

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

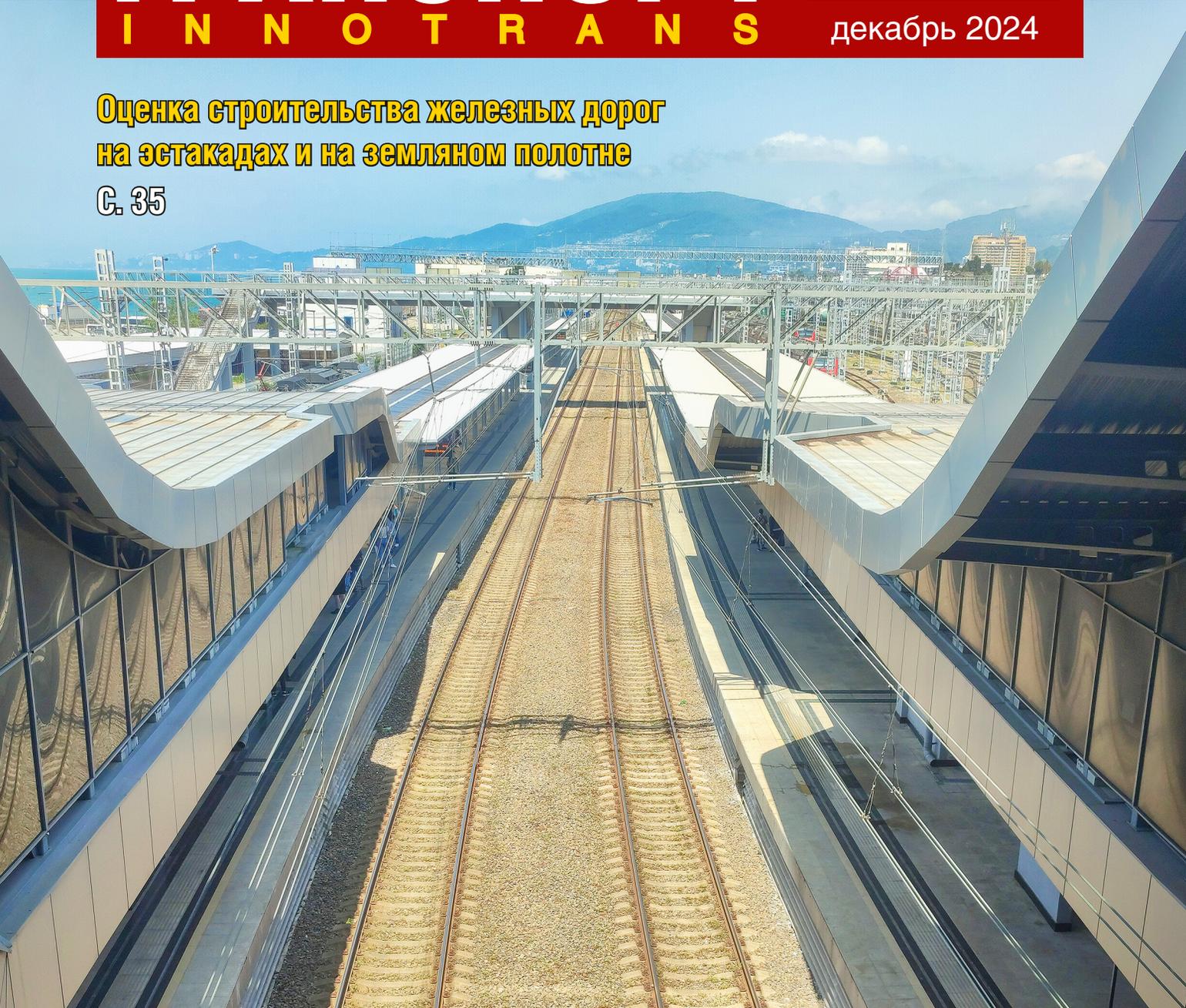
I N N O T R A N S

№ 4 (54)

декабрь 2024

**Оценка строительства железных дорог
на эстакадах и на земляном полотне**

С. 35



Методы моделирования
бизнес-процессов
логистической компании

Влияние цифровой среды
на когнитивные процессы
пользователя

О методах повышения
провозной и пропускной
способности железных дорог



ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

ДАТА ОСНОВАНИЯ — 1991 год

ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ — объединение ученых, специалистов и руководителей

ПРИОРИТЕТНАЯ ЗАДАЧА — проведение исследовательских и научно-технических работ

БОЛЕЕ **660** УЧЕНЫХ

540 ДОКТОРОВ НАУК

БОЛЕЕ **120** КАНДИДАТОВ НАУК

400 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ

- **НАУЧНОЕ И ЭКСПЕРТНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ**
- **НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ**
- **РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ**

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ:

- > Разработка и внедрение инновационных технологий в сфере транспорта
- > Разработка научно-технических обоснований и специальных технических условий
- > Научное сопровождение транспортной стратегии РФ
- > Взаимодействие транспорта регионов страны
- > Взаимодействие с бизнес-сообществом
- > Экспертиза взаимодействия видов транспорта

КТО МОЖЕТ СТАТЬ ЧЛЕНОМ АКАДЕМИИ?

РОССИЙСКИЙ или **ИНОСТРАННЫЙ** гражданин, имеющий ученую степень:

- доктора транспорта
- кандидата наук
- доктора наук



2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ОТДЕЛЕНИЯ

47 РЕГИОНАЛЬНЫХ
ОТДЕЛЕНИЙ

Аппарат Российской академии транспорта:
107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34, 11 этаж
+7 (495) 970-74-09
info@rosacademtrans.ru
www.rosacademtrans.ru

Уральское межрегиональное отделение:
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, УрГУПС
+7 (922) 205-95-92, факс: (343) 221-24-67
anna-volinskaya@mail.ru
www.uralakademia.ru

Инновационный транспорт (Иннотранс)

Научно-публицистическое издание

№ 4 (54), 2024 г.

Издается с ноября 2011 г.

Учредители: Российская академия транспорта (РАТ),
Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)

Главный редактор Александр Геннадьевич Галкин, д-р техн. наук,
профессор, ректор УрГУПС, председатель Уральского отделения РАТ

Научный редактор Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук,
профессор, действительный член РАТ

Редактирование и корректура — Елена Владимировна Чагина

Верстка и дизайн — Андрей Викторович Трубин

Адрес редакции и издателя: 620034, г. Екатеринбург,
ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.
Веб-сайт: www.usurt.ru, e-mail: innotrans@mail.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Роскомнадзора ПИ № ФС 77-46984 от 14 октября 2011 г.

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.
Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков
и знаков обслуживания РФ 14.09.2016 г.

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге
«Пресса России» — 85022. Цена 704,46 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X

Изготовлено в ИБК УрГУПС,
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66.

Подписано в печать 28.12.2024. Дата выхода в свет 28.12.2024

Формат 60×90/8. Тираж 250 экз. (1-й з-д 1–80). Заказ № 54

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет
путей сообщения», 2024

© Общероссийская общественная организация
«Российская академия транспорта», 2024

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Александр Геннадьевич Галкин, доктор технических наук, профессор, главный редактор журнала «Инновационный транспорт», действительный член РАТ, ректор Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Мargarita B. Imandosova, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау (Казахстан).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Дмитрий Германович Неволин, доктор технических наук, профессор, научный редактор журнала «Инновационный транспорт», действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Петр Алексеевич Козлов, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, директор научно-производственного холдинга «Стратег», Москва (Россия).

Михаил Ростиславович Якимов, доктор технических наук, действительный член РАТ, директор Института транспортного планирования Российской академии транспорта, Москва (Россия).

Валерий Михайлович Самуилов, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Игорь Александрович Тараторкин, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Гусеничные машины» Курганского государственного университета, заведующий Курганским отделом механики транспортных машин Института машиноведения УрО РАН, Курган (Россия).

Елена Николаевна Тимухина, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, заведующая кафедрой «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 4 (54), 2024

Published since November 2011

Founders: Russian Academy of transport (RAT),
Ural state University of railway transport (USURT)

Editor-in-chief Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor,
Rector of USURT, Chairman of RAT Ural Department

Scientific editor Dmitry G. Nevolin, DSc in Engineering, Professor,
full member of RAT

Editing and proofreading — Elena V. Chagina

Layout and design — Andrey V. Trubin

Address of the editorial office:

66 Kolmogorova Str., Ekaterinburg, 620034.

Telephone: (343) 221-24-42, 221-24-90.

Web-site: www.usurt.ru. E-mail: innotrans@mail.ru

Mass media registration certificate of Roskomnadzor PI No. FS 77-46984
dated October 14, 2011

Subscription reference number of the issue in the All Russia Catalogue
“Russian Press” — 85022.

Released for printing on 28.12.2024. Date of issue 28.12.2024

Format 60×90/8. Circulation 250 copies

© Ural State University of Railway Transport, 2024

© All-Russian Public Organisation “Russian Academy of Transport”, 2024

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor, Editor-in-Chief of Innotrans magazine, full member of RAT, Rector of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg (Russia).

Margarita B. Imandosova, DSc in Engineering, Professor, vice-rector for academic affairs of the Caspian State University of Technologies and Engineering named after S. Yesenov, Aktau (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD

Dmitry G. Nevolin, DSc in Engineering, Professor, full member of RAT, Scientific Editor of Innotrans journal, Head of Car Design and Operation Chair, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg (Russia).

Pyotr A. Kozlov, DSc in Engineering, Professor, full member of RAT, Director of Scientific Production Holding Strateg, Moscow (Russia).

Mikhail Rostislavovich Yakimov, DSc in Engineering, full member of RAT, Director of the Institute of Transport Planning of the Russian Academy of Transport, Moscow (Russia).

Valery M. Samuilov, DSc in Engineering, full member of RAT, Professor, Logistics and World Economy Chair, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, (Russia).

Igor A. Taratorkin, DSc in Engineering, Professor of “Track Machines” Department at Kurgan State University, member of the Russian Academy of Transport, Institute of Mechanical Engineering Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Head of the Mechanics of transport vehicles office, Kurgan (Russia).

Elena N. Timukhina, DSc in Engineering, Professor, member of Russian Academy of Transport, Head of “Field operation management” department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, (Russia).

СОДЕРЖАНИЕ

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Пугачев И. Н., Шешера Н. Г.

Математическое моделирование в транспортных исследованиях с использованием данных, полученных на основе навигационно-телематических систем 3

Неволин Д. Г., Цариков А. А., Сорогин И. Г.

К вопросу применения автоматизированных методов исследования пассажиропотоков на городском общественном транспорте 12

Шипулин А. В., Высотский С. В., Горохов Б. Е.

Методы моделирования бизнес-процессов транспортно-логистической компании 18

Неволин Д. Г., Цариков А. А., Сорогин И. Г.

Современные проблемы привлечения водительского персонала на работу в городском пассажирском транспорте (на примере Екатеринбурга) 27

Лядская Д. В., Лядский В. Л.

Цифровая среда и ее влияние на когнитивные процессы пользователя в условиях цифровой трансформации 31

Скутин А. И., Гришина В. Д.

Оценка вариантов строительства железных дорог на эстакадах и на земляном полотне 35

Скутина О. Л., Алферьев К. И.

Новая конструкция железнодорожного пути на многолетнемерзлых грунтах 40

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Голубев О. В.

Определение параметров геометрии рельсовой колеи с помощью современных путеизмерительных средств 47

Завадич А. В., Смольянинов А. В.

Совершенствование конструкции полувагона модели 12-515 в 1964–1979 гг. 54

Никитин А. Б., Копытов Д. В., Гундырев К. В.

Особенности управления удаленной и распределенной инфраструктурой СЦБ в управляющих системах семейства МПК 58

Ковалева К. В., Лапшин В. Ф.

Обоснование конструкции кузова двухэтажного пассажирского вагона из экструдированных алюминиевых профилей 66

Управление процессами перевозок

Бушуев С. В. О методах повышения провозной и пропускной способности участков железных дорог 71

Эксплуатация автомобильного транспорта

Попов И. П., Моисеев О. Ю., Неволин Д. Г., Харин В. В.

О стабилизаторе частоты вращения для транспортных машин и механизмов 76

CONTENTS

Transport and transport-technology system of the country, its regions and cities, manufacture organization on transport

Igor N. Pugachev, Nikolay G. Sheshera.

