм	1,7	1,8	От 1,5 до 3,0
Микротвердость на глубине 0,08–0,1 мм, Н/мм <sup>2</sup>	752	746	От 650 до 850

Кроме того, был выполнен химический анализ опытных образцов по определению массовой доли веществ в составе термоупрочненного слоя. Полученные результаты показали, что содержание веществ находится в пределах нормы.

Микротвердость зоны плазменного термоупрочнения определяли специальным прибором — микротвердомером ПМТ-3М. Результаты замеров микротвердости в зависимости от глубины слоя, на которой проводилось измерение, представлены на рис. 5.

Замеры показали, что микротвердость постепенно снижается и достигает постоянного значения, характерного для неупрочненного металла основного объема колеса, на расстоянии 2–2,5 мм от поверхности.

Далее колесные пары после термоупрочнения были установлены под моторный вагон электропоезда для проверки в эксплуатации. После пробега 10 тыс. км выполнено их освидетельствование, в ходе которого сравнивалась степень износа радиальных поверхностей закаленных колес и колес, не подвергавшихся термоупрочнению, результаты приведены в табл. 2.

Таким образом, по результатам исследования можно сделать вывод о том, что плазменное термоупрочнение бандажей колес [9] способствует повышению твердости и, как следствие, износостойкости.

Вместе с тем следует признать, что при очевидных достоинствах рассмотренного метода повышения прочности поверхности бандажа колеса [10] он не является универсальным и не представляет собой панацею, способную навсегда устранить проблему износа колесных пар.

Безусловно, стоит обратить внимание на существенные минусы данного способа упрочнения. Любое термическое воздействие на металлическую поверхность, которое в дальнейшем сопровождается быстрым охлаждением, в значительной степени повышает хрупкость материала. При проведении процедуры плазменного термоупрочнения на поверхности металла наблюдаются остаточные напряжения, частично прослеживается структура отпуса с карбидами зернистого типа. Все это говорит о том, что упрочненная по-

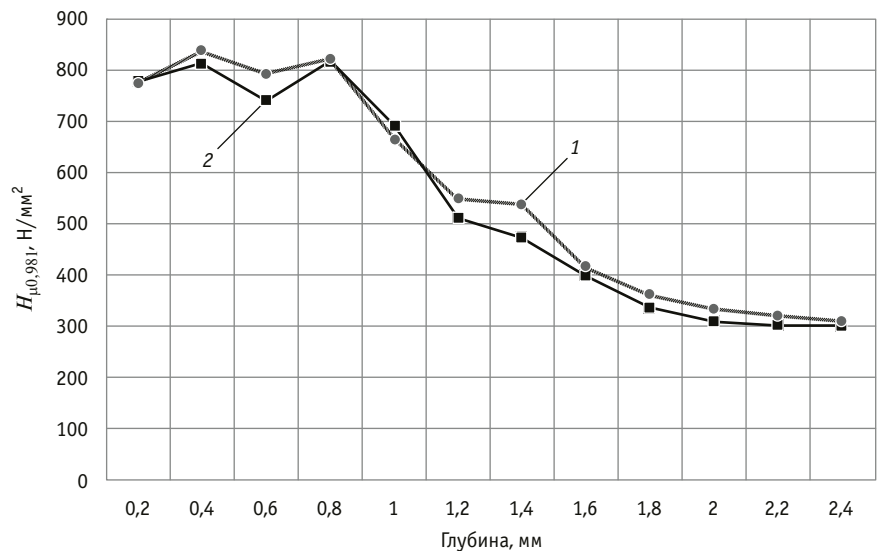


Рис. 5. Зависимость микротвердости упрочненного слоя от глубины:  
1 — образец № 1; 2 — образец № 2

Таблица 2

Сравнение параметров опытных образцов

Параметр	Значение параметра		
	Термоупрочненный образец № 1	Термоупрочненный образец № 2	Образец без термоупрочнения
Микротвердость на глубине 0,08–0,1 мм, Н/мм <sup>2</sup>	745	737	358
Наличие дефекта	Нет	Нет	Остроконечный накат гребня

верхность будет подвержена микротрещинам. Возможно, имеет смысл предусмотреть дополнительную механическую обработку упрочненного металла, однако это, несомненно, немного снизит уровень его прочности.

Решением проблемы может стать не только поверхностное упрочнение, но и предварительная дифференцированная закалка колес по объему. Это позволит снизить влияние остаточных напряжений на поверхности, а также вероятность образования трещин и хрупкого разрушения.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Плазменное термоупрочнение [11] — действенный способ повышения прочности и износостойкости бандажа колеса колесной пары. Он представляет собой процесс взаимодействия закрытой электрической дуги, возникающей на катодах

плазматрона, с подаваемым плазмообразующим техническим азотом. Помимо этого известны способы плазменно-порошкового упрочнения, где плазмообразующим веществом служит самофлюсующийся порошок. Основная цель применения плазменного упрочнения заключается в создании прочной и износостойкой закаленной поверхности, которая позволит сократить вероятность появления дефектов. Возникающая в процессе упрочнения зона структурно состоит из так называемых слоев, отличающихся степенью твердости. От самого верхнего до самого нижнего слоя микротвердость металла снижается до значения, соответствующего основному объему бандажа (или всего колеса, если речь о цельнокатаных колесах), благодаря чему обеспечивается надежное сцепление. Результаты экспериментальных исследований показали, что геометрические параметры, твердость



упрочненной структуры, химический состав опытных образцов соответствуют нормативным значениям, определенным в ТУ 0943-218-01124323-2006.

Однако, несмотря на все преимущества, предлагаемый метод не лишен и недостатков. Микротрещины, возникающие

на поверхности в результате термического воздействия и закалики с последующим отпускком, могут стать причиной появления дефектов при эксплуатации. Это необходимо учитывать, и подобные способы следует применять либо при определенных условиях, либо в сочетании с другими методами.

#### Сведения об авторах:

**Александр Петрович Буйносов**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения

**Анастасия Александровна Козлова**, аспирант кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения

**Семен Святославович Папуловский**, аспирант кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения

#### Authors information:

**Alexander P. Buynosov**, DSc in Engineering, Professor, Professor of Electric Traction Department, Ural State University of Railway Transport

**Anastasiya A. Kozlova**, postgraduate student of Electric Traction Department, Ural State University of Railway Transport

**Semen S. Papulovskiy**, postgraduate student of Electric Traction Department, Ural State University of Railway Transport

## Литература

1. Буйносов А. П., Козлова А. А. Анализ отказов и способы повышения надежности оборудования электропоездов // Транспорт Урала. 2023. № 3 (78). С. 105–108. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-3-105-108.
2. Буйносов А. П., Козаков Д. Ю. Анализ отказов узлов электропоездов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 120–123. ISSN 2079-5920.
3. Буйносов А. П., Шарапов А. Т., Козлова А. А. Причины интенсивного износа бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 1. С. 60–63. ISSN 2079-5920.
4. Буйносов А. П., Козаков Д. Ю. Разработка мобильного станка для обточки колесных пар электропоезда // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 97–100. ISSN 2079-5920.
5. Буйносов А. П., Шепелева И. О. Возможность плазменного упрочнения бандажей колесных пар железнодорожного транспорта // Новая наука: проблемы и перспективы. 2015. № 6-2. С. 141–145. ISSN 2412-9704.
6. Канаев А. Т., Орынбеков Д. Р., Богомоллов А. В. Дифференцированное упрочнение железнодорожных колес объемной закалкой и поверхностной плазменной обработкой // Вестник науки Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина. 2019. № 2 (101). С. 179–186. ISSN 2079-939X.
7. Кротов С. В., Кононов Д. П., Буйносов А. П. Аппроксимация кривой износа профиля обода железнодорожного колеса, примыкающего к гребню // Транспорт Урала. 2023. № 4 (79). С. 47–53. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-4-47-53.
8. ТУ 0943-218-01124323-2006. Бандажные колеса с термическим упрочнением гребня. Технические условия. Москва, 2006. 10 с.
9. Савельев А. И. Проблема износа колесных пар электропоездов // Научно-исследовательский центр «Technical Innovations». 2021. № 8. С. 382–386.
10. Буйносов А. П., Волков Д. В., Умылин И. В. Определение предельной разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторного вагона электропоезда // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 2 (58). С. 90–98. ISSN 1813-9108.
11. Способы контроля диаметра бандажа колесной пары подвижного состава / А. П. Буйносов, А. С. Баитов, А. А. Францкевич, Е. С. Юдт, А. С. Папуловский // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 3. С. 14–17. ISSN 2079-5920.

## References

1. Buynosov A. P., Kozlova A. A. Analysis of failures and ways to increase reliability of equipment of electric-multiple units. *Transport of the Urals*. 2023. No. 3 (78). Pp. 105–108. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-3-105-108. (In Russian).
2. Buynosov A. P., Kozakov D. Yu. The analysis of refusals of knots of electric trains of the direct current on the basis of the law Pareto. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2013. No. 4. Pp. 120–123. ISSN 2079-5920. (In Russian).
3. Buynosov A. P., Sharapov A. T., Kozlova A. A. Reasons of intensive wear of locomotive wheel bandages. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2022. No. 1. Pp. 60–63. ISSN 2079-5920. (In Russian).
4. Buynosov A. P., Kozakov D. Yu. Development of the mobile machine for turning of wheelpairs of the electric train. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2015. No. 3. Pp. 97–100. ISSN 2079-5920. (In Russian).
5. Buynosov A. P., Shepeleva I. O. The possibility of plasma hardening of railway wheelset bandages. *New Science: problems and prospects*. 2015. No. 6-2. Pp. 141–145. ISSN 2412-9704. (In Russian).
6. Kanaev A. T., Orynbekov D. R., Bogomolov A. V. Differentiated hardening of railway wheels by massive heat hardening and superficial plasma treatment. *Herald of science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2019. No. 2 (101). Pp. 179–186. ISSN 2079-939X. (In Russian).
7. Krotov S. V., Kononov D. P., Buynosov A. P. Approximation of the wear curve of the rim profile of a railway wheel adjoined to the ridge. *Transport of the Urals*. 2023. No. 4 (79). Pp. 47–53. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-4-47-53. (In Russian).
8. Technical instructions 0943-218-01124323-2006. Bandage wheels with thermal hardening of the ridge. Technical conditions. Moscow, 2006. 10 p. (In Russian).
9. Savelyev A. I. The problem of wear of wheel sets of electric trains. *Scientific Research Center «Technical Innovations»*. 2021. No. 8. Pp. 382–386. (In Russian).
10. Buynosov A. P., Volkov D. V., Umylin I. V. Definition of the limiting difference in the diameters of tyres for one wheel pair of the electric train motor car. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2018. No. 2 (58). Pp. 90–98. ISSN 1813-9108. (In Russian).
11. Buynosov A. P., Baitov A. S., Frantskevich A. A., Yudt E. S., Papulovskiy A. S. Methods for control of the tire diameter of the rolling stock wheels. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2022. No. 3. Pp. 14–17. ISSN 2079-5920. (In Russian).

Научная статья  
УДК 621.316.719.3

## Моделирование процесса рекуперативного торможения при различных условиях пропуска поездов

Намик Эльманович Амиров<sup>1</sup>, Павел Викторович Шепелин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

## Simulation of the regenerative braking process under various train passing conditions

Namik E. Amirov<sup>1</sup>, Pavel V. Shepelin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara State Transport University, Samara, Russia

### Аннотация

Предложены основы для формирования математической модели рекуперативного торможения с применением систем накопления избыточной энергии, установленных на объектах инфраструктуры. Исследованные математические модели отражают инвариантные расчеты тяговых и тормозных режимов на двухпутных участках обращения поездов.

Также рассмотрены особенности процессов зарядки-разрядки систем накопления энергии с возможностью их установки и подключения к контактной сети полигонов обращения поездов постоянного тока.

**Ключевые слова:** рекуперативное торможение, подвижной состав, накопители энергии, избыточная энергия, энергоэффективность

### Abstract

The foundations for the formation of a mathematical model of regenerative braking using excess energy storage systems installed at infrastructure facilities are proposed. The mathematical models reflect invariant calculations of traction and braking modes on double-track sections of train circulation.

The features of the charging and discharging processes of energy storage systems with the possibility of their installation and connection to the contact network of landfills of direct current trains are also considered.

**Keywords:** regenerative braking, rolling stock, energy storage, excess energy, energy efficiency

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-20-24

Эффективность рекуперативного торможения на полигонах обращения поездов постоянного тока изучается на основе обработки данных натурного эксперимента, а также методом моделирования процесса функционирования системы тягового электроснабжения.

Моделирование рекуперативного торможения при различных условиях пропуска поездов может быть выполнено с использованием математических моделей и симуляции. Общий подход заключается в следующем [1].

1. Определяют такие параметры системы, как масса, длина, интервал движения поезда, эффективность торможения, скорость на момент начала торможения, длина пути торможения.

2. Разрабатывают математическую модель: используют уравнения движения поезда на основе учета массы, силы трения, эффективности торможения и других факторов; учитывают влияние интервала поездов и скрещенности графика движения на процесс торможения.

3. Осуществляют реализацию модели для симуляции: на основе использования программного обеспечения (например, MATLAB, Simulink, AnyLogic или др.) устанавливают начальные условия, такие как начальная скорость и длина пути торможения; задают параметры системы, такие как масса поезда и мощность тормозов; выполняют запуск симуляции; оценивают изменение скорости поезда при различных положениях контроллера машиниста в режиме торможения в зависимости от условий пропуска поездов.

4. Анализируют результаты симуляции: исследуют изменение скорости поезда в зависимости от разных факторов, таких как масса поезда или задержка между поездами; определяют энергооптимальные условия пропуска поездов, при которых достигается наилучшая эффективность торможения; сравнивают различные варианты моделей и определяют наиболее подходящий для конкретных условий.

Как видно из перечисленного, режим тяговой и рекуперативной нагрузок (в сравнении с работой стационарных систем электропитания) зависит от большого количества переменных, таких как перемещение электроподвижного состава (ЭПС), схема реализации рекуперативного торможения, тип ЭПС, организация движения.



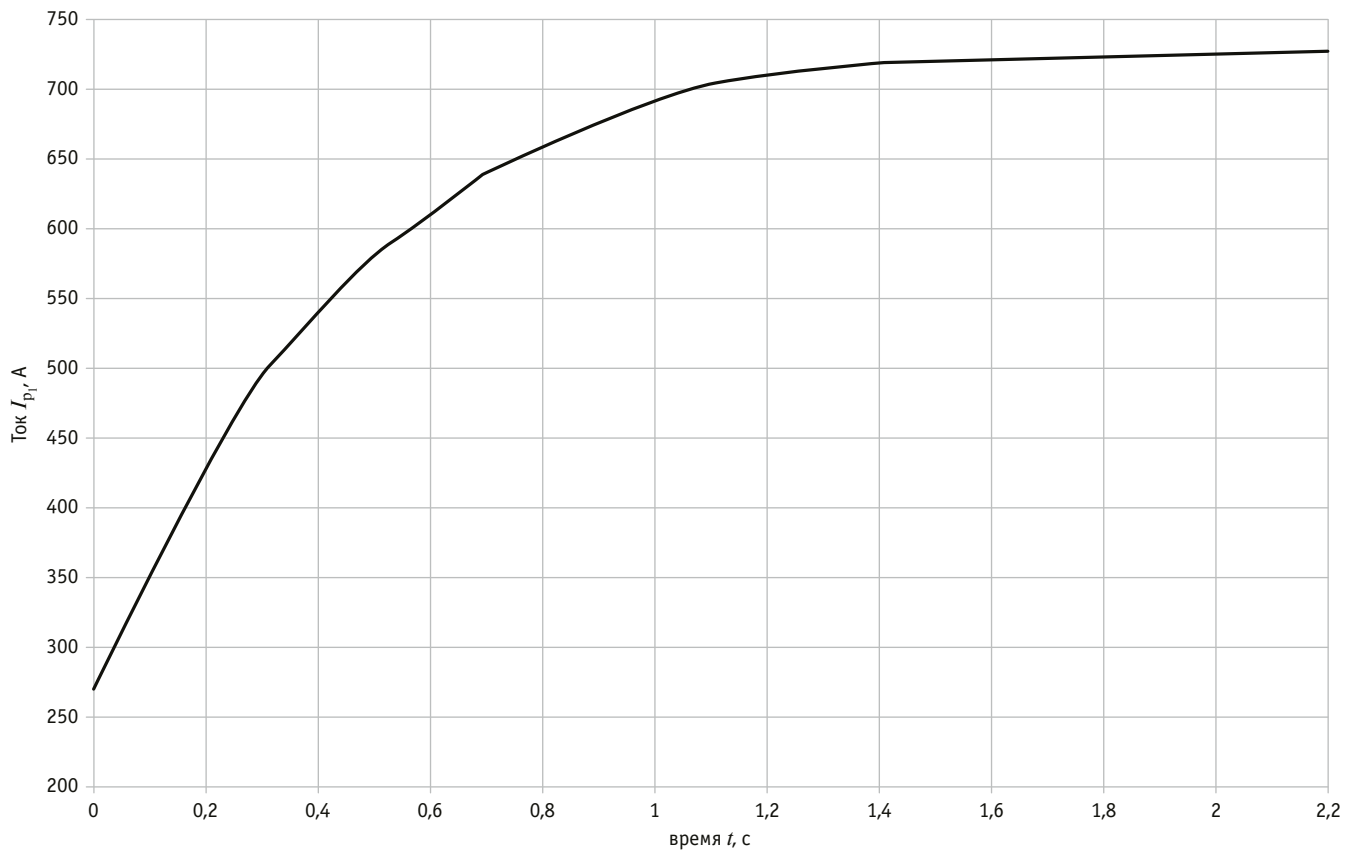


Рис. 2. Зависимость тока на ползье токоприемника от времени при последовательном соединении тяговых двигателей:  
— ток в контактной сети

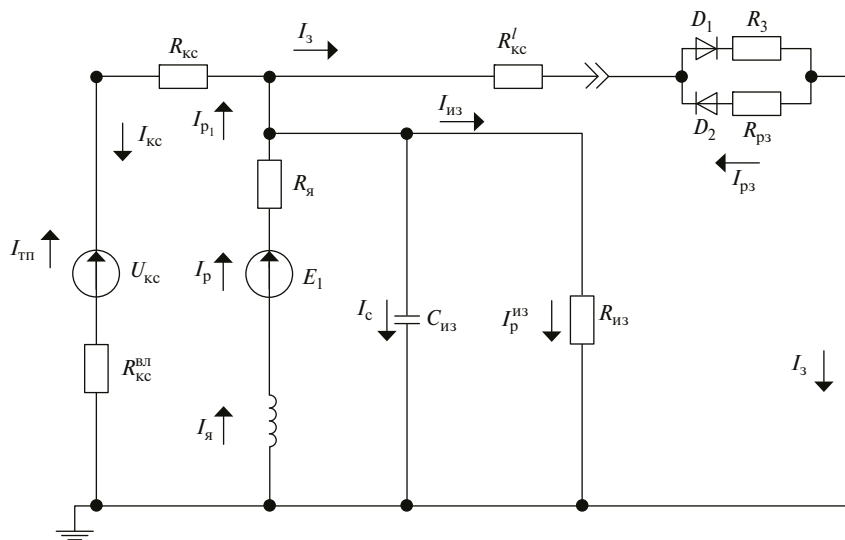


Рис. 3. Структурная схема накопления избыточной энергии рекуперации

Место установки накопителя может оказывать влияние на качество регулирования в следующих случаях [5–7].

1. Тепловой режим. Установка накопителя в закрытом пространстве без

хорошей вентиляции может привести к перегреву, а следовательно, к снижению производительности и даже отказу накопителя. Правильное место установки, обеспечивающее хорошую венти-

ляцию и распределение тепла, помогает поддерживать нормальную температуру работы накопителя и повышает его надежность.

2. Вибрации. Установка в месте с высоким уровнем вибраций (например, рядом с мощными электродвигателями или другими механизмами) может негативно сказаться на функциональности и сроке службы, привести к сбоям, потере данных или даже к полному отказу накопителя. Правильное место установки, обеспечивающее минимизацию вибраций, помогает предотвратить такие угрозы.

3. Электромагнитные помехи. Место установки накопителя может подвергаться воздействию электромагнитных полей от других электронных устройств или электромагнитных источников, таких как силовые линии и радары, что может привести к ошибкам в работе накопителя и потере данных. Место установки с минимальным воздействием электромагнитных полей способно защитить накопитель от таких помех.



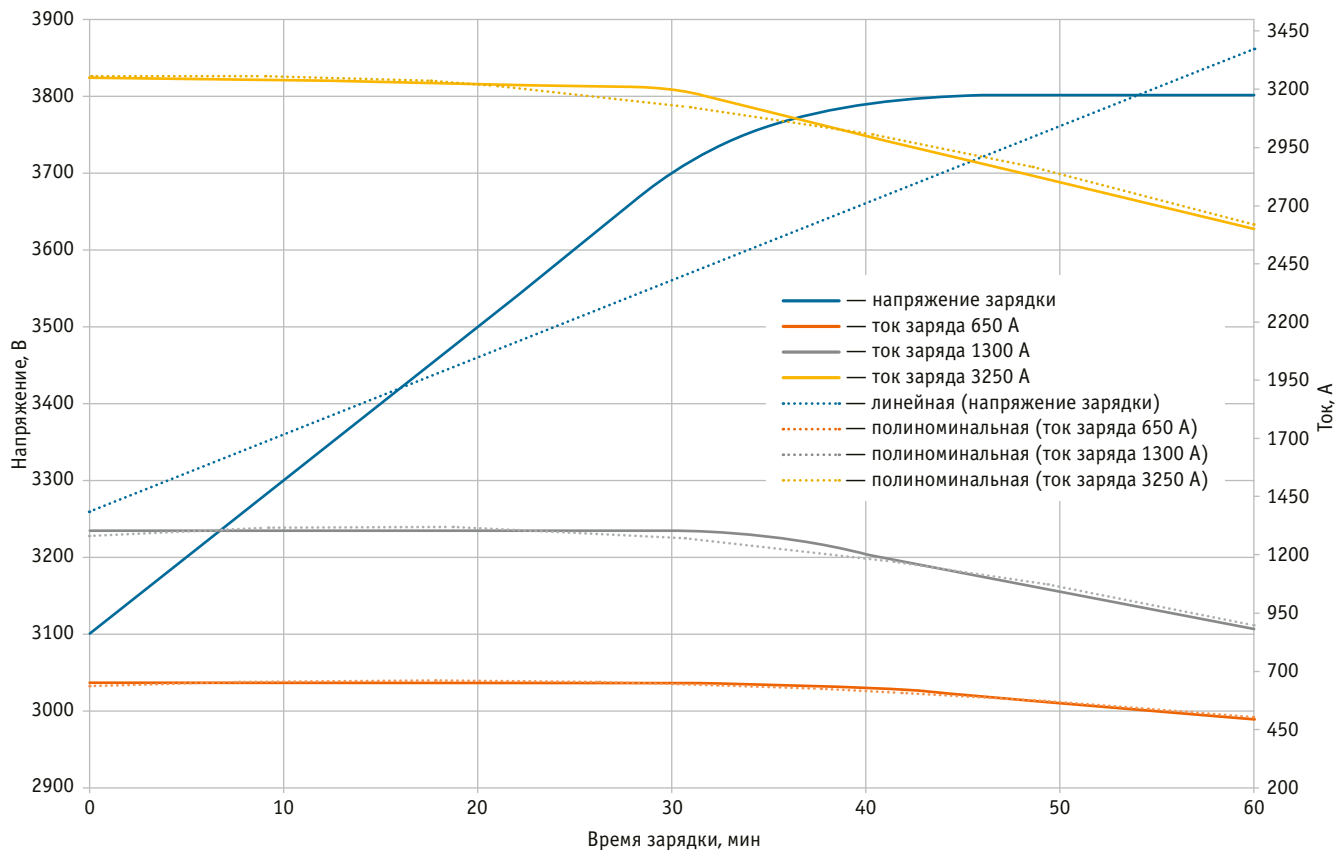


Рис. 4. График скорости заряда накопителей энергии в процессе рекуперативного торможения

4. Доступность и удобство обслуживания. Если накопитель устанавливается в труднодоступном месте, это может затруднить его замену или обслуживание. Поэтому необходимо выбирать место, обеспечивающее легкий доступ для обслуживания и замены накопителя в случае такой необходимости.

Что касается надежности, то в общем случае для всех типов аккумуляторных батарей процесс деградации можно рассматривать с точки зрения циклов зарядки-разрядки, влияющих на емкость и внутреннее сопротивление и представленных следующими уравнениями:

$$Q(n) = \begin{cases} Q_{BOL} - \varepsilon(n) \cdot (Q_{BOL} - Q_{EOL}) & \text{при } \frac{k}{2} \neq 2; \\ Q(n-1) & \text{при } \frac{k}{2} = 2 \end{cases};$$

$$R(n) = \begin{cases} R_{BOL} + \varepsilon(n) \cdot (R_{EOL} - R_{BOL}) & \text{при } \frac{k}{2} \neq 2; \\ R(n-1) & \text{при } \frac{k}{2} = 2 \end{cases};$$

$$n = kT_h (k = 1, 2, 3, \dots \infty),$$

где  $T_h$  — продолжительность полупериода (полный цикл полу-чается, когда батарея разряжена и заряжена или наоборот), с;

$Q_{BOL}$ ,  $Q_{EOL}$  — соответственно максимальная емкость аккумулятора в начале и в конце срока службы при номинальной температуре окружающей среды, А;  $R_{BOL}$  и  $R_{EOL}$  — соответственно внутреннее сопротивление батареи в начале и в конце срока службы при номинальной температуре окружающей среды, Ом;  $\varepsilon$  — коэффициент старения батареи (равен нулю в начале и единице в конце срока службы), рассчитываемый по формуле

$$\varepsilon(n) = \begin{cases} \varepsilon(n-1) + \frac{0,5}{N(n-1)} \times \\ \times \left( 2 - \frac{DOD(n-2) + DOD(n)}{DOD(n-1)} \right) & \text{при } \frac{k}{2} \neq 0, \\ \varepsilon(n-1) & \text{при } \frac{k}{2} = 0 \end{cases}$$

где  $N$  — максимальное количество циклов;  $DOD$  — остаточный заряд при максимальной нагрузке в полном цикле, %.

Таким образом, рассмотренная модель позволяет оценить: потенциал избыточной энергии, создаваемой в процессе рекуперативного торможения, с учетом условий пропуска поездов и основных параметров состава;

эффективность от установок систем накопления энергии на полигоне обращения, в том числе надежность системы; устойчивость системы к изменениям энергопотенциала и пропускной способности поездов.

#### Сведения об авторах:

**Намик Эльманович Амиров**,  
преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав»  
Самарского государственного университета путей сообщения

**Павел Викторович Шепелин**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»  
Самарского государственного университета путей сообщения

#### Authors information:

**Namik E. Amirov**,  
Lecturer of Traction Rolling Stock Department,  
Samara State Transport University

**Pavel V. Shepelin**,  
PhD in Engineering, Associate Professor of Traction Rolling Stock  
Department, Samara State Transport University

#### Литература

1. К вопросу технологической реализации гибридной тяги поездов с учетом особенностей поездной работы тягового подвижного состава / И. К. Андрончев, Н. Э. Амиров, А. А. Булатов, Ф. М. Лаухин // Вестник транспорта Поволжья. 2021. № 6 (90). С. 7–12. ISSN 1997-0722.
2. Гапанович В. А. Энергосбережение на железнодорожном транспорте. Москва : Издательский дом МИСиС, 2012. 620 с.
3. Незевак В. Л., Шатохин А. П. Мониторинг выполнения норм удельной рекуперации в границах произвольной зоны мониторинга участка постоянного тока // Известия Транссиба. 2015. № 2 (22). С. 87–96. ISSN 2220-4245.
4. Незевак В. Л., Шатохин А. П. Характеристика тяговой нагрузки для определения параметров накопителя электрической энергии // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 2 (75). С. 84–94. ISSN 1992-3252.
5. Амиров Н. Э. Система накопления избыточной энергии рекуперации в системе тягового энергоснабжения постоянного тока // Наука и образование транспорту. 2021. № 1. С. 3–4.
6. Плакс А. В. Системы управления электрическим подвижным составом. Москва : Маршрут, 2005. 360 с.
7. Об утверждении методики планирования и нормирования энергии рекуперации на уровне эксплуатационного локомотивного депо : распоряжение ОАО «РЖД» от 15.01.2013 г. № 44р. Москва : ОАО «РЖД», 2014. 14 с.

#### References

1. Andronchev I. K., Amirov N. E., Bulatov A. A., Laukhin F. M. On the issue of technological implementation of hybrid train traction, taking into account the peculiarities of train operation of traction rolling stock. *Bulletin of transport of the Volga region*. 2021. No. 6 (90). Pp. 7–12. ISSN 1997-0722. (In Russian).
2. Gapanovich V. A. Energy saving in railway transport. Moscow, 2012. 620 p. (In Russian).
3. Nezevak V. L., Shatokhin A. P. Monitoring of compliance with specific recovery standards within the boundaries of an arbitrary monitoring zone of a DC section. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2015. No. 2 (22). Pp. 87–96. ISSN 2220-4245. (In Russian).
4. Nezevak V. L., Shatokhin A. P. Features of the traction load for determining the parameters of the electric energy storage device. *World of Transport and Transportation*. 2018. Vol. 16. No. 2 (75). Pp. 84–94. ISSN 1992-3252. (In Russian).
5. Amirov N. E. The system of accumulation of excess energy recovery in the DC traction power supply system. *Science and Education for Transport*. 2021. No. 1. Pp. 3–4. (In Russian).
6. Plaks A. V. Electric rolling stock control systems. Moscow : Route, 2005. 360 p. (In Russian).
7. On approval of the methodology for planning and rationing energy recovery at the level of an operational locomotive depot : the Order of JSC «RZD» dated 15.01.2013 No. 44r. Moscow : JSC «RZD», 2014. 14 p. (In Russian).

Объем статьи 0,48 авторских листа

Научная статья

УДК 656.078.11:656.27

## Подходы к формированию характеристик управляющих устройств эксплуатационной работы

Нина Фридриховна Сирина<sup>1</sup>, Александр Геннадьевич Сахаров<sup>2</sup><sup>1</sup>Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия<sup>2</sup>Департамент управления бизнес-блоком «Железнодорожные перевозки и инфраструктура» (ЦЖД) ОАО «РЖД», Москва, Россия

## Approaches to the formation for characteristics of operational control devices

Nina F. Sirina<sup>1</sup>, Alexander G. Sakharov<sup>2</sup><sup>1</sup>Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia<sup>2</sup>Department for management of the business unit «Railway transportation and infrastructure», JSC «Russian Railways», Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматривается методология формирования характеристик при развитии управляющих устройств эксплуатационной работы.

Представлены матрицы параметров технологических процессов с горизонтами планирования. Решается задача построения характеристик управляющих устройств системы управления перевозочным процессом с целью дальнейшего проведения оценочных действий по качеству их работы.

Предложенные методологические исследования позволяют формировать в количественной конфигурации содержание характеристик, которые определяют потенциал управляющих устройств эксплуатационной работы при достижении заданных технологических эффектов.

**Ключевые слова:** управляющее устройство, технологические процессы, поезд-участки, потенциал, характеристики, показатели, матрицы

### Abstract

The article discusses the methodology of formation of characteristics in the development of operational control devices.

Matrices of technological process parameters with planning horizons are presented. The problem of constructing the characteristics of the control devices of the transportation process control system is solved in order to further carry out evaluation actions on the quality of their work.

The proposed methodological studies make it possible to form, in a quantitative configuration, the content of characteristics that determine the potential of operational control devices when specified technological effects are achieved.

**Keywords:** control device, technological processes, train sections, potential, characteristics, indicators, matrices

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-25-31

### ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование структуры управления перевозочным процессом в условиях автоматизации обработки массивов больших данных, интеграции корпоративных систем, развития и внедрения нового уровня управляющих информационных (интеллектуальных) систем — одна из приоритетных задач на железнодорожном транспорте [1]. Поэтапное решение этой задачи учитывает в том числе принципы и особенности развития железнодорожной отрасли [2]. В частности, в начале 2000-х гг. в качестве управляющего устройства системы в границах железных дорог были сформированы Диспетчерские центры управления перевозками (ДЦУП). Период с 2015 по 2020 г. характеризовался совершенствованием технологии управления тяговыми ресурсами, так сформировались полигоны обращения и участки работы локомотивов, в связи с чем произошло иерархическое построение нового управляющего устройства эксплуатационной работы — Центров управления тяговыми ресурсами (ЦУТР) [3]. В 2020 г. с целью повышения эффективности системы управления в условиях применения сквозных технологий управления перевозочным процессом был создан Центр управления перевозками на Восточном полигоне (ЦУП ВП) [4, 5]. В настоящее время развитие полигонных технологий на сети железных дорог продолжается.

Именно в управляющих устройствах системы вырабатываются сигналы управления по выполнению параметров технологических процессов. Матрицы параметров технологических процессов ДЦУП, ЦУТР, ЦУП представлены на рис. 1–3 соответственно.

Развитие управляющих устройств определяет новую задачу — построение их характеристик для возможности проведения оценочных действий качества эксплуатационной работы.

Содержательный смысл характеристик управляющих устройств системы заключается в следующем. Каждое управляющее устройство — это комплекс функциональных интегрированных автоматизированных рабочих мест (АРМ) [6]. Соответственно именно с такой позиции комплекс характеристик должен просчитываться для каждого АРМ. Таким образом, характеристики необходимо определять с учетом их применения к каждому АРМ и они должны показывать приспособленность управляющих устройств к выполнению параметров технологических процессов [7].

Горизонты (у)	Направление деятельности или параметры технологических процессов (х)				
	1. Обеспечение погрузки	2. Развоз местного груза	3. Передача по стыкам	4. Минимизация поездо-и вагоно-часов	...
1. ДЦУП — дорожный	$M_{11}$	$M_{21}$	$M_{31}$	$M_{41}$	$M_{...}$
2. Линейный	$M_{12}$	$M_{22}$	$M_{32}$	$M_{42}$	$M_{...}$

$M_{...}$  — узловая точка матрицы

Рис. 1. Матрица параметров технологических процессов ДЦУП

Горизонты (у)	Направление деятельности или параметры технологических процессов (х)				
	1. Эффективное использование тягового подвижного состава	2. Оптимальная расстановка тягового подвижного состава на полигоне управления	3. Своевременная постановка тягового подвижного состава на техническое обслуживание и текущий ремонт	4. Рациональная организация рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад	...
1. ЦУТР — полигонный	$M_{11}$	$M_{21}$	$M_{31}$	$M_{41}$	$M_{...}$
2. ДЦУП — дорожный	$M_{12}$	$M_{22}$	$M_{32}$	$M_{42}$	$M_{...}$
3. Линейный	$M_{13}$	$M_{23}$	$M_{33}$	$M_{43}$	$M_{...}$

$M_{...}$  — узловая точка матрицы

Рис. 2. Матрица параметров технологических процессов ЦУТР

Направление деятельности или параметры технологических процессов (x)					
	1. Обеспечение сквозного сменного-суточного планирования в границах технологических полигонов	2. Реализация логистических принципов продвижения грузопотоков	3. Оптимальное предоставление «окон» для ремонта и содержания инфраструктуры	4. Повышение эффективности управления тяговыми ресурсами и вагонными парками	...
Горизонты (y)					
1. ЦУП — полигонный	$M_{11}$	$M_{21}$	$M_{31}$	$M_{41}$	$M_{...}$
2. ЦУТР — полигонный	$M_{12}$	$M_{22}$	$M_{32}$	$M_{42}$	$M_{...}$
3. ДЦУП — дорожный	$M_{13}$	$M_{23}$	$M_{33}$	$M_{43}$	$M_{...}$
4. Линейный	$M_{14}$	$M_{24}$	$M_{34}$	$M_{44}$	$M_{...}$

$M_{...}$  — узловая точка матрицы

Рис. 3. Матрица параметров технологических процессов ЦУП

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

Определение значений характеристик функционирования управляющих устройств решаем пошагово.

**Шаг 1.** Для определения фиксированного комплекса параметров функционирования поезд-участка  $i$  вводим понятие «блок информационной характеристики»  $b$ , под которым понимаем конфигурацию переменнoй и постояннoй информации. К переменнoй относится информация, отображающая текущее состояние эксплуатационной работы поезд-участка в периоде времени (количество поездов, их категорирование, отказы технических средств, виды работ, их продолжительность и т.д.). К постояннoй относится нормативно-техническая информация, характеризующая развитие поезд-участка (количество станций, перегонов и их емкость, мощность системы энергоснабжения, установленные скорости движения, вид тяги и т.д.). Тогда показатель фиксированности комплекса параметров функционирования  $i$ -го поезд-участка  $\overline{F_i^C}$  будет иметь следующий вид:

$$\overline{F_i^C} = \frac{N_i^{bf}}{N_i^b}, \tag{1}$$

где  $N_i^b$  — количество блоков информационной характеристики, необходимое для обеспечения стабильного (нормального) функционирования  $i$ -го поезд-участка;  $N_i^{bf}$  — фактическое наличие количества блоков информационной характеристики из тех блоков, которые необходимы для стабильного (нормального) функционирования  $i$ -го поезд-участка.

Показатель фиксированности комплекса параметров функционирования всех поезд-участков управляющего устройства можно представить как

$$\overline{F^C} = \min_{1 \leq i \leq N} \overline{F_i^C}. \tag{2}$$

Поездо-участки при организации перевозочного процесса как на направлениях, железных дорогах, так и в целом на полигонах в контексте степени их влияния на результаты эксплу-



атационной работы имеют разную значимость не только при стабильной (нормальной) работе, но и при наличии ситуативных возмущающих действий [8, 9]. Поэтому для определения их влияния вводим коэффициент  $\gamma$ , который учитывает разную значимость поездо-участков при сопоставимых условиях. Принимаем, что коэффициент значимости  $i$ -го поездо-участка

$$\gamma_i, i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Когда все  $\gamma_i$  известны, то формула (2) преобразуется следующим образом:

$$\overline{F^C} = \sum_{i=1}^N \overline{F_i^C} \gamma_i. \quad (4)$$

В формуле (4) предполагается, что все блоки информационной характеристики равнозначны для управления  $i$ -м поездо-участком. В случаях, если они разнозначные, вводится превалярующий коэффициент значимости  $\delta_{ij}$  для каждого  $j$ -го блока информационной характеристики из количества необходимых:

$$\sum_{i=1}^{N_i^b} \delta_{ij} = 1. \quad (5)$$

Далее через  $G_i^b$  обозначим множество блоков информационной характеристики, содержимое которых необходимо для обеспечения стабильного (нормального) функционирования  $i$ -го поездо-участка, а через  $G_i^{bf}$  — множество фактического наличия блоков информационной характеристики из того множества блоков, которые необходимы для стабильного (нормального) функционирования  $i$ -го поездо-участка. Тогда показатель  $\overline{F_i^C}$  выражается как

$$\overline{F_i^C} = \sum_{j \in G_i^{bf}} \delta_{ij}. \quad (6)$$

**Шаг 2.** Формирование показателя истинности  $\overline{T_i^C}$  фиксированного комплекса параметров функционирования  $i$ -го поездо-участка осуществляется следующим порядком. По каждому блоку информационной характеристики  $b$  из множества  $G_i^{bf}$  определяется вероятность  $P_{ij}^m$  того, что в любой временной период информационное содержание конкретного  $b$  полностью отражает реальные промежуточные или итоговые результаты соответствующего (конкретного) технологического процесса  $i$ -го поездо-участка. Далее через  $M_i^{bf}$  обозначим потенциал множества  $G_i^{bf}$ . Показатель истинности  $\overline{T_i^C}$  для управления  $i$ -м поездо-участком,  $i = 1, \dots, N$ , в алгоритме равнозначных  $b$  будет иметь вид

$$\overline{T_i^C} = \frac{1}{M_i^{bf}} \sum_{j \in G_i^{bf}} P_{ij}^m. \quad (7)$$

В алгоритме разности значений  $b$  для управления  $i$ -м поездо-участком применяем превалярующий коэффициент значимости  $\delta_{ij}$  для каждого  $j$ -го блока информационной характе-

ристики из количества необходимых, тогда показатель  $\overline{T_i^C}$  выглядит так:

$$\overline{T_i^C} = \frac{1}{M_i^{bf}} \sum_{j \in G_i^{bf}} P_{ij}^m \delta_{ij}. \quad (8)$$

Показатель истинности фиксированного комплекса параметров функционирования всех поездо-участков управляющего устройства определяем следующим образом:

$$\overline{T^C} = \min_{1 \leq i \leq N} \overline{T_i^C}. \quad (9)$$

Применив формулу (3), показатель  $\overline{T^C}$  преобразуем так:

$$\overline{T^C} = \sum_{i=1}^N \overline{T_i^C} \gamma_i. \quad (10)$$

**Шаг 3.** Построение показателя актуальности  $\overline{R_{ij}^C}$  фиксированного комплекса параметров функционирования по целевой задаче  $j$  в момент времени для  $i$ -го поездо-участка. Определим норматив актуальности фиксированного комплекса параметров функционирования [10], т.е. норматив задержки поступления информации в блок информационной характеристики  $b$  (так как задержка информации будет всегда в большей или меньшей степени), при значении которого обеспечивается стабильное (нормальное) функционирование целевой задачи  $j$  поездо-участка  $i$  как  $\overline{R_{ij}^{Cb}}$ . Фактическую задержку поступления информации в блок информационной характеристики  $b$  по целевой задаче  $j$  в момент времени для  $i$ -го поездо-участка определим как  $\overline{R_{ij}^{Cbf}}$ . Тогда показатель  $\overline{R_{ij}^C}$  по целевой задаче управления  $j$  объектом, управляемым с  $i$ -го поездо-участка,  $i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n_i$ , можно представить как отношение  $\overline{R_{ij}^{Cbf}} / \overline{R_{ij}^{Cb}}$ . Таким образом:

$$\overline{R_{ij}^C} = \frac{\overline{R_{ij}^{Cbf}}}{\overline{R_{ij}^{Cb}}}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n_i. \quad (11)$$

Показатель актуальности фиксированного комплекса параметров функционирования  $\overline{R_i^C}$  по всем целевым задачам управления объектом в момент времени, управляемого с  $i$ -го поездо-участка, определяется как

$$\overline{R_i^C} = \max_{1 \leq j \leq n_i} \overline{R_{ij}^C}, i = 1, \dots, N. \quad (12)$$

В случае различия целевых задач управления по степени приоритетности им присваиваются превалярующие коэффициенты значимости  $\delta_{ij}, j = 1, \dots, n_i$ , в сумме равные 1, тогда показатель  $\overline{R_i^C}$  преобразуется следующим образом:

$$\overline{R_i^C} = \sum_{j=1}^{n_i} \overline{R_{ij}^C} \delta_{ij}. \quad (13)$$

Показатель актуальности фиксированного комплекса параметров функционирования всех поездо-участков полигона можно определить как

$$\overline{R^C} = \min_{1 \leq i \leq N} \overline{R_i^C}. \quad (14)$$

После применения формулы (3) показатель  $\overline{R^C}$  преобразуется следующим образом:

$$\overline{R^C} = \sum_{i=1}^N \overline{R_i^C} \gamma_i. \quad (15)$$

**Шаг 4.** Определение показателя актуальности  $\overline{Z_{ij}^C}$  решения целевых задач управления объектом для каждого  $i$ -го поездо-участка. Показатель  $\overline{Z_{ij}^C}$  относится к каждой (конкретной)  $j$ -й целевой задаче, решаемой на конкретном  $i$ -м поездо-участке, и обусловлен от  $i$  и  $j$ . Норматив актуальности решения целевой задачи управления  $j$ , при котором осуществляется стабильное (нормальное) функционирование объекта  $i$ , представим как  $\overline{Z_{ij}^{Cb}}$ , а фактическое — как  $\overline{Z_{ij}^{Cbf}}$ . Тогда показатель актуальности решения целевой задачи управления  $j$  на поездо-участке  $i$  можно выразить отношением

$$\overline{Z_{ij}^C} = \frac{\overline{Z_{ij}^{Cbf}}}{\overline{Z_{ij}^{Cb}}}. \quad (16)$$

Показатель актуальности решения всех целевых задач управления  $j$  на  $i$ -м поездо-участке  $\overline{Z_i^C}$  определяется как

$$\overline{Z_i^C} = \max_{1 \leq j \leq n_i} \overline{Z_{ij}^C}. \quad (17)$$

Соответственно при разных значениях целевых задач управления по степени их приоритетности целесообразно в алгоритме данного решения присвоить им превалярующие коэффициенты значимости  $\overline{\delta_{ij}}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$ , которые в сумме равны 1, в таком случае показатель  $\overline{Z_i^C}$  выражается формулой

$$\overline{Z_i^C} = \sum_{j=1}^{n_i} \overline{Z_{ij}^C} \overline{\delta_{ij}}. \quad (18)$$

В данном случае превалярующие коэффициенты значимости  $\overline{\delta_{ij}}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$  аналогичны, как для показателя  $\overline{R_i^C}$ , но, если они характеризуются отличительной особенностью, тогда обозначим их как  $\overline{\delta_{ij}''}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$ . В результате формула (18) преобразуется:

$$\overline{Z_i^C} = \sum_{j=1}^{n_i} \overline{Z_{ij}^C} \overline{\delta_{ij}''}. \quad (19)$$

Показатель актуальности решения целевых задач управления всеми поездо-участками полигона выразим как

$$\overline{Z^C} = \max_{1 \leq i \leq N} \overline{Z_i^C}. \quad (20)$$

На основе показателей  $\overline{Z_i^C}$  формируем показатель, который предопределяет величину разных значений поездо-участков при решении целевых задач управления. Допустим, у  $i$ -го поездо-участка коэффициент значимости неизменный и равен  $\gamma_i'$ . Если все  $\gamma_i'$  известны, то показатель  $\overline{Z^C}$  принимает следующий вид:

$$\overline{Z^C} = \sum_{i=1}^N \overline{Z_i^C} \gamma_i'. \quad (21)$$

**Шаг 5.** Формирование показателя управляемости управляющего устройства (комплекс поездо-участков полигона)  $\overline{C_{ij}^C}$  по отношению к целевой задаче управления  $j$ , решаемой на поездо-участке  $i$ . Этот показатель характеризуется соотношением

$$\overline{C_{ij}^C} = \frac{\overline{C_{ij}^{Cbf}}}{\overline{C_{ij}^{Cb}}}, \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, n_i, \quad (22)$$

где  $\overline{C_{ij}^{Cbf}}$  — фактический временной период задержки передачи данных о принятых управленческих решениях в адрес исполнительных субъектов технологических операций (объектов);  $\overline{C_{ij}^{Cb}}$  — норматив (максимальное значение) временного периода задержки передачи данных о принятых управленческих решениях, при котором достигается стабильное (нормальное) функционирование технологического процесса на  $i$ -м поездо-участке по целевой задаче управления  $j$ .

Показатель управляемости управляющего устройства по всем целевым задачам управления  $j$  технологическим процессом (объектом) в момент времени, управляемого с  $i$ -го поездо-участка  $\overline{C_i^C}$ , можно представить формулой

$$\overline{C_i^C} = \max_{1 \leq j \leq n_i} \overline{C_{ij}^C}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (23)$$

Следуя в алгоритме данного решения, далее определяем, что при различии целевых задач управления по степени их приоритетности необходимо присвоить каждой задаче превалярующие коэффициенты значимости  $\overline{\delta_{ij}}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$ , которые в сумме равны 1, в результате показатель  $\overline{C_i^C}$  определяется как

$$\overline{C_i^C} = \sum_{j=1}^{n_i} \overline{C_{ij}^C} \overline{\delta_{ij}}. \quad (24)$$

Здесь превалярующие коэффициенты значимости  $\overline{\delta_{ij}}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$  такие же, как для показателя  $\overline{R_i^C}$ , если они различны (отличаются), обозначаем их  $\overline{\delta_{ij}''}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$ , тогда формула (24) получит вид

$$\overline{C_i^C} = \sum_{j=1}^{n_i} \overline{C_{ij}^C} \overline{\delta_{ij}''}. \quad (25)$$

Показатель управляемости всего управляющего устройства (комплекс поездо-участков полигона) можно представить как

$$\overline{C^C} = \min_{1 \leq i \leq N} \overline{C_i^C}. \quad (26)$$

Далее на основе показателей  $\overline{C_i^C}$  осуществляется построение такого показателя, который охватывает (учитывает) величины разных значений поезд-участков полигона. Так, у поезд-участка  $i$  тот же коэффициент значимости равен  $\gamma'_i$ . Когда все  $\gamma'_i$  известны, тогда зависимость для показателя  $\overline{C^C}$  примет следующий вид:

$$\overline{C^C} = \sum_{i=1}^N \overline{C_i^C} \gamma'_i. \quad (27)$$

После завершения расчета показателей необходимо категоризировать их по достигнутому значению для каждой решаемой задачи. Это даст представление, для какой конкретной

задачи полученные значения являются низкими и как формировать приоритетность дальнейших действий по совершенствованию таких показателей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методология формирует в количественной конфигурации содержание характеристик, которые определяют потенциал управляющих устройств эксплуатационной работы при достижении заданных параметров технологических процессов.