Mathematical modeling in transportation research using data obtained based on navigation and telematics systems. 3

Dmitry G. Nevolin, Aleksey A. Tsarikov, Igor G. Sorogin.

On the issue of the application of automated methods of passenger traffic research on urban public transport. 12

Aleksandr V. Shypulin, Sergey V. Vysotsky,

Boris E. Gorohov. Methods of business processes of a transport logistics company modelling 18

Dmitry G. Nevolin, Aleksey A. Tsarikov, Igor G. Sorogin.

Contemporary problems of hiring drivers' personnel in the urban passenger transport (on the example of Yekaterinburg). 27

Diana V. Lyadskaya, Vladimir L. Lyadskij.

Digital environment and its impact on users' cognitive processes in the digital transformation 31

Aleksandr I. Skutin, Valeriya D. Grishina.

Valuation of the variants of railways construction on overpasses and subgrades 35

Olga L. Skutina, Kirill I. Alferev.

New design of railway track on permafrost soils. 40

Rolling stock, hauling operation and electrification

Oleg V. Golubev.

Determination of the parameters of the geometry of the track gauge using modern track measuring tools. 47

Alexey V. Zavadich, Alexander V. Smolyaninov. The

improvement of the construction of the gondola car of 12-515 model in 1964–1979. 54

Aleksandr B. Nikitin, Dmitriy V. Kopytov,

Konstantin V. Gundyrev. Peculiarities of remote and distributed SSB infrastructure control in MPC control systems 58

Kristina V. Kovaleva, Vasilij F. Lapshin.

Rationale of the structure of the body of a double-deck passenger car from extruded aluminum profiles. 66

Management of transportation processes

Sergej V. Bushuev. On methods of increasing carrying and traffic capacity of railway sections 71

Operation of motor transport

Igor P. Popov, Oleg Yu. Moiseev, Dmitry G. Nevolin,

Valerij V. Harin. On stabilizer of rotation frequency for transport machines and mechanisms 76



**Игорь Николаевич
Пугачев**
Igor N. Pugachev



**Николай Геннадьевич
Шешера**
Nikolay G. Sheshera

Математическое моделирование в транспортных исследованиях с использованием данных, полученных на основе навигационно-телематических систем

Mathematical modeling in transportation research using data obtained based on navigation and telematics systems

Аннотация

С целью повышения безопасности дорожного движения сегодня активно используются навигационно-телематические системы и модернизируются программно-аппаратные комплексы. Предложенный авторами метод прогноза травматизма использует алгоритмы машинного обучения и предназначен для внедрения в интеллектуальную транспортную систему (ИТС) городских агломераций. В данной статье за счет расширения числа параметров и применения методов классификации повышена точность прогноза и детализация по сравнению с существующими аналогами. Предложен метод прогноза интенсивности, который предназначен для поддержки метода прогноза травматизма при ДТП в случае сбоя фиксирующей интенсивность аппаратуры и информирования водителей. Представлена разработка научно-методологической основы снижения травматизма при ДТП в городских агломерациях на всех стадиях жизненного цикла автомобильных дорог.

Ключевые слова: интенсивность транспортных потоков, погодные условия, часовые интервалы, интерполяция, комплексный сбор данных.

Abstract

In order to improve road safety, navigation and telematic systems are actively used today and software and hardware systems are being modernized. The injury prediction method proposed by the authors has machine learning algorithms and is intended for implementation in the intelligent transport system (ITS) of urban agglomerations. In this paper, the authors increased the accuracy of the prediction and detail compared to existing analogues by expanding the number of parameters and applying classification methods. The paper proposes an intensity prediction method, which is designed to support the injury prediction method in road accidents in the event of a failure of the intensity recording equipment and informing drivers. The article presents the development of a scientific and methodological basis for reducing injuries in road accidents in urban agglomerations at all stages of the life cycle of highways.

Keywords: traffic intensity, weather conditions, hourly intervals, interpolation, comprehensive data collection.

Авторы Authors

Игорь Николаевич Пугачев, д-р техн. наук, доцент, заместитель директора по научной работе; Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, e-mail: ipugachev64@mail.ru | **Николай Геннадьевич Шешера**, канд. техн. наук, доцент кафедры информационного и технического обеспечения ОВД; Дальневосточный юридический институт МВД России, Хабаровск, e-mail: kolyaka239@mail.ru

Igor N. Pugachev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FEB RAS OFITS), Khabarovsk, e-mail: ipugachev64@mail.ru | **Nikolay G. Sheshera**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Technical Support of the Department of Internal Affairs, Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Khabarovsk, e-mail: kolyaka239@mail.ru

Для принятия решений по управлению транспортным потоком, с целью повышения безопасности дорожного движения активно используются системы видеонаблюдения и модернизируются программно-аппаратные комплексы [1–4]. В системе учитываются все транспортные средства, проезжающие через участок контроля (рубеж), данные для анализа поступают в вычислительное устройство с камер наблюдения. В результате формируется список автомобилей, где каждая запись состоит из даты, времени проезда, номера рубежа контроля и т.д.

В Хабаровске для этих целей используют систему INTEGRO-КДД, которая имеет высокую точность измерения показателей транспортного потока с фиксацией расчетных приведенных значений данных показателей. В круглосуточном режиме ведется подсчет автомобилей на 107 рубежах контроля [5–7].

Предоставленный объем информации был сгруппирован по интервалам времени проезда через рубеж видеокamеры, и в среде Microsoft Visual Basic на базе Microsoft Excel разработан код, благодаря которому данные были проанализированы и сгруппированы в принятых диапазонах [8–9].

Имея точную закономерность изменения наиболее значимого показателя транспортного потока, такого как интенсивность движения на сетевом уровне улично-дорожной сети города, была поставлена задача — найти эффективные управляющие воздействия на транспортный поток различных факторов, прежде всего погодных условий, неблагоприятных для движения [10].

Общая концепция рассматриваемых в данной статье исследований заключается в создании методов по прогнозу травматизма при ДТП (рис. 1). Цель работы — разработка научно-методологической основы снижения травматизма при ДТП в городских агломерациях на всех стадиях жизненного цикла автомобильных дорог.



Рис. 1. Схема реализации научно-методологической основы снижения травматизма при ДТП в городских агломерациях на всех стадиях жизненного цикла автомобильных дорог

Для проектирования и строительства автомобильных дорог была усовершенствована методика коэффициентов аварийности проф. В. Ф. Бабкова, а для эксплуатации дорог разработан универсальный метод прогноза травматизма на основе постоянных и переменных данных.

Метод прогноза травматизма на стадии эксплуатации имеет алгоритмы машинного обучения и предназначен для внедрения в интеллектуальную транспортную систему (ИТС) городских агломераций. Подобные исследования проводились учеными Д. С. Донченко, Н. П. Садовниковой, Д. С. Парыгиным [11]. За счет расширения числа параметров и применения методов классификации авторы повысили точность прогноза и детализацию по сравнению с существующими аналогами (прогноз отсутствия пострадавших, пострадавших-погибших). Также в [11] предложен метод прогноза интенсивности, который предназначен для поддержки метода прогноза травматизма при ДТП в случае сбоя фиксирующей интенсивность аппаратуры и информирования водителей (рис. 1). Если данные об интенсивности не поступают в программно-

аппаратный комплекс, значит, этот параметр необходимо прогнозировать. При исследовании методов машинного обучения и принимая во внимание опыт специалистов в этой области, для анализа интенсивности транспортного потока и травматизма при ДТП был выбран ансамблевый метод машинного обучения — метод случайного леса. Для прогноза интенсивности транспортного потока точность составила 71,61 %, для прогноза травматизма при ДТП — 97 %. На сегодняшний день никто травматизм при ДТП с такой точностью не прогнозирует.

Были проведены дополнительные исследования точности модели прогноза интенсивности транспортного потока: в разное время года и в различных регионах РФ, в городских агломерациях (табл. 1). Точность была подтверждена. Модель прогноза травматизма при ДТП на стадии эксплуатации использует более широкий перечень данных, соответственно, тоже может считаться универсальной [12–15].

Для определения степени влияния независимых переменных на зависимую проведена оценка их важности при перестановке:

Таблица 1

Оценка точности прогноза интенсивности транспортного потока на пересечении проезжих частей ул. Ленина и ул. Андропова г. Петрозаводска, Республика Карелия

Интенсивность		Оценка точности	Интенсивность		Оценка точности	Интенсивность		Оценка точности
Прогноз	Факт		Прогноз	Факт		Прогноз	Факт	
1	74	ТОЧНО	2	686	НЕ ТОЧНО	1	195	ТОЧНО
1	15	ТОЧНО	2	530	НЕ ТОЧНО	1	110	ТОЧНО
1	72	ТОЧНО	2	257	ТОЧНО	1	259	НЕ ТОЧНО
1	34	ТОЧНО	3	442	НЕ ТОЧНО	1	129	ТОЧНО
1	2	ТОЧНО	1	393	НЕ ТОЧНО	1	32	ТОЧНО
1	49	ТОЧНО	1	226	ТОЧНО	1	158	ТОЧНО
3	513	ТОЧНО	2	476	ТОЧНО	1	105	ТОЧНО
6	579	НЕ ТОЧНО	1	294	НЕ ТОЧНО	1	21	ТОЧНО
2	697	НЕ ТОЧНО	1	131	ТОЧНО	1	89	ТОЧНО
2	350	ТОЧНО	2	382	ТОЧНО			

$$i_j = s - \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K s_{k,j}, \quad (1)$$

где s — эталонная оценка; k — повторение в $1, \dots, K$; j — признак из колонки.

Незначительные признаки были исключены для повышения качества модели (рис. 2). Самые эффективные признаки помещаются в корень дерева решений, чтобы при расщеплении как можно лучше снять неопределенность прогнозируемых классов в своем узле и передать новые отсортированные переменные в новые узлы. От узла к узлу коэффициент $gini$ (показывающий уровень энтропии) становится меньше, таким образом определяется влияние признаков друг на друга.

Одним из значимых факторов травматизма при ДТП является уровень интенсивности транспортных потоков [16–17]. При исследовании интенсивности транспортного потока авторы использовали метод классификации, создано 23 группы (0–250 — первая группа, 251–500 — вторая группа, ... — 23-я группа), и сравнивались различия между ними.

Для определения травматизма на стадии эксплуатации исследованы различия между тремя группами (0 — нет пострадавших в ДТП, 1 — с пострадавшими,

2 — с погибшими), для проектирования и строительства между двумя группами (0 — нет пострадавших, 1 — с пострадавшими). Определена точность прогноза для всех трех методик, все они были экспериментально подтверждены. Объем исследуемых данных исчерпывающий, рассмотрены ДТП за пять лет, с 2016 по 2021 г. Данные об интенсивности транспортного потока рассмотрены совместно с сопутствующими независимыми переменными в 562612 временных интервалах.

Для повышения качества прогноза интенсивности транспортного потока при обучении модели отдельно проанализированы условия, при которых возникают неблагоприятные климатические факторы, например гололед. Согласно ОДМ 218.2.003-2009 «Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия», образование гололедицы наиболее вероятно при температурах воздуха от минус 2 до минус 6 °С, относительной влажности воздуха от 65 до 85 %. В исходных данных создана колонка «Гололед». Если обозначенные условия выполняются, в колонке ставилось значение «1», если нет — «0». После обучения качество модели снизилось на 0,02 %. Для подтверждения ее точности отдельно проведены исследования в холодное и теплое время года (июль, январь, рис. 3).

И. Н. Пугачев, Н. Г. Шешера | Математическое моделирование в транспортных исследованиях с использованием данных, полученных на основе...