Дальнейшее применение результатов исследования по построению методологии формирования характеристик управляющих устройств крайне значимо при использовании новых интеллектуальных информационных систем в АРМ, так как позволяет производить оценочную деятельность качества их работы.

### Сведения об авторах:

**Нина Фридриховна Сирина**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вагоны», проректор по учебной работе и связям с производством Уральского государственного университета путей сообщения

**Александр Геннадьевич Сахаров**, начальник Департамента управления бизнес-блоком «Железнодорожные перевозки и инфраструктура» (ЦЖД) ОАО «РЖД»

### Authors information:

**Nina F. Sirina**, DSc in Engineering, Professor, Professor of Railway Cars Department, Vice-rector for academic affairs and production relations, Ural State University of Railway Transport

**Alexander G. Sakharov**, Head of Department for management of the business unit «Railway transportation and infrastructure», JSC «Russian Railways»

## Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 г. № 1734-р. URL: <http://mintrans.gov.ru/documents/3/1009> (дата обращения: 17.01.2024).
2. О структурных преобразованиях в Центральной дирекции управления движением : приказ ОАО «РЖД» от 19.08.2020 г. № 67. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.01.2024).
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 13.05.2021 г. № 1020/р «Об утверждении типового порядка оперативного управления тяговыми ресурсами на выделенных полигонах сети железных дорог» (вместе с Типовым порядком). URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.01.2024).
4. Распоряжение ОАО «РЖД» от 30.12.2016 г. № 2796р (ред. от 23.03.2023 г.) «О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД» (вместе с Положением). URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.01.2024).
5. Об утверждении Инструкции по оперативному планированию поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 16.07.2012 г. № 1415р. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 21.01.2024).
6. Липидус Б. М. Повышение производительности и эффективности железнодорожного транспорта на инновационной основе // Вестник ВНИИЖТ. 2012. № 5. С. 3–6. ISSN 2223-9731.
7. Бездушный А. А. Математическая модель системы интеграции данных на основе онтологий // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: Информационные технологии. 2008. Т. 6. № 2. С. 15–40. ISSN 1818-7900.

## References

1. Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 : approved by the Order of the Government of the Russian Federation dated 22.11.2008 No. 1734-r. URL: <http://mintrans.gov.ru/documents/3/1009> (access date: 17.01.2024). (In Russian).
2. On structural transformations in the Central Directorate of Traffic Management : the Order of the JSC «RZD» dated 19.08.2020 No. 67. URL: <http://www.consultant.ru> (access date: 10.01.2024). (In Russian).
3. The Order of the JSC «RZD» dated 13.05.2021 No. 1020/r «On approval of the standard procedure for the operational management of traction resources at designated landfills of the railway network» (together with the Standard Procedure). URL: <http://www.consultant.ru> (access date: 15.01.2024). (In Russian).
4. The Order of the JSC «RZD» dated 30.12.2016 No. 2796r (in edition from 23.03.2023) «About the locomotive maintenance and repair system of the JSC «RZD» (together with the Position). URL: <http://www.consultant.ru> (access date: 15.01.2024). (In Russian).
5. On approval of the Instruction on operational planning of train and freight work in the JSC «RZD» : the Order of the JSC «RZD» dated 16.07.2012 No. 1415r. URL: <http://www.consultant.ru> (access date: 21.01.2024). (In Russian).
6. Lapidus B. M. Improving the productivity and efficiency of railway transport on an innovative basis. *Russian Railway Science Journal*. 2012. No. 5. Pp. 3–6. ISSN 2223-9731. (In Russian).
7. Bezduzhny A. A. Formal model of ontology-based data integration systems. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*. 2008. Vol. 6. No. 2. Pp. 15–40. ISSN 1818-7900. (In Russian).

8. Сирина Н. Ф., Сахаров А. Г. Анализ влияния внешних и внутренней систем на пропускную способность участков железных дорог Восточного полигона // Вестник РГУПС. 2023. № 1 (89). С. 119–125. DOI: 10.46973/0201-727X\_2023\_1\_119.
9. Сай В. М., Горелова Д. Ю. Методика обоснования показателей хозяйствующих субъектов для определения устойчивости организационной сети с использованием многофакторного анализа // Вестник РГУПС. 2020. № 4. С. 102–112. DOI: 10.46973/0201-727X\_2020\_4\_102.
10. Паршина В. С. Методическое обеспечение управления логистическими бизнес-процессами в производственной сфере // Вестник УрГУПС. 2021. № 4 (52). С. 88–96. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-4-88-96.

8. Sirina N. F., Sakharov A. G. Analysis of the influence of external and internal systems on the capacity of railway sections of the Eastern polygon. *Vestnik RGUPS*. 2023. No. 1 (89). Pp. 119–125. DOI: 10.46973/0201-727X\_2023\_1\_119. (In Russian).
9. Say V. M., Gorelova D. Y. Methodology for substantiating indicators of economic entities for determining the stability of the organizational network using multi-factor analysis. *Vestnik RGUPS*. 2020. No. 4. С. 102–112. DOI: 10.46973/0201-727X\_2020\_4\_102. (In Russian).
10. Parshina V. S. Methodological support of logistics business process management in the manufacturing sector. *Herald of the USURT*. 2021. No. 4 (52). Pp. 88–96. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-4-88-96. (In Russian).

Объем статьи 0,67 авторских листа



Научная статья  
УДК 656.222.4

## Определение максимальной допустимой длины однопутных элементов специализированной грузовой линии по условию достаточности наличной пропускной способности

Сергей Владимирович Карасев<sup>1</sup>, Александр Романович Черняк<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

## Determination of the maximum permissible length of single-track elements of a specialised freight line under the condition of sufficiency of available capacity

Sergey V. Karasev<sup>1</sup>, Alexander R. Chernyak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

### Аннотация

Стратегией развития ОАО «РЖД» предусмотрена возможность специализации железнодорожных линий. При проектировании новых железнодорожных линий, предназначенных для движения грузовых поездов, необходимо определять комплекс конструктивных и технологических параметров, обеспечивающих необходимый уровень пропускной и провозной способностей.

Основной формой этих линий в мире являются однопутные с разъездами и (или) с двухпутными вставками. В России методы обоснования рациональной конфигурации таких линий, учитывающие особенности инфраструктуры, подвижного состава и технологии работы, отсутствуют. В статье предложена методика аналитического расчета максимальной допустимой длины однопутных элементов линии (расстояний между отдельными пунктами), учитывающая необходимую пропускную и провозную способность, а также способ организации движения поездов и параметры графика движения.

Предлагаемая методика может быть использована на предпроектном этапе при определении необходимой и достаточной конфигурации специализированной грузовой линии по числу главных путей на перегонах, а также по количеству раздельных пунктов для скрещения поездов.

**Ключевые слова:** однопутный элемент, пропускная способность, провозная способность, бесшовные технологии, специализация

### Abstract

The development strategy of JSC «Russian Railways» provides for the possibility of specialization of railway lines. When designing new railway lines intended for the movement of freight trains, it is necessary to determine a set of design and technological parameters that ensure the necessary level of throughput and carrying capacity.

The main form of these lines in the world are single-track with sidings and (or) with double-track inserts. In Russia, there are no methods to justify the rational configuration of such lines, taking into account the specifics of infrastructure, rolling stock and operating technology. The article proposes a methodology for the analytical calculation of the maximum permissible length of single-track line elements (distances between separate points), taking into account the necessary capacity and carrying capacity, as well as the way trains are organized and the parameters of the traffic schedule.

The proposed methodology can be used at the pre-design stage in determining the necessary and sufficient configuration of a specialized freight line by the number of main tracks on the stages, as well as by the number of separate points for crossing trains.

**Keywords:** single-track element, capacity, carrying capacity, seamless technologies, specialization

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-32-41

Специализированная грузовая линия (СГЛ) — это линия, по которой курсируют исключительно или преимущественно грузовые поезда, перевозящие, как правило, массовые грузы, а именно полезные ископаемые (железную руду, каменный уголь, нефть, газ, лес и т.д.), с мест добычи до мест перевалки или переработки. Для современной России СГЛ — новое явление, притом что в мире они давно успешно эксплуатируются странами — лидерами тяжеловесного движения [1]. Использование СГЛ позволяет обеспечить высокий уровень бесшовности<sup>1</sup> перевозочного процесса и наличной провозной способности при относительно небольших размерах движения тяжеловесных и длинносоставных поездов. Кроме того, СГЛ могут стать перспективным решением проблемы ликвидации дефицита провозной способности существующих магистральных линий [2, 3], особенно в условиях освоения новых месторождений полезных ископаемых [4]. Причем Стратегией развития ОАО «РЖД» на период до 2030 года предусматривается возможность разделения грузовых и пассажирских перевозок на наиболее загруженных направлениях за счет специализации транспортной инфраструктуры [5].

За 70 лет использования СГЛ накоплен практический опыт по их проектированию и эксплуатации и сформирована существенная научная база. Проблема в том, что она практически полностью осно-

<sup>1</sup>Бесшовность — способ организации перевозочного процесса, при котором ликвидируются или сводятся к минимуму непроизводительные операции, которые не добавляют ценности конечному продукту. Поскольку главный продукт железнодорожного транспорта — это услуга по доставке, то чем меньше временных затрат на непроизводительные операции, тем меньше срок доставки.



вана на зарубежном опыте, а все СГЛ являются частной собственностью добывающих компаний. Обоснование проектных и технологических решений нередко составляет коммерческую тайну, что создает дополнительные трудности при попытке использовать зарубежный опыт [6, 7].

Актуальность рассматриваемых в статье вопросов обусловлена необходимостью развития отечественной научной базы по проектированию и эксплуатации СГЛ. А уже накопленные знания необходимо обновить в связи с техническим и технологическим прогрессом транспортной инфраструктуры и перевозочного процесса.

При проектировании любой железнодорожной линии (и для смешанного движения, и для СГЛ) основными параметрами являются [8]:

- потребная провозная способность;
- руководящий уклон;
- полезная длина приемо-отправочных путей;
- число главных путей;
- вид тяги;
- схема размещения отдельных пунктов и границы участков тягового обслуживания;
- организация электроснабжения электрифицируемых линий и размещение тяговых подстанций.

На конфигурацию СГЛ, т.е. на число главных путей, полезную длину приемо-отправочных путей, схемы размещения отдельных пунктов и участков тягового обслуживания, оказывает существенное влияние потребная пропускная способность — то количество пар поездов, которое будет курсировать в течение суток в обоих направлениях для освоения потребной провозной способности. Наличная пропускная способность и конструктивные параметры линии, очевидно, находятся в тесной взаимосвязи. Чтобы учитывать этот фактор, предлагается при

определении рациональных конструктивно-технологических параметров СГЛ использовать комплексную модель железнодорожной линии, обеспечивающую расчет наличной пропускной способности исходя из специфики организации движения поездов, а также конфигурации и других параметров самой линии.

При определении конфигурации будущей СГЛ для обеспечения бесшовного перевозочного процесса необходимо разработать методику расчета наличной пропускной способности СГЛ с учетом ее особенностей (например, таких, как отсутствие пассажирского и местного грузового движения, наличие значительных межпоездных интервалов).

Расчет конфигурации СГЛ предлагается выполнять в три этапа:

- первый — подготовка исходных данных и определение параметров поездопотока, который будет курсировать по СГЛ, при помощи программы «СПЕЦЛИН — Расчет поездов» [9];
- второй — расчет максимально допустимой длины однопутного элемента между отдельными пунктами или двухпутными вставками, а также количества отдельных пунктов на СГЛ;
- третий — технико-экономическое обоснование целесообразности перехода от одного вида конфигурации СГЛ к другому (эта задача требует создания отдельной методики и в данной статье не рассматривается).

При классическом расчете наличной пропускной способности магистральной линии выполняется расчет по каждому отдельному или по ограничивающему перегону. Для этого необходимо знать технические и эксплуатационные характеристики участка (в систематизированном виде сведены в табл. 1).

Многие из указанных в табл. 1 характеристик на предпроектном этапе неизвестны, поэтому в условиях неопределенности требуется предварительно рассчитать потребную пропускную способность для определения конфигурации транспортной

Таблица 1

Технические и эксплуатационные характеристики участка [10]

Техническая характеристика	Эксплуатационная характеристика
1. Схема размещения отдельных пунктов (РП) на участке	1. Время хода поездов различных категорий по перегонам
2. Протяженность перегонов (расстояние между осями отдельных пунктов)	2. Время разгона и замедления поездов различных категорий по перегонам
3. Число главных путей на перегонах	3. Места (отдельные пункты) и продолжительность стоянок пассажирских, пригородных и сборных поездов
4. Средства сигнализации и связи по движению поездов	4. Действующие ограничения скоростей движения поездов
5. Вид тяги, серия обращающихся локомотивов в пассажирском, пригородном и грузовом движении	5. Расчетный тормозной путь поезда на участке
6. Нормы массы и длины пассажирских, пригородных и грузовых поездов	6. Расчетные размеры движения поездов (средние в месяц максимальных перевозок)
7. Путь план участка, включая координаты размещения светофоров (входных, выходных с главных путей, проходных при АБ, предупредительных при ПАБ)	
8. Элементы трассы, ограничивающие скорости движения поездов (кривые малого радиуса, искусственные сооружения и др.)	
9. Марки стрелочных переводов (СП), уложенных на приемо-отправочных путях станций и на перегонах (при их наличии)	

инфраструктуры. Здесь возникает ряд задач, связанных с определением:

максимальной длины однопутных перегонов между раздельными пунктами и (или) двухпутными вставками в зависимости от потребной пропускной способности;

минимальной длины однопутных перегонов;

числа раздельных пунктов и предположительного расположения их осей на «развертке» СГЛ.

Решение этих задач позволит сделать вывод о конструктивных параметрах СГЛ — протяженности перегонов, количестве главных путей, числе раздельных пунктов, месте их размещения и типовых схемах.

Потребная пропускная способность  $N_{\text{п}}$  в зависимости от потребной провозной способности и массы поезда ориентировочно определяется по формуле [11]

$$N_{\text{п}} = \frac{\Gamma_{\text{п}} \cdot k_{\text{н}} \cdot 10^6}{365 \cdot Q_{\text{ср}}^{\text{н}}}, \quad (1)$$

где  $\Gamma_{\text{п}}$  — подлежащий освоению грузопоток нетто, планируемый на расчетный год в наиболее загруженном направлении, млн т;  $k_{\text{н}}$  — коэффициент внутригодовой неравномерности перевозок;  $Q_{\text{ср}}^{\text{н}}$  — средняя масса нетто состава вагонов грузового поезда, т.

В зависимости от потребной пропускной способности определяется конфигурация транспортной инфраструктуры СГЛ. Анализ мирового опыта проектирования СГЛ показал [1, 4], что предпочтительным вариантом конфигурации железнодорожной линии являются однопутные линии с разъездами или двухпутными вставками. С учетом специфики СГЛ имеются четко выраженные грузовое и порожнее направления. Поскольку по таким линиям курсируют только грузовые поезда одной категории, нет необходимости в обгонах [12]. Скрещение грузовых поездов с порожними предусматривается на разъездах или в пределах двухпутных вставок.

Наличную пропускную способность  $N_{\text{н}}$  однопутного перегона при аналитическом методе расчета в настоящее время определяют по формуле [11]

$$N_{\text{н}} = \frac{(1440 - T_{\text{тех}}) \cdot \alpha}{T_{\text{пер}}} \cdot k_{\text{пер}}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{тех}}$  — продолжительность выполнения содержания и плановых ремонтных работ устройств инфраструктуры, мин;  $\alpha$  — нормативный коэффициент надежности железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава;  $T_{\text{пер}}$  — период графика, мин;  $k_{\text{пер}}$  — число пар поездов в периоде графика.

Из формулы (2) видно, что одним из важных параметров при определении наличной пропускной способности является период графика  $T_{\text{пер}}$ . Чем он меньше, тем больше наличная пропускная способность. Период графика в большой степени зависит от способа организации движения поездов.

Способ организации движения поездов по СГЛ может быть разным в зависимости от многих факторов, ключевые из них — схема размещения раздельных пунктов на линии, протяженность перегонов, средства сигнализации и связи по движению

поездов, вид тяги, нормы массы и длины поездов, план и профиль перегонов, марки стрелочных переводов на раздельных пунктах, потребная пропускная способность. При анализе зарубежного опыта чаще всего встречаются следующие способы организации движения поездов [13]:

парный непакетный график движения поездов (ГДП);

парный частично-пакетный ГДП;

парный пакетный ГДП.

Парный непакетный график можно классифицировать еще и по способу скрещения поездов:

с остановкой одного поезда и пропуском второго;

без остановки поездов с отклонением одного из поездов на боковой путь.

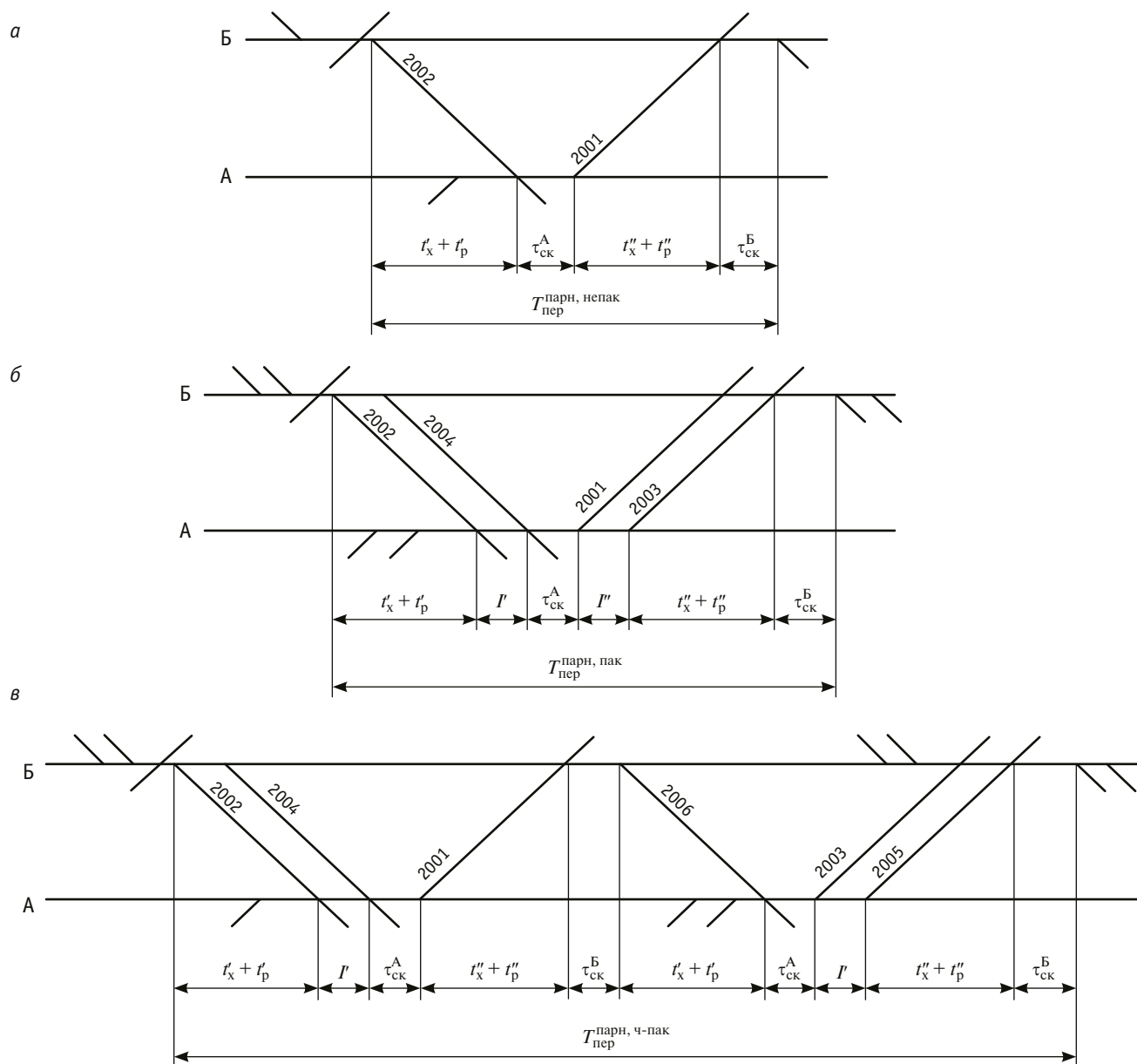
Предпочтительным для СГЛ является парный непакетный ГДП с безостановочным скрещением. Это объясняется тем, что на СГЛ используется параллельный безобгонный ГДП благодаря обращению поездов одной категории. С учетом возможности безостановочного скрещения поездов это способствует повышению уровня бесшовности.

Стоит отметить, что данный способ существенно упрощает организацию движения поездов и создает предпосылки для полной автоматизации перевозочного процесса, как это сделано в Австралии, где используется беспилотное движение грузовых поездов, которое координируется диспетчерами из центра в г. Перт, находящемся на расстоянии 1400 км от самих СГЛ [14].

При определении периода графика  $T_{\text{пер}}$  необходимо обратиться к расчетным схемам, которые представлены на рис. 1 для различных способов организации движения поездов [15]. Из рис. 1 следует, что ключевым параметром при определении периода графика являются времена хода четных и нечетных поездов, которые составляют до 70–80 % от общей продолжительности периода, а время хода напрямую зависит от расстояния между раздельными пунктами. Таким образом, можно сделать вывод, что один из важнейших параметров при определении наличной пропускной способности СГЛ — месторасположение будущих раздельных пунктов на «развертке» линии.

Причем ограничения наличной пропускной способности СГЛ будут определяться в первую очередь возможностями однопутных элементов линии — однопутных перегонов между разъездами, однопутных частей перегонов в случае двухпутных вставок. На пропускную способность этих элементов непосредственное влияние будет оказывать их длина. Соответственно важной задачей является определение взаимосвязи длины однопутных элементов СГЛ и пропускной способности.

Поскольку на предпроектном этапе набор предполагаемых технических и эксплуатационных параметров будущей СГЛ весьма ограничен, для установления взаимосвязи наличной пропускной способности и длины однопутных элементов целесообразно иметь методику предварительного расчета основных конструктивно-технологических решений в условиях неопределенности. Для этого предлагается рассчитывать потребную пропускную способность через потребную провозную способность. Далее полученная потребная пропускная способность приравнивается к предельной необходимой наличной пропускной способности и определяется максимальный допустимый



**Рис. 1. Расчетные схемы для определения периода графика:**

*а* — парный непакетный график; *б* — парный пакетный график; *в* — парный частично-пакетный график

период графика. Затем через период графика рассчитывается максимальная возможная длина однопутного перегона через суммарный суточный пробег поездов по этому элементу. После чего путем технико-экономического обоснования принимается окончательное решение о том, какая конфигурация СГЛ наилучшим образом справится с потребными к освоению грузопотоками. Алгоритм расчета представлен ниже.

Бюджет времени, в течение которого можно пропускать поезда, определяется следующим образом:

$$T_{\text{бюд}} = (1440 - T_{\text{тех}}) \cdot \alpha. \quad (3)$$

Если из формулы (2) выразить период графика, разложить его по формулам, представленным на рис. 1, и выразить из полученного выражения времени хода, получим следующие зависимости:

при парном непакетном графике

$$t'_x + t''_x = \frac{T_{\text{бюд}}}{N_{\Pi}} \cdot k_{\text{пер}} - (\tau_{\text{ск}}^A + \tau_{\text{ск}}^B + t'_p + t''_p); \quad (4)$$

при парном пакетном графике

$$t'_x + t''_x = \frac{T_{\text{бюд}}}{N_{\Pi}} \cdot k_{\text{пер}} - (\tau_{\text{ск}}^A + \tau_{\text{ск}}^B + t'_p + t''_p + I' + I''); \quad (5)$$

при парном частично-пакетном графике

$$t'_x + t''_x = \frac{T_{\text{бюд}} \cdot k_{\text{пер}} - (2 \cdot \tau_{\text{ск}}^A + 2 \cdot \tau_{\text{ск}}^B + 2 \cdot t'_p + 2 \cdot t''_p + I' + I'')}{2}, \quad (6)$$

где  $t'_x, t''_x$  — время хода поезда в груженом и порожнем состоянии, мин;  $\tau_{\text{ск}}^A, \tau_{\text{ск}}^B$  — интервалы скрещения поездов по границам однопутного элемента, мин;  $t'_p, t''_p$  — время разгона грузового и порожнего поезда;  $I', I''$  — интервалы попутного следования поездов в пакете.

Время, которое нужно затратить на разгон, замедление, а также на обеспечение безопасного движения поездов за счет поддержания необходимых интервалов, далее будем обозначать как время, необходимое для выполнения технических операций. Его можно представить в виде:

при парном непакетном графике

$$T_{\text{техн}} = \tau_{\text{ск}}^A + \tau_{\text{ск}}^B + t'_p + t''_p; \quad (7)$$

при парном пакетном графике

$$T_{\text{техн}} = \tau_{\text{ск}}^A + \tau_{\text{ск}}^B + t'_p + t''_p + I' + I''; \quad (8)$$

при парном частично-пакетном графике

$$T_{\text{техн}} = 2 \cdot \tau_{\text{ск}}^A + 2 \cdot \tau_{\text{ск}}^B + 2 \cdot t'_p + 2 \cdot t''_p + I' + I''. \quad (9)$$

При безостановочном скрещении расчетная схема выглядит следующим образом (рис. 2).

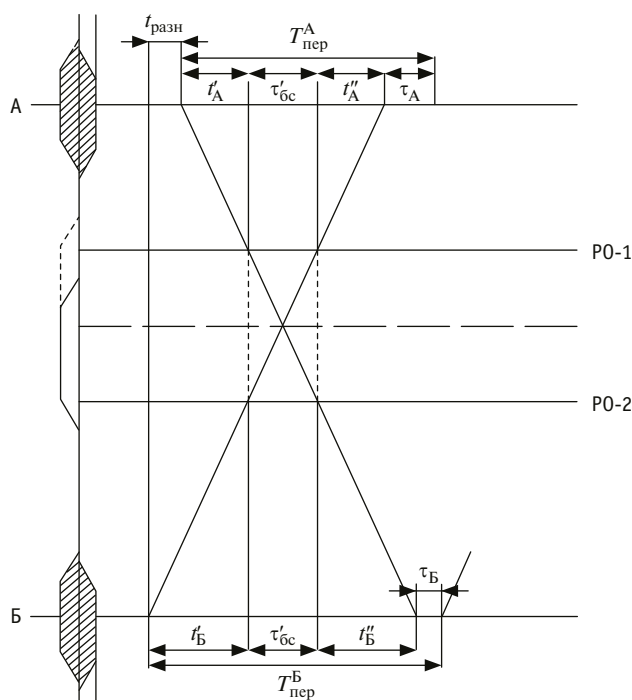


Рис. 2. Расчетные схемы для определения периода графика при безостановочном скрещении

Для оптимизации использования энергетических ресурсов на тягу поездов предпочтительно груженный поезд пропускать без изменения скорости, не допускать отклонений по стрелочным переводам, а порожний — с отклонением на боковой путь развезда или двухпутной вставки со снижением скорости.

При пропуске поездопотоков по перегону, включающему двухпутную вставку,  $T_{\text{пер}}$  может определяться с учетом времени хода по каждому из элементов [11, 16, 17]:

$$T_{\text{пер}} = \max \left\{ \frac{L_{B-PO2}}{V_{B-PO2}^{\text{неч}}} + \frac{L_{B-PO2}}{V_{B-PO2}^{\text{чет}}} + \tau'_{\text{бс}} + \tau'_B, \frac{L_{A-PO1}}{V_{A-PO1}^{\text{неч}}} + \frac{L_{A-PO1}}{V_{A-PO1}^{\text{чет}}} + \tau''_{\text{бс}} + \tau'_A \right\}, \quad (10)$$

где  $L_{B-PO2}, L_{A-PO1}$  — расстояние, проходимое поездом от расчетной оси безостановочного скрещения (PO-1 или PO-2) до раздельного пункта (А или Б), м;  $V_{B-PO2}^{\text{неч}}, V_{B-PO2}^{\text{чет}}, V_{A-PO1}^{\text{неч}}, V_{A-PO1}^{\text{чет}}$  — скорость проследования элементов до двухпутной вставки (см. рис. 2) четными и нечетными поездами, км/ч;  $\tau'_{\text{бс}}, \tau''_{\text{бс}}$  — интервал безостановочного скрещения нечетных и четных поездов, мин;  $\tau'_A, \tau'_B$  — станционные интервалы по раздельным пунктам А и Б, мин.

Интервал безостановочного скрещения поездов  $\tau'_{\text{бс}}, \tau''_{\text{бс}}$  определяется как полусумма времен хода четного и нечетного поездов по раздельному пункту (или двухпутной вставке):

$$\tau'_{\text{бс}} = \tau''_{\text{бс}} = \frac{L_{PO2-PO1}}{V_{PO2-PO1}^{\text{чет}}} + \frac{L_{PO1-PO2}}{V_{PO1-PO2}^{\text{неч}}}, \quad (11)$$

где  $L_{PO2-PO1}$  — длина двухпутной вставки.

При размещении двухпутной вставки на перегоне и при равенстве времен хода ( $\tau'_A = \tau'_B = \tau'_B = \tau'_B$ , см. рис. 2) для определения  $T_{\text{пер}}$  предлагается использовать формулу

$$T_{\text{пер}} = \max \left\{ \frac{2L_{B-PO2}}{V_{B-PO2}} + \frac{L_{PO2-PO1}}{V_{PO2-PO1}} + \tau'_{\text{бс}} + \tau'_B, \frac{2L_{A-PO1}}{V_{A-PO1}} + \frac{L_{PO2-PO1}}{V_{PO2-PO1}} + \tau''_{\text{бс}} + \tau'_A \right\}. \quad (12)$$

Вышеуказанное равенство времен можно обеспечить на этапе выбора места размещения двухпутной вставки.

Подставив значения в формулу (2) и выразив времена хода, получаем следующие зависимости для обеспечения безостановочного скрещения:

$$t'_x + t''_x = \frac{T_{\text{бюд}}}{N_{\text{п}}} \cdot k_{\text{пер}} - (\tau_{\text{бс}} + \tau_{\text{ск}}^{A(B)} + t'_p^{\text{max}(A, B)} + t''_p^{\text{max}(A, B)}); \quad (13)$$

$$T_{\text{техн}} = \tau_{\text{бс}} + \tau_{\text{ск}}^{A(B)} + t'_p^{\text{max}(A, B)} + t''_p^{\text{max}(A, B)}. \quad (14)$$

Для определения суммарного суточного времени хода четных и нечетных поездов необходимо умножить обе части

на количество периодов графика за сутки.  $N_{\text{пер}}$  определяется по расчетной схеме, представленной на рис. 3. Формулы будут иметь следующий вид:

при парном непакетном графике и парном пакетном графике

$$\sum (t'_{\text{х}} + t''_{\text{х}}) = \frac{\frac{T_{\text{бюд}}}{N_{\text{п}}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot N_{\text{пер}} - \sum_{i=1}^{N_{\text{пер}}} T_{\text{техн}}}{N_{\text{пер}}}; \quad (15)$$

при парном частично-пакетном графике

$$\sum (t'_{\text{х}} + t''_{\text{х}}) = \frac{\frac{T_{\text{бюд}}}{N_{\text{п}}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot N_{\text{пер}} - \sum_{i=1}^{N_{\text{пер}}} T_{\text{техн}}}{2 \cdot N_{\text{пер}}}. \quad (16)$$

После расчета суммарного время хода определяем суммарное расстояние, пройденное поездами за сутки  $S_{\text{сут}}$  в погрузном и грузовом направлении по однопутному элементу:

$$S_{\text{сут}} = \sum (t'_{\text{х}} + t''_{\text{х}}) \cdot v_{\text{ср}}, \quad (17)$$

где  $v_{\text{ср}}$  — средняя скорость по перегону, км/ч.

Тогда расстояние между отдельными пунктами  $l_{\text{одн.эл}}$  будет равно

$$l_{\text{одн.эл}} = \frac{S_{\text{сут}}}{2}. \quad (18)$$

Помимо расчета длины однопутного элемента между отдельными пунктами, можно ориентировочно предположить, зная длину СГЛ  $L_{\text{СГЛ}}$ , сколько необходимо запроектировать отдельных пунктов  $n_{\text{рп}}$  для обеспечения потребных размеров движения:

$$n_{\text{рп}} = \frac{L_{\text{СГЛ}}}{l_{\text{одн.эл}}} - 1. \quad (19)$$

На рис. 4 представлен алгоритм определения длины однопутного элемента СГЛ.

В табл. 2 приведен пример расчета для парного непакетного графика. Расчеты сделаны для однопутной СГЛ с использованием электровозной тяги, поэтому в соответствии с методикой [11] время на содержание и выполнение плановых ремонтных работ инфраструктуры принято 75 мин, коэффициент надежности железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава — 0,93, время на разгон и замедление — 2 мин, интервал скрещения — 2 мин, средняя скорость — 60 км/ч.

Аналогичным способом можно рассчитать расстояния для парного частично-пакетного и парного пакетного графика. Количество поездов в периоде  $k_{\text{пер}}$  для частично-пакетного графика составит 1,5, для пакетного — 2. На рис. 5 представлены в графическом виде полученные зависимости для определения максимального допустимого расстояния между отдельными пунктами с учетом необходимой пропускной способности. Основные расчетные условия аналогичны использованным выше для непакетного графика, расчетный межпоездный интервал 10 мин.

Из рис. 5 видно, что, например, для пропуска 12 пар поездов в сутки при непакетном графике на СГЛ длина однопутных элементов линии между отдельными пунктами не должна превышать 49 км, при частично-пакетном — 61, при пакетном — 92 км.

На рис. 6 представлена зависимость длины однопутного элемента между отдельными пунктами и наличной пропускной способности при различных средних ходовых скоростях для парного непакетного ГДП.

Из рис. 6 видно, что, например, для пропуска 12 пар поездов в сутки при непакетном графике на СГЛ максимальное расстояние между отдельными пунктами составило 49 км при средней ходовой скорости 60 км/ч и 33 км при средней ходовой скорости 40 км/ч. При снижении ходовой скорости на 50 % длина однопутного элемента уменьшилась на 48 %. Однако при изменении скорости изменятся также расчетные станционные и межпоездные интервалы, что может привести к более существенной разнице.

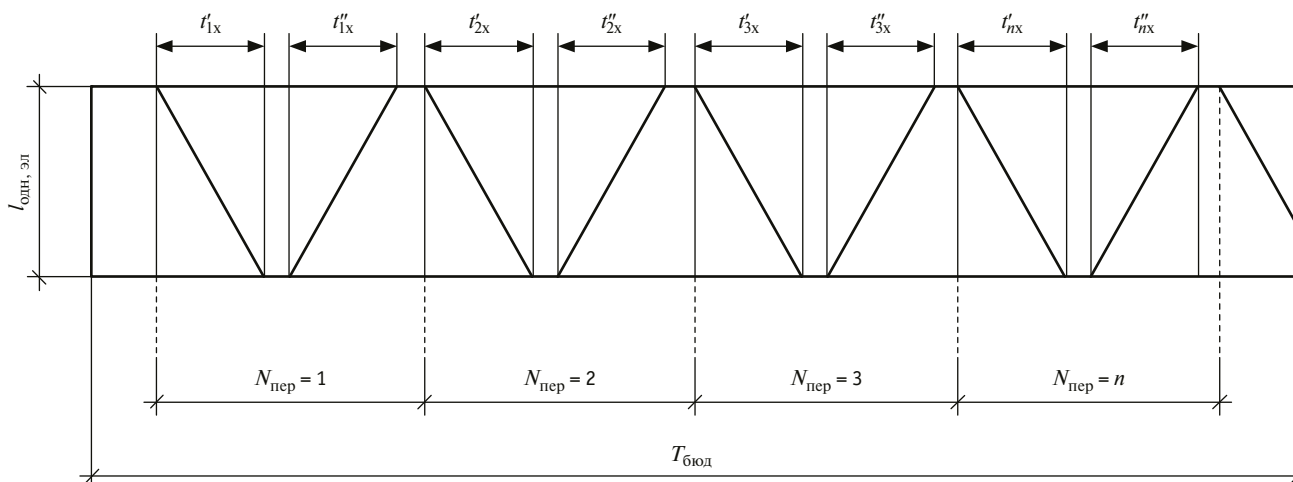


Рис. 3. Расчетная схема для определения количества периодов графика



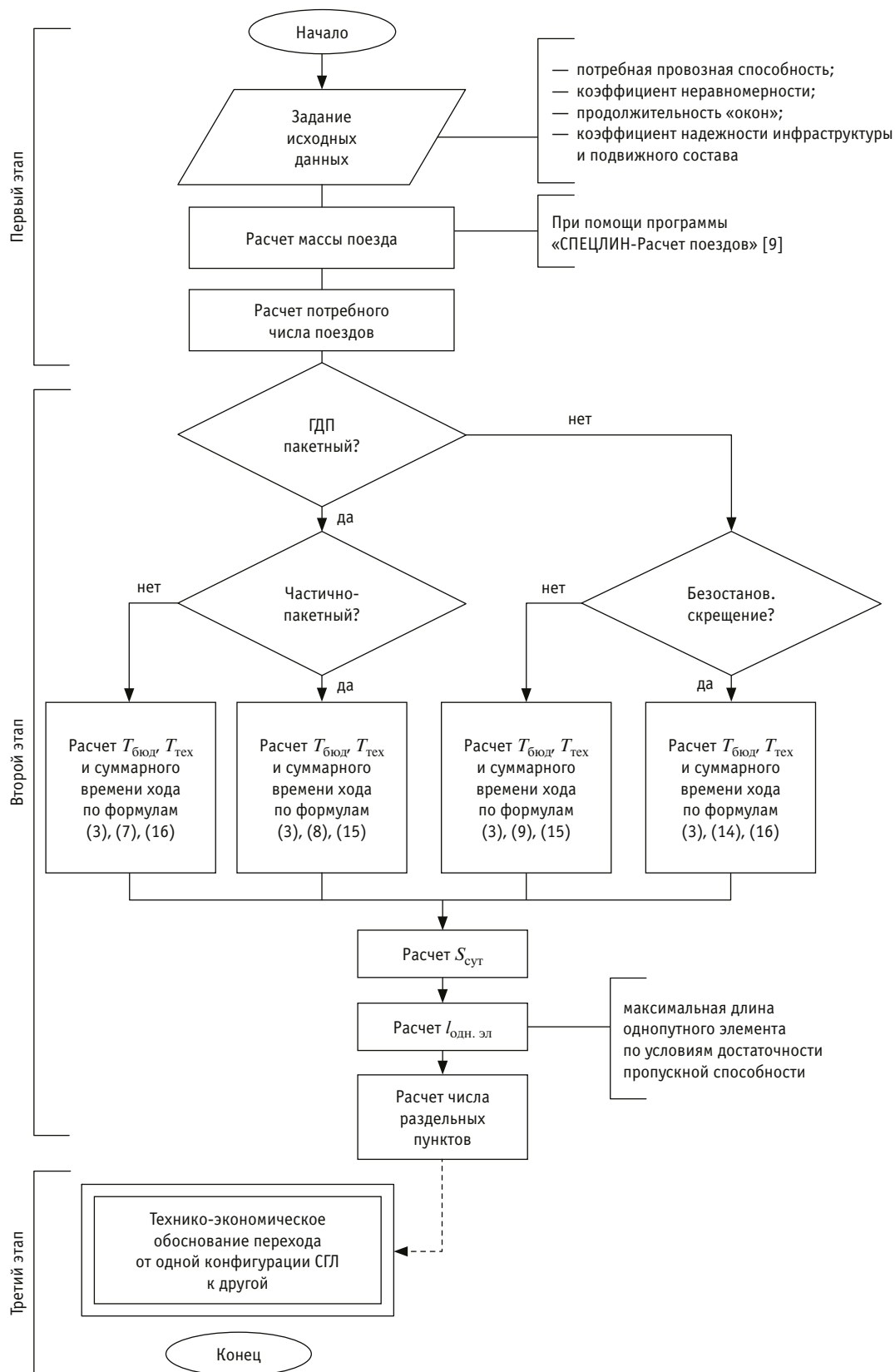


Рис. 4. Алгоритм расчета длины однопутного элемента СГЛ

Таблица 2

Расчет необходимого расстояния между раздельными пунктами при парном непакетном графике

$N_{\text{п}}$	$T_{\text{бюд}} \text{ мин}$	$T_{\text{бюд}} - N_{\text{пер}} \cdot T_{\text{техн}} \text{ мин}$	$\sum(t'_{\text{х}} + t''_{\text{х}}), \text{ ч}$	$S_{\text{сут}} \text{ км}$	$l_{\text{одн.эл}} \text{ км}$
1	1269,45	1261,45	21,02	1261,5	630
2		1253,45	10,45	626,7	313
3		1245,45	6,92	415,2	207
4		1237,45	5,16	309,4	154
5		1229,45	4,10	245,9	122
6		1221,45	3,39	203,6	101
7		1213,45	2,89	173,4	86
8		1205,45	2,51	150,7	75
9		1197,45	2,22	133,1	66
10		1189,45	1,98	118,9	59
11		1181,45	1,79	107,4	53
12		1173,45	1,63	97,8	48
13		1165,45	1,49	89,7	44
14		1157,45	1,38	82,7	41
15		1149,45	1,28	76,6	38
16		1141,45	1,19	71,3	35
17		1133,45	1,11	66,7	33
18		1125,45	1,04	62,5	31
19		1117,45	0,98	58,8	29
20		1109,45	0,92	55,5	27

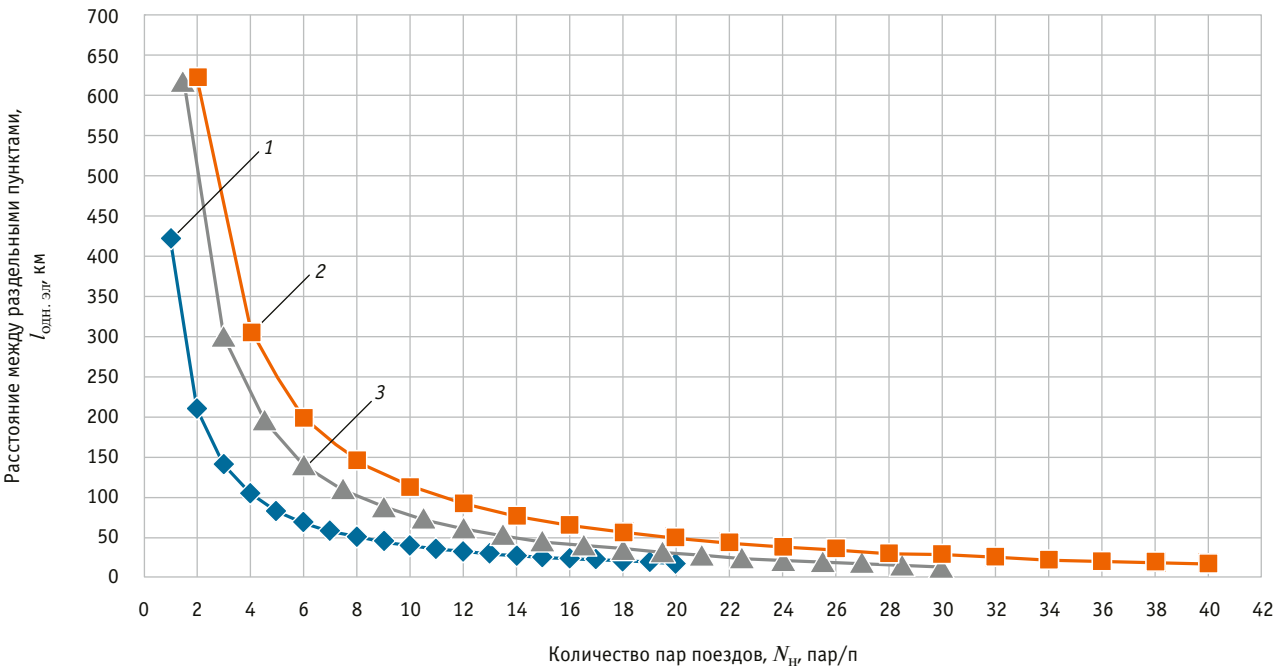


Рис. 5. График зависимости длины однопутных элементов  $l_{\text{одн.эл.}}$  между раздельными пунктами и количества пар поездов в сутки  $N_{\text{п}}$ :  
1 — парный непакетный; 2 — парный пакетный; 3 — парный частично-пакетный

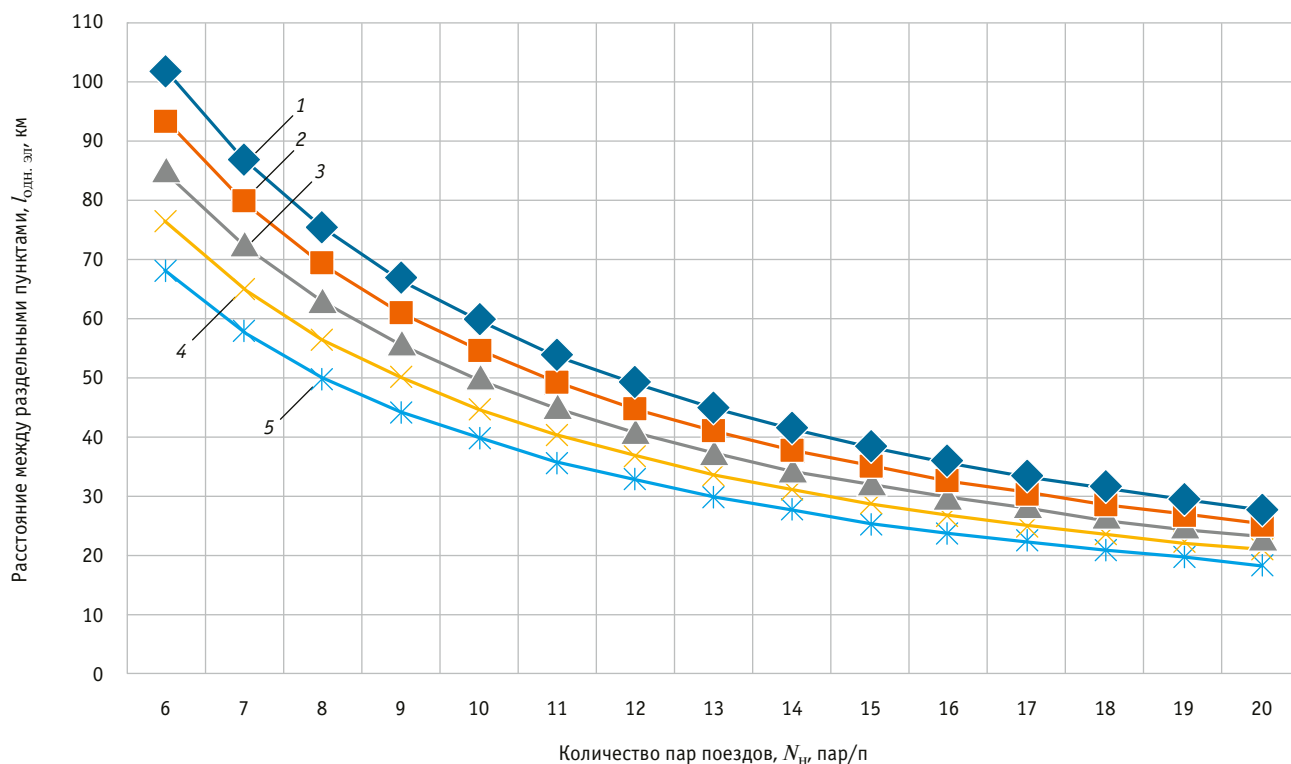


Рис. 6. График зависимости длины однопутных элементов  $I_{одн.эл}$  между раздельными пунктами и количества пар поездов в сутки  $N_{тр}$  при различных средних ходовых скоростях:  
1 — 60 км/ч; 2 — 55 км/ч; 3 — 50 км/ч; 4 — 45 км/ч; 5 — 40 км/ч

Следует отметить, что предложенная методика содержит ряд допущений. Однако при отсутствии достаточно точной информации о плане и профиле железнодорожной линии (это характерная ситуация для этапа предпроектной проработки новых железнодорожных линий) она позволяет не только определить максимальную допустимую длину однопутных элементов СГЛ с учетом необходимой пропускной способности и планируемых параметров графика движения поездов, но и необходимое число раздельных пунктов для скрещения поездов, а так-

же наметить на «развертке» линии примерное месторасположение осей будущих раздельных пунктов.

В дальнейшем в рамках этапа 3 (см. рис. 4) планируется разработать методику технико-экономического обоснования перехода от одной конфигурации СГЛ к другой:

от однопутной линии с разъездами и с остановкой до однопутной линии с двухпутными вставками для безостановочного скрещения;

от однопутной линии с двухпутными вставками до сплошной двухпутной линии.

#### Сведения об авторах:

**Сергей Владимирович Карасев**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Сибирского государственного университета путей сообщения

**Александр Романович Черняк**, аспирант кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Сибирского государственного университета путей сообщения

#### Authors information:

**Sergey V. Karasev**, PhD in Engineering, Associate Professor of Railway Stations and Junctions Department, Siberian Transport University

**Alexander R. Chernyak**, postgraduate student of Railway Stations and Junctions Department, Siberian Transport University

#### Литература

1. Черняк А. Р., Карасев С. В. Особенности путевого развития специализированных железнодорожных линий для обеспечения бесшовных технологий перевозки тяжеловесных грузов // Вестник СГУПС. 2022. № 4 (63). С. 15–27. DOI: 10.52170/1815-9265\_2022\_63\_15.