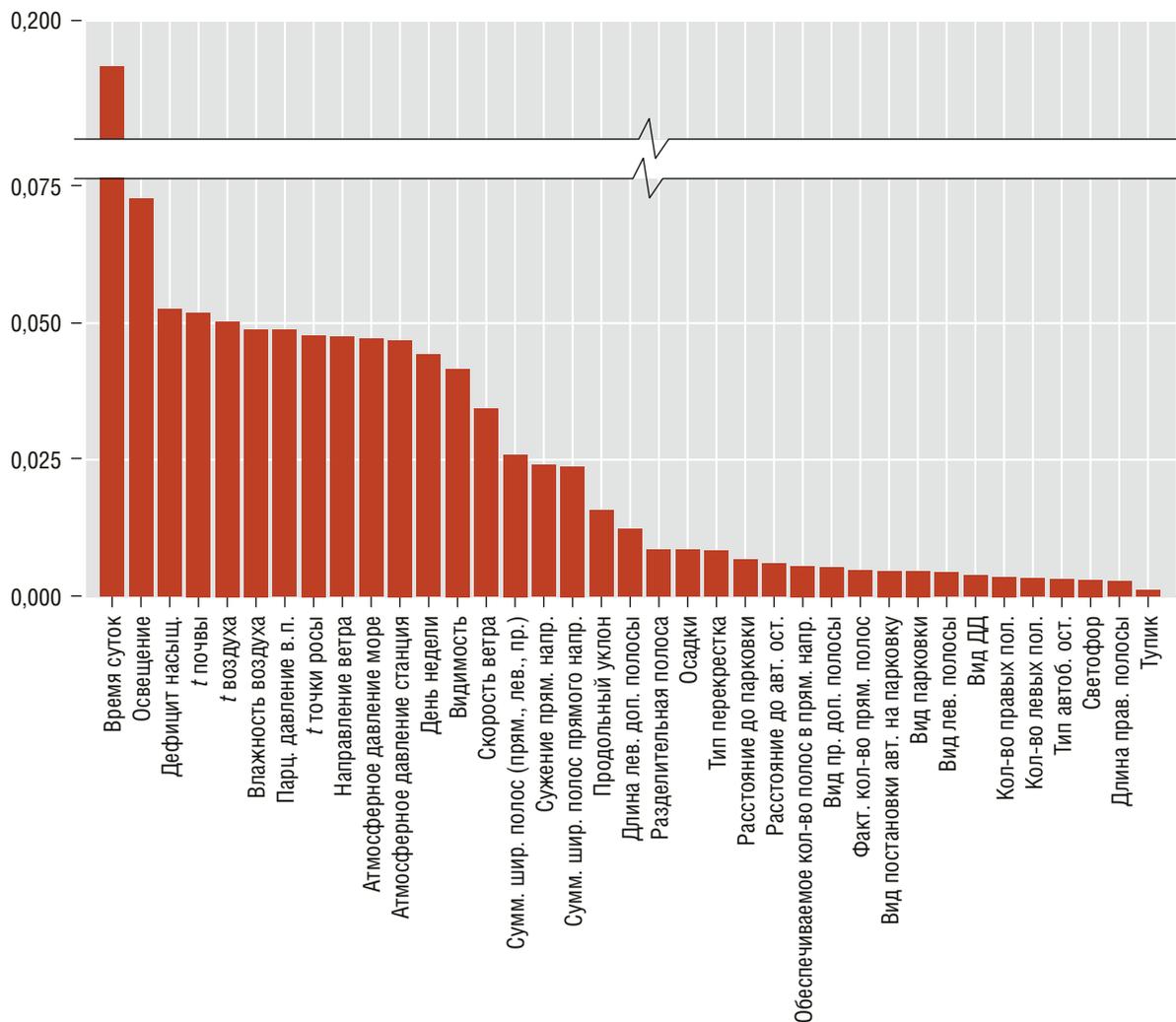


Рис. 2. Вес независимых признаков модели прогноза интенсивности транспортных потоков

Несмотря на значительное изменение среднемесячной интенсивности точность модели подтвердилась. С использованием графика прогностических интервалов (рис. 4) была доказана информативность прогноза. Для прогноза интенсивности транспортного потока этого достаточно, так как, если реальное значение не попадает в прогностический интервал, истинное значение находится в следующем или предыдущем.

Отдельно следует уточнить, почему в расчетах не использовались нейронные сети. При изучении методов машинного обучения для поставленных задач авторы в первую очередь опирались на ранее проведенные исследования ученых в этой области. И. П. Болодурина, Л. М. Анциферова и Л. С. Гришина изучали интенсивность транспортных потоков на перекрестке с использованием нейронных сетей, впоследствии они рекомендовали проводить изучение этого параметра с помощью ансамблевых методов машинного обучения [18]. Д. С. Донченко, Н. П. Садовникова и Д. С. Парыгин исследовали травматизм при ДТП с использованием ансамблевых методов [11].

Нейронные сети показывают лучшие результаты при работе с однородными данными, например при обработке изображений. Разбивая графическую информацию на типизированную структуру, нейронная сеть анализирует однородную последовательность пикселей. На большом количестве разнородных данных нейронные сети показывают худшие результаты из-за неявных взаимосвязей. При исследовании интенсивности транспортного потока с использованием нейронных сетей имели успех только те ученые, которые брали ограниченный перечень данных (например, время и день недели). Такие модели применимы на конкретном участке, а при более широком диапазоне входящих данных наблюдается проблема переобучаемости — в новых ситуациях прогнозы становятся все хуже и хуже.

Методом случайного леса обучена модель прогноза интенсивности транспортного потока на широком диапазоне данных, что сделало ее универсальной (точность составила 71,61 %). Нейронная сеть имела точность значительно ниже.

Январь 2021 г.
Точность 70 %

Интенсивность	Оценка	
Прогноз	Факт	точности
4	857	ТОЧНО
8	1741	НЕ ТОЧНО
8	1837	ТОЧНО
8	1796	ТОЧНО
7	1595	ТОЧНО
4	722	НЕ ТОЧНО
3	681	ТОЧНО
4	715	НЕ ТОЧНО
3	639	ТОЧНО
7	1459	НЕ ТОЧНО
6	1359	ТОЧНО
4	965	ТОЧНО
5	985	НЕ ТОЧНО
5	1219	ТОЧНО
5	847	НЕ ТОЧНО
9	2070	ТОЧНО
8	1858	ТОЧНО
3	555	ТОЧНО
3	617	ТОЧНО
4	536	НЕ ТОЧНО
3	524	ТОЧНО
5	969	НЕ ТОЧНО
3	711	ТОЧНО
4	888	ТОЧНО
3	578	ТОЧНО
3	559	ТОЧНО
3	525	ТОЧНО
2	514	НЕ ТОЧНО
3	524	ТОЧНО

Июль 2021 г.
Точность 73 %

Интенсивность	Оценка	
Прогноз	Факт	точности
4	765	ТОЧНО
3	765	НЕ ТОЧНО
4	814	ТОЧНО
3	765	НЕ ТОЧНО
4	764	ТОЧНО
4	814	ТОЧНО
6	1151	НЕ ТОЧНО
6	1377	ТОЧНО
6	1358	ТОЧНО
6	1412	ТОЧНО
8	1710	НЕ ТОЧНО
8	1893	ТОЧНО
8	1852	ТОЧНО
7	1693	ТОЧНО
9	1473	НЕ ТОЧНО
8	1894	ТОЧНО
8	1839	ТОЧНО
7	1690	ТОЧНО
8	1749	НЕ ТОЧНО
9	2056	ТОЧНО
8	1952	ТОЧНО
6	1709	НЕ ТОЧНО
7	1689	ТОЧНО
7	1567	ТОЧНО
6	1566	НЕ ТОЧНО
7	1509	ТОЧНО
7	1506	ТОЧНО
7	1553	ТОЧНО
4	765	ТОЧНО



Рис. 3. Исследование качества прогностической модели с учетом сезонных изменений

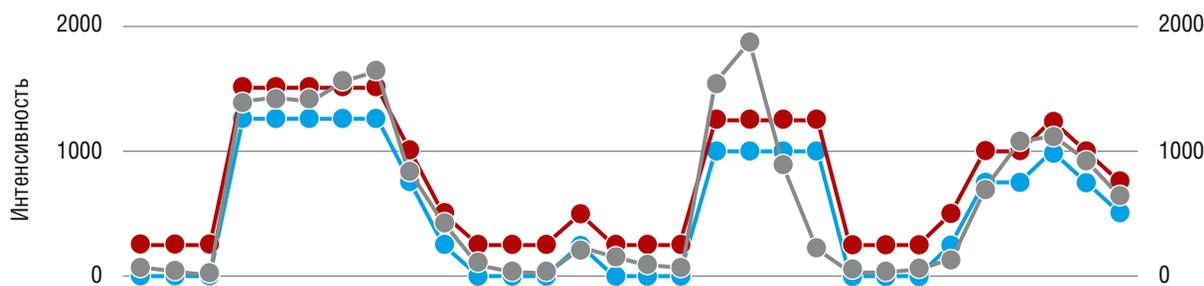


Рис. 4. Сравнительный анализ прогноза интервалов интенсивности с фактическими значениями:

●— верхняя граница интенсивности (прогноз); ●— нижняя граница интенсивности (прогноз); ●— фактическая интенсивность

Предположительно при использовании метода нейронной сети требовалось подать конкретные совокупности значений на входной слой, которые отражали бы гололед, туман и т.д. Этот подход требует дополнительных ресурсных затрат на обработку каждого признака в рамках одного массива данных. Метод случайного леса при построении дерева решений, напротив, делит узлы с учетом влияния на них зависимого признака (интенсивности), соответственно, в нем рассматриваются все значимые совокупности признаков. И если гололед влияет на интенсивность транспортного потока, в дереве решений имеется ветвь с данным исходом.

Перед тем как исключить нейронную сеть как инструмент для дальнейшего исследования, был проведен анализ различных толщин интервалов с целью группировки признаков таким образом, чтобы они своей совокупностью оказывали максимальное влияние на интенсивность. Использовалась ранговая корреляция Спирмена [19].

Для геометрических элементов дорог использовались толщины по таблице В. Ф. Бабкова (интенсивность транспортного потока $N = 250$ авт/ч; температура воздуха $t_{\text{воздуха}} = 5$ °С; температура почвы $t_{\text{почвы}} = 5$ °С; температура точки росы $DP = 5$ °С; парциальное давление

водяного пара $p_s = 5$ Па; относительная влажность воздуха $\phi = 50$ %; дефицит насыщения $d = 5$ г/м³; атмосферное давление на уровне станции $P_{\text{станции}} = 30$ гПа; атмосферное давление на уровне моря $P_{\text{моря}} = 45$ гПа; скорость ветра — 2 м/с; осадки — 2 мм).

Предложенный подход для определения эффективных толщин интервалов применен впервые, для этого была разработана и зарегистрирована специализированная программа для ЭВМ. Генерировались уникальные значения толщин, для каждого результата рассчитывалась не только корреляция, но и вероятность ошибки p , поэтому данные не просто подавались в нейронную сеть, они были исследованы и сгруппированы с использованием нового научного подхода. В результате подбора толщин интервалов учитывались все аспекты влияния независимых переменных на зависимую, в том числе в области термодинамики.

Для прогноза интенсивности транспортного потока за основу бралась работа [11], авторы которой прогнозировали этот параметр только на перекрестке. В данном исследовании предложены решения как на перекрестках, так и на перегонах.

Влияние метеоданных доказано методом перестановок по формуле (1):

- максимальная обеспечиваемая скорость = 0,1658;
- наличие пешеходного перехода в радиусе 50 м = 0,0044;
- часть дня (день, ночь, вечерние и утренние сумерки) = 0,041;
- время суток = 0,0036;
- стаж водителя = 0,0036;
- ширина дороги = 0,0032;
- продольный уклон = 0,0032;
- интенсивность движения = 0,003;
- тип транспортного средства = 0,0025;
- атмосферное давление на уровне станции = 0,0019;
- атмосферное давление на уровне моря = 0,0018;
- температура воздуха = 0,0017;
- относительная влажность = 0,0016;
- температура почвы = 0,0014;
- расстояние до автобусной остановки = 0,0014;
- количество полос в прямом направлении = 0,0013;
- день недели = 0,0012;
- расстояние до парковки = 0,0012;
- дефицит насыщения = 0,0011;
- температура точки росы = 0,0011;
- парциальное давление водяного пара = 0,001;
- длина переходной-скоростной полосы для левого поворота = 0,001;
- наличие светофора = 0,0007;
- тип пересечения = 0,0007;
- длина переходной-скоростной полосы для правого поворота = 0,0006;
- скорость ветра = 0,0005;

- месяц = 0,0005;
- видимость, код (VV) = 0,0004;
- тип движения (1,2-стороннее) = 0,0004;
- количество левых полос = 0,0004;
- количество осадков = 0,0003.

С учетом этих весов травматизм при ДТП прогнозируется с точностью 97 %. Рассматривалось намного больше признаков, но путем экспериментального подбора данных с целью повышения качества остались только приведенные выше.

Таким же образом по формуле (1) рассчитаны веса независимых признаков для прогноза интенсивности транспортных потоков (рис. 2).

Доказательством точности моделей являются тестовые прогнозы на данных, которые не участвовали в обучении. Для проверки точности прогноза интенсивности транспортного потока в разные периоды года проведены дополнительные исследования (рис. 3). Несмотря на значительное изменение среднемесячной интенсивности, точность модели прогноза интенсивности транспортного потока подтвердилась (январь — 70 %, июль — 72 %). Эффективность работы усовершенствованной методики коэффициентов аварийности была экспериментально доказана на аварийно опасном участке г. Хабаровска.

Таким образом, в ходе исследования авторами разработаны два метода оценки травматизма при ДТП, один применяется на стадии проектирования и строительства, второй — на стадии эксплуатации автомобильных дорог. Для второго способа необходимы данные об интенсивности транспортных потоков, они поступают с датчиков или камер видеонаблюдения, но в случае сбоя фиксирующей аппаратуры подключается разработанный метод прогноза травматизма при ДТП (рис. 1).

Также предложено внедрение разработанных методик для всех стадий жизненного цикла автомобильных дорог:

1. Для стадий проектирования и строительства предложены рекомендации по внесению изменений в ОДМ 218.4.005–2010 и акт приемки и ввода в эксплуатацию транспортных сооружений (ИС-840-р от 03.10.2002 г.).

2. Для стадии эксплуатации в структуру ИТС предложен метод оценки травматизма при ДТП с целью эффективного распределения транспортных потоков. Данный метод работает с непрерывно поступающими данными, в том числе интенсивностью.

При осложнении дорожной ситуации вычислительный комплекс ИТС моделирует эффективное транспортное распределение и реализует его через объекты управления (умный светофор). Предлагается пересмотреть приоритеты распределения с учетом травматизма при ДТП [20–22].

Вся идея ИТС — это объединение разрозненных программно-аппаратных комплексов организации и безопасности дорожного движения в одну сеть. В 2021 г. с использованием ИТС начали прогнози-

ровать опасность участков. Под опасностью производители понимают общую аварийность. Авторами предложено в составе ИТС прогнозировать травматизм при ДТП для определения приоритетов распределения транспортных потоков [23]. Следует подчеркнуть, что задачу распределения транспортных потоков авторы перед собой не ставили. Работа опирается на перспективы развития ИТС, в том числе объединение всех светофорных объектов городской агломерации

в одну группу, подчиненную центральному аппаратному управлению [1].

Проведенные исследования и полученные результаты в области управления городским движением универсальны и применимы не только в городах нашей страны, но и во всем мире. Данные исследования укрепляют технологический потенциал нашей страны, способствуют развитию научного сотрудничества и международных отношений. **ИТ**

Список литературы

1. Планирование устойчивой городской мобильности : монография / И. Н. Пугачев, А. О. Лобашев, С. С. Семченков [и др.] ; под общ. ред. И. Н. Пугачева. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2023. 147 с.
2. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Щеглов В. И. Анализ геометрических элементов дорог с помощью современных геоинформационных систем при оценке их аварийности // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 3 (86). С. 127–133. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-127-133.
3. Пугачев И. Н. Теоретические принципы и методы повышения эффективности функционирования транспортных систем городов : дис. ... доктора технических наук : 05.22.01 / Пугачев Игорь Николаевич. Екатеринбург, 2010. 367 с.
4. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Каменчуков А. В. Совершенствование методов оценки качества и безопасности дорожного движения : монография. Хабаровск, 2018. 139 с.
5. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Применение методов статистического анализа для оценки параметров транспортных потоков и характеристик улично-дорожной сети : учебно-практическое пособие. Хабаровск : ДВЮИ МВД России, 2020. 108 с. ISBN 978-5-9753-0313-4.
6. Ярмолинский А. И., Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Совершенствование методики оценки аварийности автомобильных дорог по степени обеспечения безопасности движения в городских условиях // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2016. № 3 (42). С. 33–42. ISSN 1996-3440.
7. Пугачев И. Н., Куликов Ю. И., Седюкевич В. Н. Показатели качественного функционирования транспортного комплекса Российской Федерации // Наука и техника. 2015. № 3. С. 51–60. ISSN 2227-1031.
8. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Определение стадий контроля безопасности дорожного движения (проектирование, строительство и эксплуатация) для усовершенствованной методики коэффициентов аварийности // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. № 2 (39). С. 54–60. ISSN 2415-8658.
9. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Использование инструментов современных библиотек PYTHON по работе с географическими координатами для решения задач безопасности дорожного движения // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. № 3 (40). С. 60–66. ISSN 2415-8658.

References

1. Planning sustainable urban mobility : monograph / I. N. Pugachev, A. O. Lobashev, S. S. Semchenkov [et al.]; under the general editorship of I. N. Pugachev. Khabarovsk : Publishing house of DVGUPS, 2023. 147 p.
2. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Shcheglov V. I. Analysis of geometric elements of roads using modern geoinformation systems in assessing their accident rate // Bulletin of Civil Engineers. 2021. No. 3 (86). Pp. 127–133. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-127-133.
3. Pugachev I. N. Theoretical principles and methods of improving the efficiency of urban transport systems : dis. ... Doctor of Technical Sciences : 05.22.01 / Pugachev Igor Nikolaevich. Yekaterinburg, 2010. 367 p.
4. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Kamenchukov A. V. Improvement of methods for assessing the quality and safety of road traffic : monograph. Khabarovsk, 2018. 139 p.
5. Pugachev I. N., Sheshera N. G. Application of statistical analysis methods to assess the parameters of traffic flows and characteristics of the road network : educational and practical guide. Khabarovsk : DVUI of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2020. 108 p. ISBN 978-5-9753-0313-4.
6. Yarmolinsky A. I., Pugachev I. N., Sheshera N. G. Improving the methodology for assessing the accident rate of highways according to the degree of traffic safety in urban conditions // Bulletin of the Pacific State University. 2016. No. 3 (42). Pp. 33–42. ISSN 1996-3440.
7. Pugachev I. N., Kulikov Yu. I., Sedyukevich V. N. Indicators of the qualitative functioning of the transport complex of the Russian Federation // Science and technology. 2015. No. 3. Pp. 51–60. ISSN 2227-1031.
8. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Grigorov D. E. Determination of stages of road safety control (design, construction and operation) for an improved methodology of accident coefficients // Transport of the Asia-Pacific region. 2024. No. 2 (39). Pp. 54–60. ISSN 2415-8658.
9. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Grigorov D. E. Using the tools of modern PYTHON libraries for working with geographical coordinates to solve traffic safety problems // Transport of the Asia-Pacific region. 2024. No. 3 (40). Pp. 60–66. ISSN 2415-8658.

10. Пугачев И. Н., Скрипко П. Б., Шешера Н. Г. Программный подход к комплексному сбору и подготовки данных об интенсивности движения транспортных средств, погодных условий и естественной освещенности в часовых интервалах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17, № 10. С. 43–51. ISSN 2072-8735.
11. Донченко Д. С., Садовникова Н. П., Парыгин Д. С. Прогнозирование степени тяжести последствий ДТП с использованием методов машинного обучения // Вестник Воронежского института высоких технологий. № 4 (31). 2019. С. 176–180. eISSN: 2949-4443.
12. Пугачев И. Н., Евтюков С. С., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Максимальная обеспечиваемая скорость как ключевой показатель травматизма при ДТП. Способы сбора, обработки и анализа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 6. С. 46–54. ISSN 2072-8735.
13. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Прогноз травматизма при ДТП с использованием линейного графика и метода машинного обучения // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 3–1 (86). С. 3–11. ISSN 2073-7432.
14. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Применение методики коэффициентов травматизма в целях контроля качества будущих и эксплуатируемых дорог // Качество и жизнь. 2016. № 1 (9). С. 58–61. ISSN 2312-5209.
15. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Влияние величины продольного уклона на ДТП с травматизмом // Наука и техника в дорожной отрасли. 2020. № 3. С. 4–7. ISSN 1993-8543.
16. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Определение эффективных широт интервалов влияния температурных режимов на интенсивность транспортного потока с использованием ранговой корреляции Спирмена // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 3. С. 34–40. ISSN 2072-8735.
17. Пугачев И. Н., Евтюков С. С., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Прогноз интенсивности транспортного потока. Обучение с учителем. Метод случайных деревьев // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 4. С. 36–47. ISSN 2072-8735.
18. Болодурина И. П., Анциферова Л. М., Гришина Л. С. Интеллектуальная модель прогнозирования интенсивности движения транспортных средств на перекрестке // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. № 6. С. 69–78. URL: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-6-69>.
19. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Исследование широт интервалов признаков для повышения эффективности прогноза интенсивности транспортного потока // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 5. С. 726–735. URL: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-726-735>.
20. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Перспективы исследования дорожной обстановки при совершении ДТП с позиций травматизма // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса : материалы международной научно-практической конференции. Хабаровск, 2014. Вып. 14. С. 279–281.
10. Pugachev I. N., Skripko P. B., Sheshera N. G. A programmatic approach to the integrated collection and preparation of data on vehicle traffic intensity, weather conditions and natural illumination in hourly intervals // T-Comm: Telecommunications and Transport. 2023. Vol. 17, No. 10. Pp. 43–51. ISSN 2072-8735.
11. Donchenko D. S., Sadovnikova N. P., Parygin D. S. Predicting the severity of the consequences of an accident using machine learning methods // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. No. 4 (31). 2019. Pp. 176–180. eISSN: 2949-4443.
12. Pugachev I. N., Yevtyukov S. S., Sheshera N. G., Grigorov D. E. The maximum speed provided as a key indicator of injuries in an accident. Methods of collection, processing and analysis // T-Comm: Telecommunications and transport. 2024. Vol. 18, No. 6. Pp. 46–54. ISSN 2072-8735.
13. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Grigorov D. E. Prediction of injuries in road accidents using a linear graph and machine learning method // The world of transport and technological machines. 2024. No. 3-1 (86). Pp. 3–11. ISSN 2073-7432.
14. Pugachev I. N., Sheshera N. G. Application of the method of injury coefficients in order to control the quality of future and operated roads // Quality and life. 2016. No. 1 (9). Pp. 58–61. ISSN 2312-5209.
15. Pugachev I. N., Sheshera N. G. The influence of the magnitude of the longitudinal slope on accidents with injuries // Science and technology in the road industry. 2020. No. 3. Pp. 4–7. ISSN 1993-8543.
16. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Grigorov D. E. Determination of effective latitudes of the temperature regime influence intervals on the intensity of traffic flow using Spearman's rank correlation // T-Comm: Telecommunications and Transport. 2024. Vol. 18, No. 3. Pp. 34–40. ISSN 2072-8735.
17. Pugachev I. N., Yevtyukov S. S., Sheshera N. G., Grigorov D. E. Forecast of traffic flow intensity. Learning with a teacher. The method of random trees // T-Comm: Telecommunications and transport. 2024. Vol. 18, No. 4. Pp. 36–47. ISSN 2072-8735.
18. Bolodurina I. P., Antsiferova L. M., Grishina L. S. An intelligent model for predicting the intensity of traffic at an intersection // Intelligence. Innovation. Investment. 2022. No. 6. Pp. 69–78. URL: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-6-69>.
19. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Grigorov D. E. Investigation of the latitudes of feature intervals to increase the effectiveness of forecasting the intensity of traffic flow // Bulletin of SibADI. 2024. Vol. 21, No. 5. Pp. 726–735. URL: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-726-735>.
20. Pugachev I. N., Sheshera N. G. Prospects for the study of the road situation during an accident from the standpoint of injury // Far East: problems of development of architectural, construction and road transport complex : materials of the international scientific and practical conference. Khabarovsk, 2014. Issue 14. Pp. 279–281.

21. Пугачев И. Н. Проблемы модернизации транспортных систем городов // Транспортное строительство. 2008. № 8. С. 5–9. ISSN 0131-4300.
22. Пугачев И. Н., Каменчуков А. В., Ярмолинский В. А., Шешера Н. Г. Комплексный подход к повышению безопасности дорожного движения на основе анализа транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги // Дороги и мосты. 2018. № 1 (39). С. 266-282. ISSN 1815-896X.
23. Куликов Ю. И., Пугачев И. Н., Маркелов Г. Я. Инновационные подходы в решении проблем развития городского транспорта (на примере г. Хабаровска) // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2013. № 11. С. 38–43. ISSN 2074-7462.