#### References

1. Chernyak A. R., Karasev S. V. Features of specialized railway lines track development to ensure seamless technologies for the heavy cargo transportation. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2022. No. 4 (63). Pp. 15–27. DOI: 10.52170/1815-9265\_2022\_63\_15. (In Russian).

2. Повышение и использование перевозочной мощности полигонов сети: эффективные стратегия и тактика / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. А. Лаханкин [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2022. № 7. С. 8–16. ISSN 0044-4448.
3. Бушуев С. В. Пути повышения провозной способности участков железных дорог // Автоматика на транспорте. 2022. Т. 8. № 4. С. 343–353. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353.
4. Черняк А. Р., Карасев С. В. Разработка структуры модели специализированной грузовой железнодорожной линии с группировкой функциональных задач // Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 2. С. 24–34. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-02-4.
5. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения). URL: <http://www.rzd/> (дата обращения: 11.02.2024).
6. International Heavy Haul Association. URL: <https://ihha.net/what-we-do-ihha> (дата обращения: 13.02.2024).
7. Transportation Technology Center. URL: <https://www.ttcn.tech/> (дата обращения: 14.05.2022).
8. СП 237.1326000.2015. Свод правил. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования : утв. приказом Минстроя России от 06.07.2015 г. № 208. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124322> (дата обращения: 11.04.2024).
9. СПЕЦИН — Расчет поездов / С. В. Карасев, А. Р. Черняк : программа для ЭВМ 2024613611 Российская Федерация. № 2024612058; заявл. 05.02.2024; опубл. 14.02.2024, Бюл. № 2.
10. Климова Е. В. Пропускная способность перегонов железных дорог. Новосибирск : СГУПС, 2016. 111 с.
11. Об утверждении Методики определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования : приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 18.07.2018 г. № 266. URL: <https://base.garant.ru/72010552/> (дата обращения: 14.05.2024).
12. Черняк А. Р., Карасев С. В. Алгоритмизация итерационных расчетов по определению конструктивно-технологических параметров специализированных железнодорожных линий для перевозки массовых грузов // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2023. № 4 (11). С. 37–43. DOI: 10.52170/2712-9195\_2023\_4\_37.
13. Черняк А. Р., Карасев С. В. Определение количества и размещения отдельных пунктов на специализированных железнодорожных линиях по перевозке массовых грузов // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2023. № 2 (9). С. 17–24. DOI: 10.52170/2712-9195\_2023\_2\_17.
14. Карасев С. В., Черняк А. Р. Анализ добывающего сектора Австралии и его влияние на железнодорожную сеть в районе Пилбара // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2021. № 2 (3). С. 123–129. DOI: 10.52170/2712-9195/2021\_3\_123.
15. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов ЦД-361. Москва, 1995. 162 с.
16. Калидова А. Д. Обоснование конфигурации однопутно-двухпутных линий при организации скоростного движения поездов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новосибирск, 2019. 194 с.
17. Estimation of conditions of using combined single-track and double-track railways at high-speed traffic / A. Dmitrenko, S. Karasev, A. Kalidova, D. Sivitsky // MATEC Web of Conferences : 10th International Scientific and Technical Conference «Polytransport Systems», PTS 2018, Tomsk, November 15–16, 2018. Tomsk : EDP Sciences, 2018. Vol. 216. DOI:10.1051/MATECONF/201821602010.
2. Borodin A. F., Panin V. V., Lakhankin E. A. [et al.]. Increasing and using the transportation capacity of the landfills of the network: effective strategy and tactics. *Railway Transport*. 2022. No. 7. Pp. 8–16. ISSN 0044-4448. (In Russian).
3. Bushuev S. V. Ways to rise carrying capacity of railway sections. *Transport automation research*. 2022. Vol. 8. No. 4. Pp. 343–353. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353. (In Russian).
4. Chernyak A. R., Karasev S. V. Development the model structure of a specialized freight railway line with grouping of functional tasks. *Transport: science, equipment, management*. 2024. No. 2. Pp. 24–34. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-02-4. (In Russian).
5. The development strategy of the Russian Railways holding for the period up to 2030 (main provisions). URL: <http://www.rzd/> (access date: 11.02.2024). (In Russian).
6. International Heavy Haul Association. URL: <https://ihha.net/what-we-do-ihha> (access date: 13.02.2024).
7. Transportation Technology Center. URL: <https://www.ttcn.tech/> (access date: 14.05.2022).
8. SP 237.1326000.2015. A set of rules. Railway transport infrastructure. General requirements : approved by the Order of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation dated 06.07.2015 No. 208. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124322> (access date: 11.04.2024). (In Russian).
9. Karasev S. V., Chernyak A. R. SPETsLIN — Calculation of trains : computer program 2024613611 Russian Federation. No. 2024612058; filed 05.02.2024; publ. 14.02.2024, Bulletin No. 2. (In Russian).
10. Klimova E. V. Capacity of railway crossings. Novosibirsk : STU, 2016. 111 p. (In Russian).
11. On approval of the Methodology for determining the capacity and carrying capacity of the public railway transport infrastructure : the Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 18.07.2018 No. 266. URL: <https://base.garant.ru/72010552/> (access date: 14.05.2024). (In Russian).
12. Chernyak A. R., Karasev S. V. Algorithmisation of iterative calculations to determine design and technological parameters of specialised railway lines for mass freight transportation. *Fundamental and applied issues of transport*. 2023. No. 4 (11). Pp. 37–43. DOI: 10.52170/2712-9195\_2023\_4\_37. (In Russian).
13. Chernyak A. R., Karasev S. V. Determination number and location of operation points on specialized railway lines for transportation mass freight. *Fundamental and applied issues of transport*. 2023. No. 2 (9). Pp. 17–24. DOI: 10.52170/2712-9195\_2023\_2\_17. (In Russian).
14. Karasev S. V., Chernyak A. R. Analysis of australia's extractive sector and its impact on the rail network in the Pilbara region. *Fundamental and applied issues of transport*. 2021. No. 2 (3). Pp. 123–129. DOI: 10.52170/2712-9195/2021\_3\_123. (In Russian).
15. Instructions for determining station and inter-train intervals TsD-361. Moscow, 1995. 162 p. (In Russian).
16. Kalidova A. D. Substantiation of the configuration of single-track and double-track lines in the organization of high-speed train traffic : PhD in Engineering Thesis. Novosibirsk, 2019. 194 p. (In Russian).
17. Dmitrenko A., Karasev S., Kalidova A., Sivitsky D. Estimation of conditions of using combined single-track and double-track railways at high-speed traffic. *MATEC Web of Conferences : 10th International Scientific and Technical Conference «Polytransport Systems», PTS 2018, Tomsk, November 15–16, 2018. Tomsk : EDP Sciences, 2018. Vol. 216. DOI:10.1051/MATECONF/201821602010.*

Научная статья

УДК 656.222

## Ограничение входного потока на станции в зависимости от загрузки каналов и бункеров

Виталий Сергеевич Колокольников<sup>1</sup>, Татьяна Андреевна Фалалеева<sup>1</sup><sup>1</sup>Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

## Limiting the input flow at the station depending on the loading of channels and bunkers

Vitaliy S. Kolokolnikov<sup>1</sup>, Tatyana A. Falaleeva<sup>1</sup><sup>1</sup>Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

### Аннотация

В статье на основе имитационной модели исследуется уровень загрузки станционных путей. Предлагается рассматривать станцию как бункер, состоящий из трех элементов. Один — бункер с резервной емкостью по прибытию, другой — бункер с резервной емкостью по отправлению, третий — емкость, которую занимают поезда во время обслуживания в каналах станции. Применение такого подхода позволило выполнить качественный анализ загрузки пути, определить взаимосвязь работы станции и участка при различном соотношении уровня загрузки каналов и бункеров, а также рассмотреть влияние разнородности поездопотока. По результатам исследований предлагается регулировать подвод поездов к станции в зависимости от загрузки каналов и бункеров за счет использования предшествующих раздельных пунктов.

**Ключевые слова:** поездопоток, задержки, пропускная способность, моделирование, загрузка, станция

### Abstract

The article examines the level of loading of station tracks on the basis of a simulation model. It is proposed to consider the station as a bunker consisting of three elements. One is a bunker with a reserve capacity upon arrival, the other is a bunker with a reserve capacity upon departure, the third is the capacity occupied by trains during service in the station channels. The application of this approach made it possible to perform a qualitative analysis of the loading of the track, to determine the relationship between the operation of the station and the site with a different ratio of the loading level of channels and bunkers, as well as to consider the impact of the heterogeneity of train traffic. According to the research results, it is proposed to regulate the supply of trains to the station depending on the loading of channels and bunkers by using the previous separate points.

**Keywords:** train traffic, delays, throughput capacity, simulation, loading, station

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-42-48

### ПРОБЛЕМА

Эффективное использование инфраструктуры играет ключевую роль в обеспечении устойчивого пропуска поездов по полигону железной дороги. Поэтому для более точного определения пропускной способности железнодорожные пути следует рассматривать как обслуживающие устройства (каналы) и резервы (бункеры) [1] с учетом их взаимосвязи и взаимозависимости в общей структуре. Однако в действующей инструкции [2] емкость пути рассматривается исключительно в качестве канала, считается, что поезд на станции только обрабатывается, а простои до и после обработки не учитываются.

На самом деле один и тот же путь при выполнении технологических операций с поездом выступает в роли функционального канала, а во время ожидания поездом этих операций — в роли бункера. Из-за такой двойственности каждый парк и станцию следует рассматривать в качестве дуплекса, а полигон — в качестве цепочки взаимосвязанных дуплексов [1, 3, 4].

Наличие на станции резервных путей дает возможность преобразовывать поездопоток и снижать степень его дезорганизации. За счет этого удастся поддерживать оптимальную загрузку обслуживающих мощностей станции.

Выбор рационального соотношения каналов и бункеров с учетом характеристики входного потока позволит точнее определить наличную пропускную и перерабатывающую способность станции в различных условиях ее работы. Описать аналитически эту взаимосвязь нельзя, так как время нахождения поезда на станции зависит от большого числа факторов: кроме технологических операций, поезд занимает путь в ожидании локомотива, бригады ПТО, возможности отправиться на перегон и т.д. Поэтому определить задержку поездов, а вместе с тем полезную и полную загрузку путей можно только на основе использования имитационной модели.

### ОДНОРОДНЫЙ ПОТОК

Рассмотрим техническую станцию (бункер с емкостью  $Q$ ), на которую прибывают поезда одной категории с унифицированной длиной, имеющие одинаковую технологию обработки (однородный поток) (рис. 1).



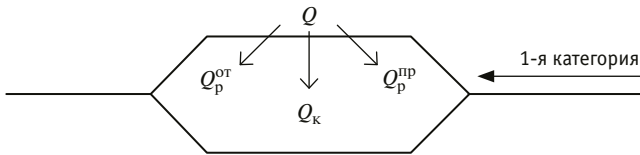


Рис. 1. Состав бункера технической станции при пропуске однородного потока

Общую вместимость станции можно представить как три составляющих:

бункер с резервной емкостью по прибытию  $Q_p^{np}$ , который принимает на станцию поезда, создает нужный ритм поступления составов в каналы обслуживания станции и организует определенную последовательность поездопотока. За счет этого смешанный (частично управляемый, частично случайный) поток поездов, поступающий с перегона (перегонов), преобразуется в полностью управляемый поток для каналов, что повышает их загрузку [5–7];

емкость  $Q_k$ , которую занимают поезда во время обслуживания в каналах станции (выполнение технологических операций);

бункер с резервной емкостью по отправлению  $Q_p^{ot}$ , который за счет создания нужного ритма отправления поездов со станции на перегон преобразует поток, следующий из станционных каналов обслуживания, в управляемый поток по отправлению.

Для устойчивого пропуска поездов по участку инфраструктура должна соответствовать не только объему, но и структуре поездопотока.

Поскольку путевое развитие станции постоянно, то в каждый момент времени  $t$  должно выполняться условие

$$Q(t) \leq Q, \tag{1}$$

где  $Q(t)$  — занятость станции (парка) в момент времени  $t$ ;  $Q$  — максимальная вместимость станции (парка), выраженная ко-

личеством путей или количеством тех вагонов, которые можно разместить на путях без потери работоспособности станции.

Текущая занятость станции в общем виде описывается выражением

$$Q(t) = Q_p^{np} + Q_k + Q_p^{ot}, \tag{2}$$

где  $Q_p^{np}$  — резервная емкость бункера по прибытию (для преобразования в парк приема);  $Q_k$  — емкость, которую занимают поезда во время обслуживания в каналах станции при выполнении технологических операций;  $Q_p^{ot}$  — резервная емкость бункера по отправлению для преобразования потока, ожидающего операций перед отправлением.

Емкость  $Q_k$  определяется числом путей, одновременно занятых обработкой составов. Они жестко зафиксированы, а их максимальное количество ограничивается числом параллельных технологических операций в каждый момент времени.

Поскольку задержки могут возникать в любой момент, то пути, используемые в качестве каналов обслуживания, могут стать резервной емкостью, и наоборот. Функциональными каналами на станции являются бригады ПТО, бригады приемо-отдатчиков. Кроме того, путь играет роль канала при приеме и отправлении поезда, уборке и прицепке локомотива и т.д. (табл. 1). Бункерами считаются пути с составами, ожидающими обработки. Их емкость определяется в каждый момент времени числом путей, используемых для ожидания поездов.

Из-за возможных ограничений в выполнении операций диспетчерский аппарат не всегда способен полностью спланировать технологическую цепочку работы с поездом от прибытия до отправления. Например, если во время прибытия поезда на станцию сменяемый поездной локомотив не может быть подвезан, то технология обработки такого поезда будет спланирована только до операции технического осмотра. При наличии «окон» на том перегоне, куда отправляется

Таблица 1

Операции с транзитным грузовым поездом

№	Технологическая операция	Использование емкости	
		при выполнении технологических операций	при простоях между операциями
1	Прибытие	$Q_k$	$Q_p^{np}$
2	Закрепление	$Q_k$	
3	Отцепка локомотива	$Q_k$	
4	Уборка локомотива	$Q_k$	
5	Ограждение	$Q_k$	
6	Технический осмотр/коммерческий осмотр	$Q_k$	
7	Снятие ограждения	$Q_k$	
8	Подача локомотива	$Q_k$	$Q_p^{ot}$
9	Прицепка локомотива	$Q_k$	
10	Опробование тормозов	$Q_k$	
11	Снятие закрепления	$Q_k$	
12	Отправление	$Q_k$	

поезд, к осмотренному составу также не станут подавать локомотив, а вагоны будут занимать емкость бункера по отправлению. В приведенных примерах операция осмотра разграничивает бункер по прибытию и бункер по отправлению. Однако такой пограничной операцией для разных станций и категорий поездов может стать другая операция.

Резервная емкость  $Q_p^{пр}$  предназначена для преобразования прибывающего потока и ожидания освобождения станционных каналов. Но, кроме этого, она обеспечивает беспрепятственный прием поездов с участка на станцию в любой момент времени, что исключает задержки на перегоне прибывающего и следом идущих поездов.

Резервная емкость  $Q_p^{от}$  служит для преобразования отправляемого потока и ожидания отправления на перегон. Она обеспечивает отправление поездов по ниткам, используется, когда поезд находится на станции в периоды проведения «окон» на перегоне, а также когда невозможно принять поезд на следующую техническую станцию.

При повышении уровня заполнения резервного бункера по отправлению  $Q_p^{от}$  и при нормально занятом канале  $Q_k$  для выполнения условия (1) емкость резервного бункера по прибытию  $Q_p^{пр}$  снижается. Это может привести к полному заполнению емкости станции  $Q$ , невозможности принимать на нее поезда, а следовательно, снижению пропускной способности перегона и участка на подходе к станции.

Возможные состояния емкости парка при его постоянной загрузке представлены на рис. 2. В первом состоянии два из шести путей постоянно заняты технологическими операциями и выступают в роли канала  $Q_k$ , а на четырех остальных (резервных бункерах по прибытию  $Q_p^{пр}$ ) находятся поезда, ожидающие обработки; обработанных поездов и поездов, ожидающих отправления, нет, поэтому бункер  $Q_p^{от}$  имеет нулевое значение. В состояниях 2–5 по мере обработки составов емкости резервных бункеров по прибытию и отправлению перераспределяются. При этом в состояниях 5–7 емкость  $Q_p^{пр}$  не занята, поскольку пути парка заполнены поездами, ожидающими отправления. В состоянии 7 работа парка полностью парализована, так как все пути заняты обработанными составами, загрузка канала  $Q_k$  нулевая, а принять новые поезда возможностей нет.

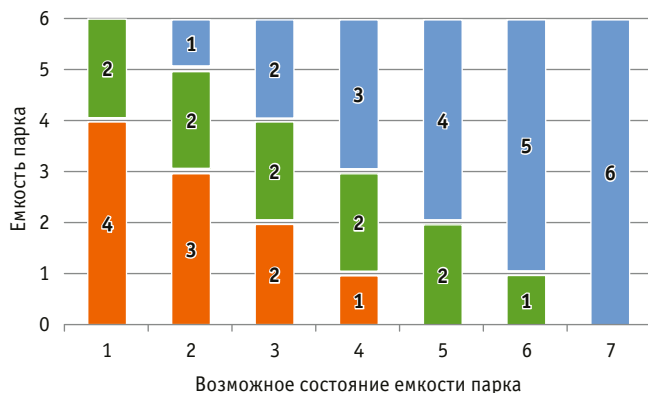


Рис. 2. Дискретные значения емкости парка с шестью путями:

—  $Q_p^{пр}$ ; —  $Q_k$ ; —  $Q_p^{от}$

Таким образом, при увеличении заполнения бункера по отправлению возможность принимать на станцию новые поезда снижается. Однако обратной зависимости нет: сколько бы поездов ни прибыло на станцию, пройдя через канал, они займут резервную емкость по отправлению.

За счет создания очереди удается поддерживать оптимальный уровень загрузки канала  $Q_k$ . Когда большинство путей начинают выступать в роли резерва по отправлению  $Q_p^{от}$ , не удается в полной мере заполнять канал.

Рассмотрим эту зависимость на примере имитационной модели парка технической станции (рис. 3). В парке 10 путей, обработку составов осуществляют две бригады осматривщиков вагонов, опробование тормозов — один осматривщик-автоматчик. Загрузка путей парка стремится к 100 %, но даже в этом случае каналами могут быть в среднем лишь четыре пути (кроме двух параллельных осмотров, могут выполняться операции по приему/отправлению поездов, подаче/уборке локомотивов, сцепке/отцепке вагонов, опробованию тормозов и т.д.), остальные — резервные (бункерные). В некоторые моменты времени на путях станции составы отсутствуют — это незадействованная емкость бункера.

В течение суток соотношение емкостей каналов и бункеров меняется (см. рис. 2). Это может оказывать влияние не только на перерабатывающую способность станции, но и на пропускную способность близлежащих перегонов и участка.

Бункерные пути в левой части графика (см. рис. 3) преимущественно играют роль резервов по прибытию  $Q_p^{пр}$ , а в правой части — резервов по отправлению  $Q_p^{от}$ . Как видно из правой части рис. 3, недостаточная емкость станции в определенные интервалы времени не позволяет принимать поезда с перегона, тем самым создавая очереди перед входным светофором станции.

В среднем за сутки загрузка парка составляет 85 %, а емкости трех бункеров распределены примерно поровну (рис. 4а). На основании этого будет неверно давать оценку качеству работы парка. Зная долю загрузки парка, занятого выполнением технологических операций, необходимо оценивать бункерные резервы, причем не в целом за сутки, а по временным интервалам, выделяя режимы работы.

Возьмем равные по продолжительности, но разные по характеру работы станции двухчасовые отрезки времени (рис. 4б, 4в). При таком анализе можно оценить качество загрузки парка. В обоих случаях полная загрузка путей парка равна и составляет 95,5 %. Загрузка канала тоже одинакова — 34,6 %. Однако величины загрузки бункеров по отправлению и по прибытию различаются.

В промежутке времени с 12.00 до 14.00 максимально используются резервы по прибытию, имеется возможность принимать все поступающие с перегона поезда (станция помогает участку) [8] и управлять прибывающим потоком, выстраивая очередность загрузки канала, в том числе осуществлять обработку приоритетных поездов. Качественные и количественные показатели участка находятся в пределах нормы и удовлетворяют условиям бесперебойного движения (на участке высокий коэффициент участковой скорости, снижены задержки и оборот вагона, эффективны показатели работы локомотива и бри-

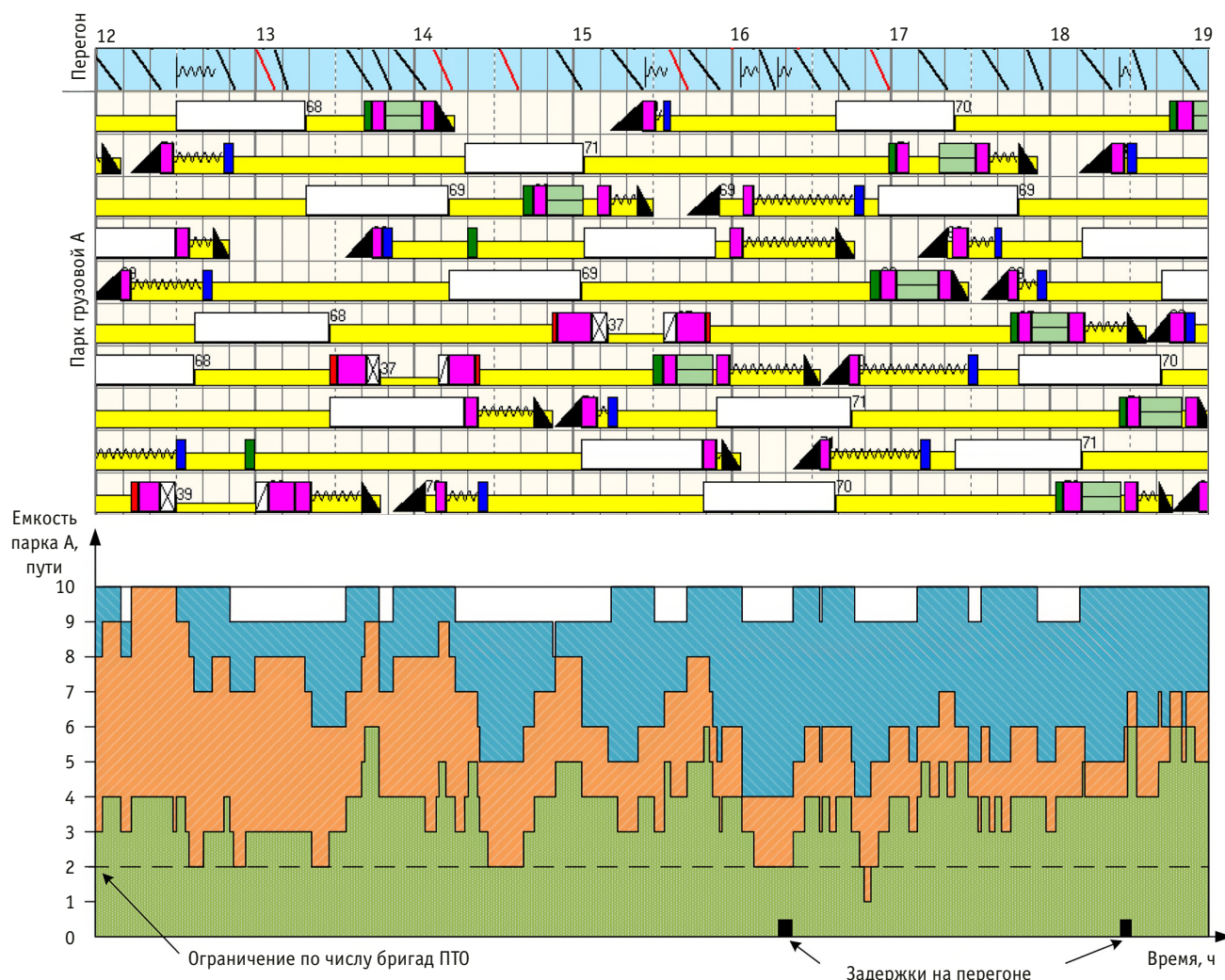


Рис. 3. Взаимосвязь канала и бункера в парке технической станции:

■ — емкость канала; ■ — резервная емкость бункера, задействованная для ожидания по прибытию; ■ — резервная емкость бункера, задействованная для ожидания по отправлению; ■ — резервная емкость

гады). Однако резервная емкость станции по отправлению невелика. После технологических операций поезд отправляется на перегон — об этом свидетельствует небольшой уровень используемой емкости бункера по отправлению. Перегон, на который отправляются поезда, не может быть максимально загружен, его пропускная способность будет снижена. Возникают функциональные потери (отсутствие готового поезда).

По разным причинам емкость бункера по отправлению может вырасти. При прежней загрузке канала емкость бункера по прибытию уменьшится (см. рис. 2). Во втором случае с 16.00 до 18.00 за счет увеличения резервов по отправлению

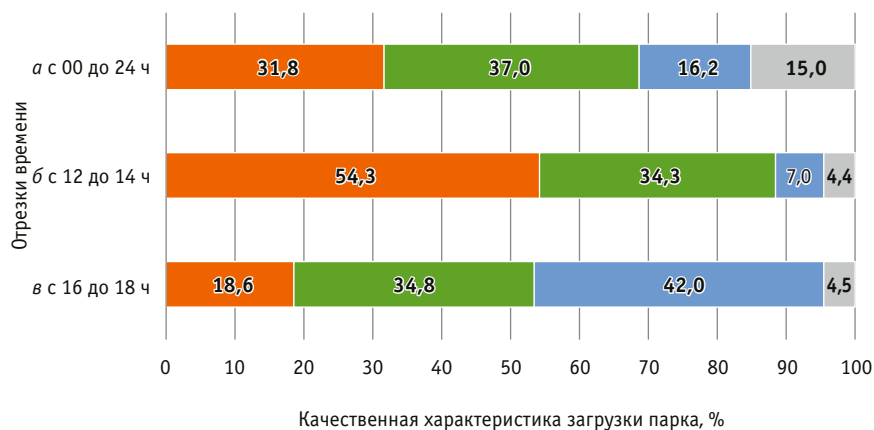


Рис. 4. Распределение времени использования емкостей парка А для трех временных отрезков:  
■ —  $Q^{np}$ ; ■ —  $Q_k$ ; ■ —  $Q^{ot}$ ; ■ —  $Q_p$

снижаются резервы по прибытию. Число путей для приема поездов ограничено. Для сохранения работоспособности станция уже не может принимать с перегона все поезда подряд в том ритме, в котором они следовали по участку. Возможность управления потоком на подходе к станции снижается, здесь поезда могут задерживаться. В результате качественные и количественные показатели работы участка ухудшаются. Следовательно, необходимо регулировать подвод поездов за счет емкостей предшествующих раздельных пунктов [9, 10]. Это значит, что резервная емкость бункера по прибытию переносится на станции участка. Теперь предузловые станции начинают выполнять работу по преобразованию случайного потока в управляемый. Регулировать подвод поездов на станцию необходимо за счет емкости предузловых раздельных пунктов, т.е. задействовать дуплекс с распределенной емкостью [1]. В данном случае участок должен помогать станции и иметь для этого соответствующее развитие, иначе вновь возникнут функциональные потери. Однако взаимодействие с перегоном, на который отправляются поезда, за счет большой емкости бункера по отправлению облегчается. Станция готова отправлять на участок поезда в необходимых ему ритме и очередности.

Это дает понимание, что ритмы работы станции могут меняться даже в течение суток, из-за чего станция и участок взаимодействуют по-разному. Приведенные на рис. 4 данные позволяют оценить влияние разного уровня загрузки бункеров по прибытию и отправлению, объяснить появление задержек на перегоне (правая часть рис. 3). При различных соотношениях каналов и бункеров возникает разное качество загрузки инфраструктуры. Нарушение в распределении ресурсов приводит к частичной/локальной потере равновесия системы. Например, из-за нехватки локомотивов и бригад поезда не могут отправиться со станции и простаивают на путях. В то же время на подходах к станции образуется очередь из поездов, которые станция принять не способна.

Исходя из этого можно сделать важный вывод. Заполнение путей станции ожидающими поездами — это не всегда плохо. При соблюдении баланса резервных емкостей по прибытию и отправлению лучше обеспечивается взаимодействие станции и прилегающих участков, значит, качество загрузки парка высокое. При перекосе резервных емкостей в ту или другую сторону качество загрузки парка снижается, так как возникают сложности взаимодействия станции на входе или выходе.

### РАЗНОРОДНЫЙ ПОТОК

По железнодорожной инфраструктуре почти всегда продвигается разнородный поток. При этом аналитическое описание взаимовлияния бункеров и канала усложняется.

Разные категории поездов имеют неодинаковые технологии и время обслуживания, а иногда требуют наличия специализированной инфраструктуры [11].

При работе с разными категориями поездов может учитываться их приоритетность (пассажирские, контейнерные и др.) и классификация по длине. Теперь бункер по прибытию, кроме создания очереди для канала, организует приоритет и требуемый ритм поступления поездов, позволяя обрабатывать в первую очередь необходимые для данной ситуации поезда.

Рассмотрим участок, по которому следуют поезда, имеющие длину и меньше, и больше полезной длины приемо-отправочных путей технической станции.

При пропуске через станцию поездов двух разных категорий емкость  $Q$  должна быть разделена на емкости, предназначенные для поездов первой  $Q_1$  и второй  $Q_2$  категорий (рис. 5). В первую категорию выделены поезда, длина которых соответствует длине пути либо короче ее, а во вторую — поезда, превышающие стандартную длину пути.

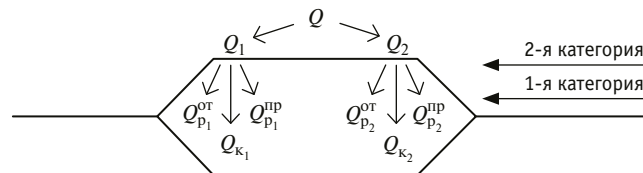


Рис. 5. Состав бункера технической станции при пропуске разнородного потока

Для пропуска разнородного потока через станцию в каждый момент времени  $t$  должно выполняться равенство

$$Q(t) = Q_1 + Q_2. \quad (3)$$

Емкости каждой категории по мере временного изменения структуры потока могут перераспределяться между собой. Поезда первой категории могут занимать вместимость парков и первой ( $Q_1$ ), и второй ( $Q_2$ ) категории, а поезда, превышающие стандартную длину пути, — использовать только емкость путевого развития, выделенную для второй категории.

Если на такую станцию (см. рис. 5) начнут поступать исключительно поезда первой категории, то в какой-то момент времени емкость первого канала  $Q_{k1}$  будет исчерпана (рис. 6). Поезда станут занимать резервы по прибытию  $Q_{p1}^{pp}$  в ожидании освобождения функциональных каналов  $Q_{k1}$ . Для обработки таких поездов начнут использоваться емкость второго канала  $Q_{k2}$  и емкости бункеров  $Q_{p2}^{pp}$ ,  $Q_{p2}^{ot}$ . В момент поступления на станцию поездов второй категории путевое развитие  $Q_2$ , подходящее для их обработки, все еще будет занято поездами первой категории. Это приведет к невозможности приема поездов любой категории даже при наличии свободных канала и резервных путей, выделенных для первой категории. В результате возникнут задержки поездов на подходе к станции, что повлияет на продвижение поездопотока по всему участку.

При продолжительном поступлении поездов только второй категории будет заполняться бункер  $Q_2$  с путями, способными их разместить. В случае полного заполнения этого парка станция прекратит принимать поезда любой категории.

Отметим, что чем больше разнородность потока, тем сложнее координировать работу комплекса. Наложение таких факторов, как неравномерность поступления каждой категории поездов и доля разброса в общем потоке, увеличивает вариативность занятия каналов и бункеров.

Когда наличная пропускная способность намного больше потребной, то имеющиеся резервы позволяют гасить данные



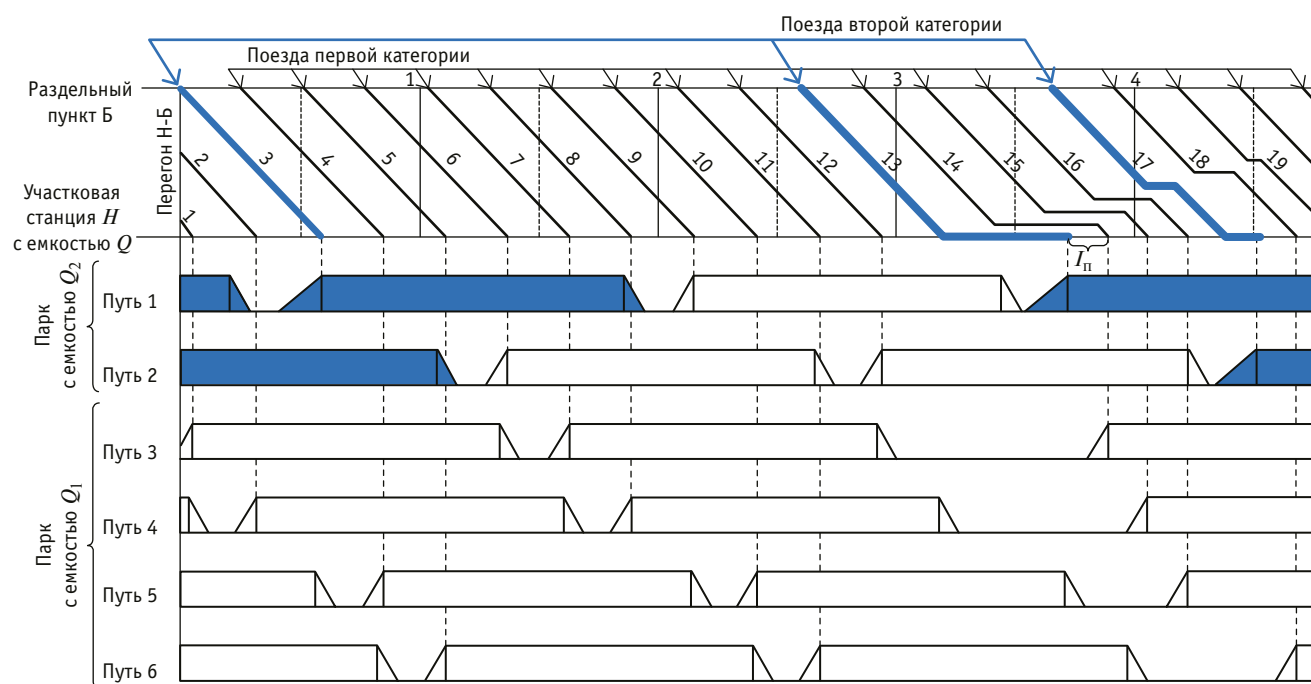


Рис. 6. Взаимодействие емкостей двух парков при пропуске разнородного потока

всплески, обеспечивая требуемую пропускную способность. По мере уменьшения разницы между наличной и потребной пропускной способностью резервы будут сокращаться, соответственно, чтобы сохранить высокую перерабатывающую способность, разнородность потока должна быть снижена [11].

## ВЫВОДЫ

Приближение полезной загрузки путей к полной загрузке не всегда свидетельствует об эффективной работе станции. Характер загрузки отличается и может быть выражен разным соотношением загрузки канала или бункеров. Это обуславливает разные режимы работы станции и смежных участков.

Качество загрузки пути может быть определено на основании соотношения используемых резервных емкостей по прибытию и отправлению. Для обеспечения высокой пропускной и перерабатывающей способности станции и прилегающих участков следует определять критические соотношения емкостей.

### Сведения об авторах:

**Виталий Сергеевич Колокольников**, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения

**Татьяна Андреевна Фалалеева**, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения

Даже при однородном потоке наблюдаются разные ритмы работы станции. В случае пропуска разнородного потока влияние каждого фактора усиливается, и разница в потребной и перерабатывающей способности становится больше, чем при пропуске однородного потока.

Размер емкостей станции, состоящих из каналов и бункеров, может динамически меняться в течение суток по разным причинам. За счет этого станция меняет режимы работы. Когда при неизменном потоке пропускная и перерабатывающая способность станции снижается, участок должен преобразовывать поток, чтобы поддерживать требуемый уровень пропускной способности. Для каждой конкретной станции в зависимости от ее оснащения необходимо находить наиболее рациональный вариант организации потока. При этом соотношение доступных резервных емкостей на технической и промежуточных станциях следует определять с помощью полигонной модели, чтобы емкости всех раздельных пунктов были сбалансированы для определенной структуры потока.

### Authors information:

**Vitaliy S. Kolokolnikov**, DSc in Engineering, Professor of Operations Management Department, Ural State University of Railway Transport

**Tatyana A. Falaleeva**, postgraduate student of Operations Management Department, Ural State University of Railway Transport



## Литература

1. Колокольников В. С. Структурно-функциональная оптимизация полигонов на сети железных дорог : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Екатеринбург, 2021. 302 с.
2. Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД» (с изм., внесенными распоряжением ОАО «РЖД» от 14.02.2023 № 324/р). URL: <https://base.garant.ru/407014958/?ysclid=m03gra98x929502668> (дата обращения: 16.05.2024).
3. Козлов П. А., Колокольников В. С. Расчет и оптимизация полигонов железнодорожного транспорта // Вестник РГУПС. 2018. № 3 (71). С. 113–120. ISSN 0201-727X.
4. Kolokolnikov V., Timukhina E., Kashheeva N. The minimum design element in the macro-modeling of railway sections and polygons // Railway Transport and Technologies (RTT-2021) : proceedings of International scientific and practical conference. Ekaterinburg, November 24–25, 2021. Vol. 2624. Issue 1. USA: AIP PUBLISHING, 2023. P. 040014. DOI: 10.1063/5.0132341.
5. Козлов П. А., Колокольников В. С. Теоретические аспекты взаимодействия потока и элементов структуры в транспортных системах // Транспорт Урала. 2019. № 4 (63). С. 3–7. DOI: 10.20291/1815-9400-2019-4-3-7.
6. О технологии расчета систем железнодорожного транспорта / П. А. Козлов, В. П. Козлова, О. В. Осокин, Н. А. Тушин // Транспорт Урала. 2022. № 3 (74). С. 3–9. DOI: 10.20291/1815-9400-2022-3-3-9.
7. О роли системных интеграторов в транспортном обеспечении экономических связей / П. А. Козлов, И. С. Абдуллаев, Н. А. Тушин, Н. В. Якушев // Транспорт Урала. 2023. № 4 (79). С. 12–16. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-4-12-16.
8. Укрупненное автоматизированное построение транспортной сети / П. А. Козлов, И. С. Абдуллаев, Н. В. Якушев, С. Н. Кол // Железнодорожный транспорт. 2023. № 12. С. 15–17. ISSN 0044-4448.
9. Козлов П. А. Владимирская И. П., Осокин О. В. Закономерности структурного взаимодействия в транспортных системах // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 25–28. ISSN 1815-9400.
10. О транспортных потоках, каналах и очередях / П. А. Козлов, И. С. Абдуллаев, О. В. Осокин, Н. В. Якушев // Транспорт Урала. 2023. № 4 (79). С. 25–26. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-4-25-26.
11. Колокольников В. С., Фалалеева Т. А. Влияние структуры поездопотока на пропускную способность станции и перегонов // Вестник РГУПС. 2024. № 1 (93). С. 79–89. DOI: 10.46973/0201-727X\_2023\_4\_79.

## References

1. Kolokolnikov V. S. Structural and functional optimization of polygons on the railway network : DSc in Engineering Thesis. Ekaterinburg, 2021. 302 p. (In Russian).
2. Instructions for calculating the capacity and carrying capacity of railways of JSC «Russian Railways» (as amended by the Order of JSC «Russian Railways» dated 14.02.2023 No. 324/r). URL: <https://base.garant.ru/407014958/?ysclid=m03gra98x929502668> (access date: 16.05.2024). (In Russian).
3. Kozlov P. A., Kolokolnikov V. S. Calculation and optimization of railway polygons. *Vestnik RGUPS*. 2018. No. 3 (71). Pp. 113–120. ISSN 0201-727X. (In Russian).
4. Kolokolnikov V., Timukhina E., Kashheeva N. The minimum design element in the macro-modeling of railway sections and polygons. *Railway Transport and Technologies (RTT-2021) : proceedings of International scientific and practical conference*. Ekaterinburg, November 24–25, 2021. Vol. 2624. Issue 1. USA: AIP PUBLISHING, 2023. P. 040014. DOI: 10.1063/5.0132341.
5. Kozlov P. A., Kolokolnikov V. S. Theoretical aspects of interaction of flow and structural elements in transport systems. *Transport of the Urals*. 2019. No. 4 (63). Pp. 3–7. DOI: 10.20291/1815-9400-2019-4-3-7. (In Russian).
6. Kozlov P. A., Kozlova V. P., Osokin O. V., Tushin N. A. On technology for calculation of systems of railway transport. *Transport of the Urals*. 2022. No. 3 (74). Pp. 3–9. DOI: 10.20291/1815-9400-2022-3-3-9. (In Russian).
7. Kozlov P. A., Abdullaev I. S., Tushin N. A., Yakushev N. V. About the role of system integrators in transport economic ties guarantee. *Transport of the Urals*. 2023. No. 4 (79). Pp. 12–16. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-4-12-16. (In Russian).
8. Kozlov P. A., Abdullaev I. S., Yakushev N. V., Kol S. N. Integrated automated construction of the transport network. *Railway Transport*. 2023. No. 12. Pp. 15–17. ISSN 0044-4448. (In Russian).
9. Kozlov P. A., Vladimirskaia I. P., Osokin O. V. Principles of structural interaction in transport systems. *Transport of the Urals*. 2010. No. 3 (26). Pp. 25–28. ISSN 1815-9400. (In Russian).
10. Kozlov P. A., Abdullaev I. S., Osokin O. V., Yakushev N. V. About transport flows, canals, lines. *Transport of the Urals*. 2023. No. 4 (79). Pp. 25–26. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-4-25-26. (In Russian).
11. Kolokolnikov V. S., Falaleeva T. A. The influence of the train flow structure on the capacity of the station and of the adjoining span. *Vestnik RGUPS*. 2024. No. 1 (93). Pp. 79–89. DOI: 10.46973/0201-727X\_2023\_4\_79. (In Russian).

Объем статьи 0,76 авторских листа

Научная статья

УДК 656.1

## Информационная система мониторинга пассажиропотоков городского общественного транспорта на основе данных билетных валидаторов

Александр Валериевич Мартыненко<sup>1, 2</sup>, Денис Жавдатович Сайфутдинов<sup>1</sup><sup>1</sup>Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия<sup>2</sup>Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

## Information system for monitoring passenger flow of urban public transport based on ticket validator data

Alexander V. Martynenko<sup>1, 2</sup>, Denis Zh. Sayfutdinov<sup>1</sup><sup>1</sup>Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia<sup>2</sup>Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

### Аннотация

До недавнего времени основными методами проведения регулярных обследований пассажиропотоков на городском общественном транспорте были натурные наблюдения и опросы. Сейчас все большее распространение получают подходы, основанные на геоданных о перемещениях транспортных средств и пассажиров (навигационные данные, геотрекинг сотовых телефонов и банковских карт и т.п.), и использование систем автоматизированного сбора информации (нейросетевая обработка видео транспортных потоков, датчики входа/выхода пассажиров и т.п.). Преимущество таких методов заключается в их высокой точности при относительно низких затратах.

В статье рассмотрена разработанная на основе данных спутниковой навигации и автоматизированной системы оплаты проезда информационная система, предназначенная для обследования пассажиропотоков. Представлены структура информационной системы, основные алгоритмы обработки и преобразования данных, а также приведены результаты апробации системы в условиях городского общественного транспорта Екатеринбурга.

**Ключевые слова:** городской общественный транспорт, пассажиропотоки, автоматизированные системы оплаты проезда, навигационные спутниковые системы, билетные валидаторы

### Abstract

Until recently, the main methods of conducting regular surveys of passenger traffic on urban public transport were field observations and surveys. Nowadays, approaches based on geodata about the movements of vehicles and passengers (navigation data, geo-tracking of cell phones and bank cards, etc.), and the use of automated information collection systems (neural network video processing of traffic flows, passenger entry/exit sensors, etc.) are becoming more widespread. The advantage of such methods lies in their high accuracy at relatively low cost.

The article considers an information system developed on the basis of satellite navigation data and an automated fare payment system designed to survey passenger traffic. The structure of the information system, the main algorithms for processing and converting data are presented, as well as the results of testing the system in the conditions of urban public transport in Ekaterinburg.

**Keywords:** urban public transport, passenger flows, automated fare payment systems, navigation satellite systems, ticket validators

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-49-58

### ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного решения задач по управлению системой городского общественного транспорта необходимы регулярные обследования пассажиропотоков. Такие обследования позволяют собрать информацию об актуальном транспортном спросе, выявить основные точки зарождения и поглощения пассажиропотоков, определить уровень удовлетворенности пассажиров качеством оказываемых транспортных услуг и т.п.

При обследовании пассажиропотоков используются методы, частично регламентированные распоряжением Минтранса России [1]. Условно их можно разделить на неавтоматизированные и автоматизированные. К первым относятся анкетный, отчетно-статистический и метод натурных наблюдений, использованию которых посвящено большое количество научных работ (например, [2–4]). Причем, несмотря на то что в последнее время значение этих методов существенно снизилось, в некоторых ситуациях они по-прежнему остаются актуальными (в частности, данные о транспортном поведении можно получить только с помощью анкетного метода [5]).

В связи с развитием информационных технологий все большее распространение получают автоматизированные подходы к сбору данных о пассажиропотоках. Например, для этих целей используются датчики (детекторы) входа и выхода [6–8], камеры видеонаблюдения, расположенные в салоне транспортного средства (ТС) [9], данные сотовых операторов и информация, собираемая различными приложениями, установленными на смартфонах пользователей [10, 11].

Следует отметить, что все названные методы не лишены определенных недостатков и ограничений и дают возможность собрать только часть необходимой информации о пассажиропотоках. Например, ни одним из перечисленных методов нельзя непосредственно получить межостановочную матрицу корреспонденций (МК), которую обычно рассчитывают на основе гравитационных моделей, откалиброванных по объемам посадки и высадки, снятым с датчиков входа и выхода [12].

Однако такой подход не гарантирует точного результата, потому что на отдельных корреспонденциях могут наблюдаться существенные отклонения фактических значений от модельных. Аналогична ситуация и с некоторыми другими характеристиками пассажиропотоков, например с объемами пересадок пассажиров.

Устранить подобные пробелы в информации о пассажиропотоках позволяют данные, собираемые автоматическими системами оплаты проезда (АСОП) через билетные валидаторы [6]. Речь идет о данных, которые фиксируются билетным валидатором в момент оплаты за проезд банковской или специальной транспортной картой. Используемые технологии оплаты определяют состав данных о поездке, которые доступны в АСОП [13–15].

В некоторых случаях каждая запись в АСОП содержит информацию о моментах и остановочных пунктах (ОП) посадки и высадки пассажира, о его идентификаторе, идентификаторе транспортного средства, маршруте, стоимости проезда, причем эти данные доступны по каждой поездке.

Иногда записи в АСОП не содержат информации о каком-либо из перечисленных элементов [13, 16, 17], в частности о моментах и остановочных пунктах высадки пассажира и об идентификаторе пассажира. Также может не быть данных о моменте и остановочном пункте посадки, но будут зафиксированы время и, например, координаты точки оплаты в транспортном средстве, уже уехавшем от остановочного пункта посадки на значительное расстояние.

Чтобы использовать данные билетных валидаторов в подобных случаях, необходимы методы, которые позволят по имеющейся информации оценить время и остановочные пункты посадки и высадки каждого пассажира. Такие методы рассмотрены в [18–21], а также в статьях [22, 23].

Настоящая статья посвящена разработке информационной системы, реализующей указанные методы обработки данных АСОП совместно с данными спутниковой навигационной системы для получения показателей и распределения пассажиропотоков городского общественного транспорта.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И АЛГОРИТМЫ ИХ ОБРАБОТКИ

Для работы информационной системы используются данные спутниковой навигации и билетных валидаторов. Навигационные данные содержат информацию о номере маршрута, скорости, типе, координатах, бортовом номере транспортного средства, который является уникальным идентификатором ТС в системе общественного транспорта, и времени получения данных. В состав данных билетных валидаторов входят номер маршрута, идентификатор кондуктора, идентификатор валидатора и момент оплаты проезда. Отдельно поступает информация о распределении кондукторов по транспортным средствам. Через эти данные билетные валидаторы привязываются к ТС. При этом возможны ошибки, связанные с тем, что информация о распределении кондукторов по транспортным средствам вносится диспетчерами вручную. Для проверки и корректировки данных о распределении валидаторов по ТС авторами статьи разработан специальный метод [22–24].

Расчет любых характеристик и распределений пассажиропотоков может быть выполнен на основе данных о перемещениях пассажиров на общественном транспорте, т.е. на основе информации о моментах и остановочных пунктах посадки и высадки каждого пассажира. Оценка таких моментов и остановочных пунктов осуществляется для каждого ТС при помощи методов, рассмотренных в статьях [18, 19, 24–26]. Общий алгоритм использования этих методов показан на рис. 1.

Оценка моментов и остановочных пунктов прибытия и отправления транспортного средства включает следующие этапы:

- 1) определение варианта маршрута, по которому происходит движение ТС;
- 2) определение средней скорости движения ТС на малых участках улично-дорожной сети;
- 3) определение продолжительности движения транспортных средств между остановочными пунктами;
- 4) определение продолжительности пребывания транспортных средств на остановочных пунктах;
- 5) определение недостающих остановочных пунктов на варианте маршрута движения ТС;
- 6) интеллектуальное восстановление пропущенных остановочных пунктов движения транспортных средств по маршруту.

Необходимо иметь в виду, что у каждого маршрута есть минимум два варианта (в прямом и в обратном направлениях), а у многих маршрутов таких вариантов может быть значительно больше. Поэтому оценивать время и остановочные пункты прибытия и отправления необходимо в зависимости от текущего маршрута и от варианта движения по маршруту транспортного средства.

На этапе 3 определяется средняя скорость движения ТС между остановочными пунктами. Вся трасса варианта маршрута движения разбивается на равные промежутки с постоянным шагом. Чтобы определить среднюю скорость ТС, из информационной базы выбираются геоданные предыдущих дней в заданном интервале времени суток. По этим данным находится средняя скорость движения ТС на участке, которая записывается в оперативную память приложения для дальнейших расчетов. Очистка памяти происходит после полного завершения работы алгоритма.

По средним скоростям определяются продолжительности движения на участках маршрута и затем — продолжительность движения ТС между остановочными пунктами. На основе этих данных определяется время прибытия ТС на каждый остановочный пункт. Для оценки времени отправления ТС с остановочного пункта при помощи данных за предыдущие дни рассчитывается продолжительность его нахождения на ОП.

После установления всех моментов и остановочных пунктов прибытия и отправления транспортного средства определяются остановочные пункты на маршруте движения. Для таких ОП выполняется интеллектуальное восстановление участка движения транспортного средства. Определение моментов и остановочных пунктов прибытия и отправления ТС на этих участках осуществляется попеременным применением этапов 2–4.

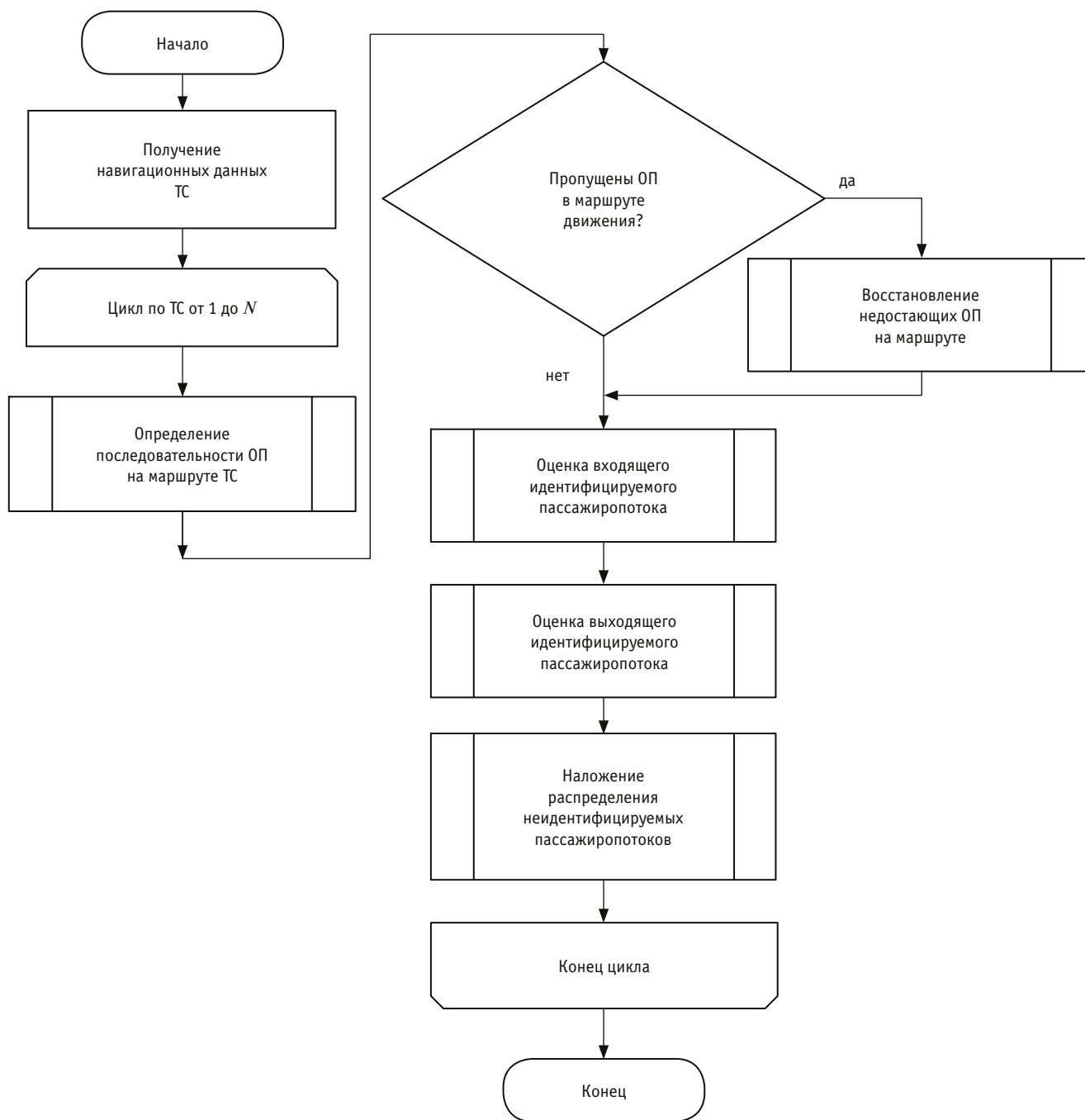


Рис. 1. Общий алгоритм обработки и преобразования исходных данных

Используемые платежные данные не содержат координат транзакции, поэтому остановочные пункты посадки пассажира необходимо определять по времени оплаты за проезд и по времени прибытия транспортных средств на ОП.

Оценка времени и остановочных пунктов посадки и высадки идентифицируемых пассажиров включает три этапа.

1. Определение моментов и остановочных пунктов посадки идентифицируемых пассажиров. На этом этапе рассматриваются последовательности моментов и ОП посадки и отправле-

ния транспортного средства, которые были получены на предыдущем остановочном пункте. Для каждого ОП выбирается оплата за проезд, момент совершения которой попадает в интервал между временем отправления ТС с текущего ОП и временем прибытия ТС на следующий ОП. Полученные моменты и остановочные пункты посадки записываются в специальную временную таблицу с указанием идентификатора карты пассажира, а также маршрута, транспортного средства, момента времени и ОП посадки.

2. Определение моментов и остановочных пунктов высадки идентифицируемых пассажиров происходит на основе обработки последовательности моментов и ОП посадки пассажира. Оценка остановочных пунктов высадки по конкретному пассажиру осуществляется в цикле. На каждой итерации берутся две последовательные записи посадок и производится поиск ближайшего остановочного пункта маршрута первой посадки к остановочному пункту следующей посадки пассажира. Если расстояние между остановочными пунктами удовлетворяет заданному расстоянию пешеходной доступности, то ОП высадки записывается во временную таблицу с моментом прибытия ТС на остановку, ближайшую к моменту посадки в это транспортное средство. Если расстояние не удовлетворяет заданному расстоянию пешеходной доступности, то осуществляется поиск похожего перемещения пассажира в предыдущие дни за заданный промежуток времени суток. При нахождении похожего перемещения за остановку высадки пассажира принимается остановочный пункт высадки из этого перемещения. Если похожие перемещения в предыдущие дни в заданный промежуток времени суток не были найдены, то пассажир считается неидентифицируемым.

3. Оценка моментов и остановочных пунктов посадки и высадки неидентифицируемых пассажиров, доля которых составляет более 35 % от всех пассажиров, осуществляется на основе распределения моментов и ОП высадки идентифицируемых пассажиров. Для этого рассчитываются межостановочные матрицы корреспонденций идентифицируемых пассажиров в предыдущие дни. Каждая такая матрица для каждого маршрута содержит количество перемещений идентифицируемых пассажиров за предыдущие дни для каждого интервала времени суток. На основе этих значений определяется вероятностное распределение пассажиров для выбранного маршрута движения в заданное время суток. По полученному распределению определяются пункты высадки каждого неидентифицируемого пассажира. Для каждого полученного пункта высадки определяются моменты прибытия транспортных средств необходимого маршрута на остановочные пункты.

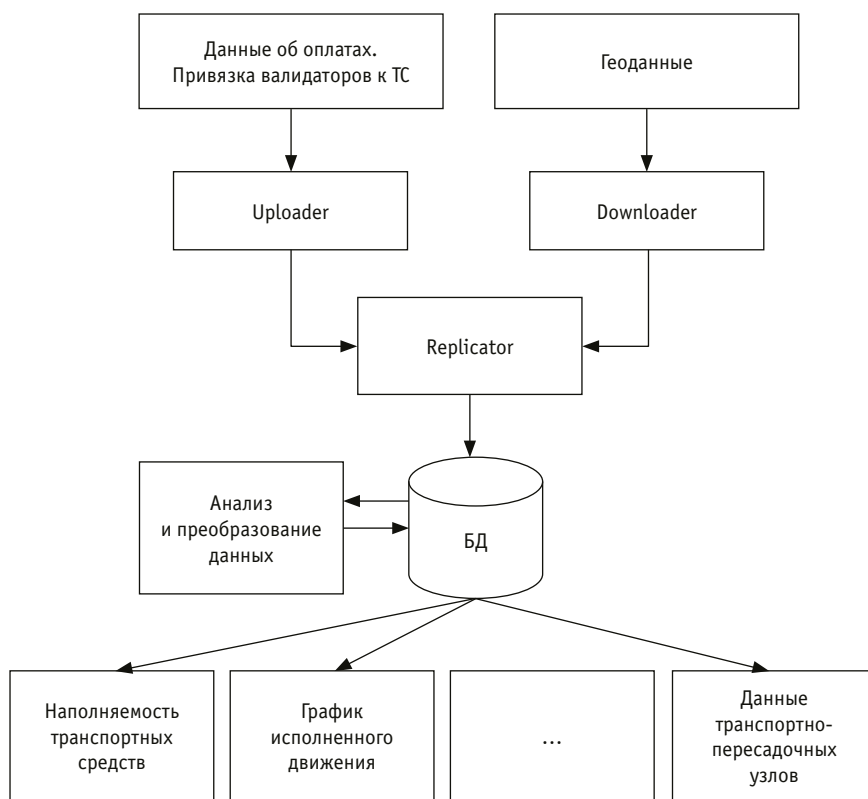


Рис. 2. Общая схема информационной системы

На основе моментов и остановочных пунктов посадки и высадки пассажиров, полученных по результатам выполнения указанных алгоритмов, вычисляются характеристики пассажиропотоков, такие как наполненность транспортных средств, МК, объемы посадок, высадок и пересадок в транспортно-пересадочных узлах и др.

### ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Предлагаемая система основана на трехзвенной архитектуре «клиент — сервер», которая определяет общие принципы организации взаимодействия в сети, где имеются серверы, узлы (поставщики некоторых специфичных функций/сервисов) и клиенты, потребители этих функций.

Вся необходимая информация для работы системы поступает из внешних источников. Геоинформационные данные запрашиваются из открытого источника через http-запросы на сторонний сервер.

Разработанная система разделена на три основных блока (рис. 2): это репликация, анализ и преобразование данных, оценка характеристик пассажиропотоков.

В блоке репликации система получает данные о маршрутах движения общественного транспорта, остановках, а также о местоположении общественного транспорта на карте в режиме реального времени. Это происходит при первом запуске системы или при обновлении информации о маршрутах пассажирского транспорта. Навигационные данные ТС запрашиваются с периодичностью 30 с. Полученные данные в модуле Downloader передаются непосредственно в модуль Replicator, где вся информация обрабатывается и преобразовывается в необходимый формат хранения.

Для загрузки данных с билетных валидаторов используется модуль Uploader, который направляет полученную информацию в модуль Replicator для дальнейшей записи в базу данных. Информация о привязке валидаторов к транспортным средствам также загружается через модуль Uploader.

В блоке анализа и преобразования данных производятся основные расчеты и осуществляется работа основного алгоритма системы. Так как из-за боль-



Таблица 1

Методы получения данных о пассажиропотоках на общественном транспорте

Показатели	Методы и источники данных						
	Билетные валидаторы	Анкетный метод	Натурные методы (табличный, силуэтный, талонный и т.п.)	Датчики входа и выхода	Камеры в салоне ТС	Сотовые телефоны	Банковские карты
Цели и частота поездок	-/+ частота по всем пассажирам	+	–	–	–	+	+
Продолжительность и длина поездки	+	+	+	–	–	+	+
МК	+	–	+	-/+ оценка на основе гравитационной модели	–	+	+
Объемы посадок и высадок пассажиров на ОП	+	–	+	+	+	+	+
Суточное распределение поездок	+	–	+	+	+	+	+
Наполненность ТС	+	–	+	+	+	–	–
Пересадки	+	-/+ общий пересадочный коэффициент	–	–	–	–	–
Пассажирооборот	+	–	–	–	–	–	–
Количество перевезенных пассажиров	+	–	–	–	–	–	–
Сменность пассажиров	+	–	–	–	–	–	–

шого объема информации расчеты могут выполняться достаточно долго, при разработке блока использована технология параллельных вычислений, позволяющая ускорить время расчетов в несколько раз.

Результатом анализа и преобразования данных являются витрины данных — таблицы, содержащие такую информацию о пассажиропотоках, которая в том или ином виде будет предоставлена конечному пользователю.

**ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Методы обработки данных с билетных валидаторов, лежащие в основе разработанной информационной системы, обладают значительными преимуществами по сравнению с другими источниками и способами сбора данных о пассажиропотоках на общественном транспорте (табл. 1).

Как видно из табл. 1, разработанная система способна предоставить практически всю информацию, необходимую для принятия решений в сфере общественного транспорта (исключение составляют только особенности транспортного поведения различных половозрастных и социальных групп). При

этом следует отметить, что по сравнению с каждым из перечисленных в табл. 1 методов использование билетных валидаторов обладает наибольшими преимуществами. Рассмотрим их.

1. Высокий уровень точности. По точности получаемых результатов предлагаемый подход превосходит все перечисленные методы по всем показателям, кроме объемов высадок, посадок и наполненности ТС (здесь наиболее точные результаты дают датчики входа и выхода пассажиров). Также необходимо отметить, что данные по использованию банковских карт для оплаты в общественном транспорте, имеющиеся у банков, содержат ту же информацию, что и билетные валидаторы. Но поскольку оплата банковскими картами через билетные валидаторы составляет около 30 % всех оплат, то любые оценки пассажиропотоков, полученные на их основе, будут заведомо менее точными, чем результаты, основанные на данных билетных валидаторов.

2. Полнота данных. Результаты, получаемые анкетным и натурным методами, всегда ограничены промежутком времени, в течение которого осуществляется сбор данных, и маршрутами (отдельными транспортными средствами и остановочными пунктами), на которых он происходит. В отличие от этих

способов данные билетных валидаторов обеспечивают полную информацию по всем маршрутам, транспортным средствам и остановочным пунктам за любой временной отрезок.

3. Отсутствие дополнительных затрат. Для анкетных и натурных методов необходимы значительные организационные и финансовые затраты, кроме того, дополнительных расходов требует установка оборудования (камер наблюдения, датчиков входа и выхода) для сбора данных в ТС. В отличие от этих подходов использование данных с билетных валидаторов для мониторинга пассажиропотоков является бесплатным, так как это побочный результат АСОП, которая предназначена для решения сугубо финансовых задач.

4. Возможность использования и для внутригородского, и для междугородного ОТ. Данные о перемещениях сотовых телефонов также не требуют дополнительных затрат и при условии доступности данных всех операторов могут обеспечить точные значения показателей, приведенных в табл. 1. Однако это возможно только для междугородных пассажиропотоков: используемые сейчас технологии определения местоположения абонента не позволяют идентифицировать его внутригородские перемещения в ОТ. В то же время данные билетных валидаторов одинаково хорошо подходят для мониторинга и внутригородских, и междугородных пассажиропотоков. Это особенно важно для пригородных автобусных маршрутов, используемых частью пассажиров для внутригородских поездок.

5. Высокий уровень детализации результатов. На основе данных с билетных валидаторов все характеристики пассажиропотоков могут быть рассчитаны для небольших отрезков времени, отдельных ОП, рейсов ТС и т.п. Например, можно получить МК между отдельными ОП за промежутки, равные одному часу.

6. Возможность получать данные о пассажиропотоках, практически недоступные для других методов. В табл. 1 примером такой информации являются МК и пересадки пассажиров. Для внутригородских перемещений билетные валидаторы — фактически безальтернативный способ получения МК. Теоретически МК можно получить еще и талонным методом, но в большом городе с несколькими сотнями маршрутов и тысячами единиц подвижного состава реализовать это практически невозможно. Что касается пересадок, то из всех других методов только анкетирование позволяет получить некоторую информацию: на основе опроса пассажиров обычно рассчитывают коэффициент пересадочности. Данные билетных валидаторов позволяют не только рассчитать этот коэффициент, но и дают любую другую детальную информацию обо всех пересадках (например, о количестве пересадок между двумя маршрутами, количестве пересадок на конкретном остановочном пункте и т.п.).

## АПРОБАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Разработанная информационная система апробирована на данных городского общественного транспорта Екатеринбурга за одну неделю (с 5 по 11 декабря 2022 г.). Платежные данные предоставлены компанией «ИСЕТЬ» (единый городской оператор АСОП), навигационные данные и информация о распределении кондукторов по транспортным средствам предоставлена МБУ «Центр организации движения» Екатеринбурга.

Для указанных данных получены и проанализированы показатели, приведенные в табл. 1. На основе анализа разработаны рекомендации по улучшению работы городского общественного транспорта. В качестве примера подробно рассмотрим один из таких показателей — наполненность ТС (рис. 3), который используется в социальном стандарте транспортного обслуживания [27], разработанном Минтрансом России, для оценки качества работы ОТ в городах. Согласно этому документу, фактическая наполненность ТС должна составлять не более 3 чел. на 1 м<sup>2</sup> свободной площади пола салона ТС, предусмотренной для размещения стоящих пассажиров.

Для оценки качества транспортного обслуживания в [27] предлагается использовать коэффициент соблюдения норм вместимости:

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{Q_{\text{рейсВМ}}}{Q_{\text{рейс}}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{рейсВМ}}$  — количество рейсов, выполненных ТС с наполненностью не более 5 чел. на 1 м<sup>2</sup>;  $Q_{\text{рейс}}$  — общее количество рейсов, выполненных ТС.

В зависимости от интервала значения показателя  $K_{\text{ВМ}}$  присваивается оценка по 10-балльной шкале (от 1 балла, если  $K_{\text{ВМ}} < 10\%$ , до 10 баллов при  $K_{\text{ВМ}} > 90\%$ ), которая затем включается в общую оценку качества работы общественного транспорта.

Уже было отмечено, что наиболее точные значения наполненности ТС дают датчики входа и выхода пассажиров (погрешность составляет 7 % [6]). Данные билетных валидаторов не в состоянии обеспечить подобную точность, тем не менее она вполне достаточна для практического использования (погрешность составляет 10–15 %). В Екатеринбурге датчиками входа и выхода оборудован только подвижной состав муниципального перевозчика ЕМУП «Городской транспорт», а на транспортных средствах частных перевозчиков, обслуживающих большинство маршрутов города, подобных датчиков нет. Поэтому оценить наполненность таких ТС можно только на основе данных билетных валидаторов.

Общее представление о выполнении норм вместимости ТС в Екатеринбурге для буднего дня дают графики на рис. 3. Из них видно, что в утренний час пик невыполнение норм вместимости в отдельный момент наблюдается более чем для 15 % транспортных средств. При этом с 7.00 до 9.00 нормы вместимости не выполняются более чем для 10 % ТС. В вечерний час пик ситуация более сглаженная: максимальная доля переполненных ТС составляет 9 %.

Количество рейсов с соблюдением норм вместимости  $Q_{\text{рейсВМ}}$  равно 13066 при общем числе рейсов  $Q_{\text{рейс}} = 14876$ , поэтому коэффициент  $K_{\text{ВМ}}$  составляет 87 %, т.е., согласно [27], выполнение норм вместимости можно оценить на 9 баллов.

Необходимо отметить, что коэффициент  $K_{\text{ВМ}}$  не учитывает количество межостановочных перегонов (или продолжительность движения ТС), на которых не соблюдается норма вместимости: если хотя бы на одном перегоне в рейсе норма превышена, то такой рейс не попадает в  $Q_{\text{рейсВМ}}$ . Понятно, что с точки зрения пассажира поездка в транспортном средстве, переполненном только на одном перегоне, очень отличается от поездки

в ТС, переполненном на протяжении всей поездки. Рассматриваемая информационная система позволяет провести детальный анализ и выявить рейсы с наиболее продолжительными нарушениями норм вместимости. Так, на рис. 4 представлена гистограмма для распределения рейсов по количеству перегонов с нарушением норм вместимости. Из гистограммы видно, что преобладают рейсы, в которых транспортное средство переполнено только на одном перегоне, и примерно половина рейсов имеет не более 5 таких перегонов. В то же время немало рейсов, для которых нарушение норм вместимости наблюдается на протяжении более чем 10 перегонов.

Чтобы разработать мероприятия по снижению переполненности ТС, необходимо выделить наиболее проблемные маршруты, для которых нарушение норм вместимости носит систематический характер. С этой целью для каждого маршрута были рассчитаны показатель  $K_{\text{ВМ}}$  (далее для удобства будем использовать величину  $K_{\text{НВМ}} = 1 - K_{\text{ВМ}}$ ) и среднее число перегонов с нарушением норм вместимости в одном рейсе, определяемое по формуле

$$B_{\text{пер}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n B_k, \quad (2)$$

где  $n$  — количество рейсов маршрута, на которых были нарушены нормы вместимости;  $B_k$  — количество перегонов в  $k$ -м рейсе, на которых были нарушены нормы вместимости.

Визуализация коэффициентов  $K_{\text{НВМ}}$  и  $B_{\text{пер}}$  для маршрутов общественного транспорта Екатеринбурга представлена на рис. 5, на котором хорошо видны маршруты с наиболее значительными нарушениями норм вместимости.

Для каждого такого маршрута приведение наполняемости к нормативным показателям можно осуществить за счет уменьшения интервала между рейсами или за счет использования более вместительного подвижного состава. Расчет необходимой продолжительности интервала выполняется по формуле

$$J = \frac{(T_2 - T_1)W}{\sum_{t_k \in (T_1, T_2)} M_k}, \quad (3)$$

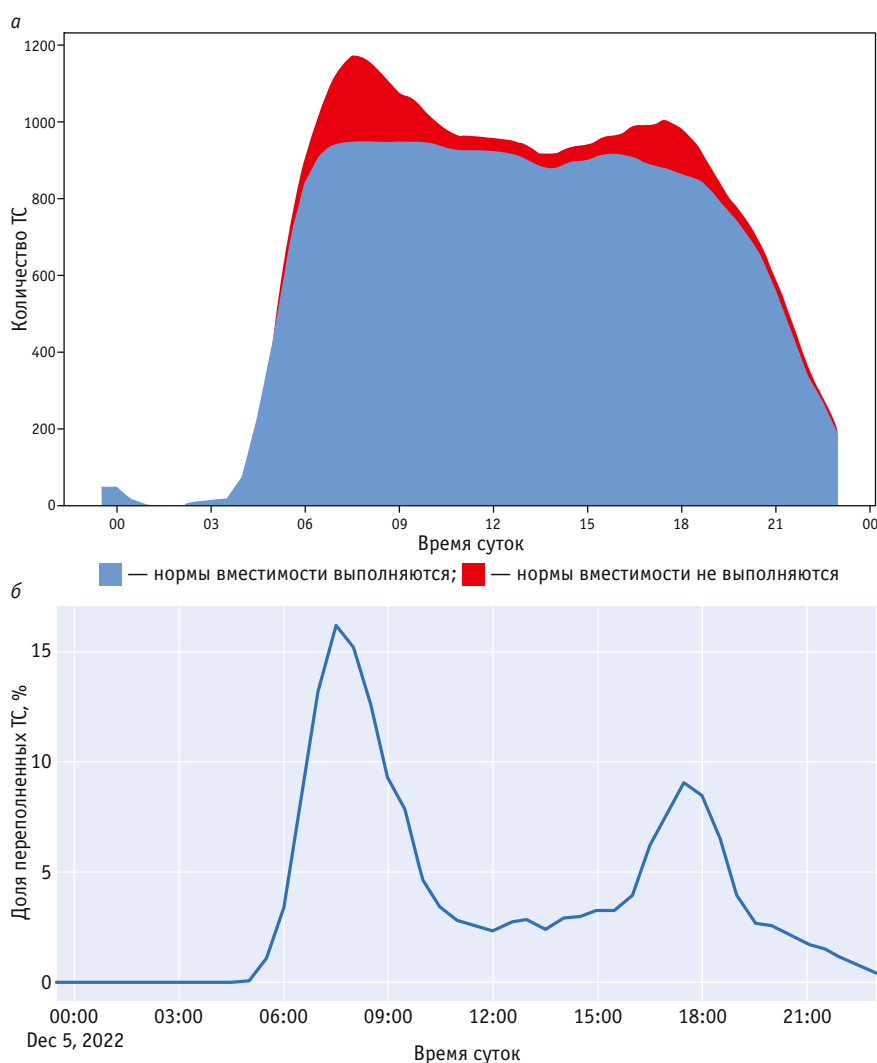


Рис. 3. Выполнение норм вместимости ТС:  
а — абсолютные значения; б — относительные значения

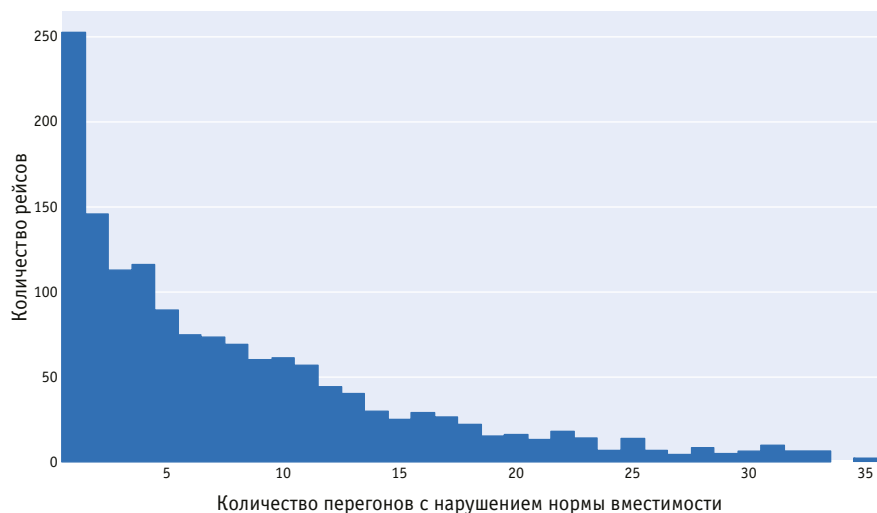


Рис. 4. Распределение рейсов по количеству перегонов с нарушением норм вместимости

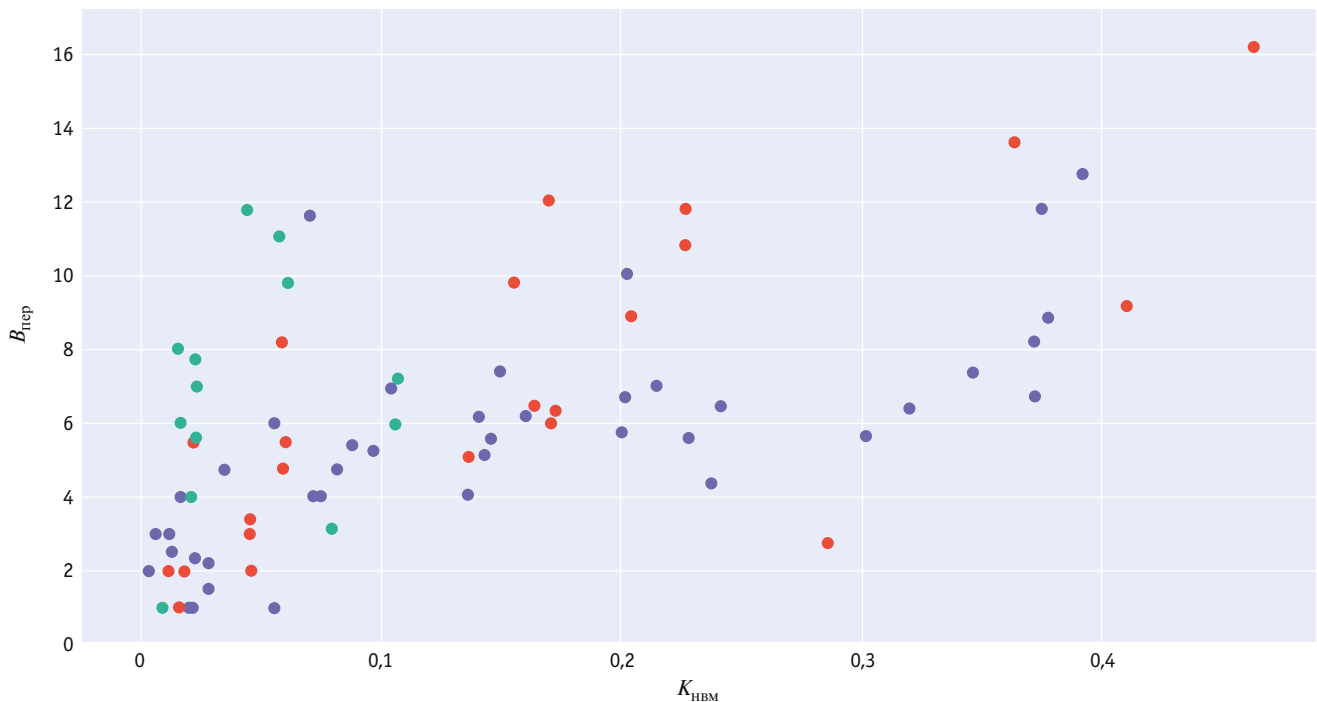


Рис. 5. Значения коэффициентов  $K_{\text{нвм}}$  и  $B_{\text{пер}}$  для маршрутов общественного транспорта:

● — автобус; ● — трамвай; ● — троллейбус

где  $W$  — нормативная вместимость одного ТС;  $T_1, T_2$  — начало и конец рассматриваемого промежутка времени;  $t_k$  — момент начала движения ТС в  $k$ -м рейсе;  $M_k$  — максимальная наполненность ТС в  $k$ -м рейсе.

Из (3) можно выразить  $W$  через  $J$  и тем самым получить формулу для определения необходимой вместимости транспортного средства при неизменном межрейсовом интервале.

## ВЫВОДЫ

Разработанная информационная система представляет собой базу данных и программный блок для их обработки и преобразования. В базе данных содержатся данные спутниковой навигации и билетных валидаторов, информация о маршрутной сети (трассы маршрутов и координаты остановок) и о подвижном составе (марка, модель, вместимость и т.п.), а также результаты работы блока обработки и преобразования — данные о перемещениях пассажиров (для каждой поездки моменты и остановочные пункты посадки и высадки).

На основании полученных перемещений могут быть рассчитаны различные характеристики и распределения пассажиропотоков. В частности, может быть получена МК в табличном виде или на карте для произвольного набора пунктов отправления и прибытия. В качестве этих пунктов могут выступать отдельные остановки, транспортно-пересадочные узлы или транспортные районы города. Кроме того, могут быть получены распределения и средние значения продолжительности и длины поездки, изменение пассажиропотоков в течение суток, данные о пассажиропотоках в транспортно-пересадочных узлах (объемы посадок, высадок и пересадок), информация о наполненности транспортных средств, технико-эксплуатационные показатели работы общественного транспорта и т.п.

Таким образом, разработанная информационная система позволяет получать данные о пассажиропотоках, необходимые для анализа и принятия решений в сфере городского общественного транспорта.

### Сведения об авторах:

**Александр Валериевич Мартыненко,**  
кандидат физико-математических наук, доцент, руководитель НИЛ  
«Транспортное моделирование» Уральского государственного  
университета путей сообщения, старший научный сотрудник  
Института экономики УрО РАН

**Денис Жавдатович Сайфутдинов,**  
аспирант кафедры «Естественнонаучные дисциплины»  
Уральского государственного университета путей сообщения

**Authors information:**

**Alexander V. Martynenko,**  
PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor,  
Head of Scientific Research Laboratory «Transport Modeling»,  
Ural State University of Railway Transport, Senior Researcher, Institute  
of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**Denis Zh. Sayfutdinov,**  
postgraduate student of Natural Sciences Department,  
Ural State University of Railway Transport

## Литература

1. Об утверждении Примерной программы регулярных транспортных и транспортно-социологических обследований функционирования транспортной инфраструктуры поселений, городских округов в Российской Федерации : распоряжение Минтранса России от 28.12.2016 № НА-197-р.
2. Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов : монография. Пермь : Агентство РАДАР, 2022. 536 с.
3. Шавыраа Ч. Д. Результаты обследований пассажиропотоков в городе Кызыле Республики Тыва // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15. № 5 (63). С. 718–724. ISSN 2071-7296.
4. Аземша С. А., Морозов В. М. Разработка предложений по анкетированию пассажиров городского пассажирского транспорта регулярного сообщения // Вестник СибАДИ. 2022. Т. 19. № 3 (85). С. 344–357. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-344-357.
5. Якимов М. Р., Попов Ю. А. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision@ VISUM : монография. Москва : Проспект, 2022. 176 с.
6. Богумил В. Н., Дуке Саранго М. Х. Телематика на городском пассажирском транспорте: монография. Москва: ИНФРА-М, 2023. 200 с.
7. Тестирование системы аппаратного учета пассажиропотока в реальных условиях городского маршрута / А. М. Ковалев, К. В. Егоров, Р. Р. Санжапов, Е. Г. Прыткова // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2021. № 4 (58). С. 12–18. ISSN 2074-1146.
8. Андреев К. П. Совершенствование транспортного обслуживания населения // Транспортное дело России. 2017. № 3. С. 7–9. ISSN 2072-8689.
9. Бровцын О. В. Оценка объема пассажиропотока в общественном транспорте // Путь в науку: прикладная математика, информатика и информационные технологии : материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Ярославль, 19–23 апреля 2021 г. Ярославль : Изд-во Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова, 2021. С. 87–90.
10. Устойчивое развитие региона: «Ростелеком» разработает систему анализа перемещения населения для правительства Свердловской области. URL: <https://www.rst-com.ru/news/2023/06/13/61028/> (дата обращения: 20.03.2024).
11. Трегубов В. Н. Использование информации сотовых операторов в городских транспортных исследованиях // Инновационные транспортные системы и технологии. 2020. Т. 6. № 2. С. 20–33. DOI: 10.17816/transsyst20206220-33.
12. Лебедева О. А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск, 2014. 171 с.
13. Hussain E., Bhaskara A., Chung E. Transit OD matrix estimation using smartcard data: Recent developments and future research challenges // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2021. Vol. 125. Article 103044. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103044>.
14. Validating and improving public transport origin-destination estimation algorithm using smart card fare data / A. Alsger, B. Assemi, M. Mesbah, L. Ferreira // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2016. Vol. 68. Pp. 490–506. DOI: 10.1016/J.TRC.2016.05.004.

## References

1. On approval of the Model program of regular transport and transport-sociological surveys of the functioning of the transport infrastructure of settlements and urban districts in the Russian Federation : the Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 28.12.2016 No. NA-197-r. (In Russian).
2. Trofimenko Yu. V., Yakimov M. R. Transport planning: formation of effective transport systems of large cities : monograph. Perm : RADAR Agency, 2022. 536 p. (In Russian).
3. Shavyraa Ch. D. Results of passenger resources examinations in Kyzyl city of the Tyva Republic. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2018. Vol. 15. No. 5 (63). Pp. 718–724. ISSN 2071-7296. (In Russian).
4. Azemsha S. A., Morozov V. M. Development of proposals on passenger questionnaires for regular urban passenger transport. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022. Vol. 19. No. 3 (85). Pp. 344–357. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-344-357. (In Russian).
5. Yakimov M. R., Popov Yu. A. Transport planning: practical recommendations for creating transport models of cities in the Vision@ VISUM software package : monograph. Moscow, 2022. 176 p. (In Russian).
6. Bogumil V. N., Duque Sarango M. Kh. Telematics in urban passenger transport : monograph. Moscow : INFRA-M, 2023. 200 p. (In Russian).
7. Kovalev A. M., Egorov K. V., Sanzhapov R. R., Prytkova E. G. Testing of the system of hardware accounting of passenger traffic in real conditions of the city route. *Technical and technological problems of service*. 2021. No. 4 (58). Pp. 12–18. ISSN 2074-1146. (In Russian).
8. Andreev K. P. The improvement of transport service of the population. *Transport business in Russia*. 2017. No. 3. Pp. 7–9. ISSN 2072-8689. (In Russian).
9. Brovtsyn O. V. Estimation of the volume of passenger traffic in public transport. *The path to science: applied mathematics, computer science and information technology* : proceedings of All-Russian youth scientific and practical conference. Yaroslavl, April 19–23, 2021. Yaroslavl : Publishing House of P. G. Demidov Yaroslavl State University, 2021. Pp. 87–90. (In Russian).
10. Sustainable development of the region: Rostelecom will develop a system for analyzing population movements for the Government of the Sverdlovsk region. URL: <https://www.rst-com.ru/news/2023/06/13/61028/> (access date: 20.03.2024). (In Russian).
11. Tregubov V. N. Mobile data usage in urban transport research. *Modern Transportation Systems and Technology*. 2020. Vol. 6. No. 2. Pp. 20–33. DOI: 10.17816/transsyst20206220-33. (In Russian).
12. Lebedeva O. A. Improvement of methods for monitoring passenger traffic on public urban passenger transport routes : PhD in Engineering Thesis. Irkutsk, 2014. 171 p. (In Russian).
13. Hussain E., Bhaskara A., Chung E. Transit OD matrix estimation using smartcard data: Recent developments and future research challenges. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021. Vol. 125. Article 103044. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103044>.
14. Alsger A., Assemi B., Mesbah M., Ferreira L. Validating and improving public transport origin-destination estimation algorithm using smart card fare data *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2016. Vol. 68. Pp. 490–506. DOI: 10.1016/J.TRC.2016.05.004.



15. Use of smart card fare data to estimate public transport origin-destination matrix / A. Alsger, M. Mesbah, L. Ferreira, H. Safi // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2015. Pp. 88–96. DOI: 10.3141/2535-10.
16. Jung J., Sohn K. Deep-learning architecture to forecast destinations of bus passengers from entry-only smart-card data // *IET Intelligent Transport Systems*. 2017. Vol. 11. Issue 6. Pp. 334–339. DOI: 10.1049/iet-its.2016.0276.
17. Басков В. Н., Игнатов А. В., Исаев Е. И. К вопросу об использовании автоматизированной системы оплаты проезда // Информационные технологии и инновации на транспорте : материалы IV Международной научно-практической конференции, Орел, 15–16 мая 2018 г. Орел : Изд-во Орловского государственного университета им. И. С. Тургенева, 2018. С. 3–7.
18. Фадеев А. И., Алхуссейни С. Обследование пассажирских потоков путем анализа валидаций электронных проездных билетов // *Вестник СибАДИ*. 2021. Т. 18. № 1 (77). С. 52–71. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-1-52-71.
19. Фадеев А. И., Алхуссейни С. Методика определения корреспонденций пассажиров общественным транспортом из операций валидаций электронных проездных билетов // *Вестник СибАДИ*. 2022. Т. 19. № 3 (85). С. 370–397. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-370-397.
20. Harrison G., Grant-Muller S. M., Hodgson F. C. New and emerging data forms in transportation planning and policy: Opportunities and challenges for «Track and Trace» data // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2020. Vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102672>.
21. Huang H., Cheng Yi, Weibel R. Transport mode detection based on mobile phone network data: A systematic review // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2019. Vol. 101. Pp. 297–312. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.02.008>.
22. Мартыненко А. В., Сайфутдинов Д. Ж. Определение траекторий валидаторов общественного транспорта на основе данных геотрекеров подвижного состава // *Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление : сборник трудов Международной научно-практической конференции*. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2023. Вып. 7 (255). С. 231–233.
23. Мартыненко А. В., Сайфутдинов Д. Ж. Проверка диспетчерских данных о распределении платежных валидаторов по транспортным средствам // *Вестник МАДИ*. 2024. № 2 (77). С. 48–59. ISSN 2079-1364.
24. Мартыненко А. В., Сайфутдинов Д. Ж. Оценка по навигационным данным моментов прибытия городского общественного транспорта на остановочные пункты // *Вестник УрГУПС*. 2024. № 1 (61). С. 21–32. DOI: 10.20291/2079-0392-2024-1-21-32.
25. Real-Time and Predictive Analytics for Smart Public Transportation Decision Support System / F. Sun, Y. Pan, J. White, A. Dubey // *2016 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. DOI: 10.1109/SMARTCOMP.2016.7501714.
26. Improving Bus Arrival Time Prediction Accuracy with Daily Periodic Based Transportation Data Imputation / N. Takumi, A. Ismail, E. Arata [et al.] // *2023 IEEE International Conference on Smart Mobility (SM)*. DOI: 10.1109/SM57895.2023.10112252.
27. Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом : распоряжение Минтранса России от 31.01.2017 г. № НА-19-р.
15. Alsger A., Mesbah M., Ferreira L., Safi H. Use of smart card fare data to estimate public transport origin-destination matrix. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2015. Pp. 88–96. DOI: 10.3141/2535-10.
16. Jung J., Sohn K. Deep-learning architecture to forecast destinations of bus passengers from entry-only smart-card data. *IET Intelligent Transport Systems*. 2017. Vol. 11. Issue 6. Pp. 334–339. DOI: 10.1049/iet-its.2016.0276.
17. Baskov V. N., Ignatov A. V., Isaev E. I. On the issue of using an automated fare payment system. *Information Technologies and Innovations in Transport : proceedings of the 4th International scientific and practical conference*, Orel, May 15–16, 2018. Orel: Publishing House of Orel State University named after I.S. Turgenev. 2018. Pp. 3–7. (In Russian).
18. Fadeev A. I., Alhusseini S. Transit ridership survey by analysis validation of electronic pass tickets. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021. Vol. 18. No. 1 (77). Pp. 52–71. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-1-52-71. (In Russian).
19. Fadeev A. I., Alhusseini S. Methodology for determining passengers correspondence by public transport from electronic tickets validation operations. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022. Vol. 19. No. 3 (85). Pp. 370–397. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-370-397. (In Russian).
20. Harrison G., Grant-Muller S. M., Hodgson F. C. New and emerging data forms in transportation planning and policy: Opportunities and challenges for «Track and Trace» data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2020. Vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102672>.
21. Huang H., Cheng Yi, Weibel R. Transport mode detection based on mobile phone network data: A systematic review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2019. Vol. 101. Pp. 297–312. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.02.008>.
22. Martynenko A. V., Saifutdinov D. Zh. Determination of trajectories of public transport validators based on data from geotrackers of rolling stock. *Transport: logistics, construction, operation, management : proceedings of International scientific and practical conference*. Ekaterinburg : Publishing House of USURT, 2023. Issue 7 (255). Pp. 231–233. (In Russian).
23. Martynenko A. V., Saifutdinov D. Zh. Checking dispatch data on the distribution of payment validators among vehicles. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024. No. 2 (77). Pp. 48–59. ISSN 2079-1364. (In Russian).
24. Martynenko A. V., Sajfutdinov D. Zh. Estimation of urban public transport arrival moments to stopping points Herald of the USURT. 2024. No. 1 (61). Pp. 21–32. DOI: 10.20291/2079-0392-2024-1-21-32. (In Russian).
25. Sun F., Pan Y., White J., Dubey A. Real-Time and Predictive Analytics for Smart Public Transportation Decision Support System. *2016 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. DOI: 10.1109/SMARTCOMP.2016.7501714.
26. Takumi N., Ismail A., Arata E. [et al.] Improving Bus Arrival Time Prediction Accuracy with Daily Periodic Based Transportation Data Imputation. *2023 IEEE International Conference on Smart Mobility (SM)*. DOI: 10.1109/SM57895.2023.10112252.
27. On the approval of the social standard of public transport services in the transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport : the Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 31.01.2017. No. NA-19-r. (In Russian).

Научная статья

УДК 656.25

## Совершенствование технологических процессов работы пункта коммерческого осмотра вагонов станции с целью снижения трудозатрат

Виктория Александровна Оленцевич<sup>1</sup><sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

## Improving the technological processes of the station's point commercial inspection of cars in order to reduce labor costs

Viktoriya A. Olentsevich<sup>1</sup><sup>1</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

### Аннотация

В статье предложено техническое решение и сделано технико-экономическое обоснование по совершенствованию технологических процессов функционирования пунктов коммерческого осмотра станций Восточного полигона железных дорог, в частности по повышению пропускных и перерабатывающих мощностей инфраструктурного комплекса и снижению трудозатрат. Выполнен факторный анализ безопасности и надежности перевозочного процесса. Выявлена проблема длительного коммерческого осмотра транзитных поездов, которую предложено решить за счет внедрения технологии «частичного (выборочного)» осмотра вагонов в поездах на пунктах коммерческого осмотра станций и за счет исключения процедуры пробы тормозов.

**Ключевые слова:** Восточный полигон железных дорог, сортировочная станция, пропускные и перерабатывающие мощности, трудозатраты, пункт коммерческого осмотра поездов и вагонов

### Abstract

The article proposes a technical solution and makes a feasibility study to improve the technological processes of the operation of points of commercial inspection of stations of the Eastern Polygon of railways, in particular, to increase the throughput and processing capacities of the infrastructure complex and reduce labor costs. A factor analysis of the safety and reliability of the transportation process has been performed. The problem of long-term commercial inspection of transit trains has been identified, which it is proposed to solve by introducing the technology of «partial (selective)» inspection of cars in trains at points of commercial inspection of stations and by eliminating the brake test procedure.

**Keywords:** Eastern Polygon of railways, marshalling yard, throughput and processing capacities, labor costs, point of commercial inspection of trains and cars

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-59-65

Согласно технологии работы ОАО «РЖД», пункты коммерческого осмотра вагонов (ПКО) и пункты коммерческой безопасности (ПКБ), расположенные на железнодорожных станциях, проводят комплексный осмотр составов с точки зрения соответствия коммерческим требованиям, выявляют и устраняют коммерческие неисправности, которые могут негативно сказаться на безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов. Коммерческий осмотр вагонов и поездов на железнодорожных станциях выполняется в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 31.12.2019 г. № 3116/р (ред. от 08.12.2021 г.) [1, 2].

Концепция оптимального функционирования холдинга «РЖД» строится на основополагающем принципе — регулярном повсеместном повышении эффективности результатов деятельности в секторе обеспечения высокого уровня безопасности движения поездов и организации производственных процессов. Этот принцип позволяет формировать у работников отрасли системную ответственность за внедрение и контроль форм менеджмента безопасности движения по направлениям деятельности, осуществлять эффективное управление остаточными рисками. Для достижения плановых задач в сфере обеспечения безопасности движения в ОАО «РЖД» реализуется комплекс нормативных документов, базовая составляющая которых — принципы стандартизации и унификации технологических транспортных операций, культуры безопасности производственных операций и доступной информационной среды [3–7].

Анализ состояния безопасности перевозочного процесса в структуре Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) показал, что за первый квартал 2024 г. на сети дорог погрузки, подлежащих учету на ответственность ВСЖД, был отцеплен один вагон (за аналогичный период 2023 г. — пять вагонов). Общий объем погрузки на структурном комплексе ВСЖД за первый квартал 2024 г. имел прирост 1,2 % в сравнении с аналогичным периодом 2023 г. На 1 апреля 2024 г. общий коэффициент надежности на 100 погруженных вагонов составил 0,02 (на 1 апреля 2023 г. — 0,04).

В первом квартале 2024 г. на сети дорог погрузки ВСЖД на ответственность дороги отцеплено три вагона с расстройством погрузки в пути следования. За аналогичный период 2023 г. отцеплено 13 вагонов, из которых шесть — с нарушением технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах, семь вагонов — с расстройством погрузки в пути следования. Общий объем погрузки на ВСЖД за первый квартал 2024 г. вырос на 4,2 % по сравнению с аналогичным периодом 2023 г. Общий коэффициент надежности на 100 погруженных вагонов за отработанный период 2024 г. составил 0,02, за аналогичный период 2023 г. — 0,03 [1, 5].

В первом квартале 2024 г. по ПКО (ПКБ) ВСЖД и соседних дорог не было пропущено вагонов с коммерческими неисправностями, угрожающими безопасности движения, как и за аналогичный период прошлого года. Общий коэффициент надежности работы на 10 тыс. осмотренных вагонов составил 0,000, как и за аналогичный период 2023 г. В течение первого квартала 2024 г. по ПКО (ПКБ) вагонов с коммерческими неисправностями, угрожающими безопасности движения ВСЖД и соседних дорог, пропущено не было, за аналогичный период прошлого года было пропущено три вагона. Общедорожный коэффициент надежности работы на 10 тыс. осмотренных вагонов составил 0,000 против 0,173 в 2023 г.