21. Pugachev I. N. Problems of modernization of transport systems of cities // Transport construction. 2008. No. 8. Pp. 5–9. ISSN 0131-4300.
22. Pugachev I. N., Kamenchukov A.V., Yarmolinsky V. A., Sheshera N. G. An integrated approach to improving road safety based on the analysis of the transport and operational condition of the highway // Roads and bridges. 2018. No. 1 (39). Pp. 266–282. ISSN 1815-896X.
23. Kulikov Yu. I., Pugachev I. N., Markelov G. Ya. Innovative approaches to solving problems of urban transport development (on the example of Khabarovsk) // Cargo and passenger car industry. 2013. No. 11. Pp. 38–43. ISSN 2074-7462.



**Дмитрий
Германович
Неволин**
Dmitry G.
Nevolin



**Алексей
Алексеевич
Цариков**
Aleksey A.
Tsarikov



**Игорь
Георгиевич
Сорогин**
Igor G.
Sorogin

К вопросу применения автоматизированных методов исследования пассажиропотоков на городском общественном транспорте

On the issue of the application of automated methods of passenger traffic research on urban public transport

Аннотация

В статье рассматриваются существующие проблемы натурного обследования пассажиропотоков. Проанализированы основные автоматизированные методы исследования, указаны их преимущества и недостатки, а также показатели, которые можно получить, используя каждый из методов.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, пассажиропоток, автоматизированные методы исследования.

Abstract

The article touches upon the temporary problems of the passenger-flow full-scale survey. The principal automated research methods have been analyzed, their advantages and disadvantages, as well as the indicators which can be achieved with the use of each of the methods have been noted.

Keywords: urban passenger transport, passenger-flow, automated research methods.

Авторы Authors

Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: innotrans@mail.ru | **Алексей Алексеевич Цариков**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Игорь Георгиевич Сорогин**, канд. пед. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: ISorogin@usurt.ru

Dmitry G. Nevolin, Doctor of Technical Science, Full member of the Russian Academy of Transport, Professor of the Chair "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru | **Aleksey A. Tsarikov**, Candidate of technical sciences, Associate Professor of "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Igor G. Sorogin**, Candidate of pedagogical sciences, Associate Professor of "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, e-mail: I.Sorogin@usurt.ru

Введение

Проведение натурных обследований пассажиропотоков — достаточно трудоемкий процесс, требующий привлечения большого количества учетчиков. При этом много времени уходит на подготовку процесса (рекогносцировка местности, подготовка бланков, обучение персонала и размещение на объектах исследования). Также значительных затрат требует обработка полученных данных и формализация их в кривые и картограммы.

Проблемы проведения натурных обследований пассажиропотоков

Практика городов России и постсоветского пространства показывает, что наиболее часто в качестве учетчиков используются студенты высших и среднеспециальных учебных заведений, особенно те, кто обучается на специальностях транспортного профиля. На современном этапе развития профессионального образования процесс привлечения студентов к подобным исследованиям значительно усложнился. Это, в частности, касается финансовой части процесса, поскольку использование студентов как учетчиков требует определенной оплаты труда.

Развитие индивидуализма современного человека также осложняет проведение натурных обследований пассажиропотоков. Так, например, проведение талонных обследований в настоящее время может привести к высокой доле брака при обработке бланков. Пассажирам может не понравиться то, что им выдают талоны на входе в салон. Они могут отказаться их принимать из рук учетчика или просто выбросить.

В табл. 1 представлены ориентировочные затраты на проведение натурных обследований по данным на конец 1970-х гг. Предпринята попытка оценить затраты в переводе на современные рубли, для этого принят курс 1 к 612.

Как видно из табл. 1, затраты на оплату услуг учетчиков за один день работы в таком городе, как Екатеринбург, могут составить 6 миллионов рублей. При этом достаточно большую сумму необходимо заплатить за обработку данных и получение конечных результатов. Потребность в полномасштабных обследованиях и разработке документов транспортного планирования в таком случае требует больших финансовых затрат.

По мере роста города пассажиропотоки и их закономерности постепенно меняются, большое влияние оказывают сезоны года и дни недели. Системное получение информации в этом случае требует огромных затрат, неподъемных для бюджета города. Вышеперечисленные проблемы стали причиной появления и развития автоматизированных методов обследования пассажиропотоков, которые достаточно подробно описаны в отечественной литературе [2–5].

Автоматизированные методы обследований пассажиропотоков

Автоматизированные методы позволяют получать информацию в обработанном виде без участия людей. При проведении автоматизированных обследований пассажиропотоков можно использовать шесть различных методов:

- 1) гравиметрический (весовой);
- 2) силуэтный;

Таблица 1

Ориентировочные затраты на проведение обследований и обработку информации на 1000 пассажиров [1]

Метод	Затраты в 1968 г., руб.	Затраты в 2024 г., руб.
Анкетный при обработке данных:		
● на счетно-перфорированных машинах	230	140 760
● на ЭВМ	545	333 540
Талонный	5–10	3000–6000
Табличный при учете:		
● в подвижном составе	1,4–1,8	858–1100
● на остановочных пунктах	1,1–1,4	673–858
Визуальный при учете:		
● учетчиками	0,9–1,3	551–796
● водителями (кондукторами)	0,7–1,0	428–612

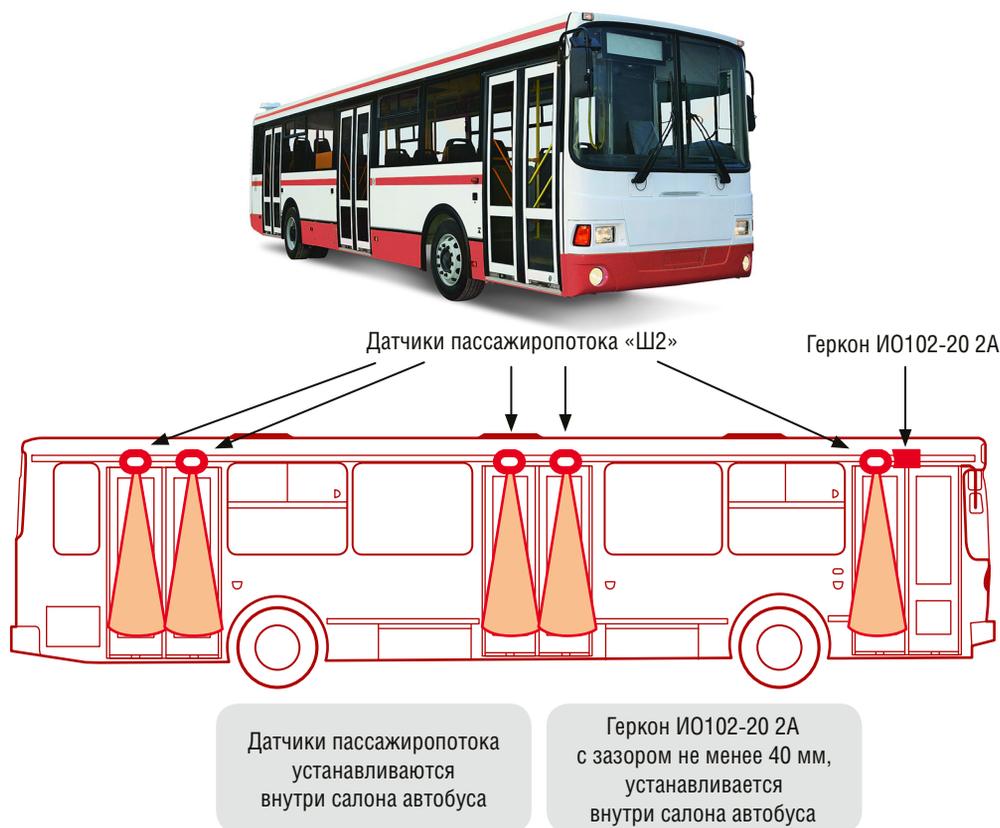


Рис. 1. Схема работы системы аппаратного учета пассажиропотоков на транспортном средстве

- 3) детекторов входа и выхода;
- 4) видеодетекторов распознавания лиц;
- 5) валидации проездных билетов;
- 6) использования телекоммуникационных данных.

1. Гравиметрический или весовой метод

Основан на использовании весов, вмонтированных в подушки рессор подвижного состава или в саму проезжую часть, позволяет оценить массу подвижного состава вместе с пассажирами на отдельных остановочных пунктах и перегонах. Зная массу пустого подвижного состава, а также приняв среднюю массу пассажира в 70 кг, можно оценить пассажиропоток на отдельном маршруте или линии. Весовой метод редко применяется на практике, поскольку для измерений требуется разделение процесса посадки и высадки пассажиров, а также необходимо оборудовать весами весь подвижной состав.

2. Силуэтный метод

Аналог силуэтного и балльного методов натурального обследования пассажиров. При использовании машинного режима силуэт подвижного состава с пассажирами

внутри определяется автоматически при помощи видеокамер и фотоаппаратов.

Современные интеллектуальные системы позволяют распознавать силуэты и самостоятельно оценивать загрузку подвижного состава. Недостаток метода заключается в том, что в результате исследуется только один параметр — пассажиропоток. Этого недостаточно для оценки изменения транспортных закономерностей и разработки предложений по развитию пассажирского транспорта в городе.

3. Использование детекторов входа и выхода

Наибольшее распространение на современном этапе получили методы автоматического обследования пассажиропотоков на основе транспортных детекторов, например с помощью инфракрасных датчиков, которые устанавливаются над дверями при входе в салон подвижного состава (рис. 1).

Детекторы входа и выхода, по сути, заменяют учетчиков, размещенных у дверей подвижного состава, которые считают количество вошедших и вышедших пассажиров. Подобный метод исследования аналогичен табличному методу с той лишь разницей, что реализуется в автоматическом режиме.

Установка датчиков на подвижной состав позволяет в автоматическом режиме получать данные о пассажиропотоке, объеме пассажироперевозок, объеме транспортной работы, средней дальности поездки пассажира. При системном использовании датчиков информацию можно получать в автоматическом режиме каждый день.

4. Использование видеодетекторов распознавания лиц

Как показали исследования [6, 7], в настоящее время методы обследования пассажиропотоков на основе распознавания лиц эффективно работают на маршрутах пригородного и междугороднего транспорта, где пассажиры практически все время располагаются на сиденьях, поэтому их лица фиксируются видеокамерами.

5. Метод валидации проездных билетов

Существенное распространение в последние годы получили методы исследования пассажиропотоков, основанные на использовании данных оплаты проезда. Применение электронных карт и гаджетов позволило консолидировать информацию об оплате проезда на серверах банков и операторов платежей. На основе этих данных с помощью специальных алгорит-

мов обработки можно получить информацию о количестве транспортных корреспонденций между различными районами города, значения пассажиропотоков, объем пассажироперевозок, объем транспортной работы, среднюю дальность поездки пассажира, а также матрицу корреспонденций. К недостаткам данного метода стоит отнести необходимость массового внедрения системы электронной оплаты проезда на территории всего города.

6. Использование телекоммуникационных данных

В процессе обслуживания телекоммуникационных устройств (мобильных телефонов и др.) операторы связи собирают большое количество служебной информации, необходимой для поддержки собственных бизнес-процессов. Наряду с этим полученная в результате обслуживания мобильных телефонов информация позволяет построить матрицу перемещений абонентов данного оператора как по территории города, так и за его пределами.

Каждый из перечисленных выше методов имеет свои особенности, а также позволяет получить определенный набор показателей, необходимых для расчетов и обоснования мероприятий. В табл. 2 представлены характеристики методов обследования пассажиропотоков и рекомендации по их использованию.