На основе факторного анализа количества коммерческих неисправностей за 2023 г. построена диаграмма причинно-следственных связей пропуска через ПКО (ПКБ) вагонов с коммерческими неисправностями, угрожающими безопасности движения поездов, представленная на рис. 1 [1, 5].

Одной из инноваций проведения коммерческого осмотра на железнодорожных станциях ВСЖД является использование автоматизированной системы коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКО ПВ 3D) [8]. Согласно статисти-

ческим данным за март 2024 г., по ВСЖД через систему АСКО ПВ 3D проследовало 8546 грузовых поездов, что составляет 67 % от прибывших на станции. Через систему АСКО ПВ 3D выявлен 3671 вагон с коммерческими неисправностями, или 49 % от осмотренных вагонов. Отцеплено 114 вагонов, из них по АСКО ПВ 3D выявлено 58 вагонов, или 51 %. Через систему АСКО ПВ 3D не проследовало 4205 грузовых поездов, из них 1709 — по регулировке диспетчерского аппарата, 84 — из-за занятости путей станций, 2412 — из-за проведения второго этапа реконструкции железнодорожной станции Т (пути 6К, 4К), на которых в настоящее время не применяется система АСКО ПВ 3D.

Прохождение поездов по прибытию на станции ВСЖД через систему АСКО ПВ 3D за первый квартал 2024 г. составило: по сортировочной станции И — 75 %, в том числе в четном направлении 89 %, пропуск мимо системы составил 325 поездов, 299 поездов — по регулировке диспетчерского аппарата, 26 — по причине занятости пути станции; в нечетном направлении — 61 %, пропуск мимо системы составил 874 поезда — все по регулировке диспетчерского аппарата;

по сортировочной станции Т — 50 %, в том числе в четном направлении 0 %, пропуск мимо системы составил 2412 поездов по причине отсутствия системы АСКО ПВ 3D (второй этап реконструкции станции); в нечетном направлении — 100 %;

по железнодорожной станции Н — 100 %;

по железнодорожной станции У — 55 %, в том числе в четном направлении — 96 %, пропуск мимо системы составил 73 поезда, 27 поездов — по регулировке диспетчерского аппарата, 46 — из-за занятости пути; в нечетном направлении — 73 %, пропуск мимо системы — 591 поезд, 579 — по регулировке диспетчерского аппарата, 12 — из-за занятости пути; по железнодорожной станции Т — 100 %.

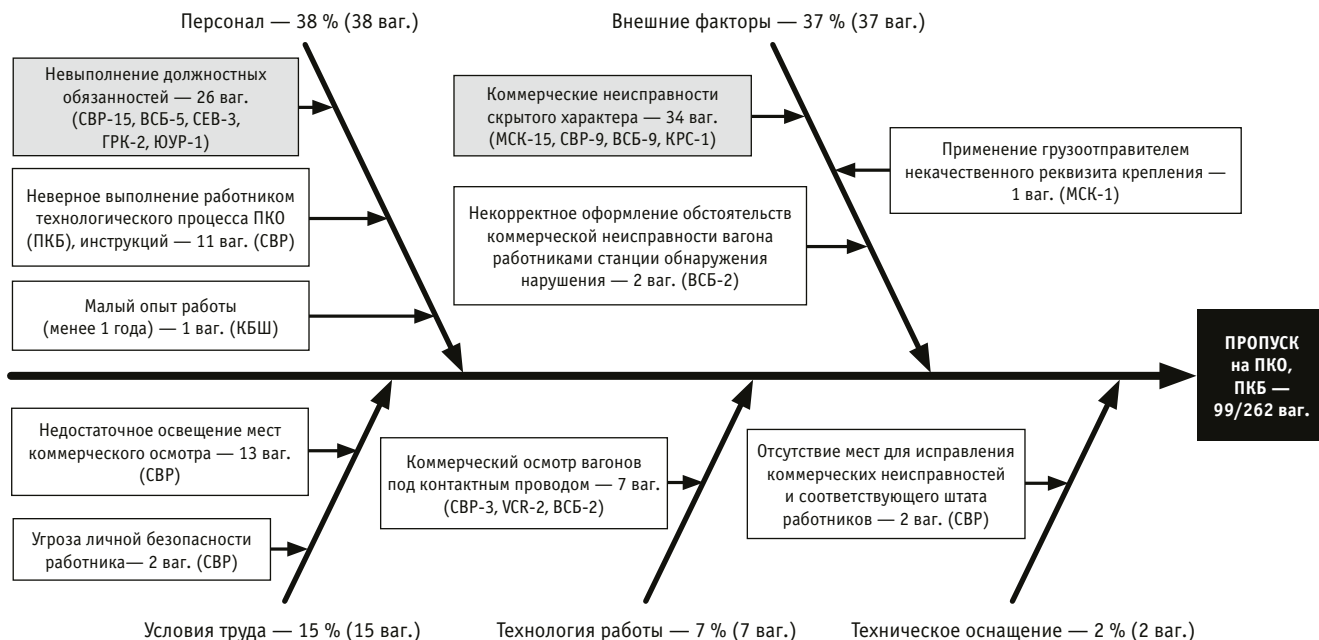


Рис. 1. Причинно-следственные связи пропуска вагонов и поездов через ПКО (ПКБ) вагонов с коммерческими неисправностями, угрожающими безопасности движения

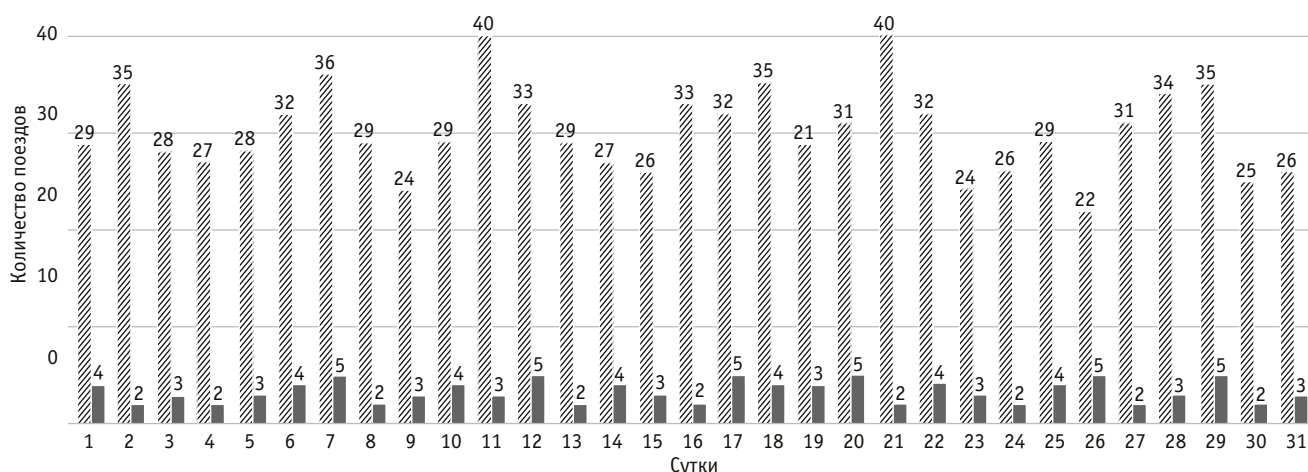


Рис. 2. Динамика поступления транзитных поездов:  
 // — транзитные поезда; ■ — транзитные поезда с негабаритным грузом

Цель научного исследования, представленного в статье, — разработка технологии проведения коммерческого осмотра подвижного состава для сокращения времени простоя транзитных поездов на технических станциях внутри гарантийного участка на примере станции И ВСЖД. Реализация цели осуществлялась последовательным решением таких задач, как:

сокращение времени коммерческого осмотра транзитных поездов за счет эффективного использования рабочего времени сотрудников ПКО и системы АСКО ПВ 3Д;

исключение операций по сокращенной пробе тормозов.

Одним из основных условий для реализации данной технологии является наличие перед технической станцией системы АСКО ПВ 3Д. Анализ технических станций ВСЖД показал, что только три из них удовлетворяют этому условию:

станция Т, на которой с четырех направлений установлены системы АСКО ПВ 3Д;

станция У — системы АСКО ПВ 3Д установлены с двух направлений;

станция И — тоже системы АСКО ПВ 3Д установлены с двух направлений.

Совершенствование технологических процессов работы ПКО станции И предусматривает для снижения трудозатрат использование технологии по организации и проведению «частичного (выборочно-го)» осмотра грузовых вагонов в поездах на ПКО с целью сокращения продолжи-

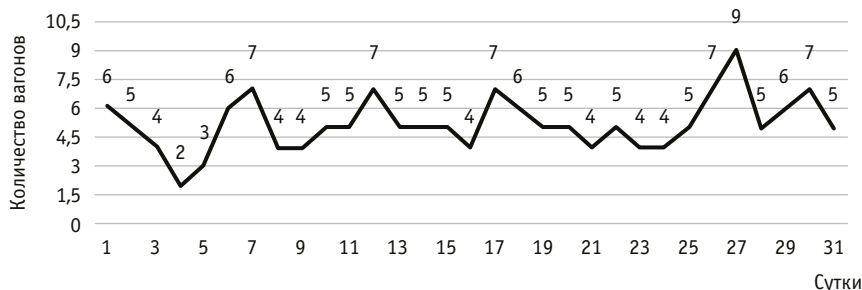


Рис. 3. Динамика поступления вагонов с негабаритным грузом

тельности коммерческого осмотра. Внедрение технологии возможно:

для транзитных поездов, следующих внутри гарантийного участка и прибывающих на станцию И на коммерческий осмотр в соответствии с нормативной документацией;

при планировании подвода грузового поезда и пропуске через АСКО ПВ 3Д для визуального автоматизированного осмотра;

при заблаговременном информировании работников станции И о приеме грузового поезда, требующего осмотра, что позволит исключить дополнительный простой поезда в ожидании осмотра не менее чем за 10 мин [9–11].

Согласно предлагаемой технологии, при проследовании состава по системе АСКО ПВ 3Д станции И все вагоны, кроме грузовых вагонов открытого типа, будут осматриваться только в автоматическом режиме. Технология осмотра предусматривает снижение трудозатрат работников ПКО за счет сокращения величины

нагрузки на приемщика поездов, осуществляющего коммерческий осмотр в нечетном парке станции И. Представленная технология осмотра составов в нечетном парке станции позволит в разы повысить эффективность использования технических средств АСКО ПВ 3Д.

Среднесуточное число поступивших в 2023 г. на станцию И транзитных поездов и количество в них вагонов с негабаритными грузами (техники, железобетонных изделий, транспортеров и т.д.) представлено на рис. 2 и 3.

В результате проведенного мониторинга установлено, что в нечетный парк станции И в среднем за сутки поступает 32 транзитных поезда, из них 11 % приходится на долю поездов, в составе которых следуют вагоны с негабаритными грузами, среднее количество таких вагонов — 5 шт.

На основе предложенной технологии построена модель суточного плана-графика работы и определены показатели нечетной сортировочной системы станции И (табл. 1).



Таблица 1

Динамика показателей работы нечетной системы станции И

Показатель	Значение показателя		Отклонение, $\Delta(+/-)$
	I вариант	II вариант	
Простой транзитного вагона без переработки, ч	1,20	0,88	0,32
Простой транзитного вагона с переработкой, ч	9,00	9,00	–
Рабочий парк вагонов, ваг	740	740	–
Вагонооборот, ваг	11998	11998	–
Количество прибывающих транзитных поездов	29	36	7

При полной обработке состава осуществляется сокращенное опробование тормозов — в течение 14 мин [9, 10]. Суммарное время простоя грузового поезда, согласно модели суточного плана-графика работы нечетной системы станции И, при существующей технологии составляет 46 мин, или 0,77 ч. После реализации новой технологии оно сократится до 27 мин, или на 0,45 ч, так как в коммерческом отношении проверяют только вагоны с негабаритным грузом.

При существующей технологии время обработки на один вагон по станции И занимает 4 мин (при обработке в парке прибытия и только одним приемщиком поездов), при приеме поезда в парк отправления, где осмотр осуществляется двумя приемщиками параллельно, время сократится до 2,5 мин.

За счет сокращения времени обработки составов с негабаритным грузом и ускоренного продвижения поездопотока по инфраструктурному комплексу Восточного полигона будут высвобождены нитки в графике движения поездов, что приведет к повышению уровня пропускных и перерабатывающих мощностей станций и участков. Согласно расчетам, прирост перерабатывающей способности нечетного парка станции И составит 7 поездов в сутки, или 7243,425 млн т-км/год.

Рассчитаем снижение уровня трудозатрат на выполнение операций коммерческого осмотра подвижного состава по станции И, так как трудозатраты на железнодорожном транспорте оказывают существенное влияние на эффективность и экономическую целесообразность функционирования холдинга «РЖД» и его отдельных структурных подразделений. Одним из видов трудозатрат являются затраты на персонал, занятый на объектах основного и дополнительного назначения, величина которых зависит от объема перевозок, технического оснащения, уровня автоматизации и информатизации объектов [12, 13].

В соответствии с установленной технологией состав персонала ПКО станции И включает 11 человек: четыре бригады приемосдатчиков груза, в каждую из которых входит по два человека, оператор поста централизации, старший осматрщик вагонов, осматрщик вагонов с ходу. Использование предложенной технологии осмотра подвижного состава в нечетном парке станции требует разработки вариантного технологического графика обработки транзитных грузовых поездов с учетом новых решений (рис. 4 и 5) [2, 9, 10, 14].

Если учесть, что за три месяца 2024 г. в нечетный парк станции И прибыло 32 транзитных поезда, из них пять имели в своем составе вагоны с негабаритным грузом в количестве

от 3 до 5 шт. (см. рис. 2 и 3), то при переходе на новую технологию осмотра подвижного состава сокращение уровня трудоемкости обработки транзитного поезда в коммерческом отношении можно определить по формуле

$$\Delta T = \frac{(t_{\text{ПКО}}^0 - t_{\text{ПКО}}^1)}{60} \cdot N_{\text{осн}}^{(0,1)} \cdot \chi_{\text{бриг}}^{\text{ПКО}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{ПКО}}^0$  — время, затрачиваемое на проведение коммерческого осмотра по существующему технологическому процессу, равное 45 мин;  $t_{\text{ПКО}}^1$  — время, затрачиваемое на проведение коммерческого осмотра по предлагаемому технологическому процессу, равное 28 мин;  $N_{\text{осн}}^{(0,1)}$  — общее число транзитных поездов, имеющих в своем составе вагоны с негабаритными грузами (5 поездов) и без негабаритного груза (24 поезда) и отправляемых с нечетного парка;  $\chi_{\text{бриг}}^{\text{ПКО}}$  — число работников в бригаде ПКО, участвующих в выполнении коммерческого осмотра, 2 чел.

В результате получаем сокращение трудоемкости работ в одной бригаде:

для транзитных поездов с негабаритным грузом — 2,82 ч для 5 поездов в сутки;

для транзитных поездов без негабаритных грузов — 36 ч для 24 поездов в сутки.

Суммарные трудозатраты в смену на одну бригаду — 38,82 поездо-часа/сутки, средние трудозатраты в смену — 19,41 поездо-часа.

Сокращение величины трудозатрат на одного работника ПКО составит 5,21 поездо-часа/смену, что позволит высвободить 0,5 единицы работника по коммерческому осмотру прибывающих транзитных поездов с учетом сменности работы — 1 человек. Следовательно, при условии, что на станции работают 4 бригады, в каждой из которых по 2 работника, высвобождение составит 8 работников.

Оптимизация численности приведет к изменению производительности труда работников станции в секторе движения:

$$ПТ_{\text{ст}} = \frac{n_{\text{прив}}}{\chi_{\text{ст}}}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{прив}}$  — общая продукция станции, выраженная в отправленных приведенных вагонах;  $\chi_{\text{ст}}$  — общая численность работников станции.



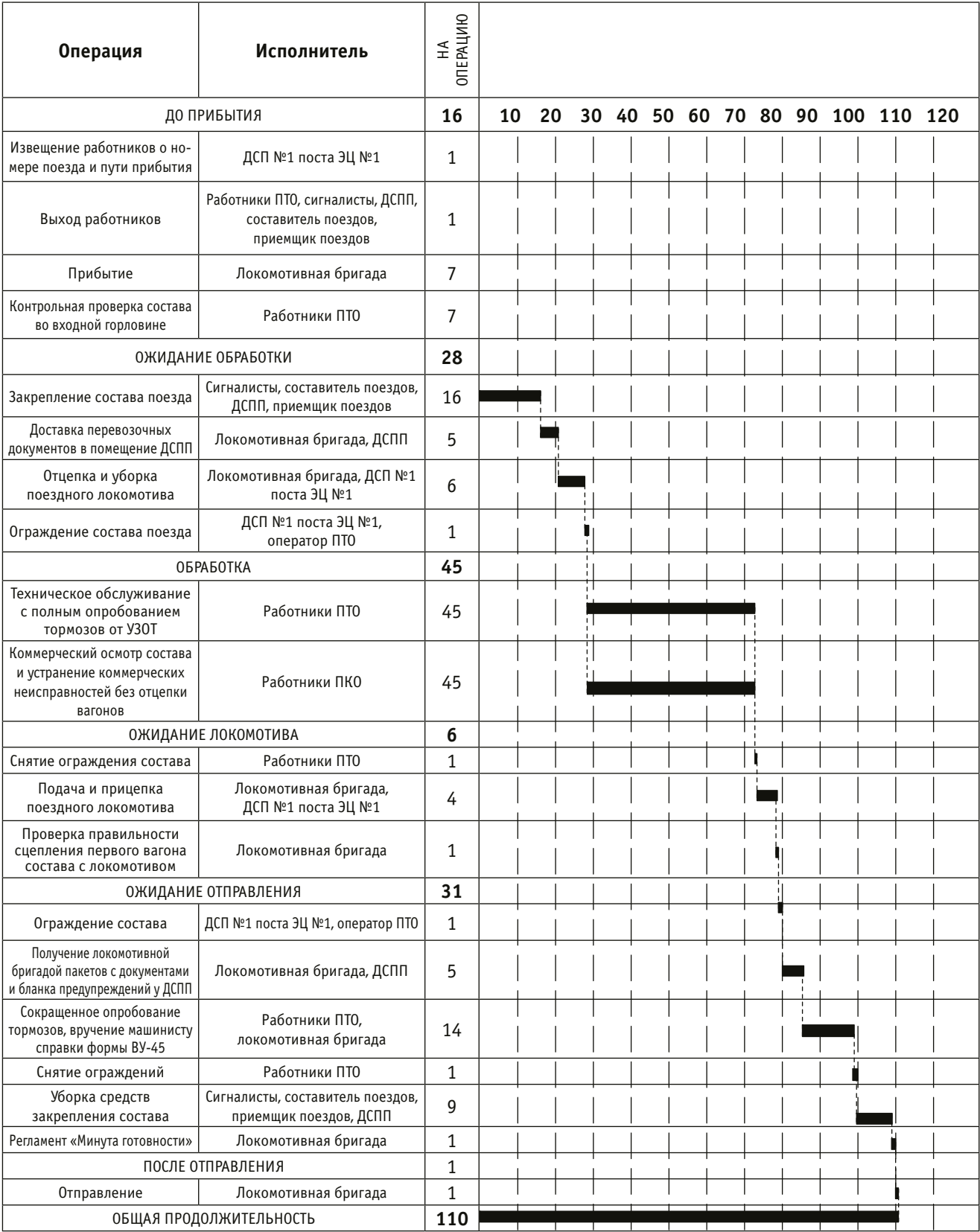


Рис. 4. Существующий технологический график обработки транзитного грузового поезда

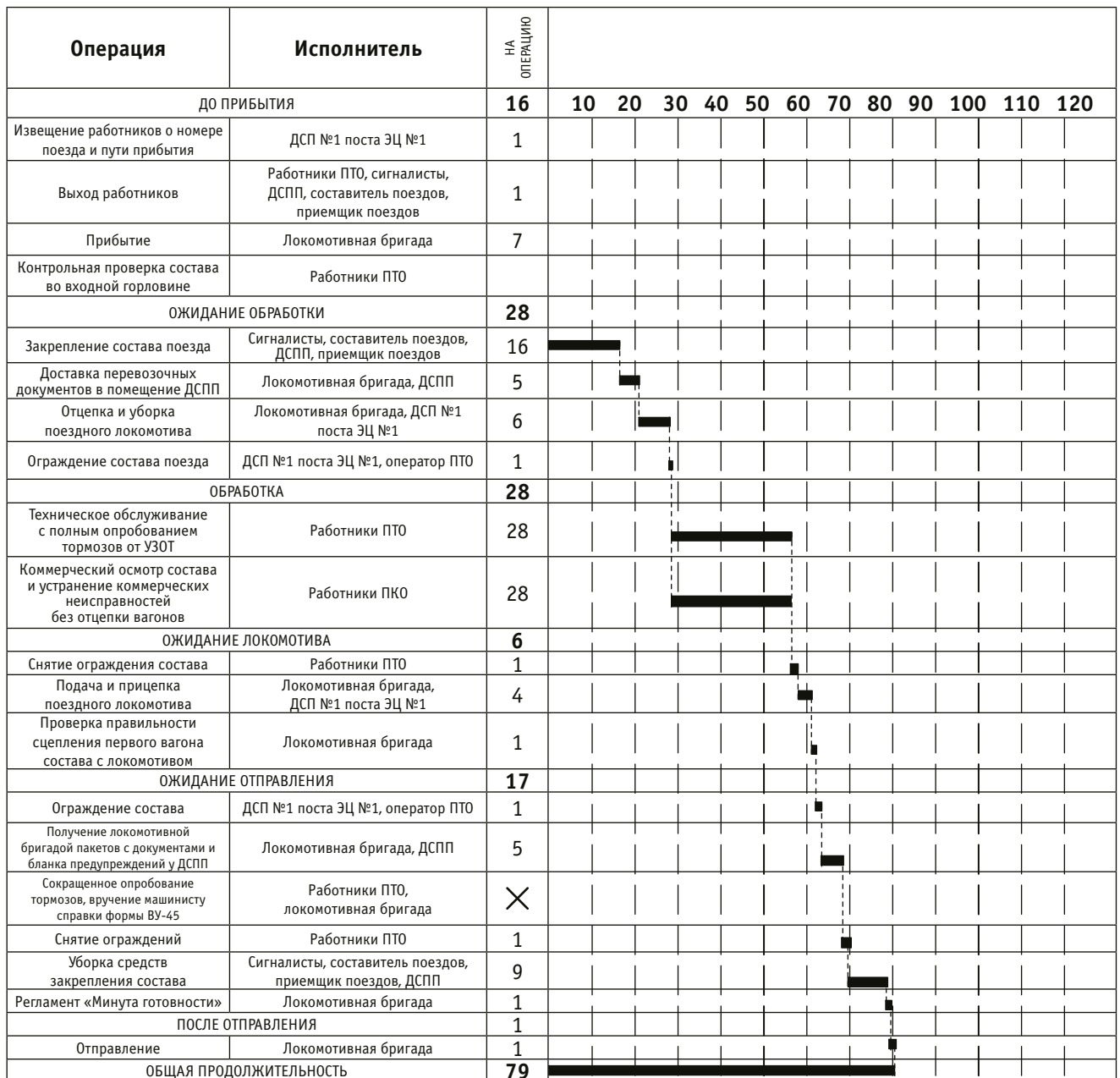


Рис. 5. Предлагаемый технологический график обработки транзитного грузового поезда

При существующей технологии осмотра составов производительность труда работников 187 ваг/чел., при изменении технологии осмотра составов — 366 ваг/чел. Таким образом, производительность труда вырастет на 179 ваг/чел., т.е. на 51 %.

Дополнительные годовые эксплуатационные расходы ОАО «РЖД», вызванные приростом грузооборота, составят 2187,514 млн руб., прирост доходов холдинга за счет увеличе-

ния объема грузооборота — 11734,349 млн руб. То есть от пропуска дополнительных 2555 грузовых транзитных поездов в год Восточный полигон железных дорог сможет получить годовой экономический эффект в размере 9546,835 млн руб. [15, 16].

Таким образом, положительные результаты использования предлагаемой технологии на станции И открывают возможности для дальнейшей реализации на станциях Т и УВСЖД.

#### Сведения об авторе:

**Виктория Александровна Оленцевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Иркутского государственного университета путей сообщения

#### Author's information:

**Viktoriya A. Olentsevich**, PhD in Engineering, Associate Professor of Operations Management Department, Irkutsk State Transport University

## Литература

1. Грузовые перевозки. URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/11680> // (дата обращения: 20.06.2024).
2. Об утверждении Единого типового технологического процесса коммерческого осмотра вагонов и поездов на железнодорожных станциях : распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2019 г. № 3116/р (ред. от 08.12.2021 г.). URL: [https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-OAO-RZHD-ot-31.12.2019-N-3116\\_r/?ysclid=m0uuqzyh8p491586534](https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-OAO-RZHD-ot-31.12.2019-N-3116_r/?ysclid=m0uuqzyh8p491586534) (дата обращения: 05.04.2024).
3. Об утверждении Стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в холдинге «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 08.12.2015 г. № 2855р. URL: <https://base.garant.ru/71955634/?ysclid=m0uutf9icl720015428> (дата обращения: 05.04.2024).
4. Об утверждении Руководства по системе менеджмента безопасности движения в холдинге «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 30.09.2016 г. № 2045р.
5. Оленцевич В. А., Гозбенко В. Е. Методическое и программное обеспечение прогнозирования значений уровня безопасности функционирования железнодорожной транспортной системы. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2019. 172 с.
6. О Политике по управлению рисками и внутреннему контролю : распоряжение ОАО «РЖД» от 18.06.2019 г. № 1223р.
7. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. Москва : Юртранс, 2005. 544 с.
8. Инновационные системы. URL : [http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=666&layer\\_id=3290&refererLayerId=3290&id=4080](http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=666&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=4080) (дата обращения: 22.02.2024).
9. Железнодорожная станция Иркутск-Сортировочный. URL: <https://online.freicon.ru/info/stations/930004/> // (дата обращения: 12.09.2024).
10. Станция Иркутск-Сортировочный, Восточно-Сибирская железная дорога. URL: <https://www.alta.ru/railway/station/93000/> (дата обращения: 16.08.2024).
11. Модель основной технологической линии сортировочной станции / А. Э. Александров, А. Г. Галкин, В. Ю. Пермикин, Е. Н. Тимухина // Транспорт Урала. 2018. № 4 (59). С. 7–12. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-4-7-12.
12. Olentsevich V. A., Upyr R. Y., Gladkih A. M. Computational procedure for preparing the technical conditions for stowage and securing cargo in rail cars and containers // Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1615(1), 012029. DOI: 10.1088/1742-6596/1615/1/012029.
13. Olentsevich V. A., Belogolov Y. I., Grigoryeva N. N. Analysis of reliability and sustainability of organizational and technical systems of railway transportation process // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 832(1). 012061. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012061.
14. Сирина Н. Ф., Сисин В. А., Сисина О. А. Разработка алгоритмической модели процесса реагирования подсистем обеспечения безопасности функционирования железнодорожного транспорта // Транспорт Урала. 2022. № 2 (73). С. 23–30. DOI: 10.20291/1815-9400-2022-2-23-30.
15. Зельюкова Е. В., Осипов Н. В., Лапшин В. Ф. Анализ опыта по обеспечению сохранности вагонов на путях необщего пользования // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление : сборник трудов Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2023. С. 37–40.
16. Репина И. Б., Яншина И. В. Экономическая оценка учета влияния человеческого фактора на отказы технических средств при выполнении технологических процессов на железнодорожном транспорте // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика : материалы Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 19–20 октября 2017 г. Ч. 1. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2018. С. 322–331.

## References

1. Freight transportation. URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/11680> // (access date: 20.06.2024). (In Russian).
2. On the approval of a single standard technological process for the commercial inspection of wagons and trains at railway stations : the Order of the JSC «RZD» dated 31.12.2019 No. 3116/r (edition from 08.12.2021). URL: [https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-OAO-RZHD-ot-31.12.2019-N-3116\\_r/?ysclid=m0uuqzyh8p491586534](https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-OAO-RZHD-ot-31.12.2019-N-3116_r/?ysclid=m0uuqzyh8p491586534) (access date: 05.04.2024). (In Russian).
3. On approval of the Strategy for ensuring guaranteed safety and reliability of the transportation process in the Russian Railways Holding : the Order of the JSC «RZD» dated 08.12.2015. No. 2855r. URL: <https://base.garant.ru/71955634/?ysclid=m0uutf9icl720015428> (access date: 05.04.2024). (In Russian).
4. On approval of the manual on the traffic safety management system in the Russian Railways Holding : the Order of the JSC «RZD» dated 30.09.2016 No. 2045r. (In Russian).
5. Olencevich V. A., Gozbenko V. E. Methodological and software support for forecasting the values of the safety level of the railway transport system. Irkutsk : Publishing House of Irkutsk State Transport University, 2019. 172 p. (In Russian).
6. On the risk management and internal control policy : the Order of the JSC «RZD» dated 18.06.2019. No. 1223r. (In Russian).
7. Technical conditions for the placement and fastening of goods in wagons and containers. Moscow : Yurtrans, 2005. 544 p. (In Russian).
8. Innovative systems. URL : [http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=666&layer\\_id=3290&refererLayerId=3290&id=4080](http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=666&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=4080) (access date: 22.02.2024). (In Russian).
9. Irkutsk-Sortirovochny Railway Station. URL: <https://online.freicon.ru/info/stations/930004/> // (access date: 12.09.2024). (In Russian).
10. Irkutsk-Sortirovochny station, East Siberian Railway. URL: <https://www.alta.ru/railway/station/93000/> (access date: 16.08.2024). (In Russian).
11. Alexandrov A. E., Galkin A. G., Permikin V. Yu., Timukhina E. N. Model of marshalling station main processing line. *Transport of the Urals*. 2018. No. 4 (59). Pp. 7–12. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-4-7-12. (In Russian).
12. Olentsevich V. A., Upyr R. Y., Gladkih A. M. Computational procedure for preparing the technical conditions for stowage and securing cargo in rail cars and containers. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. 1615(1), 012029. DOI: 10.1088/1742-6596/1615/1/012029.
13. Olentsevich V. A., Belogolov Y. I., Grigoryeva N. N. Analysis of reliability and sustainability of organizational and technical systems of railway transportation process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 832(1). 012061. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012061.
14. Sirina N. F., Sisin V. A., Sisina O. A. Development of algorithmic model for reaction process of subsystems targeted on provision of railway transport safety. *Transport of the Urals*. 2022. No. 2 (73). Pp. 23–30. DOI: 10.20291/1815-9400-2022-2-23-30. (In Russian).
15. Zelyukova E. V., Osipov N. V., Lapshin V. F. Analysis of experience in ensuring the safety of wagons on non-public tracks. *Transport: logistics, construction, operation, management: proceedings of the International scientific and practical conference*. Ekaterinburg, 2023. Pp. 37–40. (In Russian).
16. Repina I. B., Yanshina I. V. Economic assessment of taking into account the influence of the human factor on failures of technical means when performing technological processes in railway transport. *Innovative factors of transport development. Theory and practice : proceedings of the International scientific and practical conference*, Novosibirsk, October 19–20, 2017. Part 1. Novosibirsk : Publishing House of Siberian Transport University, 2018. Pp. 322–331. (In Russian).

Научная статья

УДК 656.13

## Адаптация сервисного сопровождения к условиям эксплуатации машин в автомобильно-дорожном комплексе

Виктор Иванович Карагодин<sup>1</sup>, Алексей Юрьевич Горелов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

## Adaptation of service support to the operating conditions of cars in the automobile and road complex

Viktor I. Karagodin<sup>1</sup>, Alexey Yu. Gorelov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, (MADI), Moscow, Russia

### Аннотация

В статье представлены результаты формирования категорий условий эксплуатации одноковшовых фронтальных погрузчиков. Для наиболее легких и наиболее тяжелых условий эксплуатации обоснованы целесообразные стратегии эксплуатирующих предприятий и предприятий технического сервиса, различающиеся распределением между ними ремонтных работ. Задача представлена в многокритериальной постановке, учитывающей хозяйственные интересы обеих групп предприятий. Установлено, что в зависимости от условий эксплуатации и размеров парков машин могут изменяться не только объемы, но и содержание сервисных услуг. Полученные результаты позволяют предприятиям технического сервиса наиболее эффективно адаптироваться к парку и условиям эксплуатации обслуживаемых машин.

**Ключевые слова:** машины, стратегии ремонта, условия эксплуатации, корректировка нормативов, распределение работ

### Abstract

The article presents the results of the formation of categories of operating conditions of single-bucket front loaders. For the lightest and most severe operating conditions, reasonable strategies of operating enterprises and technical service enterprises are justified, differing in the distribution of repair work between them. The task is presented in a multi-criteria formulation that takes into account the economic interests of both groups of enterprises. It has been established that, depending on the operating conditions and the size of car parks, not only the volume, but also the content of services can change. The results obtained allow technical service enterprises to adapt most effectively to the fleet and operating conditions of the serviced machines.

**Keywords:** machines, repair strategies, operating conditions, adjustment of standards, distribution of work

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-66-70

**А**даптация сервисного сопровождения эксплуатации машин — необходимое условие его эффективности, однако этой проблеме уделяется недостаточно внимания. К числу факторов, влияющих на процесс адаптации, относятся количественный и качественный состав парка машин, условия выполнения работ этими машинами, технологические возможности эксплуатирующего их предприятия по выполнению технического обслуживания (ТО) и ремонта, транспортные связи с предприятиями технического сервиса, цены на услуги предприятий технического сервиса и др.

В [1] понятия «потребность в услугах» и «спрос на услуги» технического сервиса разделены. В большинстве случаев клиентами автосервиса являются индивидуальные владельцы автомобилей, и сегодня по отношению к автолюбителям спрос на услуги автосервиса сближился с потребностью в этих услугах. Иначе обстоит дело со спросом на услуги технического сервиса дорожно-строительных машин. Индивидуальных владельцев таких машин по сравнению с индивидуальными владельцами легковых автомобилей крайне мало, а предприятия, эксплуатирующие дорожно-строительную технику, имеют собственную производственно-техническую базу, что не только позволяет многим из них не обращаться к услугам технического сервиса, но и стимулирует выполнение ТО и ремонтов собственными силами, особенно в послегарантийный период.

В свою очередь, предприятиям технического сервиса приходится адаптироваться к сложившимся условиям, искать своего клиента, предлагать ему комплекс услуг в зависимости от вышеперечисленных факторов, которые не всегда поддаются оценке и, как правило, недостаточно изучены. В наибольшей степени это относится к факторам, характеризующим условия эксплуатации машин. Влияние таких факторов на эксплуатационные свойства машин общепризнано, но его характер, закономерности изменения эксплуатационных свойств под действием условий внешней среды не выявлены в той степени, которая позволяет использовать эти закономерности в практике эксплуатации машин.

Таблица 1

Результаты обработки информации

Категория условий эксплуатации	Параметры распределения Вейбулла		Статистические оценки наработок на отказ, мото-ч				Относительная ошибка при доверительной вероятности	
	<i>a</i>	<i>b</i>	средней наработки	среднеквадратического отклонения	коэффициента вариации	90-процентной наработки	0,90	0,95
1	1355	1,09	1311	1203	0,92	172	0,15	0,20
2	1307	1,05	1280	1214	0,94	155	0,10	0,15
3	1102	1,17	1044	895	0,86	161	0,10	0,15

Наибольшие успехи достигнуты в области эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта [2]. Несмотря на то что «Положение...» [2] утратило силу в 2020 г., оно сохранило свое методическое значение. В нем выделены пять категорий условий эксплуатации автомобилей и приведена система коэффициентов корректирования нормируемых показателей технической эксплуатации автомобилей в зависимости от значений действующих факторов внешней среды. Однако в известных нам литературных источниках методики обоснования практических рекомендаций, изложенных в [2], не содержится. Это вызвало необходимость в разработке методов адаптации сервисного сопровождения к условиям эксплуатации машин.

Для сбора информации были организованы наблюдения за надежностью партии машин из 40 одноковшовых фронтальных погрузчиков в различных условиях эксплуатации. Различие условий эксплуатации обеспечивалось в первую очередь использованием машин в разных отраслях материального производства: промышленно-гражданском строительстве, лесозаготовительной промышленности, на предприятиях стройиндустрии (цементобетонных и асфальтобетонных заводах), в добывающей промышленности и в складском комплексе. Нарботки машин с начала эксплуатации на моменты начала и окончания наблюдений были различными, а критерием окончания наблюдений было время, а не отказы всех машин. Обработка информации производилась по предусмотренной для такого плана наблюдений методике [3].

Предварительно информация о надежности машин была систематизирована

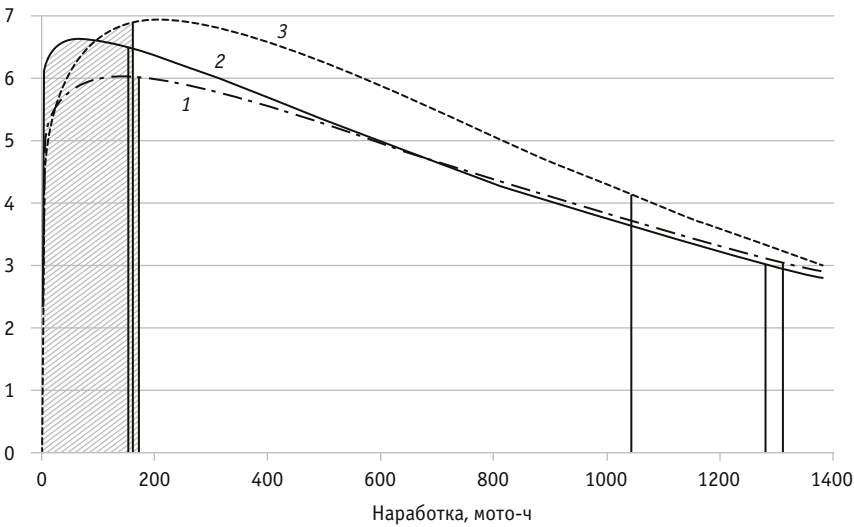


Рис. 1. Распределение наработок на отказ фронтальных погрузчиков

по каждой отрасли, для каждой машины определены наработки на отказ и построены вариационные ряды этих показателей надежности. В соответствии с требованиями математической статистики из вариационных рядов были исключены резко выделяющиеся значения, для чего использовался критерий Ирвина [4]. Для каждой отрасли были построены вариационные ряды средних наработок машин на отказ. Задача классификации условий эксплуатации машин была поставлена и решена как задача проверки статистических гипотез о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности. Если проверяемая гипотеза не отвергалась, сравниваемая пара отраслей объединялась в одну категорию условий эксплуатации. В противном случае сравниваемые отрасли считались принадлежащими разным категориям условий эксплуатации. Пар-

ное сравнение выборок по всем отраслям позволило получить три категории условий эксплуатации, к которым отнесены следующие отрасли [5]:

первая категория — промышленно-гражданское строительство и предприятия стройиндустрии;

вторая категория — добывающая промышленность;

третья категория — лесозаготовительная промышленность и складской комплекс.

Результаты обработки информации приведены в табл. 1. Все полученные показатели определены с точностью, принятой в инженерных расчетах. Распределение наработок на отказ фронтальных погрузчиков представлено на рис. 1.

На рис. 1 цифрами 1–3 обозначены категории условий эксплуатации, вертикальными линиями показаны средние и 90-процентные наработки на отказ,



заштрихованы 10-процентные области вероятных отказов, если контроль технического состояния погрузчиков проводится с периодичностью, равной 90-процентной наработке на отказ [5].

В статье [5] установлено, что нормируемые показатели технической эксплуатации напрямую зависят от показателей надежности машин: периодичность ТО прямо пропорциональна  $\gamma$ -процентной наработке на отказ; наработка до капитального ремонта прямо пропорциональна средней наработке на отказ; трудоемкость текущего ремонта и расход запасных частей обратно пропорциональны средней наработке на отказ. Исходя из этого определены коэффициенты корректирования нормируемых показателей технической эксплуатации в зависимости от категории условий эксплуатации (табл. 2).

Как отмечено в работе [1], задача прогнозирования спроса на услуги предприятия технического сервиса представляет собой комплексную задачу прогнозирования стратегии ремонта, которую выберет клиент. Стратегия ремонта — это система правил, однозначно определяющих время, место и содержание ремонтных работ. Местом выполнения ремонтных работ могут быть либо эксплуатационные предприятия (ЭП), либо предприятия технического сервиса (ПС). От выбора исполнителя работ зависят затраты на ремонт, которые для ЭП в первой категории условий эксплуатации мо-

Коэффициенты корректирования нормируемых показателей  
в зависимости от категории условий эксплуатации

Показатель	Коэффициенты корректирования		
	для 1-й категории	для 2-й категории	для 3-й категории
Периодичность ТО	1,00	0,90	0,90
Нарботка до капитального ремонта	1,00	0,95	0,80
Трудоемкость текущего ремонта	1,00	1,05	1,25
Расход запасных частей	1,00	1,05	1,25

гут быть определены по следующей формуле, тыс. руб. [1]:

$$C = 0,2(0,37K + 26,53F) + 1,42T, (1)$$

где  $K$  — суммарная стоимость средств технологического оснащения (оборудования, приспособлений и инструмента), применяемых предприятием, тыс. руб.;  $F$  — суммарная производственная площадь, занятая выполняемыми на предприятии работами,  $m^2$ ;  $T$  — суммарная трудоемкость выполняемых работ, чел.-ч.

Формулу (1) можно применять и для условий предприятий технического сервиса. Но поскольку в ПС для ремонта рассматриваемых машин используются специализированные средства технологического оснащения, предназначенные только для этих машин, из формулы (1) необходимо исключить коэффициент 0,2.

Расчет затрат производился для трех возможных стратегий ЭП (табл. 3):

стратегия 1 — выполнение всех работ собственными силами;

стратегия 2 — передача в ПС всех комплексов работ по ремонту двигателей, требующих для выполнения снятия двигателя с машины;

стратегия 3 — передача в ПС всех комплексов работ вместе с машиной, включая работы, не требующие снятия двигателя.

Из данных табл. 3 следует, что в первой категории условий эксплуатации предприятие технического сервиса имеет клиентуру в лице ЭП с малыми парками машин, причем ЭП с парками однотипных машин до 15 шт. являются поставщиками в централизованный ремонт полнотелых машин, а более крупные предприятия (от 15 до 20 машин) — постав-

Таблица 3

Экономические показатели стратегий предприятий для первой категории условий эксплуатации

Число машин в ЭП	Стратегии и затраты, тыс. руб.				
	Стратегия 1	Стратегия 2			Стратегия 3
	Затраты ЭП	Затраты ЭП на постовые работы	Затраты ПС на ремонт снятых двигателей	Суммарные затраты	Затраты ПС
5	3493	2180	416	2596	<b>1598</b>
10	4317	2854	831	3685	<b>3195</b>
15	5140	3529	1247	<b>4776</b>	4793
20	5964	4203	1662	<b>5865</b>	6391
25	<b>6788</b>	4878	2078	6956	7990
30	<b>7611</b>	5552	2494	8046	9588
35	<b>8435</b>	6227	2909	9136	11186
40	<b>9258</b>	6901	3325	10226	12784
50	<b>10906</b>	8250	4156	12406	15980

Таблица 4

Экономические показатели стратегий предприятий для наиболее тяжелых условий эксплуатации

Число машин в ЭП	Стратегии и затраты, тыс. руб.				
	Стратегия 1	Стратегия 2			Стратегия 3
	Затраты ЭП	Затраты ЭП на постовые работы	Затраты ПС на ремонт снятых двигателей	Суммарные затраты	Затраты ПС
5	4978	3396	620	4016	2724
10	7286	5286	1241	6527	5448
15	9595	7177	1861	9038	8172
20	11903	9067	2482	11549	10897
25	14212	10958	3102	14060	13621
30	16520	12848	3722	16570	16344
35	18828	14739	4343	19082	19069
40	21137	16629	4963	21592	21793
50	25754	20410	6204	26614	27241

щиками двигателей, требующих ремонта. ЭП с парками машин от 25 шт. и более будут обращаться к услугам ПС только в гарантийный период, когда они вынуждены это делать, и в отдельных случаях, когда будут не в состоянии справиться с восстановлением работоспособности машин собственными силами.

Как уже было отмечено, в табл. 2 приведены коэффициенты корректирования нормируемых показателей технической эксплуатации для полученных категорий условий эксплуатации фронтальных погрузчиков. В работе [5] установлены коэффициенты корректирования нормируемых показателей технической эксплуатации также в зависимости от природно-климатических условий и наработки с начала эксплуатации. Коэффициент корректирования трудоемкости текущего ремонта для холодного и умеренно-холодного климата составляет 1,40, а при наработке машины с начала эксплуатации более 8000 мото-часов — 1,60. Наиболее тяжелыми назовем условия эксплуатации 3-й категории, когда машина работает в зоне холодного или умеренно-холодного климата и имеет наработку с начала эксплуатации более

8000 мото-часов. В этом случае общий коэффициент корректирования составит  $1,25 \cdot 1,40 \cdot 1,60 = 2,8$ . Затраты предприятий при увеличении трудоемкости ремонта почти в 3 раза приведены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что при работе машин в самых тяжелых условиях эксплуатации спрос на услуги ПС резко возрастает. Стратегия 2 становится нецелесообразной при любых условиях, а отказ от услуг ПС возможен для крупных ЭП, имеющих более 30 машин.

ВЫВОДЫ

1. Для успешной работы на рынке сервисных услуг предприятиям технического сервиса следует предлагать комплексы услуг в расчете на конкретного клиента в зависимости от парка машин и условий их эксплуатации.

2. В зависимости от условий эксплуатации могут изменяться не только объемы, но и содержание услуг по поддержанию и восстановлению работоспособности техники. В частности, это относится к ремонту агрегатов.

Сведения об авторах:

**Виктор Иванович Карагодин**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Дорожно-строительные машины» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)

**Алексей Юрьевич Горелов**, старший преподаватель кафедры «Дорожно-строительные машины» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)

Authors information:

**Viktor I. Karagodin**, DSc in Engineering, Professor, Professor of Road Building Machines Department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

**Alexey Yu. Gorelov**, Senior Lecturer of Road Building Machines Department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

## Литература

1. Карагодин В. И. Методы прогнозирования развития предприятий сервиса строительных и дорожных машин. Москва : Изд-во МАДИ, 2021. 128 с.
2. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Москва : Транспорт, 1985. 114 с.
3. Методические указания (наджность в технике). Методы оценки показателей надежности по эксплуатационным данным. РД 50-690-89. Москва : Изд-во стандартов, 1990. 132 с.
4. Статистические методы обработки эмпирических данных. Москва : Изд-во стандартов, 1978. 232 с.
5. Карагодин В. И., Горелов А. Ю., Салагубов А. И. Корректирование нормативов технической эксплуатации дорожно-строительных машин для характерных условий их эксплуатации // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 20. С. 83–89. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-20-83-89.

## References

1. Karagodin V. I. Methods of forecasting the development of construction and road machinery service enterprises. Moscow : Publishing House of MADI, 2021. 128 p. (In Russian).
2. Regulations on maintenance and repair of rolling stock of motor transport. Moscow : Transport, 1985. 114 p. (In Russian).
3. Methodological guidelines (reliability in technology). Methods for evaluating reliability indicators based on operational data. Governing Document 50-690-89. Moscow : Publishing House of Standards, 1990. 132 p. (In Russian).
4. Statistical methods of empirical data processing. Moscow : Publishing House of Standards, 1978. 232 p. (In Russian).
5. Karagodin V. I., Gorelov A. Yu., Salagubov A. I. Adjustment of standards of technical operation of road-building machines for the characteristic conditions of their operation. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023. No. 20. Pp. 83–89. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-20-83-89. (In Russian).

Объем статьи 0,43 авторских листа

Научная статья  
УДК 656.132

## Нормирование расхода запасных частей для текущего ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия

Никита Васильевич Поживилов<sup>1</sup>, Григорий Александрович Крылов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

## Rationing of the consumption of spare parts for the current repair of rolling stock of a motor transport company

Nikita V. Pozhivilov<sup>1</sup>, Grigoriy A. Krylov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, (MADI), Moscow, Russia

### Аннотация

Предложена усовершенствованная классификация факторов, определяющих потребность в запасных частях для текущего ремонта подвижного состава автотранспортных предприятий, в частности, дополнительная группа, охватывающая вопросы, связанные с системой эффективного управления расходом запасных частей.

Разработаны подходы по определению норм расхода запасных частей для номенклатурных позиций, как вводимых на автотранспортных предприятиях впервые, так и введенных ранее. Рассмотрены методы анализа данных по эксплуатационной надежности элементов автомобиля: аналитический; по ресурсу до первой замены; по числу замен деталей за назначенную наработку; с учетом вариации.

На основе рекомендаций по совершенствованию норм расхода материальных ресурсов для технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия предложен новый экспресс-метод корректирования норм. Разработанный алгоритм позволяет оптимизировать процесс модернизации нормативной базы за счет применения аналитической формы с рекомендациями по изменению норм расхода запасных частей. Приведен пример практического использования специализированного программного обеспечения на автотранспортном предприятии.

**Ключевые слова:** автотранспортное предприятие, коэффициент корректирования, методы определения норм, нормы расхода запасных частей, номенклатурная позиция, факторы расхода запасных частей, специализированное программное обеспечение, эксплуатационная надежность

### Abstract

An improved classification of the factors determining the need for spare parts for routine repairs of rolling stock of motor transport enterprises is proposed, in particular, an additional group covering issues related to the system of effective management of spare parts consumption.

Approaches have been developed to determine the consumption rates of spare parts for nomenclature items both introduced at motor transport enterprises for the first time and introduced earlier. The methods of analyzing data on the operational reliability of car components are considered: analytical; by resource before the first replacement; by the number of replacements of parts for the assigned operating time; taking into account variation.

Based on recommendations on improving the norms of consumption of material resources for maintenance and routine repair of rolling stock of a motor transport company, a new express method for correcting norms is proposed. The developed algorithm makes it possible to optimize the process of modernization of the regulatory framework through the use of an analytical form with recommendations for changing the consumption rates of spare parts. An example of the practical use of specialized software in a motor transport company is given.

**Keywords:** motor transport company, correction factor, methods for determining standards, spare parts consumption rates, nomenclature position, spare parts consumption factors, specialized software, operational reliability

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-71-76

### ВВЕДЕНИЕ

**Т**ехническое обслуживание и текущий ремонт подвижного состава — ключевые аспекты поддержания бесперебойной работы автотранспортных предприятий (АТП). Проблема эффективного управления расходом запасных частей для текущего ремонта остается актуальной в контексте оптимизации затрат и снижения временных потерь от простоя подвижного состава [1–3].

Исследование, представленное в статье, посвящено нормированию расхода запасных частей для текущего ремонта подвижного состава на АТП. Цель исследования — разработка методического подхода, который позволит эффективно управлять расходом запасных частей, минимизировать издержки и обеспечить бесперебойную эксплуатацию подвижного состава АТП.

### ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОТРЕБНОСТЬ В ЗАПАСНЫХ ЧАСТЯХ, И СТЕПЕНИ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ НА АВТОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

На расход запасных частей для текущего ремонта подвижного состава влияет целый ряд факторов. Профессор Е. С. Кузнецов разделил всю совокупность факторов на четыре основные группы: конструктивные, эксплуатационные, технологические, организационные [4]. Авторами статьи предложена дополнительная группа, охватывающая вопросы, связанные с системой эффективного управления расходом запасных частей.

На основе предложенной структуры разработана дополнительная классификация факторов (табл. 1) с указанием степени возможного влияния управляемости ими в условиях АТП.

Таблица 1

Факторы, определяющие потребность в запасных частях,  
и степени управления ими в АТП

№ п/п	Группа	Степень управления факторами в АТП
1. Конструктивные		
1.1	Надежность автомобиля	СУ
1.2	Сложность конструкции	СУ
1.3	Унификация	СУ
2. Эксплуатационные		
2.1	Интенсивность эксплуатации	ЧУ
2.2	Квалификация водителя	У
2.3	Транспортные, дорожные, природно-климатические условия эксплуатации	СУ
3. Технологические		
3.1	Качество ТО и ремонта	У
3.2	Качество поставляемых запасных частей	ЧУ
3.3	Используемые эксплуатационные материалы	У
4. Организационные (управление парком автомобилей)		
4.1	Возрастная структура парка	У
4.2	Структура парка по типам и моделям	ЧУ
4.3	Уровень концентрации автомобилей	ЧУ
5. Организационные (управление материально-техническим обеспечением)		
5.1	Система учета и хранения запасных частей на складах предприятия	У
5.2	Организация закупки и поставки запасных частей	У
5.3	Система управления складскими запасами	У

Примечание. У — управляемые, ЧУ — частично управляемые, СУ — слабоуправляемые факторы.

Система учета и хранения запасных частей на складах предприятия включает:

формирование нормативной базы расхода запасных частей, в которой представлены информация о наименовании, каталожная информация (номер) производителя, идентификационные номера нормативной базы АТП, применение на конкретных модификациях автомобилей, нормы расхода и размерность;

проведение списаний и идентификацию поставляемых запасных частей на склады АТП;

организацию хранения запасных частей на складах АТП и т.д.

При организации закупки и поставки запасных частей осуществляются:

закупка на электронной площадке через проведение конкурсной процедуры (в рамках 44-ФЗ или 223-ФЗ; с указанием необходимого объема поставок или «корзинным» способом; с одним или несколькими поставщиками; разовая поставка или с графиком в течение периода);

поставка без проведения конкурсной процедуры (например, по фактической потребности) и т.д.

Система управления складскими запасами включает в себя:

перемещение запасов между различными складами АТП;

работу с неликвидными запасными частями;

анализ расходования, выявление неэффективного расходования запасных частей и т.д.

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

Производители автомобилей и комплектующих предоставляют каталоги запасных частей, однако не разрабатывают нормативную базу их расхода. Таким образом, формирование нормативной базы запасных частей — это прерогатива автотранспортных предприятий, для которых наиболее актуально получение информации об эксплуатационной надежности подвижного состава.

Нормы потребности в запасных частях для технического и сезонного обслуживания определяются на основе нормативно-технической документации и фактической потребности в дополнительном расходе.

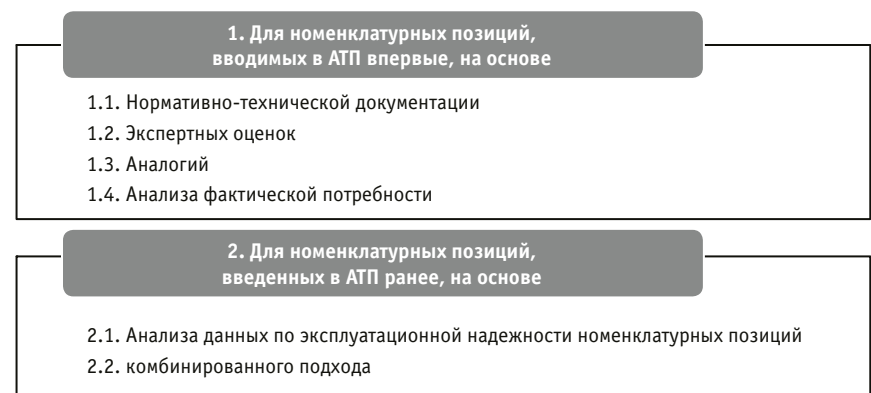


Рис. 1. Подходы по определению норм расхода запасных частей  
для подвижного состава АТП

Нормы потребности в запасных частях для текущего ремонта могут быть определены при помощи одного из подходов, представленных на рис. 1.

Когда номенклатурная позиция вводится впервые, информация о ее факти-

ческом расходе на предприятии отсутствует. В таких случаях для определения нормы расхода можно использовать нормативно-техническую документацию производителя транспортного средства; метод экспертных оценок; метод аналогии



со схожими номенклатурными позициями, по которым нормативы определены, или информацию о фактической потребности в другом АТП; анализ информации о фактической потребности в конкретной номенклатурной позиции по запросам ремонтных подразделений инженерно-технической службы предприятия.

Для номенклатурных позиций, которые были введены в АТП ранее и по которым есть история замен, применяются подходы, основанные на анализе данных о надежности, и комбинированный подход, включающий дополнительно один или несколько методов, описанных выше. Аналитический подход определения норм может быть реализован в виде одного из методов, представленных в [4–7]. Рассмотрим некоторые из них.

В основу аналитического метода положен расчет нормы по значению средней наработки на замену (для невосстанавливаемых компонентов):

$$N_i^I = \frac{A_i^H \cdot L_T^H}{L_i^H},$$

где  $A_i^H$  — количество автомобилей рассматриваемой модификации, принятое за нормативное, ед.;  $L_T^H$  — годовой пробег единицы подвижного состава в год, принятый за норматив, тыс. км;  $L_i^H$  — средняя наработка на отказ  $i$ -й запасной части, тыс. км.

Метод определения норм расхода запасных частей по ресурсу до первой замены целесообразно использовать на начальной стадии эксплуатации транспортного средства в качестве разработки временных норм, которые рассчитываются по формуле

$$N_i^{II} = \frac{A_i^H \cdot L_T^H}{L_i^I},$$

где  $L_i^I$  — ресурс до первой замены  $i$ -й запасной части, тыс. км.

Расчет норм по числу замен деталей за назначенную наработку осуществляется следующим образом:

$$N_i^{III} = \frac{A_i^H \cdot L_T^H \cdot n_i^3}{L_i^3},$$

где  $n_i^3$  — количество замен рассматриваемой детали за назначенную наработку

(принятый диапазон пробега), шт.;  $L_i^3$  — назначенная наработка, тыс. км.

Расчет норм с учетом вариации предусматривает вероятность возникновения отказа и определяется по формуле

$$N_i^{IV} = \frac{A_i^H \cdot L_T^H \cdot n_i^3}{L_i^3} + 0,5 \cdot (v_i + 1),$$

где  $v_i$  — коэффициент вариации.

Полученные в результате расчета значения норм расхода запасных частей оформляются в виде нормативной базы. После этапа разработки нормативной базы с указанием конкретных значений норм расхода по каждой номенклатурной позиции неизменно следует этап совершенствования нормативной базы. Разработанные нормы требуют совершенствования на регулярной основе, а пересмотр утвержденных норм целесообразно проводить не реже одного раза в год или одного закупочного цикла. При наличии нескольких модификаций подвижного состава нормативная база АТП содержит большое количество номенклатурных позиций, что затрудняет проведение работ по корректировке норм расхода.

Авторами статьи разработан экспресс-метод корректирования норм на основе формирования рекоменда-

ций по совершенствованию норм расхода материальных ресурсов для технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) подвижного состава автотранспортного предприятия, который может быть реализован наряду с традиционными способами, описанными выше.

## МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМ РАСХОДА МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

Предлагаемая методика корректирования норм расхода экспресс-методом представлена на рис. 2 и включает пять основных этапов.

Сбор исходных данных по фактическому расходу запасных частей и наличию остатков на складе производится на основе выгрузки данных из информационных систем АТП. Расчет потребности в запасных частях для ТО и ТР подвижного состава производится с использованием существующих подходов [8–10]. Сводная таблица результатов формируется по номенклатурным позициям нормативной базы и для каждой позиции содержит: справочную информацию; минимальное, максимальное и средневзвешенное количество остатков на складах;

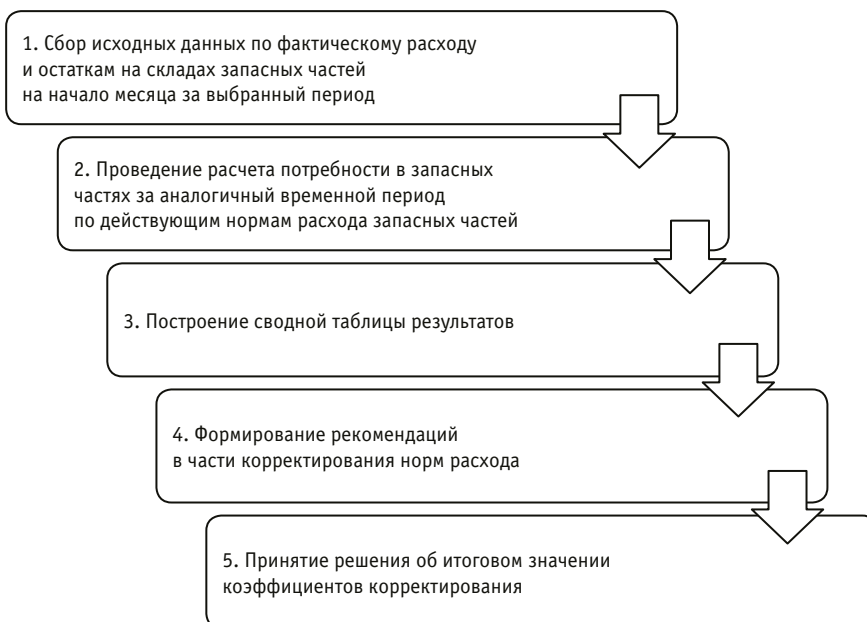


Рис. 2. Основные этапы экспресс-метода корректирования норм расхода запасных частей для подвижного состава АТП

расчетную потребность в запасных частях за рассматриваемый период;

аналитическую часть с рекомендациями (рекомендуемое действие, рекомендуемый коэффициент корректирования и комментарий).

Алгоритм формирования рекомендаций приведен в табл. 2, где используются следующие принятые обозначения:  $R^{\Phi}$  — фактический расход запасных частей, шт.;  $R^P$  — расчетная потребность в запасных частях, шт.;  $\bar{S}$  — средневзвешенные остатки на складе АТП, шт.;  $S^{\max}$  — максимальные остатки на складе АТП, шт.;  $K^H$  — рекомендованный коэффициент корректирования нормы расхода.

Отметим, что в определенных случаях алгоритм может привести к некорректным результатам с точки зрения математических расчетов. Для исключения таких ошибок разработано дополнение к алгоритму, представленное в табл. 3.

Применение предлагаемого алгоритма позволит в короткие сроки обработать большой объем информации и на основе рекомендованных действий, коэффициентов и сформированных пояснений принять в ручном режиме окончательное решение о корректировании норм расхода каждой номенклатурной позиции для текущего ремонта подвижного состава АТП.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АВТОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

На основе представленного алгоритма разработан программный модуль «Формирование рекомендаций по совершенствованию норм расхода материальных ресурсов для технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия» (государственная регистрация программы для ЭВМ, номер регистрации: 2024662709 от 30.05.2024).

Программный модуль позволяет в автоматизированном режиме проводить аналитическую оценку корректности действующих норм расхода запасных частей на основе данных о складских остатках, фактическом расходе, а также на основе расчетных значений расхода запасных частей за рассматриваемый период (рекомендованный период — год).

Разработанный программный модуль внедрен в автобусном АТП в Москве для оптимизации нормативной базы, содержащей около 2 тыс. позиций. Фрагмент выходной формы, полученной при использовании программного модуля, приведен в табл. 4.

При наличии в нормативной базе большого количества номенклатурных позиций сформированная таблица, содержащая рекомендации о необходимости внесения корректиро-

Таблица 2

Алгоритм формирования рекомендаций по корректированию норм расхода запасных частей

Условие		Рекомендации		Пояснение
Оценка значений параметров	$S^{\max} > R^{\Phi}$	Действие	$K^H$	
$\frac{R^{\Phi} - R^P}{R^P} > 0,1$	Да	>	$\frac{R^{\Phi}}{R^P}$	Обоснованное повышение нормы
	Нет			Рекомендованное повышение нормы. Расходятся все остатки
$-0,1 \leq \frac{R^{\Phi} - R^P}{R^P} \leq 0,1$	Да	=	1	Обоснованное сохранение нормы
	Нет	у	—	Требуется уточнение. Максимальные остатки меньше фактического расхода при равенстве фактического и расчетного расхода
$\frac{R^{\Phi} - R^P}{R^P} < -0,1$	Да	<	$\frac{R^{\Phi}}{R^P}$	Обоснованное снижение нормы
	Нет	у	—	Требуется уточнение. Расходятся все остатки

Таблица 3

Дополнение к алгоритму формирования рекомендаций по корректированию норм расхода запасных частей при возникновении нулевых значений параметров

$\bar{S}$	$R^P$	$R^{\Phi}$	Действие	Коэффициент	Пояснение
Произвольное	0	> 0	П	?	Уточнить применимость. Фактический расход имеется, расчетная потребность отсутствует
> 0	0	0	=	1,0	Не востребован. Подтверждается отсутствием расхода при наличии остатков
> 0	> 0	0	<	0,5	Поправочный коэффициент. Остатки присутствуют, фактического расхода нет
0	> 0	0	П	0	Уточнить применимость. Не востребован. Фактического расхода нет, остатков нет
0	0	0	=	1	Не востребован. Подтверждается отсутствием расхода при отсутствии остатков

Таблица 4

Результаты применения алгоритма программного обеспечения (фрагмент выходной формы)

Расходный материал	$S^{\max}$	$\bar{S}$	$R^p$	$R^{\Phi}$	Аналитика		
					Действие	$K^H$	Комментарий
Светодиодный модуль	440	234	159	372	>	2,34	Обоснованное повышение нормы
Подшипник конический роликовый	925	586	386	539	>	1,40	Обоснованное повышение нормы
Вентилятор конденсатора	489	381	200	176	<	0,88	Обоснованное снижение нормы
Вентилятор испарителя сдвоенный	477	460	38	32	<	0,84	Обоснованное снижение нормы
Насос лопастной	294	105	364	286	<	0,79	Обоснованное снижение нормы
Форсунка предпускового подогревателя	451	374	112	79	<	0,71	Обоснованное снижение нормы
Выключатель концевой	5785	5493	1007	491	<	0,49	Обоснованное снижение нормы
Датчик АБС	254	160	173	72	<	0,42	Обоснованное снижение нормы
Омыватель электрический	827	769	361	116	<	0,32	Обоснованное снижение нормы
Ремкомплект осушителя воздуха	1856	1663	414	418	=	1,00	Обоснованное сохранение нормы
Модуль подготовки воздуха	126	64	115	122	=	1,00	Обоснованное сохранение нормы
Подшипник	41	22	130	41	У	–	Требуется уточнение. Расходятся все остатки
Переключатель клавишный АКПП ZF	0	0	48	0	У	–	Уточнить применимость. Не востребован. Фактического расхода нет, остатков нет
Катушка высоковольтная предпускового подогревателя	156	136	0	79	П	?	Уточнить применимость. Фактический расход имеется, расчетная потребность отсутствует

вок в действующие на АТП значения норм расхода запасных частей, позволила оптимизировать процесс совершенствования нормативной базы расхода запасных частей для текущего ремонта подвижного состава.

На завершающем этапе по сделанным рекомендациям выполнена корректировка нормативной базы в ручном режиме.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработан подход эффективного корректирования норм расхода запасных частей для текущего ремонта подвижного состава АТП, что способствует повышению уровня готовности автопарка, сокраще-

нию временных затрат на обслуживание транспортных средств и оптимизации финансовой деятельности предприятия. Разработанный алгоритм позволяет оптимизировать процесс модернизации нормативной базы за счет применения аналитической формы, содержащей рекомендации по изменению норм расхода запасных частей, что создает основу для принятия окончательного решения о корректировании действующих норм в ручном режиме.

Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование алгоритма формирования рекомендаций путем учета дополнительных факторов, определяющих движение запасных частей в АТП.

### Сведения об авторах:

**Никита Васильевич Поживилов**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)

**Григорий Александрович Крылов**, старший преподаватель кафедры «Прикладная математика» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)

### Authors information:

**Nikita V. Pozhivilov**, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of Operation and Servicing of Motor Vehicles Department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

**Grigoriy A. Krylov**, Senior Lecturer of Applied Mathematics Department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

## Литература

1. Юсупова О. В., Сологуб В. А. Теория игр как метод формирования рационального запаса агрегатов на складе автотранспортного предприятия // Символ науки. 2021. № 11-2. С. 30–34. ISSN 2410-700X.
2. Захаров, Н. С., Теньковская С. А., Власов А. В. Совершенствование методики формирования потребности в запасных частях для автомобилей при обслуживании объектов нефтегазодобычи // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. № 2. С. 32–40. DOI: 10.15593/24111678/2019.02.04.
3. Грязнов М. В., Адувалин А. А. Обоснование актуальности совершенствования методического подхода к нормированию технической эксплуатации автобусов // Прогрессивные технологии в транспортных системах : сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Оренбург, 20–22 ноября 2019 г. Оренбург : Изд-во Оренбургского государственного университета, 2019. С. 185–192.
4. Техническая эксплуатация автомобилей / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов [и др.]. Москва : Наука ; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2004. 535 с.
5. Методы определения потребности в запасных частях / Л. И. Тетерин, В. З. Тхагапсоев, П. И. Марченко, Д. Ю. Голубев // Актуальные вопросы совершенствования военной и специальной техники / Под общ. ред. Р. В. Стрельцова. Пермь, 2021. С. 79–82.
6. Повышение эффективности функционирования автомобильного транспорта / А. В. Скрыпников, А. А. Турсунов, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Вестник Таджикского технического университета. 2013. № 1 (21). С. 61–66. ISSN 2075-177X.
7. Кабикенов С. Ж., Кызылбаева Э. Ж., Лажимова А. Б. Анализ методик расчета запасных частей автомобилей // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2017. № 2 (101). С. 79–83. ISSN 1609-1817.
8. Тахтамышев Х. М., Белов С. А., Гукетлев Ю. Х. Обоснование методов прогнозирования потребности в запасных частях автомобилей в условиях функционирования автотранспортных предприятий // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 3. ISSN 2580-0101.
9. Ковалев Р. Н., Степанов А. С., Черницын С. А. Повышение эффективности эксплуатации транспортных средств путем прогнозирования потребности в запасных частях // Фундаментальные исследования. 2014. № 6–7. С. 1361–1364. ISSN 1812-7339.
10. Сарбаев В. И., Гусев А. Г. Расчет показателей надежности заднего моста автобуса в условиях нечеткой формализации параметров отказов // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 1-1 (80). С. 19–27. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-19-27.

## References

1. Yusupova O. V., Sologub V. A. Game theory as a method of forming a rational stock of aggregates in a warehouse of a motor transport enterprise. *Symbol of Science*. 2021. No. 11-2. Pp. 30–34. ISSN 2410-700X. (In Russian).
2. Zaharov N. S., Tenkovskaya S. A., Vlasov A. V. Improvement of the methodology for forming the need for spare parts for cars when servicing oil and gas production facilities. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2019. No 2. Pp. 32–40. DOI: 10.15593/24111678/2019.02.04. (In Russian).
3. Gryaznov M. V., Aduvalin A. A. Substantiation of the relevance of improving the methodological approach to rationing the technical operation of buses. *Advanced technologies in transport systems : proceedings of the 14th International scientific and practical conferences, Orenburg, November 20–22, 2019*. Orenburg : Publishing House of OSU, 2019. Pp. 185–192. (In Russian).
4. Kuznetsov E. S., Boldin A. P., Vlasov V. M. [et al.]. Technical operation of cars. Moscow : Science ; MADI, 2004. 535 p. (In Russian).
5. Teterin L. I., Tkhangapsoev V. Z., Marchenko P. I., Golubev D. Yu. Methods for determining the need for spare parts. *Topical issues of improving military and special equipment : under the general editorship by R. V. Streltsov*. Perm, 2021. Pp. 79–82. (In Russian).
6. Skrypnikov A. V., Tursunov A. A., Kondrashova E. V., Skvortsova T. V. Improving the efficiency of motor transport. *Bulletin of the Tajik Technical University*. 2013. No. 1 (21). Pp. 61–66. ISSN 2075-177X. (In Russian).
7. Kabikenov S. Zh., Kyzylbayeva E. Zh., Lazhimova A. B. Analysis of calculation methods of automotive spare parts. *Bulletin of KazATC*. 2017. No 2 (101). Pp. 79–83. ISSN 1609-1817. (In Russian).
8. Takhtamyshev Kh. M., Belov S. A., Guketlev Yu. Kh. Substantiation of spare parts forecasting methods in the environment of motor transport enterprises. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023. Vol. 15. No 3. ISSN 2588-0101 (In Russian).
9. Kovalev R. N., Stepanov A. S., Chernitsyn S. A. Increase of efficiency of operation of vehicles by forecasting of requirement for spare parts. *Fundamental research*. 2014. No. 6–7. Pp. 1361–1364. ISSN 1812-7339. (In Russian).
10. Sarbaev V. I., Gusev A. G. Calculation of reliability indicators of the rear axle of a bus under conditions of fuzzy formalization of failure parameters. *World transport and technological machinery*. 2023. No. 1-1 (80). Pp. 19–27. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-19-27. (In Russian).

Объем статьи 0,62 авторских листа

Научная статья  
УДК 629.4.053.2

## Способ определения предотказных состояний тяговых двигателей электровоза 2ЭС6 на основе анализа данных бортового регистратора параметров его работы

Николай Олегович Фролов<sup>1</sup>, Евгений Михайлович Елькин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

## Method for determining the pre-failure conditions of traction engines of an electric locomotive 2ES 6 based on the analysis of data from the on-board recorder of its operation parameters

Nikolay O. Frolov<sup>1</sup>, Evgeniy M. Elkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

### Аннотация

На основе статистических данных продемонстрировано, что большое число отказов тяговых электродвигателей электровоза 2ЭС6 связано с ухудшением потенциальных условий на коллекторе, в том числе с развитием круговых огней. Рассмотрены причины развития круговых огней, проанализирована возможность использования данных бортовой диагностики для выявления предотказных состояний двигателя. Предложен способ, позволяющий определять потенциальную устойчивость тягового двигателя на основе сравнения расчетного максимального значения межламельного напряжения с предельным при использовании телеметрических данных электровоза. Приведен фрагмент записи с регистратора системы управления, показан наиболее опасный режим работы двигателя, при котором максимальное межламельное напряжение превышает допустимое значение.

**Ключевые слова:** электровоз 2ЭС6, тяговый электродвигатель, щеточно-коллекторный аппарат, межламельное напряжение, потенциальная устойчивость, круговой огонь

### Abstract

Based on statistical data, it has been demonstrated that a large number of failures of traction electric motors of the 2ES6 electric locomotive is associated with a deterioration in potential conditions on the collector, including the development of circular lights. The reasons for the development of circular lights are considered, the possibility of using on-board diagnostic data to identify pre-failure engine conditions is analyzed. A method is proposed that allows determining the potential stability of a traction motor based on comparing the calculated maximum value of the inter-terminal voltage with the limit value when using telemetry data of an electric locomotive. A fragment of the recording from the control system recorder is shown, the most dangerous operating mode of the engine is shown, in which the maximum inter-terminal voltage exceeds the permissible value.

**Keywords:** electric locomotive 2ES6, traction electric motor, brush collector apparatus, interlample voltage, potential stability, circular fire

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-77-81

**Ш**ирокое использование коллекторных электродвигателей на железнодорожном транспорте обусловлено простотой регулирования скорости вращения и момента на валу, а также невысокой стоимостью изготовления. В то же время эти двигатели не лишены недостатков, главными из которых являются низкая надежность и необходимость частого технического обслуживания из-за отказов коллекторно-щеточного узла.

Например, согласно статистике отказов грузового электровоза 2ЭС6 за 2022 г., порядка 22 % от общего числа отказов приходилось на тяговые электрические двигатели (ТЭД) [1], в том числе на коллекторно-щеточный аппарат — 189 отказов, из которых 29 — по причине возникновения дуговых явлений на коллекторе [2].

Исследование причин возникновения круговых огней начинается с работ В. Ж. Ламме и К. Треттин, в которых явление возникновения искрения на коллекторе объясняется загрязнением межламельного пространства щеточной пылью [3].

Согласно другой теории, предложенной О. Б. Броном и В. С. Александровым и объясняющей коммутационное искрение, круговой огонь развивается из дуги, образующейся под сбегающим краем щетки [4].

Дальнейшие исследования М. Д. Находкина и В. С. Хвостова показали, что круговой огонь может быть спровоцирован случайным фактором, например сгоранием частички щетки или коллекторной пластины в межламельном пространстве [5].

К числу причин возникновения круговых огней на коллекторе ТЭД электровоза 2ЭС6 относятся недостатки, заложенные еще при проектировании электрической машины: заниженный шаг по коллектору, завышенная окружная скорость коллектора, некорректно выбранные параметры компенсационной обмотки [6]. Наряду с этим авторы работ [7, 8] отмечают, что, помимо конструктивных недочетов, к возникновению круговых огней на коллекторе ТЭД электровоза 2ЭС6 приводят эксплуатационные токовые перегрузки.



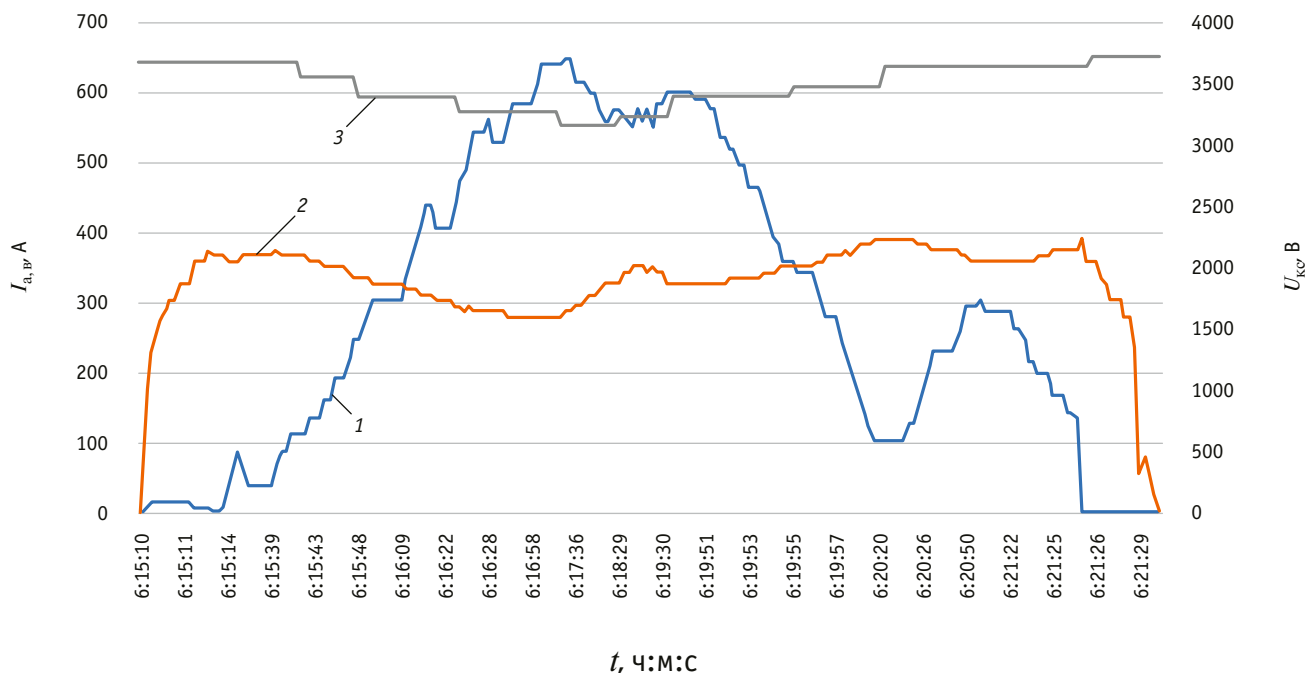


Рис. 1. Фрагмент данных РПМ электровоза 2ЭС6 при следовании в тяговом режиме:

1 — ток якоря тяговых двигателей первой тележки ( $I_a$ );  
2 — ток возбуждения тяговых двигателей первой тележки ( $I_B$ ); 3 — напряжение контактной сети ( $U_{kc}$ )

Дополнительно на величину максимальных межламельных напряжений (МЛН) на коллекторе ТЭД влияют повышенный уровень напряжения в контактной сети, большая скорость вращения якоря, глубокая степень ослабления возбуждения двигателя.

Вышеуказанные параметры входят в перечень регистрируемых данных системой управления электровоза 2ЭС6 [9], поэтому анализ совокупности этих параметров [10] позволит определить режимы движения, в которых велика вероятность возникновения электрической дуги на коллекторе тягового двигателя.

Для формализации такого анализа нами предложен расчет максимального значения межламельного напряжения, учитывающего степень искажения поля в воздушном зазоре при фактически зарегистрированных параметрах работы ТЭД в движении локомотива.

В качестве примера выбран и проанализирован 20-минутный фрагмент данных регистратора параметров микропроцессорной системы управления (РПМ), отражающий работу электровоза 2ЭС6, следовавшего с составом по участку железной дороги в режиме независимого возбуждения ТЭД на 65-й ходовой (безреостатной) позиции управления (рис. 1).

Известно, что максимальный уровень МЛН, согласно [11], определяется как отношение максимального значения магнитодвижущей силы (МДС) в воздушном зазоре к МДС обмотки возбуждения ТЭД, приведенное к межламельному напряжению при расчетной индукции на холостом ходу с учетом коэффициента регулирования возбуждения двигателя ( $\beta = I_B / I_a$ ). Для дальнейшего расчета принято допущение о равенстве МДС обмотки возбуждения двигателя и МДС в воздушном

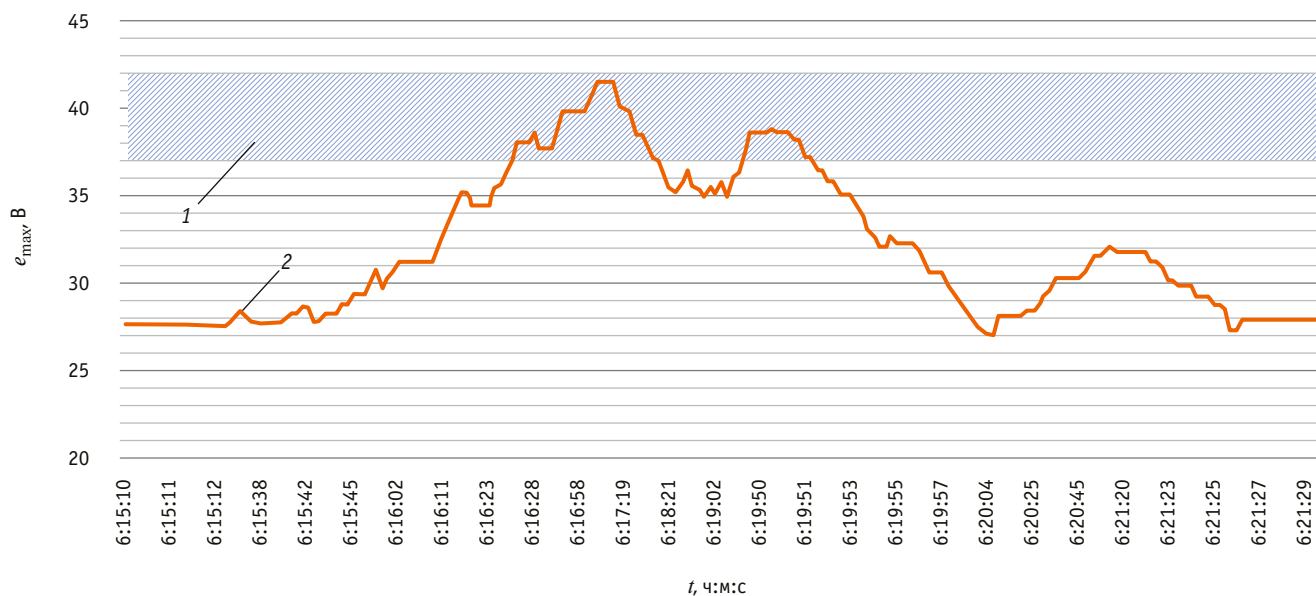
зазоре, так как рассматриваемые исходные данные приведены для режима, в котором магнитная цепь ТЭД не насыщена. С учетом допущения максимальный уровень МЛН определяется из выражения

$$e_{\max} = \frac{e_{cp}}{\alpha_{\delta}} = \frac{\frac{I_B}{I_a} \cdot F_B + \alpha_{\delta} \cdot F_{aq} - F_{ko} + \frac{1}{Z_{ko}} \cdot \alpha_{\delta} \cdot F_{aq}}{\frac{I_B}{I_a} \cdot F_{\delta}}, \quad (1)$$

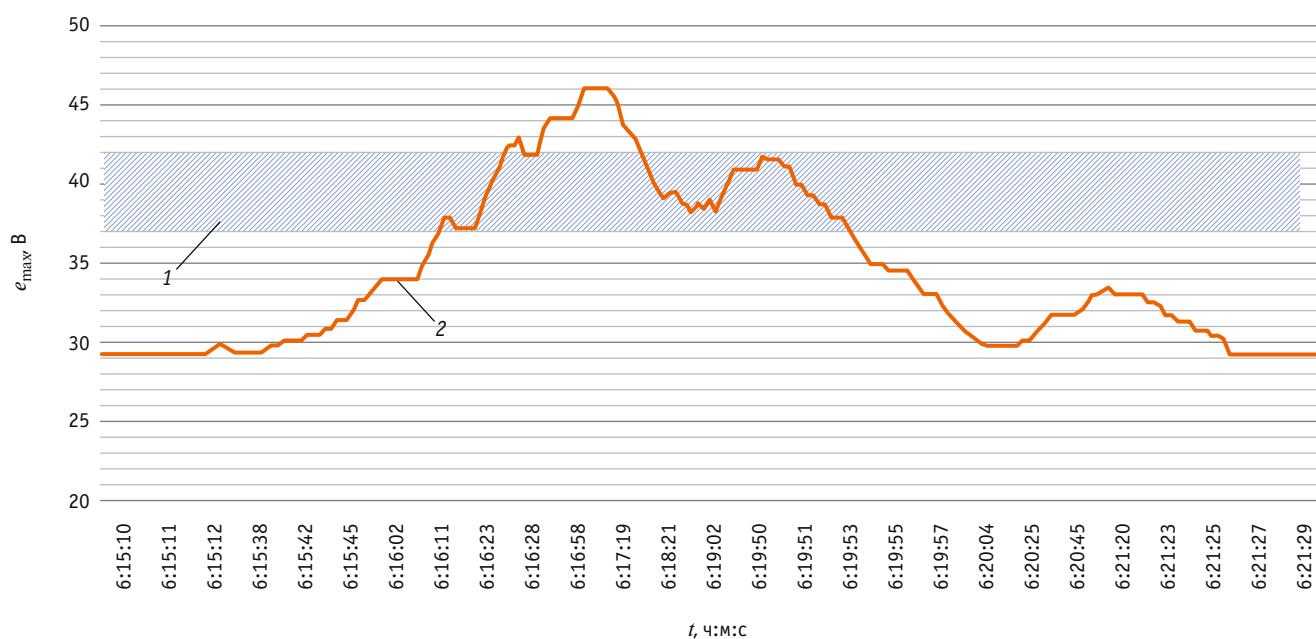
где  $e_{cp}$  — среднее значение МЛН, В;  $\alpha_{\delta}$  — расчетный коэффициент полюсного перекрытия;  $I_B$  — ток возбуждения ТЭД, А;  $I_a$  — ток якоря ТЭД, А;  $F_B$  — МДС обмотки возбуждения, А;  $F_{aq}$  — МДС поперечной реакции якоря, А;  $F_{ko}$  — МДС компенсационной обмотки, А;  $Z_{ko}$  — количество пазов компенсационной обмотки в одном главном полюсе.

В соответствии с информацией о параметрах конструкции ТЭД электровоза 2ЭС6 [12, 13] и исходными данными РПМ (см. рис. 1) по выражению (1) выполнен расчет максимальных значений МЛН (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что при напряжении контактной сети порядка 3500 В (см. рис. 1) и значении коэффициента регулирования возбуждения двигателя ( $\beta \approx 0,5$ ), близком к минимальному ( $\beta_{\min} = 0,3$ ), величина максимального межламельного напряжения  $e_{\max}$  составляет 41,5 В, что всего на 0,5 В меньше предельно допустимого значения по данным М. Д. Находкина [11] и на 5,5 В выше допустимого значения, представленного в работе А. С. Курбасова [14]. На рис. 2 минимальный и максимальный пределы значений допустимых МЛН по оценкам М. Д. Находкина и А. С. Курбасова показаны в виде заштри-



**Рис. 2. Значения максимального МЛН, полученные для электроваза 2ЭС6 в тяговом режиме по данным РПМ:**  
1 — зона ограничения; 2 —  $e_{\max}$



**Рис. 3. Значения максимального МЛН, полученные для электроваза 2ЭС6 в тяговом режиме по данным РПМ при моделировании повышенного напряжения в контактной сети 3900 В:**  
1 — зона ограничения; 2 —  $e_{\max}$

хованной зоны. Нахождение в этой зоне значений максимального МЛН, тем более их выход за верхний предел, ведет к риску развития кругового огня на коллекторе ТЭД при возникновении случайной вспышки в щеточно-коллекторном аппарате двигателя.

Следует отметить, что, согласно ГОСТ 6962-75 [15], максимальное значение напряжения в контактной сети для участков, на которых эксплуатируется подвижной состав с рекупе-

ративным торможением, составляет 4000 В. Это же значение является уставкой защиты от повышенного напряжения в контактной сети на электровазе.

При моделировании значения максимального МЛН по исходным данным рис. 1 с заменой реального значения контактной сети на постоянное величину 3900 В, близкое к предельно допустимому по ГОСТ, получены результаты, представленные на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что при повышенном, но допустимом значении напряжения в контактной сети не обеспечивается даже наиболее оптимистичное ограничение в 42 В. Фактическое максимальное значение МЛН составляет 46 В.

Полученные данные соответствуют утверждению, приведенному в [6], о том, что тяговые двигатели 2ЭС6 теряют потенциальную устойчивость при напряжениях контактной сети выше 3500 В даже в номинальных режимах работы.

С учетом внезапности возникновения кругового огня на коллекторе двигателя можно сделать вывод, что при работе в зоне ограничения максимальных значений МЛН любая искра способна спровоцировать дугообразование в щеточно-коллекторном аппарате и, как следствие, выход ТЭД

из строя. Приведенный расчет позволяет выявить нахождение двигателя в потенциально опасной зоне, а также выход за ее верхние пределы, что открывает возможности для определения режимов, ведущих к дугообразованию на коллекторе тягового двигателя.

Способ количественного анализа потенциальной устойчивости ТЭД на основе сравнения расчетных и предельных значений максимальных межламельных напряжений в дальнейшем будет использоваться в системе определения предотказных состояний тяговых двигателей электровоза. Создание такой системы станет следующим этапом исследований, направленных на повышение эксплуатационной надежности электрооборудования электровозов 2ЭС6.

#### Сведения об авторах:

**Николай Олегович Фролов**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения

**Евгений Михайлович Елькин**, аспирант кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения

#### Authors information:

**Nikolay O. Frolov**, PhD in Engineering, Associate Professor of Electric Traction Department, Ural State University of Railway Transport

**Evgeniy M. Elkin**, postgraduate student of Electric Traction Department, Ural State University of Railway Transport

#### Литература

1. Елькин Е. М., Фролов Н. О. О способах определения износа коммутационных аппаратов электроподвижного состава // Инновационный транспорт. 2023. № 2 (48). С. 57–60. DOI: 10.20291/2311-164X-2023-2-57-60.
2. Кузнецов А. И. Повышение эффективности регулирования тока тяговых двигателей электровоза 2ЭС6 в неустойчивых режимах работы : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург, 2022. 127 с.
3. Хвостов В. С. Электрические машины. Машины постоянного тока. Москва : Высшая школа, 1988. 335 с.
4. Брон О. Б., Александров В. С. Круговой огонь на коллекторе машин постоянного тока // Электричество. 1935. № 3.
5. Находкин М. Д., Хвостов В. С. К вопросу о природе кругового огня на коллекторе высоковольтных машин постоянного тока // Вестник электропромышленности. 1956. № 4.
6. Дурандин М. Г., Иванов И. Г. Анализ потенциальной устойчивости тяговых электродвигателей грузовых электровозов 2ЭС6 // Транспорт Урала. 2015. № 1 (44). С. 84–91. ISSN 1815-9400.
7. Худояров Д. Л., Шатилов Н. Е. Эксплуатационная надежность тяговых электрических машин электровозов серии 2ЭС6 // Инновационный транспорт. 2022. № 2 (44). С. 49–51. DOI: 10.20291/2311-164X-2022-2-49-51.
8. Буйносов А. П., Худояров Д. Л., Тюшев И. А. Разработка алгоритма диагностики тяговых электродвигателей электровозов 2ЭС6 «Синара» // Транспорт Урала. 2021. № 4 (71). С. 74–79. DOI: 10.20291/1815-9400-2021-4-74-79.
9. Регистратор параметров МСУЛ РПМ. Руководство по эксплуатации 07Б.02.00.00 РЭ. URL: <https://www.saut.ru/documents/re/> (дата обращения: 10.07.2024).
10. Елькин Е. М., Фролов Н. О. Аналитическое определение аномальных режимов работы электрического оборудования электровоза 2ЭС6 «Синара» // Инновационный транспорт. 2023. № 4 (50). С. 58–61. DOI: 10.20291/2311-164X-2023-4-58-61.

#### References

1. Elkin E. M., Frolov N. O. On the methods of determining the wear of electric rolling stock switching devices. *Innotrans*. 2023. No. 2 (48). Pp. 57–60. DOI: 10.20291/2311-164X-2023-2-57-60. (In Russian).
2. Kuznetsov A. I. Improving the efficiency of current regulation of traction motors of the 2ES6 electric locomotive in unsteady operating modes : PhD in Engineering Thesis. Ekaterinburg, 2022. 127 p. (In Russian).
3. Khvostov V. S. Electric machines. DC machines. Moscow : Higher School, 1988. 335 p. (In Russian).
4. Bron O. B., Alexandrov V. S. Circular fire on the collector of DC machines. *Electricity*. 1935. No. 3. (In Russian).
5. Nakhodkin M. D., Khvostov V. S. On the nature of the circular fire on the collector of high-voltage DC machines. *Bulletin of electrical industry*. 1956. No. 4. (In Russian).
6. Durandin M. G., Ivanov I. G. Analysis of potential stability of electric traction motors of 2ES6 electric freight locomotive. *Transport of the Urals*. 2015. No. 1 (44). Pp. 84–91. ISSN 1815-9400. (In Russian).
7. Khudoyarov D. L., Shatilov N. E. Operational reliability of traction electric machines of 2ES6 series electric locomotives. *Innotrans*. 2022. No. 2 (44). Pp. 49–51. DOI: 10.20291/2311-164X-2022-2-49-51. (In Russian).
8. Buynosov A. P., Khudoyarov D. L., Tyushev I. A. Development of diagnostics algorithm for electric traction motors of 2ES6 «Sinar» electric locomotives. *Transport of the Urals*. 2021. No. 4 (71). Pp. 74–79. DOI: 10.20291/1815-9400-2021-4-74-79. (In Russian).
9. The registrar of the parameters of the MSUL RPM. Operation Manual 07B.02.00.00 RE. URL: <https://www.saut.ru/documents/re/> (access date: 10.07.2024). (In Russian).
10. Elkin E. M., Frolov N. O. Analytical Identification of Abnormal Regimes of Work of the Electrical Equipment of 2ES6 «Sinar» Electric Locomotive. *Innotrans*. 2023. No. 4 (50). Pp. 58–61. DOI: 10.20291/2311-164X-2023-4-58-61. (In Russian).

11. Проектирование тяговых электрических машин / М. Д. Находкин, Г. В. Василенко, В. И. Бочаров, М. А. Кузорецов. Москва : Транспорт, 1976. 624 с.
12. Брексон В. В. Электровоз 2ЭС6 «Синара». Верхняя Пышма : ООО «Уральские локомотивы», 2015. 328 с.
13. Электровоз 2ЭС6. Руководство по эксплуатации электровоза грузового постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями. Описание и работа преобразователей и электрических машин. 2ЭС6.00.000.000 РЭЗ. Верхняя Пышма, 2008. 156 с.
14. Курбасов А. С. Проектирование тяговых электродвигателей. Москва : Транспорт, 1987. 535 с.
15. ГОСТ 6962-75. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений. Москва : Изд-во стандартов, 1976. 6 с.
11. Nakhodkin M. D., Vasilenko G. V., Bocharov V. I., Kuzorezov M. A. Design of traction electric machines. Moscow : Transport, 1976. 624 p. (In Russian).
12. Brekson V. V. Electric locomotive 2ES6 «Sinara». Verkhnyaya Pyshma : Ural Locomotives LLC, 2015. 328 p. (In Russian).
13. Electric locomotive 2ES6. Manual for the operation of a 2ES6 DC freight electric locomotive with collector traction motors. Description and operation of converters and electrical machines. 2ES6.00.000.000 RE3. Verkhnyaya Pyshma, 2008. 156 p. (In Russian).
14. Kurbasov A. S. Design of traction electric motors. Moscow : Transport, 1987. 535 p. (In Russian).
15. GOST 6962-75. Electrified transport with overhead system power supply. Voltage row. Moscow : Publishing House of Standards, 1976. 6 p. (In Russian).

Объем статьи 0,53 авторских листа

Научная статья  
УДК 629.423

## Модернизация асинхронного электропривода компрессора электровоза

Дмитрий Викторович Ольховатов<sup>1</sup>, Николай Вячеславович Гребенников<sup>1</sup>, Анастасия Владимировна Шевкунова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

## Modernization for asynchronous electric drive of electric locomotive compressor

Dmitriy V. Olkhovатов<sup>1</sup>, Nikolay V. Grebennikov<sup>1</sup>, Anastasiya V. Shevkunova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

### Аннотация

В статье предложено использовать частотный преобразователь, который позволяет плавно повышать частоту переменного напряжения, питающего асинхронный электродвигатель (АД), от нулевого до номинального значения, что обеспечивает ограничение пускового тока без снижения перегрузочной способности АД. Построена математическая модель асинхронного электродвигателя и имитационная модель частотного преобразователя в пакете программ MATLAB. Для проверки влияния различных режимов запуска асинхронного электродвигателя на нагрев обмоток выполнен тепловой расчет. Экономическая целесообразность технических решений представлена в виде расчета срока окупаемости. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании асинхронного электропривода компрессоров электровозов.