Таблица 2

Автоматизированные методы обследования пассажиропотоков и рекомендации по их использованию

Название метода	Показатели, получаемые в результате исследования	Сфера применения
Гравиметрический (весовой)	Пассажиропоток	Обоснование перспективных линий ГПТ и видов транспорта. Корректировка расписания и изменения класса подвижного состава на маршруте
Силуэтный	Пассажиропоток	Обоснование перспективных линий ГПТ и видов транспорта. Корректировка расписания и изменения класса подвижного состава на маршруте
Использование детекторов входа и выхода	Пассажиропоток. Объем пассажироперевозок. Объем транспортной работы. Пассажирообмен остановочного пункта. Средняя дальность поездки пассажира	Обоснование перспективных линий ГПТ и видов транспорта. Корректировка расписания и изменения класса подвижного состава на маршруте

Название метода	Показатели, получаемые в результате исследования	Сфера применения
Использование видеодетекторов распознавания лиц	Пассажиропоток. Объем пассажироперевозок. Объем транспортной работы. Пассажирообмен остановочного пункта. Средняя дальность поездки пассажира. Величина межстаночных пассажирских корреспонденций	Обоснование перспективных линий ГПТ и видов транспорта. Корректировка расписания и изменения класса подвижного состава на маршруте. Продление маршрута или видоизменение его траектории. Корректировка маршрутной сети города. Разработка новой маршрутной сети города со значительными изменениями
Валидация проездных билетов	Пассажиропоток. Объем пассажироперевозок. Объем транспортной работы. Средняя дальность поездки пассажира. Величина межрайонных пассажирских корреспонденций	Обоснование перспективных линий ГПТ и видов транспорта. Корректировка расписания и изменения класса подвижного состава на маршруте. Продление маршрута или видоизменение его траектории. Корректировка маршрутной сети города. Разработка новой маршрутной сети города со значительными изменениями
Использование данных телекоммуникационных операторов	Величина межрайонных корреспонденций, осуществляемых всеми способами (пешие и транспортные)	Обоснование перспективных направлений развития транспортной системы города, в том числе линий ГПТ и видов транспорта. Корректировка маршрутной сети города. Разработка новой маршрутной сети города со значительными изменениями. Разработка мероприятий по развитию улично-дорожной сети и организации дорожного движения

Заключение

На современном этапе развития городского транспорта необходимы более эффективные методы обследования пассажиропотоков. К ним необходимо отнести автоматизированные методы, основанные на использовании детекторов транспорта и электронных систем оплаты проезда. Применение данных методов позволя-

ет оперативно получать информацию о пассажиропотоках и в минимальные сроки принимать решения об изменении расписания или использовании подвижного состава другого класса.

В ряде городов России автоматизированные методы исследования пассажиропотоков стали основой системы выявления безбилетников, поэтому необходимо активно внедрять их на всей территории страны. **ИТ**

Список литературы

1. Голованенко С. Л., Крамаренко И. Г., Перфильев В. В., Сословский В. Г. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом. Киев : Техника, 1981. 167 с.
2. Лебедева О. А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2014. 171 с.

References

1. Golovanenko S. L., Kramarenko I. G., Perfiliev V. V., Kast-yassky V. G. Organization of passenger transportation by road. Kiev : Technika, 1981. 167 p.
2. Lebedeva O. A. Improvement of methods for monitoring passenger flows on public urban passenger transport routes : dis. ... candidate of Technical Sciences. Irkutsk, 2014. 171 p.

3. Петрова Д. В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8, № 1. С. 47–57.
4. Меркелова Т. В., Коротких Ю. С. Способы организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта // Наука без границ. 2021. № 4 (56). С. 48–52. URL: <https://nauka-bez-granic.ru/№-4-56-2021/4-56-2021>.
5. Ковалев А. М., Егоров К. В., Санжапов Р. Р., Прыткова Е. Г. Тестирование системы аппаратного учета пассажиропотока в реальных условиях городского маршрута // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2021. № 4 (58). С. 12–18. ISSN 2074-1146.
6. Брусянин Д. А., Вихарев С. В., Попов В. Ю., Горбенко А. А., Шека А. С. Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока транспортного комплекса региона // Инновационный транспорт. 2012. № 2. С. 41–43. ISSN 2311-164X.
7. Брусянин Д. А., Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока в электропоезде «Ласточка» // Инновационный транспорт. 2015. № 2 (16). С. 16–21. ISSN 2311-164X.

3. Petrova D. V. Modern approaches to the organization of monitoring passenger flows of public transport in urban agglomerations // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Vol. 8, No. 1. Pp. 47–57.
4. Merkelova T. V., Korotkov Y. S. Methods of organizing monitoring of passenger flows of public transport // Science without borders. 2021. No. 4 (56). Pp. 48–52. URL: <https://nauka-bez-granic.ru/№-4-56-2021/4-56-2021>.
5. Kovalev A.M., Egorov K. V., Sanzhapov R. R., Prytkova E. G. Testing of the passenger traffic hardware accounting system in real conditions of an urban route // Technical and technological problems of the service. 2021. No. 4 (58). Pp. 12–18. ISSN 2074-1146.
6. Brusyanin D. A., Vikharev S. V., Popov V. Yu., Gorbenco A. A., Sheka A. S. Intelligent passenger traffic monitoring system of the transport complex of the region // Innotrans. 2012. No. 2. Pp. 41–43. ISSN 2311-164X.
7. Brusyanin D. A., Intelligent passenger traffic monitoring system in the Lastochka electric train // Innotrans. 2015. No. 2 (16). Pp. 16–21. ISSN 2311-164X.



**Александр
Валерьевич
Шипулин**
Aleksandr V.
Shypulin



**Сергей
Валерьевич
Высотский**
Sergey V.
Vysotsky



**Борис
Евгеньевич
Горохов**
Boris E.
Gorohov

Методы моделирования бизнес-процессов транспортно-логистической компании

Methods of business processes of a transport logistics company modelling

Аннотация

Моделирование бизнес-процессов является необходимым инструментом реализации стратегии эффективности и роста транспортно-логистической компании. В статье анализируются различные методы моделирования бизнес-процессов, даны рекомендации по выбору наиболее подходящего метода, позволяющего выполнять описание логистических процессов.

Ключевые слова: моделирование бизнес-процессов, транспортно-логистическая компания, выбор метода описания, нотация BPMN, нотация DFD, нотация VSM.

Abstract

Modelling of business processes is a necessary means of the realization of the strategy of efficiency and development of a transport logistics company. The article analyzes different methods of business processes modelling, recommendations on the choice of the most suitable method which helps to perform the description of logistics processes have been given.

Keywords: modelling of business processes, transport logistics company, choice of description method, notation BPMN, notation DFD, notation VSM.

Авторы Authors

Александр Валерьевич Шипулин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Сергей Валерьевич Высотский**, генеральный директор логистической компании «ТетраТранс», Екатеринбург | **Борис Евгеньевич Горохов**, студент гр. ТПМм-213; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Aleksandr V. Shypulin, PhD. of Technical science, associate professor, chair "Management of Operational Work"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Sergey V. Vysotsky**, CEO of the logistic company "Tetra Trans", Ekaterinburg | **Boris E. Gorohov**, student of TTPmm-213 group; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

В современном мире транспортные компании сталкиваются с целым рядом проблем: высокая конкуренция, повышение качества услуг, управление рисками, завышенные требования потребителей, стремительные темпы развития технологий. Для повышения эффективности деятельности и роста компании нужно оптимально управлять бизнес-процессами, используя современные методы моделирования, позволяющие быстро и подробно описать процессы, которые станут основой для принятия решений.

Транспортно-логистические компании (ТЛК) занимаются различными видами деятельности: перевозкой грузов и пассажиров, складскими операциями, таможенным оформлением и пр. В статье рассмотрены ТЛК, осуществляющие экспедиторские услуги, т.е. услуги на отдельных этапах перевозки или на всех, с привлечением партнеров, использованием различных видов транспорта и подвижного состава (автомобили, контейнеры, вагоны).

Основной процесс, осуществляемый ТЛК, — перемещение груза в пространстве и во времени. Этот процесс относится к материальному потоку. Для его выполнения параллельно существуют информационный и финансовый потоки, имеющие свои циклы.

Требования к описанию процессов

Эффективное управление процессами в ТЛК возможно, только если эти процессы формализованы [1, 2]. Важные условия формализации: наглядность и воспроизводимость процесса, сохранение возникающих свойств запущенного процесса, согласованность точки зрения (ракурса и перспективы) на процесс, короткие сроки описания и понятный для всех участников результат.

Моделирование бизнес-процессов представляет собой формализацию процессов, которая позволяет описать и проанализировать все этапы и действия, происходящие внутри организации и за ее пределами, оказывающие влияние на ее функционирование.

Методы описания процессов

Существует множество методов описания бизнес-процессов [3, 4], каждый из которых имеет свои уникальные особенности и преимущества, способствующие оптимизации и повышению эффективности работы компании. В табл. 1 представлены наиболее распространенные методы, которые можно применить для описания процессов деятельности ТЛК.

Анализ представленных методов показал, что для описания бизнес-процессов в ТЛК наиболее эффективны три метода (нотации): BPMN, DFD и VSM [5].

В качестве примера для описания выбран один из наиболее распространенных процессов в логистике — «по-

следняя миля» (термин, обозначающий конечный этап доставки товара от поставщика к клиенту). В ТЛК этот процесс часто называют «вывозом контейнера», поскольку он включает в себя перемещение груза со станции до конечного получателя на склад клиента. Описание процесса «вывоза контейнера» в разных нотациях позволит детально рассмотреть все этапы процесса и выбрать, какой метод эффективнее для описания бизнес-процессов ТЛК.

Метод BPMN

Метод BPMN (Business Process Model and Notation¹), разработанный рабочей группой IBM в 2004 г., позволяет создавать графические модели процессов, которые наглядно отображают последовательность действий, поток информации и участников процесса. С помощью BPMN можно оптимизировать бизнес-процессы, улучшить координацию и взаимодействие между подразделениями компании [6].

На рис. 1 представлен фрагмент процесса «последняя миля» в нотации BPMN:

- начало процесса — нужно вывезти контейнер на склад со станции;
- задача «Запрос экспедитору»: формируется запрос на вывоз контейнера автомобилем, который принимается менеджером ТЛК;
- событие «Добавление заказа в систему»: обрабатываются вопросы, касающиеся вариантов доставки, времени, типа контейнера, наличия водителей на этот заказ;
- задача «Формирование вариантов доставки»: определение оптимального варианта отгрузки контейнера на склад получателя, затем отправка этих вариантов клиенту на рассмотрение;
- событие «Варианты получены»: выбор оптимального варианта доставки груза получателю;
- задача «Подготовка поручения экспедитору»: оформление документов для подтверждения варианта доставки и отправления подписанного поручения экспедитором клиенту;
- событие «Ожидание даты вывоза»: итоговый результат, который получается в результате решения всех задач и событий в данной схеме.

Метод DFD

DFD (Data Flow Diagrams²) — метод описания бизнес-процессов [7], который появился на основе структурированного анализа и техники проектирования в середине 1970-х гг. и позволяет визуализировать поток данных

¹В переводе с англ. — «модель и обозначение бизнес-процессов».

²В переводе с англ. — «диаграммы потоков данных».