**Ключевые слова:** электровоз, вспомогательные машины, привод компрессора, асинхронный электродвигатель, частотный преобразователь, имитационная модель

### Abstract

The article proposes to use a frequency converter that allows you to smoothly increase the frequency of the alternating voltage supplying an asynchronous electric motor (AD) from zero to the nominal value, which limits the inrush current without reducing the overload capacity of the AD. A mathematical model of an asynchronous electric motor and a simulation model of a frequency converter in the MATLAB software package are constructed. To check the effect of various modes of starting an asynchronous electric motor on heating the windings, a thermal calculation was performed, the economic feasibility of technical solutions is presented in the form of a calculation of the payback period. The research results can be used in the design of asynchronous electric drive compressors of electric locomotives.

**Keywords:** electric locomotive, auxiliary machines, compressor drive, asynchronous electric motor, frequency converter, simulation model

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-82-88

Асинхронный электродвигатель благодаря простоте и надежности конструктивного исполнения получил широкое распространение в различных отраслях промышленности [1–4]. Неоспоримые достоинства этого типа электрических машин рассмотрены во многих научных и учебных трудах (например, в [5, 6]). Развитие силовой полупроводниковой электроники позволило использовать асинхронный электропривод, обладающий точностью и гибкостью управления, на подвижном составе отечественного производства.

В последнее десятилетие локомотивный парк ОАО «РЖД» обновляется достаточно быстрыми темпами, только в прошлом году производство тягового подвижного состава в России выросло более чем на 10 % [7]. В том числе в качестве тяговых вместо двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением внедряются асинхронные электродвигатели (АД). Это обусловлено тем, что по сравнению с двигателями постоянного тока они характеризуются большей мощностью при одинаковых габаритах, повышенной надежностью, высоким сроком службы, меньшей стоимостью жизненного цикла, эффективным применением рекуперативного торможения и т.д. Например, асинхронные тяговые двигатели эксплуатируются на магистральных грузовых тепловозах серии 2ТЭ25А «Витязь», электровозах серии 2ЭС5С «Атаман», 2ЭС5 «Скиф», 2ЭС10 «Гранит», 2ЭС7 «Черный гранит», 2ЭС8 «Малахит» (перечислены модели в двухсекционном исполнении), а также на пассажирском электровозе ЭП20 «Олимп». В 2023 г. получил сертификат соответствия изготовленный на НЭВЗе «первый в истории отечественного транспортного машиностроения гибридный электровоз» ЭМКА2 с асинхронным приводом и бортовым накопителем энергии [8].

Особое место в обеспечении надежной и безопасной работы подвижного состава занимают вспомогательные машины. В современных моделях тягового подвижного состава значительная доля электропривода выполнена на основе асинхронного электродвигателя [9–11]. Несмотря на относительную простоту конструкции и системы питания, доля отказов вспомогательных машин в общей статистике отказов оборудования электровозов значительна [12, 13]. Согласно проведенным исследованиям (электровоз ВЛ85) [14], доминирующая часть отказов (81,9 %) приходится на неисправности трехфазных асинхронных двигателей привода компрессоров (рис. 1).



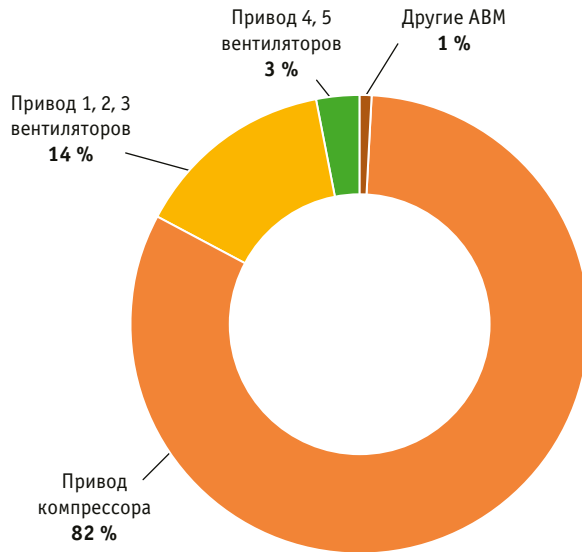


Рис. 1. Отказы асинхронных электродвигателей привода вспомогательных машин электровоза ВЛ85

Компрессор относится к числу важнейших элементов в системе электровозов, главная функция которого состоит в обеспечении необходимого давления воздуха для работы различных пневматических систем и механизмов. Асинхронный электродвигатель привода компрессора характеризуется повторно-кратковременным режимом работы, которому присущи частые пуски и нагрузка пульсирующего типа.

Эмпирическим и теоретическим путем установлено, что увеличение отказов АД находится в прямой корреляционной зависимости от превышения допустимой температуры нагрева таких элементов, как обмотка статора, ротора и подшипников. Наиболее уязвимый элемент АД для привода компрессоров, доля неисправностей которого составляет более 60 % отказов, — обмотка статора, что обусловлено особенностями пуска электродвигателя. Кроме того, среди недостатков АД выделяют высокий пусковой ток, который негативно сказывается на энергетических показателях работы системы. Для решения этой проблемы используются различные способы пуска АД с короткозамкнутым ротором [15, 16].

Запуск электрической машины компрессора КТ-6Эл на электровозах ВЛ85 производится при помощи пусковых конденсаторов. Безусловным их достоинством является невысокая стоимость, недостатками — значительный нагрев двигателя при продолжительной работе и низкий пусковой момент, что в результате постоянной длительной эксплуатации может привести к частым ремонтам или выводу из строя электрической машины.

Поэтому цель исследования, представленного в статье, заключалась в изучении возможности решения перечисленных проблем путем использования частотного преобразователя в качестве устройства плавного пуска, характерной особенностью которого является плавное повышение частоты питающего АД переменного напряжения от нулевого до номинального значения. Работы [17, 18] позволяют сделать вывод, что частотный пуск обеспечивает ограничение пускового тока без снижения при этом перегрузочной способности АД.

Объектом настоящего исследования был электропривод мотор-компрессора (МК) электровоза переменного тока ВЛ85. Проверочный расчет и выбор основных элементов асинхронного электропривода выполнялись по методике, изложенной в [14].

Первоначально была определена расчетная номинальная мощность АД по известной производительности компрессора, равной 3,5 м<sup>3</sup>/мин:  $P_{номд} = 31,53$  кВт. Ввиду специфики работы мотор-компрессора расчетная номинальная мощность АД составила  $P_{номр} = 53,24$  кВт. Исходя из полученного значения был выбран АД типа АНЭ255Л4УХЛ2. Далее была осуществлена проверка выбранного электродвигателя по пусковой и перегрузочной способности при пониженном напряжении питания. Для проверки АД по перегрузочной способности сравнивали максимальный момент, развиваемый компрессором, и максимальный момент, развиваемый электродвигателем. В ходе расчетов было получено неравенство  $M_{максд} > M_c$ , подтверждающее, что АД имеет большой запас по перегрузочной способности:  $1011,8 > 320$  Н·м.

В результате проверки двигателя по условиям пуска при пониженном напряжении сети получены выражения числовых значений моментов:

$$M_{дпуск} = M \cdot \mu_{п} = 210 \cdot 4,6 = 966 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{махпуск} = 2 \cdot M_c = 2 \cdot 320 = 640 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{дпуск} > M_{махпуск}; 966 \geq 640,$$

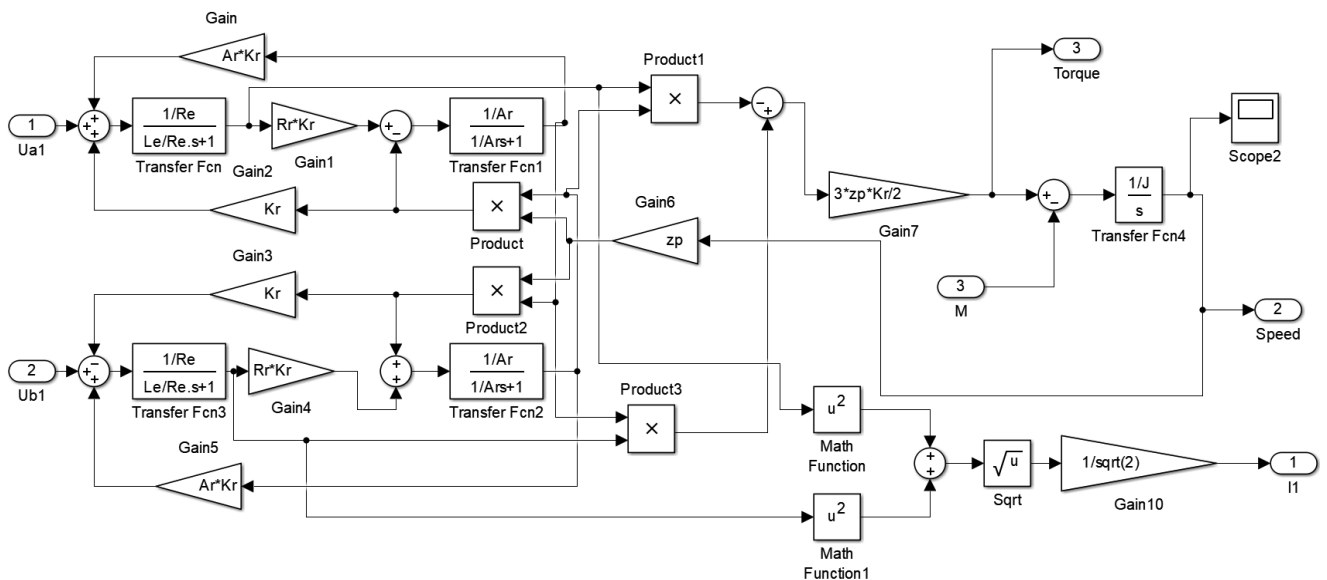
из которых видно, что исследуемый АД обладает достаточным запасом мощности по пуску ( $K_{п} = 1,52$ ), позволяющим запустить компрессор и при нормальных, и при критических условиях.

Чтобы проверить теоретические положения, в пакете программ MATLAB была построена математическая модель АД (рис. 2).

Уравнение для построения модели АД в неподвижных осях  $\alpha - \beta$  имеет следующий вид [19, 20]:

$$\left. \begin{aligned} i_{1\alpha} &= \frac{1/R_e}{(L_e/R_e)p+1} \left( U_{1\alpha} + \frac{K_r}{A_r} \Psi_{2\alpha} - \omega \Psi_{2\beta} K_r \right), \\ i_{1\beta} &= \frac{1/R_e}{(L_e/R_e)p+1} \left( \frac{K_r}{A_r} \Psi_{2\beta} + \omega \Psi_{2\alpha} K_r + U_{1\beta} \right), \\ \Psi_{2\alpha} &= \frac{A_r}{1+A_r p} (K_r R_2 i_{1\alpha} + \omega \Psi_{2\beta}), \\ \Psi_{2\beta} &= \frac{A_r}{1+A_r p} (K_r R_2 i_{1\beta} + \omega \Psi_{2\alpha}), \\ M &= \frac{3}{2} z p \frac{L_m}{L_2} (\Psi_{2\alpha} i_{1\beta} - \Psi_{2\beta} i_{1\alpha}), \\ M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt}. \end{aligned} \right\}$$

При аналитическом описании сделаны следующие допущения, позволяющие упростить модель: обмотки статора и ротора симметричны;



**Рис. 2. Имитационная модель асинхронного электродвигателя**

поверхность статора и ротора принимается гладкой, чем обеспечивается постоянство магнитного сопротивления и собственных индуктивностей обмоток; влияние нелинейности кривой намагничивания не учитывается, потокоцепление считается пропорциональным току; потери на гистерезис и вихревые токи отсутствуют;

напряжение и токи в машине строго синусоидальны.

Имитационная модель частотного преобразователя представлена на рис. 3.

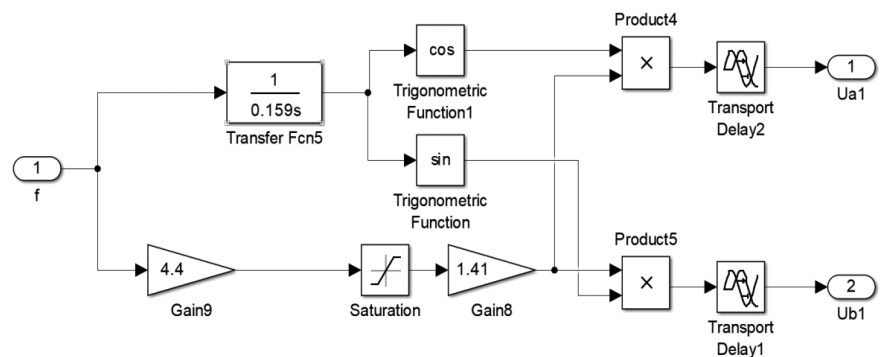
В подсистеме модели преобразователя реализуется закон регулирования

$$U_1(f_1) = U_{1\Phi H} \left( \frac{f_1}{f_{1H}} \right) =$$

$$= 220 \cdot \left( \frac{f_1}{50} \right) = 4,4 \cdot f_1 = \text{const.}$$

Модель преобразователя по заданному закону регулирования формирует двухфазное амплитудное напряжение в координатах  $\alpha - \beta$ , которое подается на вход модели асинхронного электродвигателя.

Блоки Transport Delay (см. рис. 3) вводят задержку сигнала по времени, равную длительности одного такта, при частоте переключения транзисторных ключей 8 кГц. Значения и формулы исходных и расчетных параметров модели приведены в табл. 1.



**Рис. 3. Имитационная модель частотного преобразователя**

Для проверки режимов работы электропривода компрессора была собрана модель, представленная на рис. 4.

Форма момента электродвигателя для углов поворотов компрессора взята из работы [21], значения масштабированы до расчетного значения момента сопротивления компрессора КТ-6Эл. График изменения момента нагрузки от угла поворота приведен на рис. 5.

Модель состоит из трех АД. Первый подвергается прямому пуску, запуск второго и третьего производится с помощью задатчиков интенсивности, которые формируют линейно возрастающие сигналы задания частот для частотных преобразователей, питающих асинхронные электродвигатели. Выход на номинальную частоту вращения при прямом пуске происходит в течение 1 с, для второго двигателя — 1,5 с, для третьего — 2,5 с (рис. 6а). Гра-

фики фазных токов для пуска асинхронного электродвигателя компрессора при различной интенсивности задания частоты (рис. 6б) показывают, что прямой пуск электродвигателя приводит к возрастанию пускового тока на величину, превышающую номинальное значение более чем в пять раз. Такой режим работы электродвигателя может вызвать перегрев изоляции обмоток и их пробой, что выведет из строя электродвигатель и, как следствие, компрессор, соответственно дальнейшая эксплуатация электровоза будет невозможна. Согласно графикам электромагнитного момента асинхронного электродвигателя при различных режимах запуска (рис. 6в), прямой пуск дает сильное колебание момента в процессе разгона, что приводит к дополнительной механической и вибрационной нагрузке конструкции компрессора.

Таблица 1

Параметры модели асинхронного электродвигателя

Исходные параметры	Значение
Номинальная мощность $P$ , Вт	50000
Частота сети $f$ , Гц	50
Активное сопротивление статора $R_s$ , Ом	0,0429
Активное сопротивление ротора $R_r$ , Ом	0,0875
Индуктивность рассеяния обмотки статора $L_{s\sigma}$ , Гн	0,000413
Индуктивность рассеяния обмотки ротора $L_{r\sigma}$ , Гн	0,0003883
Индуктивность намагничивающего контура, $L_m$ , Гн	0,01098
Число пар полюсов $z_p$	1
Момент инерции $J$ , кг·м <sup>2</sup>	1
Расчетные параметры	Формулы
Полная индуктивность обмотки статора $L_s$ , Гн	$L_s = L_{s\sigma} + L_m$
Полная индуктивность обмотки ротора $L_r$ , Гн	$L_r = L_{r\sigma} + L_m$
Электромагнитная постоянная времени ротора $A_r$ , с	$A_r = R_r / L_r$
Частота вращения ротора $W_{ref}$ , рад/с	$W_{ref} = 2 \cdot \pi \cdot f$
Номинальный момент $M_n$ , Н·м	$M_n = P / W_{ref}$
$K_r$	$K_r = L_m / L_r$
$R_e$ , Ом	$R_e = R_s + R_r \cdot (K_r^2)$
$L_e$ , Гн	$L_e = L_s - (L_m^2) / L_r$

Чтобы определить влияние различных режимов запуска АД на нагрев его лимитирующих элементов (обмоток), по методике [14] был выполнен тепловой расчет.

В расчетах приняты следующие обозначения:  $\tau_p$  — начальный перегрев, °С;  $t_1$  — время откачки, с;  $t_2$  — время выключения, с;  $T_1$  — расчетное значение по-

стоянной времени нагревания, с;  $T_2$  — расчетное значение постоянной времени остывания, с.

По полученным данным построены зависимости перегрева обмотки АД от количества циклов и времени пуска (рис. 7).

Как видно из рис. 7а, прямой пуск электродвигателя приводит к быстрому росту температуры обмоток, что может вывести из строя электродвигатель уже после 20 циклов. При плавном пуске через задатчики интенсивности и частотном преобразовании выхода температуры обмоток за пределы безопасного диапазона не происходит.

Описанный способ пуска АД при небольших в масштабах стоимости электровоза затратах способен значительно повысить надежность работы компрессорной установки и, как следствие, электровоза в целом.

На заключительном этапе исследования выполнен расчет ожидаемого срока окупаемости предлагаемой модернизации для одной секции электровоза:

$$T_{ок} = \frac{K_{мод}}{\Theta_{год}},$$

где  $K_{мод}$  — единовременные капитальные вложения в модернизацию схемы

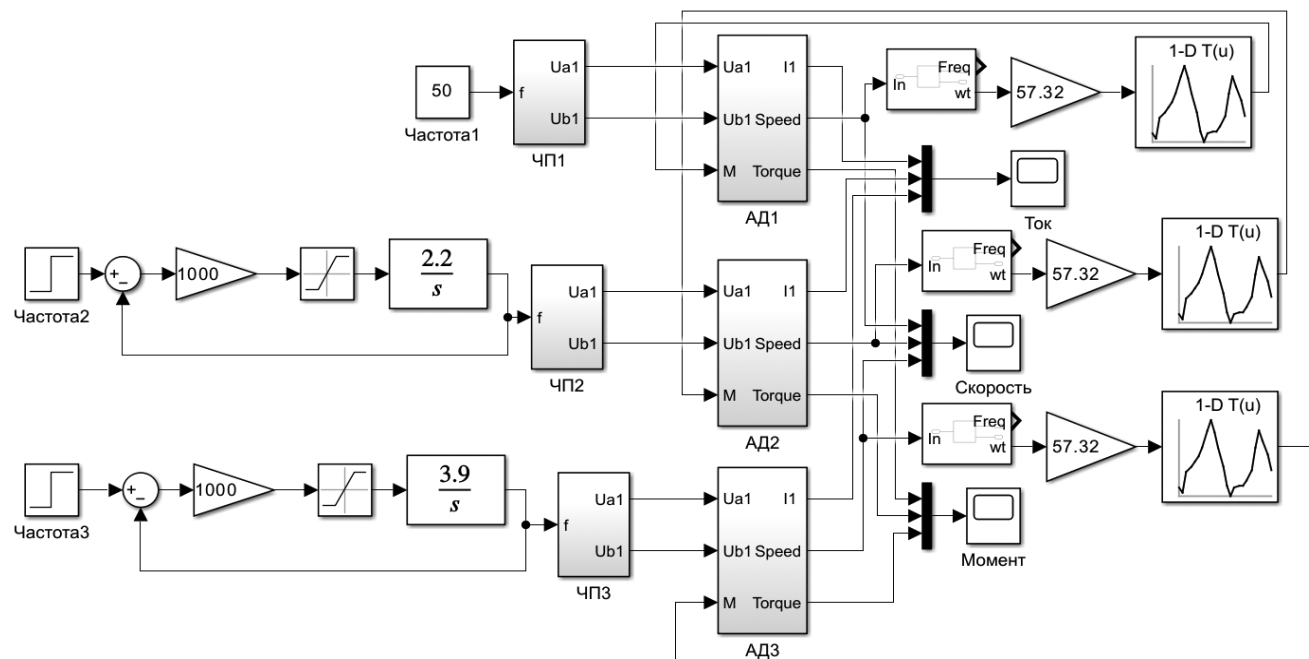


Рис. 4. Имитационная модель электропривода компрессора

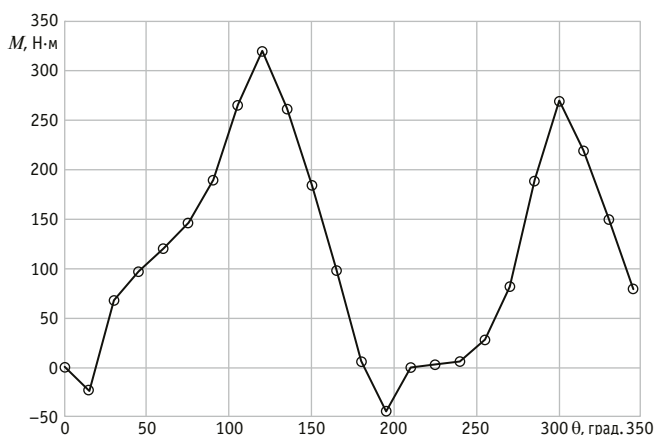


Рис. 5. График изменения момента нагрузки от угла поворота

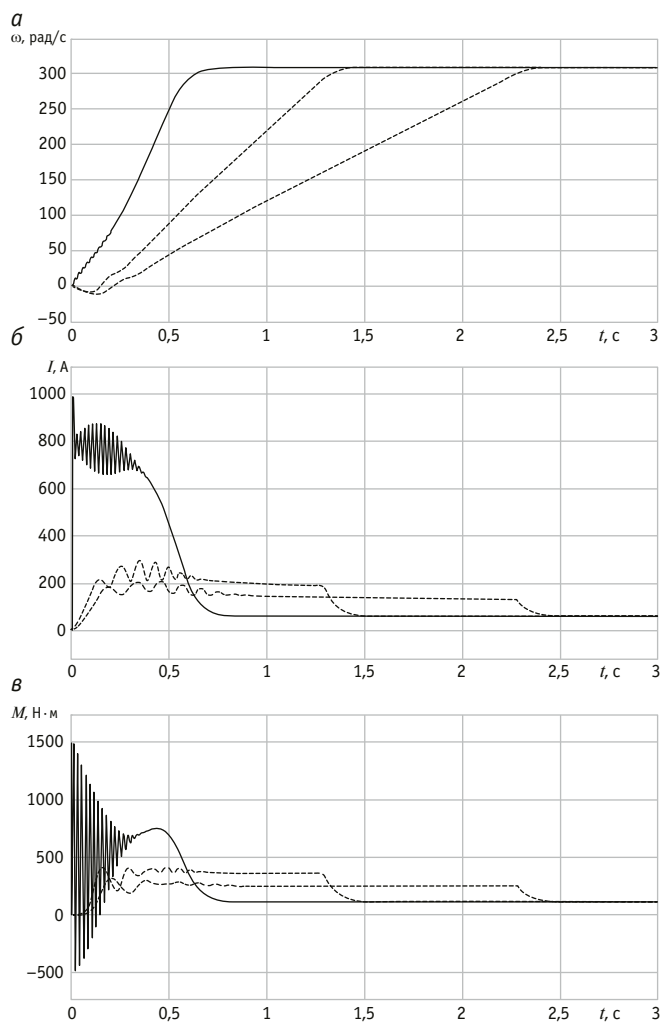


Рис. 6. Результаты моделирования:

а — графики частот вращения электродвигателя компрессора при различном времени пуска; б — графики фазных токов для пуска АД компрессора при различной интенсивности задания частоты; в — графики электромагнитного момента АД при различных режимах запуска

пуска АД привода мотор-компрессора (около 180 000 руб.);  $\mathcal{E}_{\text{год}}$  — среднегодовая экономия от предлагаемого технического решения, руб.

Согласно статистическим данным [22], количество отказов мотор-компрессоров электровозов переменного тока за три года составило 5,2 (абсолютное значение). С учетом того что стоимость ремонта (без замены подшипников) одного АД мощностью 55 кВт равна 70 000 руб., вложения в ремонт 5,2 единиц МК за три года составят  $5,2 \cdot 70000 = 364\,000$  руб., за один год — соответственно 121 333 руб., т.е. срок окупаемости  $T_{\text{ок}} = 180\,000/121\,333 \approx 1,5$  года.

Таким образом, сравнение полученного значения срока окупаемости (1,5 года) с нормативным (6 лет) дает основание сделать вывод об экономической целесообразности и эффективности предлагаемых технических решений.

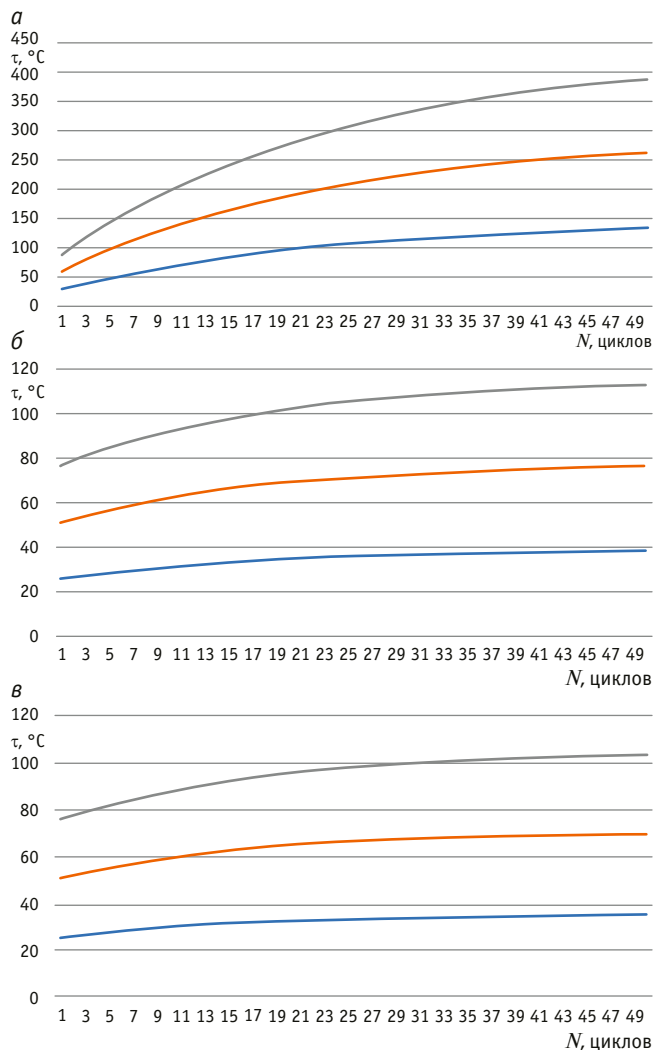


Рис. 7. Результаты теплового расчета:

а — перегрев обмоток в зависимости от количества циклов при прямом пуске; б, в — перегрев обмоток в зависимости от количества циклов при времени пуска 1,5 и 2,5 с соответственно:  
—  $\tau_M$ ; —  $\tau_2$ ; —  $\tau_3$

#### Сведения об авторах:

**Дмитрий Викторович Ольховатов**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Ростовского государственного университета путей сообщения

**Николай Вячеславович Гребенников**, доктор технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Ростовского государственного университета путей сообщения

**Анастасия Владимировна Шевкунова**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Ростовского государственного университета путей сообщения

#### Authors information:

**Dmitriy V. Olkhovатов**, PhD in Engineering, Associate Professor of Traction Rolling Stock Department, Rostov State Transport University

**Nikolay V. Grebennikov**, DSc in Engineering, Associate Professor of Traction Rolling Stock Department, Rostov State Transport University

**Anastasiya V. Shevkunova**, PhD in Engineering, Associate Professor of Traction Rolling Stock Department, Rostov State Transport University

## Литература

1. Карандей В. Ю., Афанасьев В. Л., Карандей Ю. Ю. Исследование изменения электромагнитных параметров специальных асинхронных электрических приводов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 8. С. 573–579.
2. Лувишис А. Л. Асинхронный тяговый привод: начало пути // Локомотив. 2017. № 1 (721). С. 44–46. ISSN 0869-8147.
3. Манило И. И., Воинков В. П. Эффективность использования асинхронного короткозамкнутого электродвигателя в силовом приводе правильного агрегата в условиях АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 3 (31). С. 59–64. ISSN 2227-4227.
4. Исследование возможности применения линейного асинхронного двигателя для привода пильного суппорта обрезающего станка / А. Е. Алексеев, С. В. Петухов, Н. Б. Баланцева [и др.] // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 19. С. 107–115. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-19-107-115.
5. Брейдо И. В., Кунтуш Е. В., Баясилова З. А. Сравнение систем электроприводов в промышленности // Автоматика. Информатика. 2021. № 1-2. С. 45–48. ISSN 1560-7305.
6. Грищенко А. В., Стрекопытов В. В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. Москва : Академия, 2005. 320 с.
7. Выпуск локомотивов в 2023 году вырос более чем на 10 %. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/reviews/vypusk-lokomotivov-v2023-godu-vyros-bolee-chem-na-10/> (дата обращения: 23.03.2024).
8. Изготовленный на НЭВЗе гибридный электровоз ЭМКА2 получил сертификат соответствия. URL: <https://www.nvgazeta.ru/news/12376/627666/> (дата обращения: 23.03.2024).
9. Космодамианский А. С., Воробьев В. И., Пугачев А. А. Тяговый и вспомогательный привод локомотивов с асинхронными двигателями // Локомотив. 2019. № 3 (747). С. 30–34. ISSN 0869-8147.
10. Ольховатов Д. В., Шевкунова А. В. Разработка энергоэффективного асинхронного электропривода мотор-вентилятора электровоза // Вестник УрГУПС. 2023. № 3 (59). С. 46–55. DOI: 10.20291/2079-0392-2023-3-46-55.
11. Ольховатов Д. В., Шевкунова А. В., Донченко А. В. Синтез электропривода вентилятора для охлаждения тяговых электродвигателей // Приводы и компоненты машин. 2023. № 1-3 (40). С. 6–10. ISSN 2223-1587.

## References

1. Karandey V. Yu., Afanasiev V. L., Karandey Yu. Yu. Research of change of electromagnetic parameters of special asynchronous electric drives. *Proceedings of the Tula State University. Technical sciences*. 2023. No. 8. Pp. 573–579. (In Russian).
2. Luvishis A. L. Induction traction drive: the beginning of the path. *Locomotive*. 2017. No. 1 (721). Pp. 44–46. ISSN 0869-8147. (In Russian).
3. Manilo I. I., Voinkov V. P. Efficiency of use asynchronous short-closed motor in the power drive of the right unit under the conditions of the agricultural complex. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2019. No. 3 (31). Pp. 59–64. ISSN 2227-4227. (In Russian).
4. Alekseev A. E., Petukhov S. V., Balantseva N. B. [et al.]. Research of the possibility of using a linear asynchronous motor to drive the saw support of an edger. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023. No. 19. Pp. 107–115. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-19-107-115. (In Russian).
5. Breido I. V., Kuntush E. V., Bayasilova Z. A. Comparison of electric drive systems in industry. *Automatics Computer Science*. 2021. No. 1-2. Pp. 45–48. ISSN 1560-7305. (In Russian).
6. Grishchenko A. V., Strekopytov V. V. Electric machines and converters of rolling stock. Moscow : Academy, 2005. 320 p. (In Russian).
7. The production of locomotives in 2023 increased by more than 10 %. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/reviews/vypusk-lokomotivov-v2023-godu-vyros-bolee-chem-na-10/> (access date: 23.03.2024). (In Russian).
8. The hybrid electric locomotive EMKA2 constructed at NEVZ has received a certificate of conformity. URL: <https://www.nvgazeta.ru/news/12376/627666/> (access date: 23.03.2024).
9. Kosmodamianskiy A. S., Vorobyev V. I., Pugachev A. A. Traction and auxiliary drive of locomotives with induction motors. *Locomotive*. 2019. No. 3 (747). Pp. 30–34. ISSN 0869-8147. (In Russian).
10. Olkhovатов D. V., Shevkunova A. V. Development of the energy-efficient asynchronous electric drive of a locomotive blower motor. *Herald of the USURT*. 2023. No. 3 (59). Pp. 46–55. DOI: 10.20291/2079-0392-2023-3-46-55. (In Russian).
11. Olkhovатов D. V., Shevkunova A. V., Donchenko A. V. Synthesis of electric fan drive for cooling traction motors. *Machine drives and parts*. 2023. No. 1-3 (40). Pp. 6–10. ISSN 2223-1587. (In Russian).



12. Выжимова В. Н. Комплексная оценка факторов, влияющих на надежность асинхронных вспомогательных машин электровозов переменного тока, определение основных причин отказов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 3 (39). С. 205–209. ISSN 1813-9108.
13. Надежность асинхронных вспомогательных машин электровозов / А. М. Худоногов, Д. А. Оленцевич, Е. М. Лыткина, В. Н. Иванов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 4 (36). ISSN 1814-3520.
14. Проектирование асинхронного электропривода вспомогательных механизмов ЭПС. Примеры выполнения проектов по модернизации асинхронного электропривода вспомогательных механизмов ЭПС / В. В. Макаров, И. А. Худоногов, В. П. Смирнов, Е. М. Лыткина. Иркутск : ИрГУПС, 2010. 180 с.
15. Афлятунов И. Ф. Асинхронный электропривод с конденсаторным пуско-компенсирующим устройством : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ульяновск, 2016. 181 с.
16. Достоинства и недостатки современных устройств плавного пуска электродвигателей / А. В. Масенко, В. А. Скворцов, Н. И. Сбитнева, В. А. Щебетеев // Проблемы научной мысли. 2019. Т. 1. № 3. С. 59–65. eISSN 1561-6916.
17. Масандилов Л. Б., Москаленко В. В. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. Москва : Энергия, 1978. 96 с.
18. Осипов О. И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Москва : МЭИ, 2004. 80 с.
19. Ключев В. И. Теория электропривода. Москва : Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
20. Калачев Ю. Н., Онищенко Б. Г. Системы управления и моделирование электропривода. Москва : ДМК Пресс, 2022. 154 с.
21. Завьялов Е. М. Выбор электропривода для компрессорных машин и установок. Омск, 1989. 28 с.
22. Иванов П. Ю. Повышение эксплуатационной надежности асинхронных вспомогательных машин магистральных электровозов переменного тока : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск, 2015. 198 с.
12. Vyzhimova V. N. Comprehensive estimation of factors affecting safety of AC electric locomotives asynchronous auxiliary machines, determination of the main reasons for refusals. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2013. No. 3 (39). Pp. 205–209. ISSN 1813-9108. (In Russian)
13. Hudonogov A. M., Olentsevich D. A., Litkina E. M., Ivanov V. N. Reliability of asynchronous auxiliary machines of electric locomotives. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2008. No. 4 (36). ISSN 1814-3520. (In Russian).
14. Makarov V. V., Khudonogov I. A., Smirnov V. P., Lytkina E. M. Design of asynchronous electric drive of auxiliary mechanisms of electric rolling stock. Examples of projects for the modernization of asynchronous electric drive of auxiliary mechanisms of electric rolling. Irkutsk : Irkutsk State Transport University, 2010. 180 p. (In Russian).
15. Aflyatunov I. F. Asynchronous electric drive with capacitor starting and compensating device : PhD in Engineering Thesis. Ulyanovsk, 2016. 181 p. (In Russian).
16. Masenko A. V., Skvortsov V. A., Sbitneva N. I., Shchebeteyev V. A. Advantages and disadvantages of modern soft-start devices for electric motors. *Problems of scientific thought*. 2019. Vol. 1. No. 3. Pp. 59–65. eISSN 1561-6916. (In Russian).
17. Masandilov L. B., Moskalenko V. V. Speed control of asynchronous motors. Moscow : Energy, 1978. 96 p. (In Russian).
18. Osipov O. I. Frequency-controlled asynchronous electric drive. Moscow : Moscow Power Engineering Institute, 2004. 80 p. (In Russian).
19. Klyuchev V. I. Theory of electric drive. Moscow: Energoatomizdat, 2001. 704 p. (In Russian).
20. Kalachev Yu. N., Onishchenko B. G. Control systems and electric drive modeling. Moscow : DMK Press, 2022. 154 p. (In Russian).
21. Zavyalov E. M. Choice of electric drive for compressor machines and installations. Omsk. 1989. 28 p. (In Russian).
22. Ivanov P. Yu. Improving the operational reliability of asynchronous auxiliary machines of mainline electric locomotives of alternating current : PhD in Engineering Thesis. Irkutsk, 2015. 198 p. (In Russian).

Объем статьи 0,8 авторских листа

Научная статья

УДК 629.4

## Способ полезной утилизации тепловой энергии отработавших газов энергетической установки маневрового тягового автономного подвижного состава с методикой определения его эффективности

Владислав Сергеевич Просвирнин<sup>1</sup><sup>1</sup>Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

## A method for the useful utilization of thermal energy from exhaust gases of a shunting traction autonomous rolling stock power plant with a methodology for determining its effectiveness

Vladislav S. Prosvirnin<sup>1</sup>,<sup>1</sup>Samara State Transport University, Samara, Russia

### Аннотация

Статья посвящена полезной утилизации теплоты отработавших газов на тяговом автономном подвижном составе. Предложена система, работающая по принципу абсорбционной холодильной машины. Представлена схема, позволяющая круглогодично утилизировать теплоту выхлопных газов энергетических установок тягового автономного подвижного состава (как дополнительный охладитель водяной системы в летнее и как послепусковой подогреватель в зимнее время). Рассмотрено несколько способов формулировки уравнения теплового баланса тепловозного дизеля, на основе которых разработана методика определения эффективности предложенной системы по сокращению топливно-энергетических ресурсов на привод вентилятора холодильника.

**Ключевые слова:** утилизация отработавших газов, абсорбционные холодильные машины, энергетическая установка тепловоза, система охлаждения дизеля, подогреватель дизеля

### Abstract

The article is devoted to the useful utilization of exhaust gas heat on traction autonomous rolling stock. A system operating on the principle of an absorption refrigerating machine is proposed. A scheme is presented that allows year-round utilization of exhaust heat from power plants of traction autonomous rolling stock: as an additional cooler of the water system in summer and as an after-start heater in winter. Several ways of formulating the thermal balance equation of a diesel locomotive are considered, on the basis of which a method for determining the effectiveness of the proposed system for reducing fuel and energy resources for the drive of a refrigerator fan is developed.

**Keywords:** exhaust gas disposal, absorption refrigerating machines, diesel locomotive power plant, diesel cooling system, diesel heater

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-89-95

Повышение энергетической эффективности двигателей внутреннего сгорания относится к числу важнейших направлений в работе локомотивного хозяйства ОАО «РЖД» и других эксплуатантов тягового автономного подвижного состава (ТАПС).

Одним из факторов, ограничивающих повышение энергетической эффективности ТАПС, является то, что значительная часть энергии, вводимой с топливом, теряется с выхлопными газами. Потери теплоты с отработавшими газами в дизельных энергетических установках могут варьировать от 28 до 43 % в зависимости от режима работы тепловоза — позиции контроллера машиниста (ПМК) и температуры атмосферного воздуха. Несмотря на наличие газотурбинного наддува в энергетических установках ТАПС, при котором часть энергии отработавших газов используется в турбокомпрессоре, потеря теплоты с газами аналогична, а нередко и больше, чем в двигателях без наддува. Это объясняется тем, что в турбине преобразуется незначительная часть тепловой энергии выпускаемых газов, теряемая в ней теплота в основном зависит от разности давления газов на входе и выходе, в то же время уменьшается ее потеря с охлаждающей жидкостью [1].

Одно из известных технических решений для полезной утилизации бросовой тепловой энергии — использование абсорбционных холодильных машин (АБХМ). Известны технические решения для генерации холода на промышленных объектах, речных и морских судах [2–6].

Бромистолитиевые АБХМ имеют ряд преимуществ перед другими типами машин, таких как более качественные технико-экономические показатели, низкий уровень шума, компактность, взрыво- и пожаробезопасность.

Абсорбционная холодильная машина функционирует следующим образом. В кипятильнике-генераторе находится слабый раствор бромида лития, тепло, подведенное извне, нагревает его, и вода начинает испаряться, создавая повышенное давление, а концентрированный раствор через вентиль сливается

в абсорбер. Далее в конденсаторе водяной пар конденсируется, распыляясь через дроссель в испаритель, под действием избыточного давления, создаваемого в генераторе посредством парообразования. Попадая на поверхность испарителя при давлении 0,1 от атмосферного, вода закипает, отводя тепло. Получившиеся водяные пары поглощаются в результате химической реакции концентрированным раствором бромида лития, попадающим в абсорбер из генератора-кипятильника, поддерживая разрежение в испарителе. Затем слабый раствор бромида лития перекачивается центробежным насосом в генератор-кипятильник, и цикл замыкается [7]. Холодильный цикл одноступенчатой АБХМ представлен на рис. 1.

К настоящему времени разработана АБХМ с конденсатором воздушного охлаждения [9]. Расположение дополнительной площади теплообмена над капотом тепловоза в габарите подвижного состава для конденсации паров воды совместно с теплообменником между растворами, поступающими в абсорбер, и дополнительными ребрами охлаждения на нем с обдувом воздухом позволит полностью исключить контакт греющихся частей АБХМ и водяной системы тепловоза. Таким образом, низкопотенциальная тепловая энергия атмосферы, отводящая тепло от конденсатора и абсорбера, даст возможность производить высокопотенциальную энергию в испарителе для отвода тепла от воды в системе охлаждения.

Одним из недостатков АБХМ является то, что в климатических условиях Российской Федерации их полезная работа

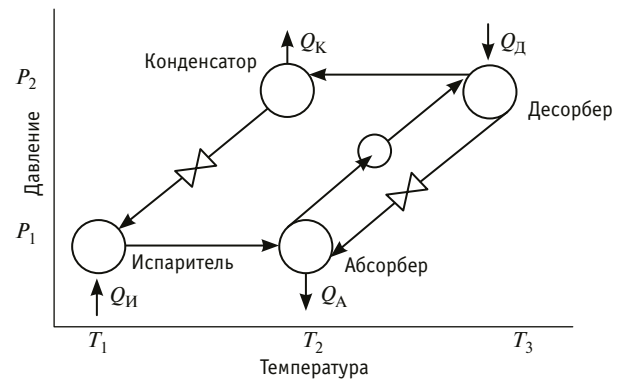


Рис. 1. Холодильный цикл одноступенчатой абсорбционной холодильной машины [8]

ограничивается летним периодом эксплуатации. Поэтому на основании устройства, описанного в патенте [3] и представляющего собой одноступенчатую бромистолитиевую АБХМ, предлагается система (рис. 2), позволяющая круглогодично использовать АБХМ на маневровом подвижном составе.

В летний период система работает как абсорбционная холодильная машина, поддерживающая запас холодной воды в резервном баке 15 с температурой ниже атмосферной. На техническом обслуживании перед наступлением летнего периода через концевой кран 17 с помощью насоса 6 генера-

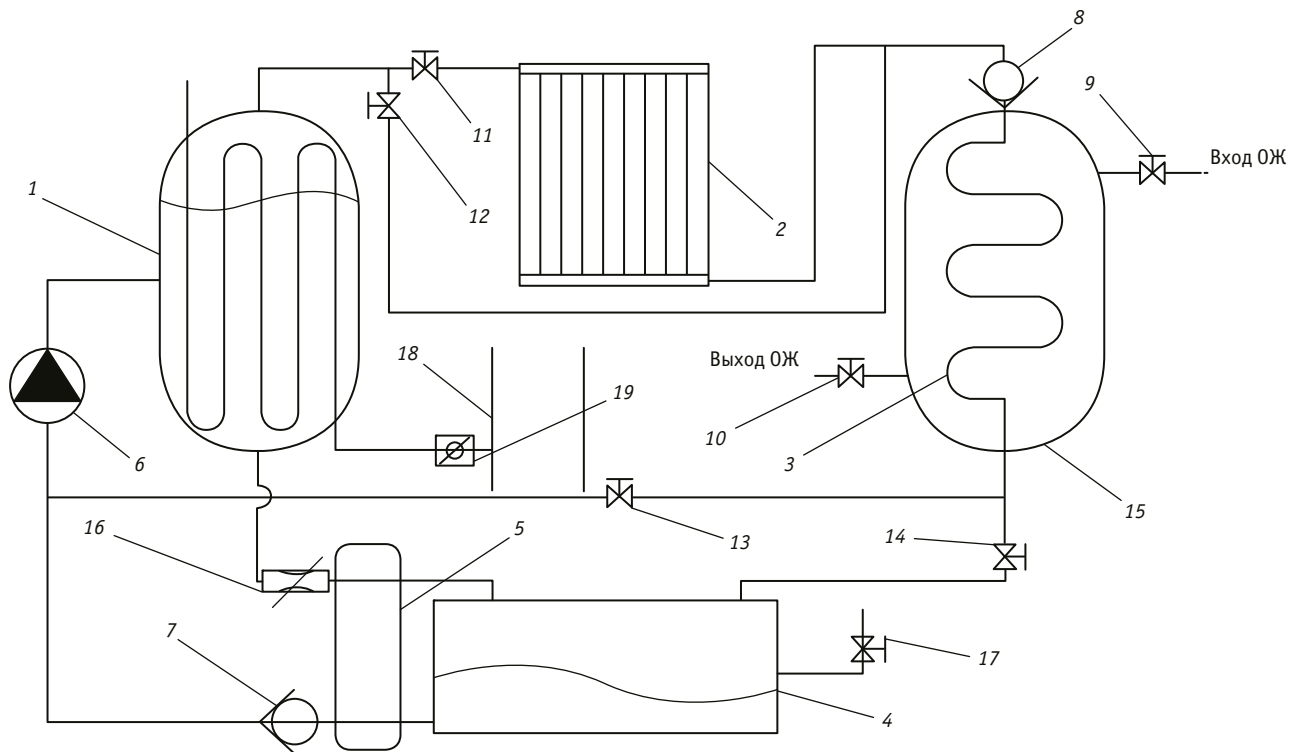


Рис. 2. Система круглогодичного использования АБХМ на маневровом тяговом автономном подвижном составе:

- 1 — генератор; 2 — конденсатор; 3 — испаритель; 4 — абсорбер; 5 — теплообменник; 6 — электрический циркуляционный насос; 7, 8 — обратные клапаны; 9, 10 — управляемые вентили водяной системы тепловоза; 11–14 — запорные вентили; 15 — резервный бак; 16 — электроуправляемый дроссель; 17 — концевой кран; 18 — выхлопная труба; 19 — дроссельная заслонка

тор 1 частично заполняется слабым раствором бромида лития. Далее перекрываются запорные вентили 12 и 13, при этом открываются запорные вентили 11 и 14. Через концевой кран 17 с помощью воздушного компрессора осуществляется разрежение между генератором и конденсатором, испарителем и абсорбером. Разность давлений генератора и конденсатора, испарителя и абсорбера обеспечивается обратными клапанами 7 и 8, что позволяет системе работать как абсорбционная холодильная машина. В процессе работы дизеля выхлопные газы из выхлопной трубы 18, объемный расход которых регулируется дроссельной заслонкой 19, нагревают генератор 1, испаряя воду из слабого раствора бромида лития. Пары воды под давлением конденсируются в конденсаторе 2 и через обратный клапан 8 поступают в испаритель 3, где происходит их испарение за счет низкого давления с последующим отводом тепла от резервуара с водой, окружающего испаритель. С помощью электроуправляемых вентилей 9, 10 через резервный бак 15 с холодной водой при необходимости осуществляется перепуск воды из холодного или горячего контуров тепловоза. Параллельно крепкий раствор бромида, охлаждение которого происходит за счет теплообменника 5, через электроуправляемый дроссель сливается в абсорбер 4. В процессе абсорбции пары воды из испарителя 3 поглощаются, слабый раствор бромида лития через обратный клапан 7 перекачивается насосом 6 в генератор 1, и процесс замыкается с последующим повторением.

В зимний период система работает как промежуточный теплообменник, поддерживающий запас горячей воды в резервном баке 15 с температурой выше атмосферной. Согласно диаграмме фазового состояния раствора бромида лития (рис. 3), температура его застывания ниже, чем у воды, что позволяет использовать его в качестве теплоносителя.