Таблица 1

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Основные методы описания бизнес-процессов

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Use Cases	Текстовое описание последовательности действий, выполняемых участниками бизнес-процесса для достижения цели	Простота понимания и написания	Не подходит для сложных процессов с множеством взаимосвязей
Flowchart	Графическое представление работы с использованием специальных символов для операций, данных, оборудования и исполнителей	Наглядность и легкость восприятия	Ограниченность в отображении сложных процессов
DFD	Отображение передачи данных между операциями, включая входные и выходные данные	Помогает анализировать потоки данных в системе	Может быть сложным для понимания без опыта работы с диаграммами
Activity Diagram	Описание ролей и функций участников процесса, анализируя их взаимодействие	Позволяет визуализировать последовательность действий и взаимодействия между участниками	Может быть сложным для создания и понимания без опыта работы с диаграммами
Сети Петри	Представление действий и событий в виде графа, показывающего переходы между состояниями и возможные пути выполнения процесса	Подходит для моделирования сложных систем с параллельными процессами	Требует глубокого понимания теории сетей Петри для эффективного использования
ЕРС-диаграмма	Графическое представление потока работ и управления процессом	Позволяет визуализировать последовательность действий и принятия решений в процессе	Может быть сложным для создания и понимания без опыта работы с диаграммами
ER-модели	Графический способ визуализации концептуальных схем, позволяющий понять структуру данных и отношения между сущностями	Помогает анализировать структуру данных и отношения между ними	Может быть сложным для создания и понимания без опыта работы с диаграммами
BRPM	Система условных обозначений и их описания для визуализации и моделирования бизнес-процессов	Обеспечивает стандартизированный подход к моделированию бизнес-процессов	Может быть сложным для создания и понимания без опыта работы с диаграммами
VSM	Инструмент визуального анализа и оптимизации процессов в производстве или сервисе, позволяющий наглядно представить поток создания ценности для клиента	Помогает выявлять и устранять потери в процессах	Требует понимания принципов бережливого производства
UML	Комплексный метод, включающий девять видов диаграмм для описания различных аспектов системы или процесса	Позволяет описывать различные аспекты системы или процесса	Может быть сложным для создания и понимания без опыта работы с диаграммами
IDEF	Семейство нотаций, включающее IDEF0 (модель функций) и IDEF3 (поведенческое описание)	Позволяет разделить сложные функции на более простые и описать поток работ или переходные состояния объектов	Может быть сложным для создания и понимания без опыта работы с диаграммами

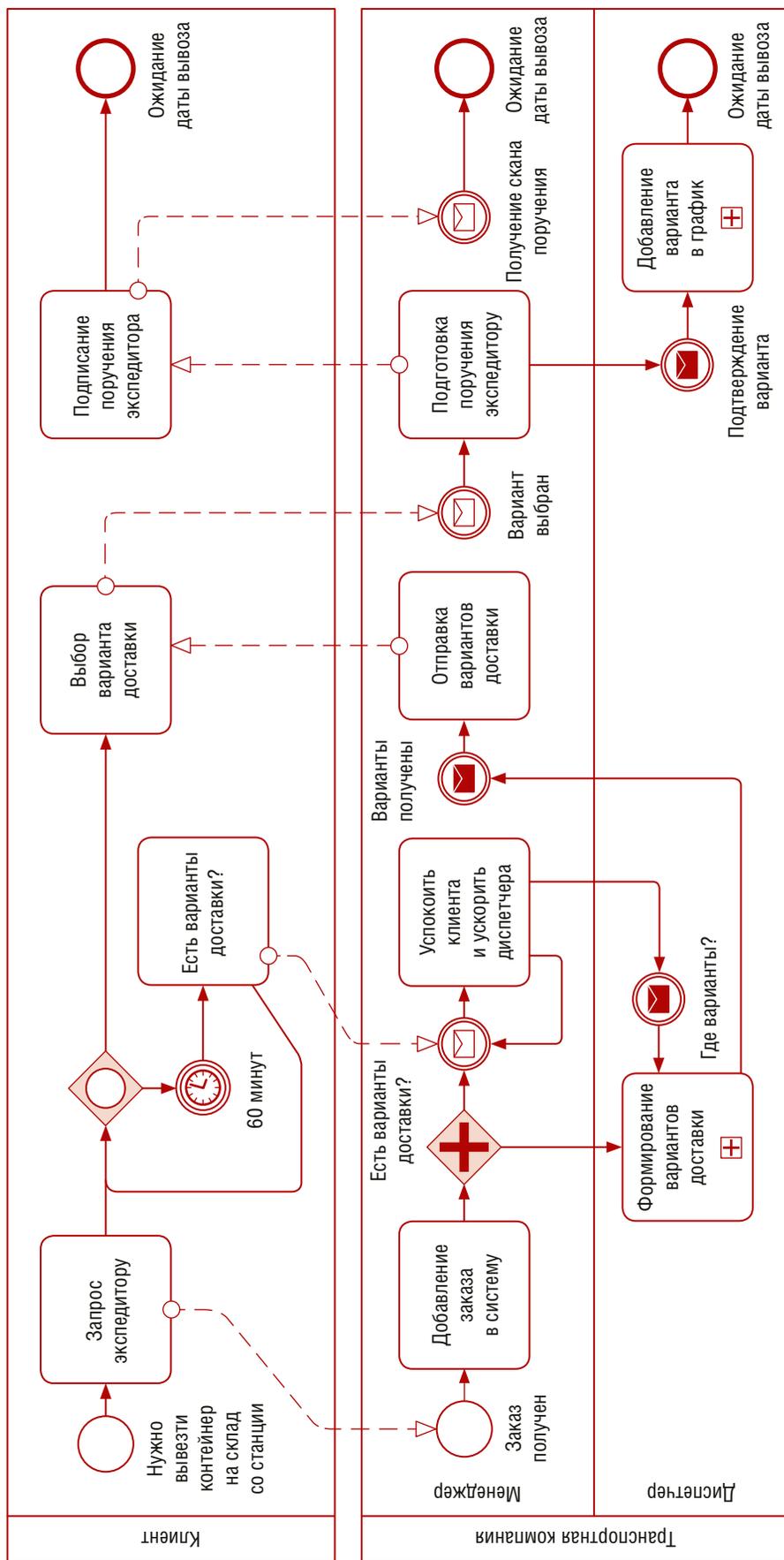


Рис. 1. Фрагмент процесса «последняя миля» в нотации BPMN

и информации внутри компании. С помощью диаграмм потоков данных (DFD) можно представить взаимодействие между различными подразделениями и отделами ТЛК, а также определить, какие данные используются и передаются в процессе выполнения задач. Нотация DFD может описывать любые действия, в том числе процесс продажи или отгрузки товара, работу с заявками от клиентов или закупки материалов и др.

На рис. 2 представлен фрагмент процесса «последняя миля» в нотации DFD:

- клиент отправляет заявку на вывоз контейнера, менеджер получает уведомление и начинает выполнять задачу;
- формируется «запрос экспедитору», в ходе которого появляются данные о принятом заказе и дальнейшей обработке «добавления заказа в систему»;
- формируются «варианты доставки», после чего все актуальные варианты направляются клиенту;
- клиент получает варианты и выбирает самый подходящий, после чего подписывает «поручение экспедитору» и ожидает даты вывоза контейнера;
- в конечном итоге вся схема циклично возвращается к клиенту, на котором схема заканчивается.

Структура описания бизнес-процессов в ТЛК с помощью метода DFD может включать следующие основные элементы:

- идентификация процессов: определение основных бизнес-процессов, которые выполняются в компании, таких как заказ и отгрузка грузов, управление складом, планирование маршрутов и т.д.;
- документирование процессов: описание каждого процесса с указанием всех этапов, ролей участников, используемых ресурсов, ключевых метрик производительности и последовательности действий;
- моделирование процессов: создание графических моделей бизнес-процессов с использованием специализированных методов, таких как BPMN и DFD, для визуализации потоков работы и взаимосвязей между операциями;
- анализ и оптимизация процессов: выявление узких мест, определение возможностей для улучшения эффективности и оптимизации процессов, разработка рекомендаций по их оптимизации;
- внедрение изменений: реализация улучшений и оптимизаций в бизнес-процессах, обучение сотрудников новым процессам и контроль за их выполнением;
- мониторинг и оценка результатов: отслеживание ключевых показателей производительности, оценка результатов внедренных изменений и корректировка стратегии при необходимости.

Такая структура позволяет систематизировать процессы в транспортной компании, повысить контроль над выполнением операций, обеспечить более эффективное управление и достичь поставленных целей организации.

Метод VSM

VSM (Value Stream Mapping³) — метод бережливого производства, который используется для анализа и оптимизации процессов создания ценности для конечного потребителя, представляет собой визуальное представление потока материалов и информации через все шаги процесса с выявлением узких мест, избыточных операций и потерь [8].

Процесс картирования потока создания ценности (VSM) включает в себя следующие ключевые шаги:

- идентификация потока создания ценности: определение начальной и конечной точек потока, а также всех промежуточных шагов и активностей;
- создание текущей карты потока: подробное описание текущих процессов и этапов создания ценности, включая время выполнения, запасы, задержки и другие параметры;
- анализ текущего состояния: изучение ситуации с целью выявления проблем и возможностей для улучшения;
- разработка будущего состояния: разработка идеального потока создания ценности с учетом оптимизации процессов и устранения излишеств;
- разработка и внедрение плана действий: создание плана действий на основе карты будущего потока и последующее внедрение улучшений.

Картирование потока создания ценности помогает улучшить эффективность процессов, сократить временные задержки, повысить уровень качества продукции или услуг, что в итоге приводит к улучшению работы компании и удовлетворенности клиентских отношений.

На рис. 3. представлен процесс «последняя миля» в нотации VSM:

- начало процесса — нужно вывезти контейнер на склад со станции;
- «запрос экспедитору»: формируется запрос на вывоз контейнера автомобилем, который принимается менеджером транспортной компании;
- менеджер делает заявку на «добавление заказа в систему»;
- диспетчером формируется вариант доставки;
- идет отправка вариантов доставки на выбор клиенту;
- осуществляется выбор оптимального варианта доставки клиенту груза на конечный адрес;

³В переводе с англ. — «картирование потока создания ценности».