На техническом обслуживании перед наступлением зимнего периода предлагается при открытии концевой крана 17 осуществить выравнивание давления между генератором и конденсатором, испарителем и абсорбером за счет атмосферного давления. Далее открыв-

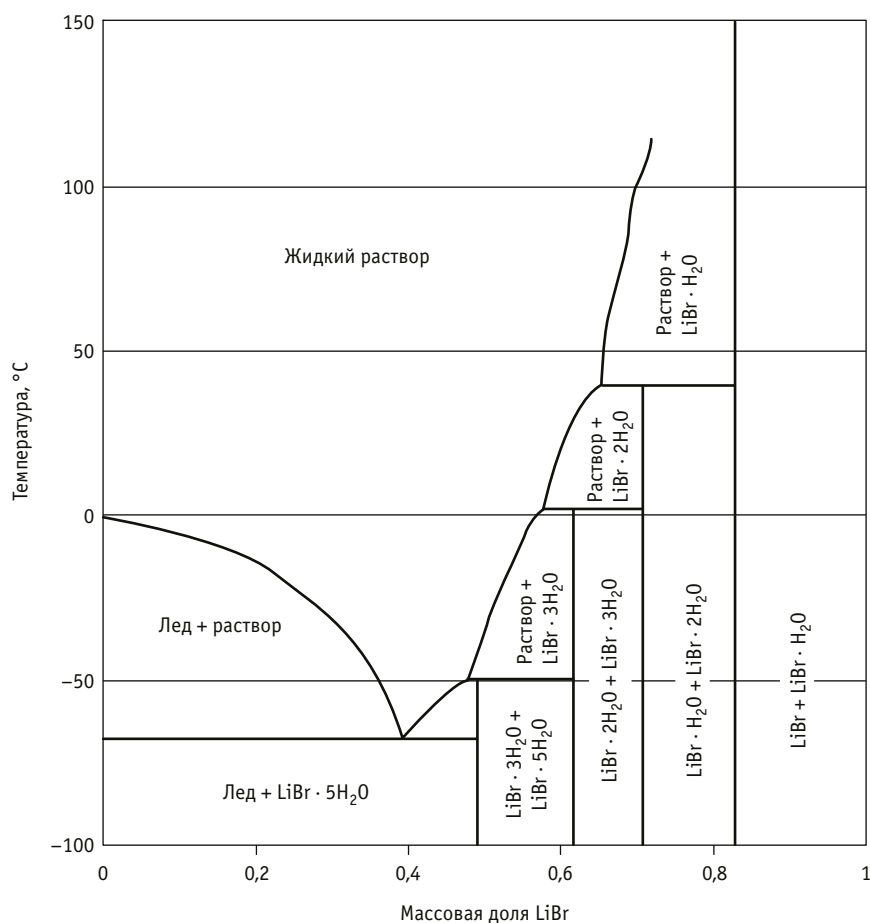


Рис. 3. Диаграмма фазового состояния раствора LiBr, используемого в качестве промежуточного теплоносителя [10]

аются запорные вентили 12 и 13, перекрываются запорные вентили 11 и 14. Через концевой кран 17 с помощью насоса 6 осуществляется полное заполнение генератора и испарителя слабым раствором бромида лития, что позволяет системе работать как промежуточный теплообменник между водой и отработавшими газами. В процессе работы дизеля выхлопные газы из выхлопной трубы 18, объемный расход которых регулируется дроссельной заслонкой 19, нагревают генератор 1. Нагретый слабый раствор бромида лития при помощи насоса 6 через обратный клапан 8 поступает в испаритель 3, где прогревает резервный бак 15. С помощью электроуправляемых вентилей 9, 10 через резервный бак 15 с горячей водой при необходимости осуществляется перепуск воды из холодного или горячего контуров системы охлаждения тепловоза.

Отдельное внимание стоит обратить на то, что применение АБХМ на подвижном составе вышеописанным способом совместно с системой рециркуляции отработавших газов позволит охлаждать подаваемые в цилиндр отработавшие газы, это снизит их температуру и даст возможность повысить коэффициент наполнения цилиндра.

Предлагаемая методика определения эффективности представленной системы по сокращению расхода топливно-энергетических ресурсов в летний период основана на уравнении теплового баланса двигателя внутреннего сгорания. С его помощью необходимо установить количество теплоты, отводимое водой, для каждой ПКМ при определенной температуре атмосферного воздуха. Известно несколько способов формулировки данного уравнения, поэтому предлагается рассмотреть несколько из них.

Ученые Российского университета транспорта предлагают следующее уравнение теплового баланса современного комбинированного тепловозного двигателя [11], МДж/ч:

$$Q + Q_{\text{ВОЗ}} = Q_e + Q_{\text{ОХЛ}} + Q_{\text{ОГ}} + Q_M + Q_{\text{ОНВ}} + Q_{\text{ОСТ}}, \quad (1)$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива;  $Q_{\text{ВОЗ}}$  — количество физической теплоты, подведенное в двигатель с воздухом;  $Q_e$  — количество теплоты, затрачиваемое на эффективную работу;  $Q_{\text{ОХЛ}}$  — количество теплоты, отводимое водой системы охлаждения;  $Q_{\text{ОГ}}$  — количество теплоты, отводимое с выхлопными газами;  $Q_M$  — количество теплоты, отводимое с маслом;  $Q_{\text{ОНВ}}$  — количество теплоты, отведенной от воздуха после компрессора;  $Q_{\text{ОСТ}}$  — остаточное количество теплоты.

Теплота, выделяемая при сгорании топлива:

$$Q = H_u \cdot G_T, \quad (2)$$

где  $H_u$  — низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;  $G_T$  — часовой расход топлива, кг/ч.

Количество физической теплоты, подведенное в двигатель с воздухом:

$$Q_{\text{ВОЗ}} = C_{\text{ВОЗ}} \cdot T_{\text{НВ}} \cdot G_B, \quad (3)$$

где  $C_{\text{ВОЗ}}$  — средняя массовая удельная теплоемкость воздуха, МДж/(кг·К);  $T_{\text{НВ}}$  — температура воздуха после турбокомпрессора, К;  $G_B$  — часовой расход воздуха, кг/ч.

Теплота, затрачиваемая на полезную мощность:

$$Q_e = 3,6 \cdot N_e, \quad (4)$$

где  $N_e$  — эффективная мощность двигателя, кВт.

Теплота, потерянная с отработавшими газами:

$$Q_{\text{ОГ}} = C_{\text{ОГ}}(G_B + G_T) \cdot T_{\text{ВЫХ}}, \quad (5)$$

где  $C_{\text{ОГ}}$  — средняя массовая удельная теплоемкость отработавших газов, МДж/(кг·К);  $G_B$  — часовой расход воздуха, кг/ч;  $G_T$  — часовой расход топлива, кг/ч;  $T_{\text{ВЫХ}}$  — температура отработавших газов перед турбиной, К.

Количество теплоты, отводимое с маслом:

$$Q_M = C_M \cdot G_M(T_M - T'_M), \quad (6)$$

где  $C_M$  — средняя массовая удельная теплоемкость масла, МДж/(кг·К);  $G_M$  — часовая производительность масляного насоса, кг/ч;  $T_M$  — температура масла на выходе из дизеля, К;  $T'_M$  — температура масла на входе в дизель, К.

Количество теплоты, отведенной от воздуха после компрессора:

$$Q_{\text{ОНВ}} = C_{\text{ВОЗ}} \cdot G_B(T_{\text{НВ}} - T'_{\text{НВ}}), \quad (7)$$

где  $C_{\text{ВОЗ}}$  — средняя массовая удельная теплоемкость воздуха, МДж/(кг·К);  $G_B$  — часовой расход воздуха, кг/ч;  $T_{\text{НВ}}$  — температура воздуха после турбокомпрессора, К;  $T'_{\text{НВ}}$  — температура воздуха после интеркулера, К.

Остаточное количество теплоты (невязка теплового баланса) составляет 2–3 % от общего введенного количества теплоты [11] и может быть выражено как

$$Q_{\text{ОСТ}} = (0,02 \div 0,03)(Q + Q_{\text{ВОЗ}}). \quad (8)$$

Таким образом, количество теплоты, отводимое водой, для каждой ПКМ при определенной температуре атмосферного воздуха можно определить следующим образом:

$$Q_{\text{ОХЛ}} = Q + Q_{\text{ВОЗ}} - Q_e - Q_{\text{ОГ}} - Q_M - Q_{\text{ОНВ}} - Q_{\text{ОСТ}}. \quad (9)$$

Учеными Южно-Уральского государственного университета предлагается более упрощенная форма уравнения, которая имеет вид для каждой ПКМ при определенной температуре атмосферного воздуха [12], МДж/ч:

$$Q = Q_e + Q_{\text{ОХЛ}} + Q_{\text{ОГ}} + Q_{\text{Н.СГ}} + Q_{\text{ОСТ}}, \quad (10)$$

где  $Q$  и  $Q_e$ ,  $Q_{\text{ОГ}}$  — то же, что в уравнении (1);  $Q_{\text{ОХЛ}}$  — количество теплоты, отводимое с водой горячего контура;  $Q_{\text{Н.СГ}}$  — количество теплоты, теряемое при неполном сгорании топлива;  $Q_{\text{ОСТ}}$  — количество теплоты, расходуемое на механические потери, трение, лучеиспускание.

Теплота, потерянная вследствие неполноты сгорания:

$$Q_{\text{Н.СГ}} = (1 - \xi)\Delta H_u \cdot G_T, \quad (11)$$

где  $\xi$  — коэффициент эффективности сгорания;  $\Delta H_u$  — низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;  $G_T$  — часовой расход топлива, кг/ч.

Остаточные потери:

$$Q_{\text{ОСТ}} = (0,02 \div 0,06)Q, \quad (12)$$

где  $Q$  — теплота, вводимая с топливом.

Из этого следует, что количество теплоты, отводимое водой, для каждой ПКМ при определенной температуре атмосферного воздуха можно определить как

$$Q_{\text{ОХЛ}} = Q - Q_e - Q_{\text{Н.СГ}} - Q_{\text{ОГ}} - Q_{\text{ОСТ}}. \quad (13)$$

Стоит отметить, что многие авторы считают нецелесообразным учитывать количество теплоты, теряемое при неполном сгорании топлива, для комбинированных дизельных энергетических установок [11, 13, 14].

Вне зависимости от выбранного уравнения холодопроизводительность АБХМ зависит от количества теплоты, отводимого отработавшими газами, МДж/ч:

$$Q_{\text{АБХМ}} = Q_{\text{ОГ}} \cdot \eta_{\text{АБХМ}} \cdot \eta_{\text{ГЕН}}, \quad (14)$$



где  $\eta_{\text{АБХМ}}$  — эффективность холодопроизводительности абсорбционной холодильной машины;  $\eta_{\text{ГЕН}}$  — объемная доля отводимых отработавших газов.

Время приращения температуры охлаждающей жидкости  $\Delta T$  в диапазоне от минимальной до открытия жалюзи на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды определяется следующим образом, ч:

$$\Delta t_{1j}^i = \frac{Q_{\text{охл}j}^i}{C_B \cdot \Delta T \cdot G_{\text{В.Н.}}^i}, \quad (15)$$

где  $C_B$  — теплоемкость воды, МДж/(кг·К);  $\Delta T$  — приращение температуры, К;  $G_{\text{В.Н.}}$  — часовая производительность водяного насоса, кг/ч.

Время приращения температуры  $\Delta T$  в диапазоне от открытия жалюзи до включения вентилятора на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды, ч:

$$\Delta t_{2j}^i = \frac{Q_{\text{охл}j}^i - 3,6W_j^i}{C_B \cdot \Delta T \cdot G_{\text{В.Н.}}^i}, \quad (16)$$

где  $W_j^i$  — мощность теплоотдачи секций радиатора горячего контура в диапазоне приращения  $\Delta T$ , кВт.

Время приращения температуры  $\Delta T$  в диапазоне от включения вентилятора до сброса нагрузки на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды [15], ч:

$$\Delta t_{3j}^i = \frac{Q_{\text{охл}j}^i - 3,6W_j^i - C_{\text{ВЗ}} \cdot S \cdot \Delta T_{\text{ВЗ}j}^i \cdot V_i}{C_B \cdot \Delta T \cdot G_{\text{В.Н.}}^i}, \quad (17)$$

где  $C_{\text{ВЗ}}$  — теплоемкость воздуха, МДж/(кг·К);  $S$  — площадь сечения трубок радиатора, м<sup>2</sup>;  $\Delta T_{\text{ВЗ}j}^i$  — температурный напор охлаждающего воздуха, К;  $V_i$  — скорость воздушного потока, м/с.

При совместной работе описанной выше системы и системы охлаждения время приращения температуры  $\Delta T$  в диапазоне от открытия жалюзи до включения вентилятора на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды определяется так, ч:

$$\Delta t_{2j}^{*i} = \frac{Q_{\text{охл}j}^i - 3,6W_j^i - Q_{\text{АБХМ}j}^i}{C_B \cdot \Delta T \cdot G_{\text{В.Н.}}^i}, \quad (18)$$

где  $W_j^i$  — тепловая мощность секций радиатора горячего контура в диапазоне приращения  $\Delta T$ , кВт.

При совместной работе описанной выше системы и системы охлаждения время приращения температуры  $\Delta T$  в диапазоне от включения вентилятора до сброса нагрузки на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды [15], ч:

$$\Delta t_{3j}^{*i} = \frac{Q_{\text{охл}j}^i - 3,6W_j^i - C_{\text{ВЗ}} \cdot S \cdot \Delta T_{\text{ВЗ}j}^i \cdot V_i - Q_{\text{АБХМ}j}^i}{C_B \cdot \Delta T \cdot G_{\text{В.Н.}}^i}. \quad (19)$$

Общее время прогрева и остывания воды на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды без применения системы, где  $T = 0$ . Ж. — температура открытия жалюзи,  $T = \text{В. В.}$  — температура включения вентилятора холодильника:

$$t_j^i = \sum_{T=\text{мин}}^{T=0.Ж.} \Delta t_{1j}^i + \sum_{T=0.Ж.}^{T=\text{В.В.}} \Delta t_{2j}^i + \sum_{T=\text{В.В.}}^{T=\text{max}} \Delta t_{3j}^i. \quad (20)$$

Общее время прогрева и остывания воды на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды с применением системы, ч:

$$t_j^{*i} = \sum_{T=\text{мин}}^{T=0.Ж.} \Delta t_{1j}^{*i} + \sum_{T=0.Ж.}^{T=\text{В.В.}} \Delta t_{2j}^{*i} + \sum_{T=\text{В.В.}}^{T=\text{max}} \Delta t_{3j}^{*i}. \quad (21)$$

Время после включения вентилятора учитывается, так как при внедрении системы остывание воды ниже данной температуры будет происходить быстрее.

Сокращение времени работы вентилятора холодильника на  $i$ -й ПКМ при  $j$ -й температуре окружающей среды можно выразить как

$$\Delta t_j^i = \frac{t_j^i - t_j^{*i}}{t_j^i}. \quad (22)$$

Методика определения времени работы вентилятора холодильника за смену/поездку рассмотрена в работах [15, 16]. Она заключается в анализе записей МСУ-ТП за поездку/смену, которые имеют вид, представленный на рис. 4. На оси абсцисс показано время работы дизеля. На правой оси ординат числа обозначают позицию контроллера машиниста. Положение контактора вентилятора определяется следующим образом: 0 — разомкнут, 1 — замкнут. На левой оси ординат отложена температура охлаждающей жидкости горячего контура. Из этих записей, зная температуру срабатывания реле управления вентилятора, можно определить, какое время на какой ПКМ работал вентилятор холодильника при известной из метеосводок температуре атмосферного воздуха.

Располагая параметрами удельного эффективного расхода топлива на  $i$ -й ПКМ и мощности, потребляемой на привод вентилятора холодильника, можно определить расход топлива за смену/поездку.

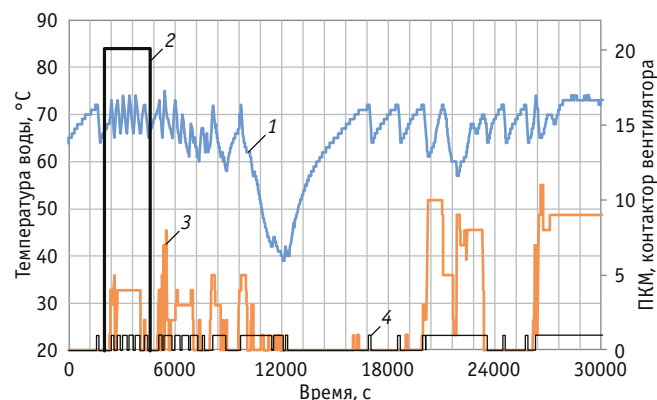


Рис. 4. Параметры работы тепловоза 2Т3116У-256Б [16]:  
1 —  $t_{\text{в.диз}}$ ; 2 — расчетный диапазон;  
3 — ПКМ; 4 — контактор вентилятора

При средней  $j$ -й температуре в летний период за поездку/смену без применения системы расход топлива рассчитывается по уравнению, кг:

$$G_{\text{ПВ}} = \sum_{i=0}^n g_e^i \cdot N_{\text{ПВ}}^i \cdot t_{\text{раб}}^i, \quad (23)$$

где  $g_e^i$  — удельный эффективный расход топлива дизелем на  $i$ -й ПКМ, кг/(кВт·ч);  $N_{\text{ПВ}}^i$  — отбор мощности на привод вентилятора холодильника на  $i$ -й ПКМ, кВт;  $t_{\text{раб}}^i$  — время работы вентилятора холодильника на  $i$ -й ПКМ, ч.

Расход топлива при средней  $j$ -й температуре в летний период за поездку/смену с использованием системы определяется следующим образом, кг:

$$G_{\text{ПВ}}^* = \sum_{i=0}^n g_e^i \cdot N_{\text{ПВ}}^i \cdot t_{\text{раб}}^i \cdot \Delta t_j^i, \quad (24)$$

где  $\Delta t_j^i$  — сокращение времени работы вентилятора холодильника на  $i$ -й ПКМ и при  $j$ -й температуре окружающей среды.

Разность  $G_{\text{ПВ}}$  и  $G_{\text{ПВ}}^*$  позволяет определить количество топлива, сэкономленного за одну поездку.

Зная показатель среднего времени работы вентилятора холодильника для тепловоза за год, с использованием представленной методики можно также оценить влияние технического решения на увеличение межремонтного пробега узлов привода вентилятора холодильника и вероятность их безотказной работы. Кроме того, методика позволяет определить экономическую эффективность предложенного технического решения, достигаемую за счет сокращения расхода топлива на привод вентилятора холодильника.

#### Сведения об авторе:

**Владислав Сергеевич Просвирнин**,  
аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав»  
Самарского государственного университета путей сообщения

#### Author's information:

**Vladislav S. Prosvirnin**,  
postgraduate student of Traction Rolling Stock Department,  
Samara State Transport University

### Литература

1. Выбор схемы утилизации тепла отработавших газов ДВС и оценка полезного теплоиспользования в составе когенерационной установки / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, Н. В. Жданов [и др.] // Омский научный вестник. 2015. № 1 (137). С. 114–119. ISSN 1813-8225.
2. Газотурбинная установка / В. В. Жабо, К. Е. Зегер, К. В. Крейнин : патент 2304725 Российская Федерация. № 2006125986/06; заявл. 19.07.2006; опубл. 20.08.2007, Бюл. № 23.
3. Способ охлаждения двигателя внутреннего сгорания / В. Т. Дмитриев, Г. А. Боярских, Е. В. Иваницкий [и др.] : патент 2200237 Российская Федерация. № 2001102233/06; заявл. 24.01.2001; опубл. 10.03.2003, Бюл. № 7.
4. Способ охлаждения свежего заряда и отработавших газов судового дизеля, подаваемых на впуск / В. Н. Тимофеев, О. К. Безюков, О. В. Ключ [и др.] : патент 2466289 Российская Федерация. № 2011114599/06; заявл. 13.04.2011; опубл. 10.11.2012, Бюл. № 31.
5. Утилизационная установка двигателя внутреннего сгорания / В. И. Евенко, Г. Л. Васильев, В. В. Евенко : патент 2039873 Российская Федерация. № 5008378/06; заявл. 04.11.1991; опубл. 20.07.1995.
6. Устройство для регулирования температуры судовых жилых, служебных помещений и главного судового дизеля / В. Н. Тимофеев, И. Р. Салахов, Н. Р. Харисова [и др.] : патент 2780635 Российская Федерация. № 2021133060; заявл. 08.07.2021; опубл. 28.09.2022, Бюл. № 28.
7. Галимова Л. В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы. Астрахань : Изд-во АГТУ, 1997. 226 с.
8. Шилкин Н. В. Абсорбционные холодильные машины // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. № 1. С. 44–55. ISSN 1609-7483.
9. Мирмов Н. И., Мирмов И. Н. Абсорбционные холодильные машины для генерации отрицательных температур // Труды БГТУ. 2017. Серия 1. № 2. С. 328–341. ISSN 2519-402X.

### References

1. Vedruchenko V. R., Krainov V. V., Zhdanov N. V. [et al.]. Choosing utilization scheme of free-piston engines exhaust gases and estimating engines real heat consumption in the structure of cogeneration engine. *Omsk Scientific Bulletin*. 2015. No. 1 (137). Pp. 114–119. ISSN 1813-8225. (In Russian).
2. Zhabo V. V., Zeger K. E., Kreyenin K. V. Gas turbine installation : patent 2304725 Russian Federation. No. 2006125986/06; filed 19.07.2006; publ. 20.08.2007, Bulletin No. 23. (In Russian).
3. Dmitriev V. T., Boyarskikh G. A., Ivanitskiy E. V. [et al.]. Internal combustion engine cooling method : patent 2200237 Russian Federation. No. 2001102233/06; filed 24.01.2001; publ. 10.03.2003, Bulletin No. 7. (In Russian).
4. Timofeev V. N., Bezyukov O. K., Klyus O. V. [et al.]. A method for cooling the fresh charge and exhaust gases of marine diesel supplied to the inlet : patent 2466289 Russian Federation. № 2011114599/06; filed 13.04.2011; publ. 10.11.2012, Bulletin No. 31. (In Russian).
5. Evenko V. I., Vasilyev G. L., Evenko V. V. Internal combustion engine recycling plant : patent 2039873 Russian Federation. № 5008378/06; filed 04.11.1991; publ. 20.07.1995. (In Russian).
6. Timofeev V. N., Salakhov I. R., Kharisova N. R. [et al.]. A device for regulating the temperature of ship's living quarters, office premises and the main ship's diesel engine : patent 2780635 Russian Federation. № 2021133060; filed 08.07.2021; publ. 28.09.2022, Bulletin No. 28. (In Russian).
7. Galimova L. V. Absorption refrigerating machines and heat pumps. Astrakhan : Publishing House of ASTU, 1997. 226 p. (In Russian).
8. Shilkin N. V. Absorption refrigerating machines. *Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*. 2008. No. 1. Pp. 44–55. ISSN 1609-7483. (In Russian).
9. Mirmov N. I., Mirmov I. N. Absorption refrigeration machines for obtaining of the cold temperatures. *Proceedings of BSTU*. 2017. Series 1. No. 2. Pp. 328–341. ISSN 2519-402X. (In Russian).

10. Herold K. E., Radermacher R., Klein S. A. Absorption chillers and heat pumps. CRC Press, 1996. 330 p.
11. Балабин В. Н., Самотканов А. В. Локомотивные энергетические установки. Москва : Изд-во РУТ, 2019. 137 с.
12. Шароглазов Б. А., Фарафонов М. Ф., Клементьев В. В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. 403 с.
13. Сырбаков А. П. Конструкция автотранспортных средств. Рабочие процессы автотракторных двигателей. Новосибирск : Изд-во НГАУ, 2022. 89 с.
14. Уточненные расчетные зависимости определения термического КПД тепловозного дизеля / К. А. Рябко, Е. В. Рябко, А. М. Гушин, Н. С. Крутоус // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. 2021. № 63. С. 55–64. ISSN 1993-5579.
15. Оперативный контроль эффективности работы системы охлаждения тепловоза / С. М. Оварченко, А. А. Метелев, В. А. Минаков, В. Р. Ведрученко // Известия Транссиба. 2019. № 4 (40). С. 9–17. ISSN 2220-4245.
16. Некрасов Г. И. Повышение эффективности системы охлаждения тепловозного дизеля с использованием индивидуального привода водяных насосов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2019. 158 с.

10. Herold K. E., Radermacher R., Klein S. A. Absorption chillers and heat pumps. CRC Press, 1996. 330 p.
11. Balabin V. N., Samotkanov A. V. Locomotive power plants. Moscow : Publishing House of RUT, 2019. 137 p. (In Russian).
12. Sharoglazov B. A., Farafontov M. F., Klemeneyev V. V. Internal combustion engines: theory, modeling and calculation of processes. Chelyabinsk : Publishing House of SUSU, 2005. 403 p. (In Russian).
13. Syrbakov A. P. The construction of motor vehicles. Working processes of automotive engines. Novosibirsk : Publishing House of NSAU, 2022. 89 p. (In Russian).
14. Ryabko K. A., Ryabko E. V., Gushshin A. M., Krutous N. S. Refined calculation dependences for determining the thermal efficiency of diesel locomotives. *Collection of scientific works by DONIZhT*. 2021. No. 63. Pp. 55–64. ISSN 1993-5579. (In Russian).
15. Ovcharenko S. M., Metelev A. A., Minakov V. A., Vedruchenko V. R. Operational control of system performance cooling of the locomotive. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2019. Vol. 4. No. 40. Pp. 9–17. ISSN 2220-4245. (In Russian).
16. Nekrasov G. I. Improving the efficiency of the diesel locomotive cooling system using an individual drive of water pumps : PhD in Engineering Thesis. Moscow, 2019. 158 p. (In Russian).

Объем статьи 0,74 авторских листа

Научная статья  
УДК 656.13

## Анализ системы управления дорожным движением в КНР

Цзымин Цзинь<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

## Analysis of the traffic management system in the People's Republic of China

Ziming Jin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы создания и внедрения систем управления дорожной безопасностью в Китае. Показано, что эти системы, с одной стороны, демонстрируют высокий потенциал повышения пропускной способности дорог и улучшения безопасности движения, а с другой — характеризуются сложностями в управлении информацией и недостаточно используют технологии больших данных. Для более точного и эффективного управления дорожным движением рекомендуется усовершенствовать структуру управления данными и расширить применение интернет-технологий.

**Ключевые слова:** система управления безопасностью дорожного движения, управление данными, интернет-технологии, применение технологий больших данных

### Abstract

The article discusses the issues of creating and applying road safety management systems in China. It is shown that these systems, on the one hand, demonstrate a high potential for increasing road capacity and improving traffic safety, and on the other hand, they are characterized by difficulties in data management and do not use big data technologies enough. For more accurate and efficient traffic management, it is recommended to improve the data management structure and strengthen the use of Internet technologies.

**Keywords:** road traffic safety management system, data management, internet technologies, application of big data technologies

DOI: 10.20291/1815-9400-2024-3-96-100

### ВВЕДЕНИЕ

Современные системы управления безопасностью дорожного движения (БДД) представляют собой научно обоснованную базу для планирования транспортных потоков и способствуют разработке точных методов управления дорожным движением. Регулярный анализ информации в режиме реального времени позволяет оптимизировать управленческие решения и значительно повышает уровень общественной безопасности и транспортной эффективности. Кроме того, системы БДД осуществляют комплексный анализ данных, включая поведение водителей, состояние дорожного покрытия и экологические условия, что дает возможность определять причины происшествий и прогнозировать потенциальные точки риска [1–3].

Статистика дорожной безопасности в Китае показывает, что с 2010 по 2023 г. количество погибших в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) ежегодно сокращается на 3 % и составляет около 56 тыс./год. Тем не менее ежедневно более 150 человек погибают в ДТП, что представляет серьезную проблему на уровне государства, а значит, обеспечение безопасности дорожного движения остается актуальной задачей [4]. Приведем примеры, как эту задачу решают в крупных городах Китая.

С 1991 г. в Шанхае используют американский метод оценки и проводят обширные исследования, включая анализ транспортных моделей и прогнозы развития. По результатам этих исследований, несмотря на отсутствие публичной платформы данных, проанализировано и оптимизировано городское транспортное планирование. В настоящее время каждый административный район Шанхая ежегодно составляет отчеты, что позволило создать базу для принятия решений и систему управления транспортными данными на городском уровне [5].

Шэньчжэнь выбрал подход, используемый в Гонконге, и на пилотной основе приступил к микро- и мезомоделированию в таких районах, как Хоухай и Цяньхай. Кроме того, в городе внедрена система онлайн-управления оценками дорожного движения. Следует отметить, что Шэньчжэнь занимает лидирующие позиции в использовании систем принятия решений в сфере дорожного движения на территории Китайской Народной Республики.

В Чунцине нет специализированной системы управления дорожным движением, но разработана интегрированная платформа для координации данных, которая поддерживает управление транспортом и принятие решений. Основное достоинство платформы — возможность публиковать через нее информацию о дорожном движении.

В целом практика всех этих городов демонстрирует развитие системы управления дорожной безопасностью в Китае и стремление к использованию цифровых технологий.

В 2016 г. Национальная комиссия по развитию и реформам Китайской Народной Республики и Министерство транспорта Китайской Народной Республики подготовили «План реализации продвижения «Интернет +» для удобного транспорта и стимулирования развития интеллектуального транспорта». Этот план предусматривает внедрение современных информационных технологий, таких как интернет, большие данные и облачные вычисления, а также полное использование данных правительственных учреждений, предприятий, научно-исследовательских институтов и общественных организаций для усовершенствования системы управления комплексной статистической информацией о транспорте и обеспечения безопасности дорожного движения [6].

## ПЛАТФОРМЫ ДАННЫХ О ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

В Китае при проведении исследований в рамках национальной стратегии по предотвращению ДТП источниками данных о дорожном движении являются три основные платформы:

- платформа данных о транспортных средствах;
- интегрированная платформа больших данных дорожного движения;
- платформа управления дорожным движением.

Рассмотрим каждую из них.

*Платформа данных о транспортных средствах* основана на системе OBD (бортовая диагностическая система) реальных автомобилей и записывает подробную информацию о движении транспортных средств. Процесс передачи данных OBD от транспортного средства к конечному



Рис. 1. Процесс передачи данных OBD от транспортного средства к органам принятия решений по безопасности дорожного движения

органу, принимающему решения в области дорожной безопасности, а также роль каждого отдела в этом процессе проиллюстрированы на рис. 1 [7].

*Интегрированная платформа больших данных дорожного движения* включает в себя картографические данные и информацию в режиме реального времени. Картографические данные поддерживают долгосрочное планирование и развитие инфраструктуры. Используя данные в режиме реального времени из системы навигации Beidou (GPS), географической информационной системы (ГИС) и автомобилей с панорамной съемкой, а также регулярные обновления от крупных картографических сервисов, таких как Amap и Baidu Maps, Министерство общественной безопасности Китая может осуществлять региональное планирование и оптимизацию транспортной сети.

Данные о дорожном движении в режиме реального времени поступают с камер и другими поставщиками. В этих данных содержится информация о нарушениях, таких как превышение скорости, неправильная парковка и движение в неположенном направлении, и о нарушениях, со-

вершаемых немоторизованными транспортными средствами и электрическими велосипедами. Также данные платформы помогают планировать меры по обеспечению дорожной безопасности и оптимизировать транспортные потоки. Используя сведения о заторах, управляющие органы могут корректировать работу светофоров, оптимизировать маршруты и внедрять адаптивное управление трафиком через интернет вещей, камеры наблюдения и через информацию, предоставляемую пользователями [8, 9].

Видеоданные в режиме реального времени, поступающие с камер дорожного наблюдения и метеорологических устройств, также помогают принимать решения по управлению дорожным движением, в том числе корректировать маршруты при заторах и оперативно реагировать на аварии для обеспечения бесперебойного и безопасного движения [10].

*Платформа управления дорожным движением* содержит управленческие документы, информацию о транспортной инфраструктуре, транспортных средствах, водителях и записи дорожно-транспортных происшествий. Эти сведения



в основном представлены бумажными документами и разрозненными электронными данными.

Информацию о ДТП помогают оценивать соответствующие законы и стандарты безопасности. Анализируя данные о нарушениях, статистику жертв и материального ущерба, органы управления выявляют ключевые области для улучшения БДД [11].

Данные о транспортной инфраструктуре собирают и публикуют министерства транспорта провинций, городов и автономных районов. Управленческие документы разрабатываются Министерством транспорта Китая, Департаментом управления дорожным движением Министерства общественной безопасности Китая и Государственным комитетом по стандартизации. Информацию о транспортных средствах и водителях собирают местные управления дорожного движения и отделы регистрации транспортных средств.

Вместе с тем следует отметить, что система управления дорожным движением в Китае не лишена недостатков. Рассмотрим основные из них.

*Отсутствие долгосрочного накопления и отслеживания данных о коэффициенте поездок.* Большинство городов не имеют механизма долгосрочного накопления и отслеживания данных о коэффициенте поездок, который является ключевым параметром для оценки трафика строительных проектов. Создание такого механизма данных, а также их сравнение с данными аналогичных проектов позволит эффективно оценивать обоснованность и точность коэффициента поездок, что имеет решающее значение для управления дорожным движением [12].

*Проблемы с получением данных.* В основу технического аудита дорожного движения положен стандарт «Система управления дорожной безопасностью» (GB/T 39001-2019), цель которого — помочь профильным организациям в улучшении дорожной безопасности, снижении числа смертельных случаев и серьезных травм вследствие дорожных аварий. GB/T 39001-2019 устанавливает требования к планированию, созданию, внедрению, эксплуатации, мониторингу, оценке, поддержке и постоянному совершенствованию системы управления дорожной безопасностью. Однако, в связи с тем что основные сведения распределены по различным управленческим отде-

лам, а эффективный механизм обмена информацией отсутствует, аудиторам нередко трудно получить и обработать полные данные. Кроме того, эти данные представлены в разных форматах, некоторые из них только в виде бумажных документов, не систематизированных в интегрированную систему, что заставляет технических специалистов вручную просматривать и сравнивать информацию и значительно снижает эффективность работы [13].

*Недостаточное использование технологий больших данных.* В городах, где применяется система управления дорожной безопасностью, в нее не всегда поступают данные в режиме реального времени. Кроме того, недостаточно учитывается информация о текущем состоянии дорожного движения и погодных условиях, дорожные происшествия и другие чрезвычайные ситуации выявляются несвоевременно, что приводит к неэффективному использованию ресурсов и не способствует улучшению дорожной безопасности [14].

**ПОДСИСТЕМЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ И ОБЩАЯ СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ**

Для устранения отмеченных недостатков следует создать базу данных управления безопасностью, подсистему выявления опасных ситуаций и общую структуру управления данными.

*База данных управления безопасностью* (табл. 1) — это ядро всей системы поддержки принятия решений по управлению БДД. Она отвечает за сбор, хранение и управление всей статистической информацией, связанной с дорожной безопасностью, обеспечивает целостность, согласованность, доступность, анализ данных и поиск информации другими подсистемами.

При технической реализации можно использовать высокопроизводительные системы управления реляционными базами данных, такие как PostgreSQL или MySQL. В целях обеспечения безопасности информации необходимо внедрять технологии регулярного резервного копирования и восстановления данных, а также технологии шифрования данных и контроля доступа для защиты информации. Кроме того, для эффективной интеграции данных и обмена данными с другими подсистемами можно разработать API-интерфейсы [15].

Таблица 1

База данных по управлению безопасностью

Данные	Содержание данных	Категория	Период обновления
Информация о транспортной инфраструктуре	Данные о дорогах, перекрестках, светофорах, односторонних улицах, запрещенных маршрутах в городах, а также о расположении и состоянии парковок	Статические	Ежеквартально
Информация о транспортных средствах и водителях	Регистрационная информация о транспортных средствах, их типах, использовании и тенденциях изменений	Статические	Ежеквартально
Записи о дорожно-транспортных происшествиях	Время, место, вовлеченные транспортные средства, тип и последствия дорожно-транспортных происшествий, включая основную информацию о водителях, в том числе историю вождения и нарушений	Статические	Ежеквартально
Управленческие документы, связанные с дорожным движением	13 документов, включая «Постановление о реализации Закона о дорожном движении Китайской Народной Республики»	Статические	Ежегодно

Таблица 2

База данных по выявлению опасных ситуаций

Данные	Содержание данных	Категория	Период обновления
Картографические данные	Данные GPS, LBS и т.д.	Динамические	Ежедневно
Данные реального времени дорожного наблюдения	Данные о потоке транспортных средств и пешеходов на основных дорогах и перекрестках, данные о заторах и нарушениях	Динамические	В режиме реального времени
Видеоданные в режиме реального времени	Камеры дорожного наблюдения в режиме реального времени фиксируют ДТП, быстро определяют их местоположение, а также фиксируют погодные условия, влияющие на безопасность дорожного движения, такие как дождь, туман, град и т.д.	Динамические	В режиме реального времени
Данные системы OBD транспортных средств	Записи ключевых данных о вождении, таких как информация о движении, ускорении, экстренном торможении, пробеге, скорости, состоянии бортового компьютера и т.д.	Динамические	В режиме реального времени

В процессе интеграции могут возникнуть сложности, вызванные несоответствием данных, полученных из различных источников. Решить эту проблему позволяют математические модели слияния данных, такие как метод взвешенного среднего [формула (1)], который не только эффективно интегрирует данные из различных источников, обеспечивая их точность и согласованность, но и настраивает вес каждого источника в зависимости от надежности и релевантности данных:

$$x_{fused} = \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad (1)$$

где  $x_i$  — данные из  $i$ -го источника;  $w_i$  — соответствующий вес;  $n$  — общее количество источников данных.

Подсистема выявления опасных ситуаций при помощи HD-камер и датчиков в режиме реального времени фиксирует дорожно-транспортные происшествия, быстро определяя их местоположение. Помимо этого, она осуществляет мониторинг погодных условий, влияющих на БДД, таких как дождь, туман, град и т.д., и в режиме реального времени анализирует собранные данные для выявления потенциальных рисков и тенденций аварийности (табл. 2). При обнаружении происшествия или опасной ситуации подсистема способна быстро запустить процедуры экстренного реагирования, уведомить соответствующие службы и общественность.

Общая структура управления данными (рис. 2) интегрирует и систематизирует

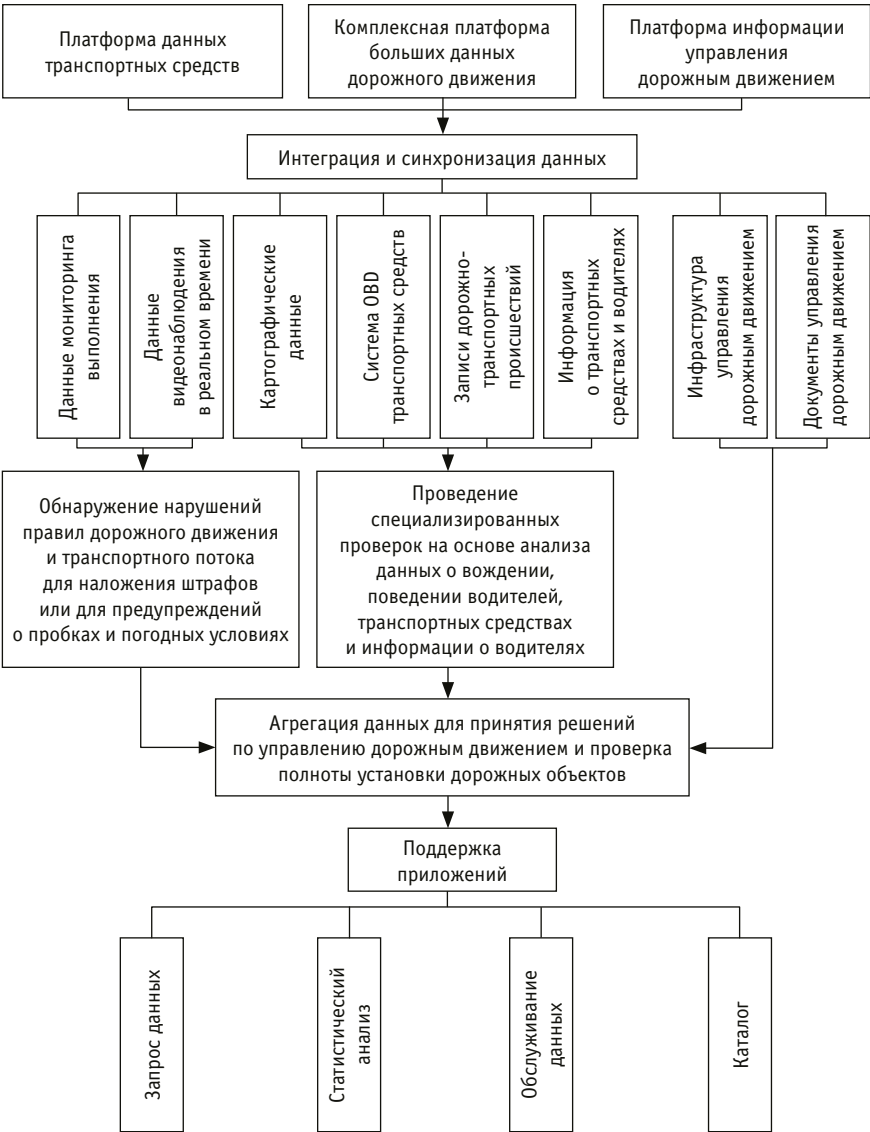


Рис. 2. Общая структура управления данными

ет различные типы информации, с помощью компонентов обработки преобразует данные для последующего анализа и использования, что в конечном счете позволяет поддерживать множество приложений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проанализированы современные системы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике. На примере реальных кейсов — Шанхая, Шэньчжэня и Чунциня — показаны потенциал и эффективность применения этих систем в разных городах.

Вместе с тем в исследовании выявлены не только преимущества, но и слабые стороны систем управления БДД, такие как долгосрочное накопление и управление данными, слож-

ность технической экспертизы и недостаточное использование технологий больших данных. Поэтому в целях эффективного управления дорожным движением предложено оптимизировать структуру управления данными, а также полнее использовать интернет-технологии и большие данные.

В целом с развитием технологий и инновационных управленческих стратегий системы управления БДД в Китае постепенно становятся важным фактором обеспечения безопасности и эффективности городского транспорта. Дальнейшее совершенствование и широкое использование этих систем не только окажет значительное влияние на повышение качества жизни населения и устойчивое развитие городов, но также будет способствовать модернизации управления БДД и на национальном, и на глобальном уровне.

### Сведения об авторе:

**Цзымин Цзинь**,  
аспирант кафедры «Организация перевозок и дорожного движения»  
Донского государственного технического университета

### Author's information:

**Ziming Jin**,  
postgraduate student of Organization of Transportation  
and Road Traffic Department, Don State Technical University

## Литература/ References

1. Ma Y., Xu J., Gao C. [et al.]. Review of Research on Road Traffic Operation Risk Prevention and Control. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19. No. 19. Pp. 12115–12130. DOI: 10.3390/ijerph191912115.
2. Du W., Dash A., Li J. [et al.]. Safety in Traffic Management Systems: A Comprehensive Survey. *Designs*. 2023. Vol. 7. No. 4. Pp. 1–24. DOI: 10.3390/designs7040100.
3. Chen Y., Mirchandani P., He X. A Synthesis of Emerging Data Collection Technologies and Their Impact on Traffic Management Applications. *European Transport Research Review*. 2023. Vol. 15. No. 3. Pp. 12–34.
4. Tan A., Tian D., Huang Y. [et al.]. Forecast the trend of burden from fatal road traffic injuries between 2015 and 2030 in China. *Chinese Journal of Epidemiology*. 2014. No. 35 (5). Pp. 547–551. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2014.05.017.
5. Yang Z., Li J. Towards Green and Smart Cities: Urban Transport and Land Use. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. Issue 2. 595. DOI: 10.3390/su16020595.
6. The 13th Five-Year Plan : Staff Research Report. U.S.-China Economic and Security Review Commission. 2017. 65 p. [https://www.mem.gov.cn/awhsy\\_3512/gwyawh/201709/t20170907\\_246388.shtml](https://www.mem.gov.cn/awhsy_3512/gwyawh/201709/t20170907_246388.shtml).
7. Posada F., Bandivadekar A. Global Overview of On-Board Diagnostic (OBD) Systems for Heavy-Duty Vehicles. International Council on Clean Transportation, 2015. 25 p.
8. Cesario E. Big Data Analytics and Smart Cities: Applications, Challenges, and Opportunities. *Front Big Data*. 2023. 6:1149402. DOI: 10.3389/fdata.2023.1149402.
9. Fuxiang C., Wanbao Y., Shuzhen Y. [et al.]. Analysis on the present situation and influencing factors of road traffic injuries for take-away riders in Shantou. *Injury Medicine*. 2019. 8 (4). Pp. 33–40. DOI: 10.3868/j.issn.2095-1566.2019.04.006.
10. Lemonde C., Arsenio E., Henriques R. Integrative analysis of multi-modal traffic data: addressing open challenges using big data analytics in the city of Lisbon. *European Transport Research Review*. 2021. Vol. 13 (1). DOI: 10.1186/s12544-021-00520-3.
11. Hu G., Wen M., Baker T. D., Baker S. P. Road-traffic deaths in China, 1985–2005: threat and opportunity. *Injury Prevention*. 2008. 14 (3). Pp. 149–153. DOI: 10.1136/ip.2007.016469.
12. Shahat Osman A. M., Elragal A. Smart Cities and Big Data Analytics: A Data-Driven Decision-Making Use Case. *Smart Cities*. 2021. Vol. 4. No. 1. Pp. 286–313. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010018>.
13. Ministry of Public Security of the People's Republic of China. 2010–2019. Annual report of the Ministry of Public Security on government information disclosure. URL: <https://www.mps.gov.cn/>
14. Tiwari P. The machine learning framework for traffic management in smart cities. *Management of Environmental Quality*. 2024. Vol. 35. No. 2. Pp. 445–462. <https://doi.org/10.1108/MEQ-08-2022-0242>.
15. Ushakov D., Dudukalov E., Mironenko E., Shatila Kh. Big data analytics in smart cities' transportation infrastructure modernization. *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 63. Pp. 2385–2391. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.274>.

Объем статьи 0,58 авторских листа

### Уважаемые читатели и авторы журнала «Транспорт Урала»!

Если вам нравится наш журнал, вы можете оказать содействие в его развитии, перечислив денежные средства по реквизитам:

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Шевченко, д. 20, помещение 1

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

**Назначение платежа:** «Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС».

Ваша финансовая поддержка позволит нам увеличить число публикаций, повысить индексы цитирования журнала и наших авторов.

### Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!

Предлагаем вам услуги по продвижению вашей продукции через сеть Ассоциации выпускников УЭМИИТ-УрГУПС.

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС — это кооперация большого числа неравнодушных людей различных сфер деятельности, окончивших наш университет.

Кроме того, предлагаем услуги по подбору молодых специалистов, по организации поиска решений прикладных и научных задач в рамках диссертационных работ, выполняемых в УрГУПС.

Всю необходимую информацию вы можете получить по тел. (343) 221-24-67 или на сайте <http://www.usurt.ru/vypusknikam/assotsiatsiya-vypusknikov-urgups>

<b>Извещение</b>	<p>Получатель: <u>Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</u></p> <p>КПП: <u>667001001</u> ИНН: <u>6670317893</u></p> <p>ОКТМО: <u>65701000</u> Р/сч.: <u>40703810863010000192</u></p> <p>в: <u>ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</u></p> <p>БИК: <u>046577795</u> К/сч.: <u>30101810900000000795</u></p> <p>Код бюджетной классификации (КБК): _____</p> <p>Платеж: <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u></p> <p>Плательщик: _____</p> <p>Адрес плательщика: _____</p> <p>ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____</p> <p>Сумма: _____ руб. ____ коп.</p> <p>Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2024 г.</p>
<b>Квитанция</b>	<p>Получатель: <u>Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</u></p> <p>КПП: <u>667001001</u> ИНН: <u>6670317893</u></p> <p>ОКТМО: <u>65701000</u> Р/сч.: <u>40703810863010000192</u></p> <p>в: <u>ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</u></p> <p>БИК: <u>046577795</u> К/сч.: <u>30101810900000000795</u></p> <p>Код бюджетной классификации (КБК): _____</p> <p>Платеж: <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u></p> <p>Плательщик: _____</p> <p>Адрес плательщика: _____</p> <p>ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____</p> <p>Сумма: _____ руб. ____ коп.</p> <p>Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2024 г.</p>

Подписка на 2024 год.  
Периодичность — 4 номера в год.

✂

ф. СП-1

АБОНЕМЕНТ

на 

газету

 журнал

46463

(индекс издания)

Транспорт Урала

(наименование издания)

Количество комплектов:

на 2024 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на 

газету

 журнал

46463

(индекс издания)

Транспорт Урала

(наименование издания)

Стои- мость

подписки

руб. коп.

Количество комплектов:

переадресовки

руб. коп.

на 2024 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)



Научно-технический журнал «Транспорт Урала»

DOI:10.20291/1815-9400

№ 3 (82), 2024 год

Издается с июня 2004 г. Выходит 4 раза в год

Подписной индекс в общероссийском каталоге «Пресса России» — 46463

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 27 мая 2004 г.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-18098

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 577040.

Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков и знаков обслуживания Российской Федерации 6 июня 2016 г.

Учредитель и издатель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Адрес учредителя и издателя:

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Адрес редакции:

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Тел. (343) 221-23-90

<http://www.usurt.ru/transporturala>

e-mail: EPupova@usurt.ru

Главный редактор:

Александр Геннадьевич Галкин

Научный редактор:

Александр Эрнстович Александров

Выпускающий редактор:

Елена Семеновна Пупова,

тел. (343) 221-23-90, 8-912-61-07-229,

e-mail: EPupova@usurt.ru

Верстка и дизайн:

Андрей Викторович Трубин

Автор фотографии на обложке:

Ксения Хилинских

Журнал включен ВАК в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Подписано в печать 30.09.2024

Выход в свет 23.10.2024

Тираж 250 экз. (1-й з-д 1–60)

Формат 60×90/8

Цена 682,58 руб.

Изготовлено в ИБК УрГУПС,

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Заказ № 43

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», 2024