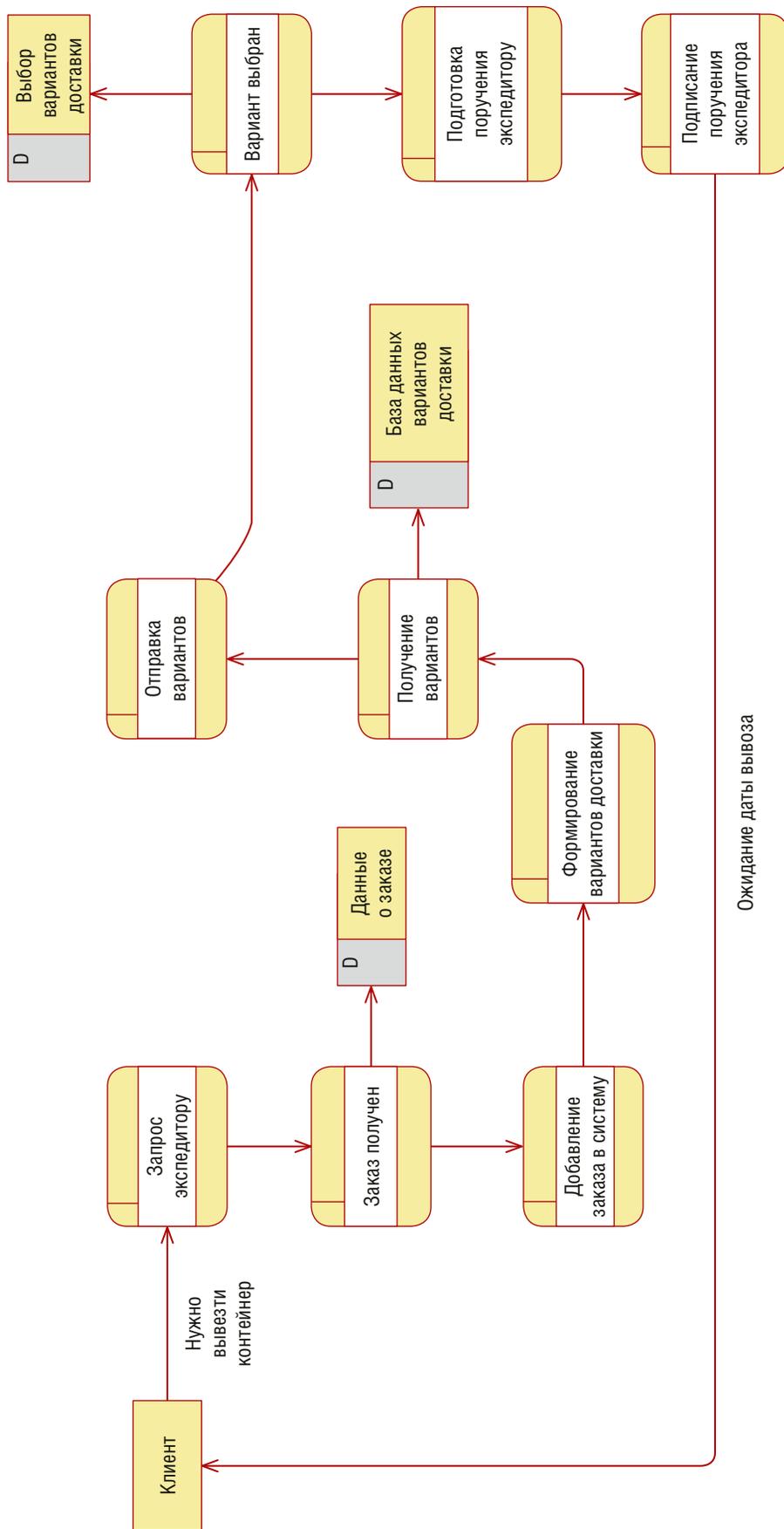


Рис. 2. Процесс «последняя миля» в нотации DFD

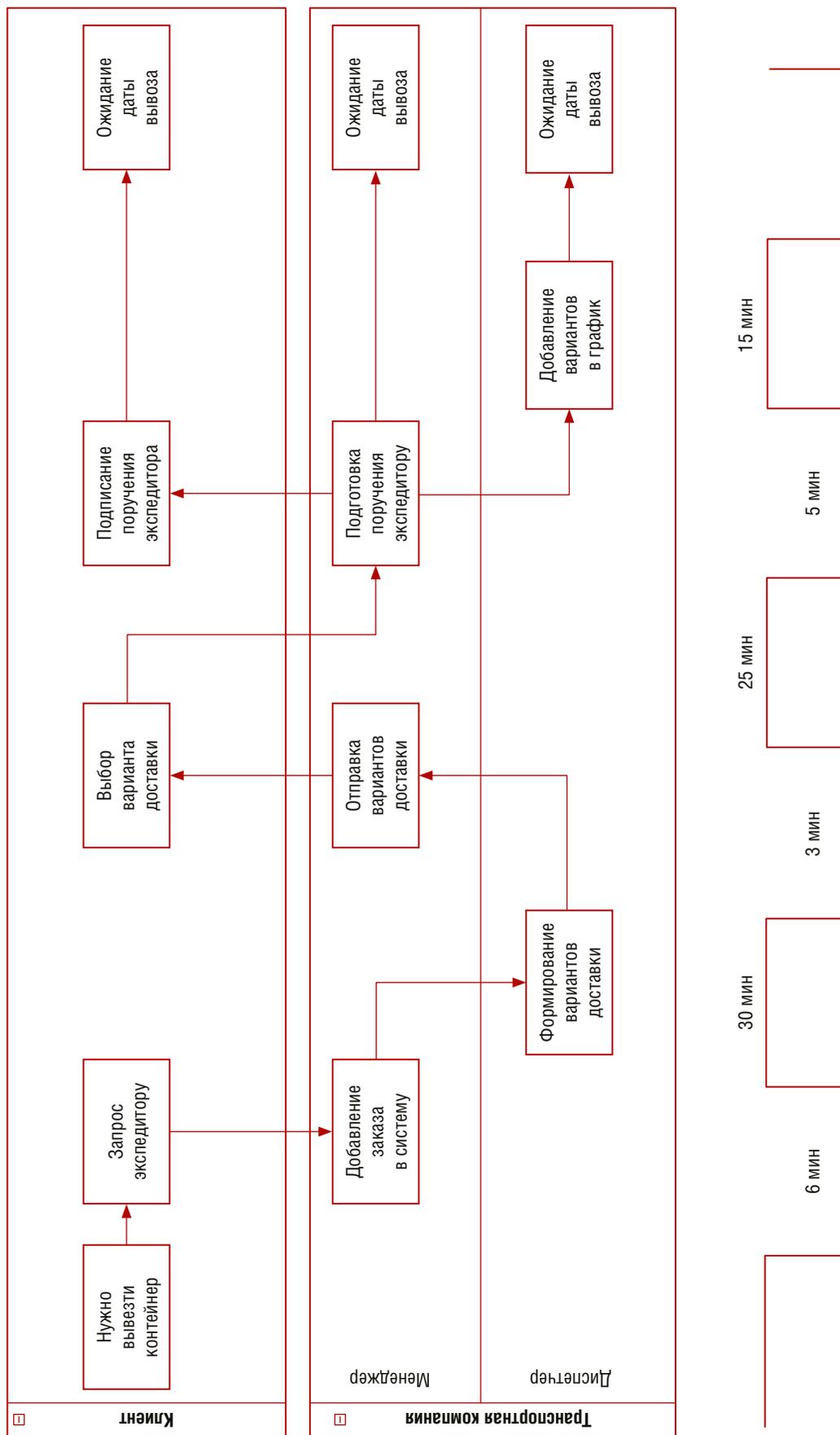


Рис. 3. Процесс «последняя миля» в нотации VSM

Сравнение нотаций при описании процессов в транспортно-логистических компаниях

Критерий сравнения	BPMN	DFD	VSM
Процесс, операция	+	+	+
Входные и выходные ресурсы	–	+	–
Вектор входных и выходных ресурсов	–	–	–
Состав процесса (декомпозиция)	+	+	+
Условия запуска процесса	+	–	+
Средства выполнения процесса	+	+	+
Ветвление и слияние процессов	+	–	–
Представление элементов внешней среды в виде отдельных блоков (например, модулей подсистемы)	+	+	+
Элемент организационной структуры	+	+	+

- от менеджера идет подготовка поручения экспедитору;
- менеджер отправляет подписание поручения экспедитору от клиента, и следует ожидание даты вывоза;
- менеджер дает положительный ответ диспетчеру о выборе варианта вывоза груза клиенту;
- диспетчер добавляет вариант доставки груза в график и ожидает вывоза груза машиной со склада хранения.

В табл. 2 представлено сравнение рассматриваемых методов моделирования бизнес-процессов по основным критериям. Очевидно, что ни один из методов не обеспечивает полного перечня описания. Нотация BPMN является оптимальным методом построения схемы процессов компании. Основное отличие метода VSM от BPMN заключается в том, что VSM не позволяет создавать разветвления блок-схем и удержание временного интервала.

Выводы

В исследовании проведен сравнительный анализ основных методов моделирования бизнес-процессов ТЛК. В качестве примера взят процесс «последняя миля» («вывоз контейнера»). Описание этого процесса в нотации BPMN позволяет детально рассмотреть все его этапы, включая действия исполнителей и возможные результаты. Нотация DFD хорошо справляется с визуализацией потока данных и информации, связанных с процес-

сом, а также позволяет определить, какие данные необходимы для его успешного выполнения. Используя метод VSM, можно оценить эффективность процесса и выявить возможные улучшения.

Опыт применения различных методов моделирования бизнес-процессов и участие в проектах по улучшению и автоматизации деятельности в ТЛК позволяет сформулировать эффективный подход, который включает ряд последовательных шагов:

- 1) определение цели, ракурса и перспективы процесса;
- 2) укрупненное описание перемещения во времени материального потока, где перемещение во времени представляется в виде дуг и петель, а вершинами являются логистические пункты;
- 3) определение списка «стоп-событий», без которых процесс не имеет смысла; перечисление необходимых документов;
- 4) описание информационного процесса в нотации BPMN, где фиксируется время ожидания и отображаются составляющие финансового потока;
- 5) проверка и получение итога адаптации всех методов.

Применение данного подхода позволяет точно определить границы процесса, а также установить его возникающие свойства, поскольку учитываются материальные, финансовые и информационные потоки. Понимание возникающих свойств потока предоставляет возможность принимать обоснованные решения, направленные на улучшение процесса и эффективное управление им. **ИТ**

Список литературы

1. Самуйлов К. Е., Серебренникова Н. В., Чукарин А. В., Яркина Н. В. Основы формальных методов описания бизнес-процессов : учебное пособие. М. : РУДН, 2008. 115 с.
2. Репин В. В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. 512 с.
3. Громов А. И., Фляйшман А., Шмидт В. Управление бизнес-процессами: современные методы : монография. Люберцы : Юрайт, 2016. 367 с.
4. Аксенова О. П., Аксенов К. А., Антонова А. С., Смолий Е. Ф. Анализ графических нотаций для имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 43. eISSN 2070-7428.
5. Моделирование бизнес-процессов: как правильно выстроить работу компании. URL: <https://getcompass.ru/blog/posts/modelirovanie-biznes-processov> (дата обращения: 15.09.2024).
6. Web-based tooling for BPMN, DMN and Forms. URL: <https://bpmn.io/> (дата обращения: 15.09.2024).
7. Калашян А. Н., Калянов Г. Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии. М. : Финансы и статистика, 2003. 256 с.
8. Value Stream Mapping: поток ценности во плоти. URL: <https://worksection.com/blog/value-stream-mapping.html> (дата обращения: 15.09.2024).

References

1. Samuilov K. E., Serebrennikova N. V., Chukarin A.V., Yarkina N. V. Fundamentals of formal methods of describing business processes : textbook. M. : RUDN, 2008. 115 p.
2. Repin V. V. Business processes. Modeling, implementation, management. M. : Mann, Ivanov and Ferber, 2013. 512 p.
3. Gromov A. I., Fleishman A., Schmidt V. Business process management: modern methods : monograph. M. : Yurait, 2016. 367 p.
4. Aksenova O. P., Aksenov K. A., Antonova A. S., Smoliy E. F. Analysis of graphical notations for simulation of business processes of an enterprise // Modern problems of science and education. 2013. No. 4. P. 43. eISSN 2070-7428.
5. Business process modeling: how to properly organize the work of the company. URL: <https://getcompass.ru/blog/posts/modelirovanie-biznes-processov> (date of access: 09/15/2024).
6. Web-based tooling for BPMN, DMN and Forms. URL: <https://bpmn.io/> (date of access: 09/15/2024).
7. Kalashyan A. N., Kalyanov G. N. Structural business models: DFD technologies. M. : Finance and Statistics, 2003. 256 p.
8. Value Stream Mapping: the flow of value in the flesh. URL: <https://worksection.com/blog/value-stream-mapping.html> (date of access: 09/15/2024).



Дмитрий Германович Неволин
Dmitry G. Nevolin



Алексей Алексеевич Цариков
Aleksey A. Tsarikov



Игорь Георгиевич Сорогин
Igor G. Sorogin

Современные проблемы привлечения водительского персонала на работу в городском пассажирском транспорте (на примере Екатеринбурга)

Contemporary problems of hiring drivers' personnel in the urban passenger transport (on the example of Yekaterinburg)

Аннотация

В статье рассматривается проблема кадрового «голода» на предприятиях городского пассажирского транспорта. Выполнен анализ структуры водительского персонала транспортных предприятий Екатеринбурга, сделаны выводы, и даны предложения по привлечению водительского персонала и организации работы муниципального транспорта.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, привлечение персонала, водительский состав.

Abstract

The problem of lack of personnel in the enterprises of the urban passenger transport is considered. The analyses of the structure of drivers' personnel of transport enterprises in Yekaterinburg has been made, conclusions have been made, and proposals for hiring drivers' personnel and the work organization of municipal transport have been given.

Keywords: urban passenger transport, hiring the personnel, drivers' staff.

Авторы Authors

Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: innotrans@mail.ru | **Алексей Алексеевич Цариков**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Игорь Георгиевич Сорогин**, канд. пед. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: ISorogin@usurt.ru

Dmitry G. Nevolin, Doctor of Technical Science, Full member of the Russian Academy of Transport, Professor of the Chair "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru | **Aleksey A. Tsarikov**, Candidate of technical sciences, Associate Professor of "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg e-mail: Zarikof@mail.ru | **Igor G. Sorogin**, Candidate of pedagogical sciences, Associate Professor of "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, e-mail: I.Sorogin@usurt.ru

Введение

Проблема обеспечения кадрами предприятий городского пассажирского транспорта существует в нашей стране достаточно давно. Так, в 1980-е гг. водители городских автобусов стали переходить в другие автопредприятия по причине более высокой заработной платы (как правило, в организации, осуществлявшие междугородные перевозки). В 1990-е гг. в стране начались экономические проблемы, возник дефицит рабочих мест. Это несколько улучшило ситуацию с кадровым обеспечением предприятий городского транспорта, но в начале XXI в. городские муниципальные предприятия стали сдавать позиции — водители уходили к коммерческим перевозчикам, где фактические доходы были значительно выше. Одновременно с этим уже в середине 1990-х гг. профессия водителя, особенно на городском транспорте, стала крайне непрестижной из-за тяжелых условий труда и низкой заработной платы, что отрицательно сказывалось на выпуске подвижного состава, выполнении расписания и на самом процессе перевозки пассажиров. Первоначально казалось, что выход из кризисной ситуации можно найти за счет частных перевозчиков, которые могли более гибко подходить к проблеме оплаты труда и набора персонала. Однако экономическая рентабельность у частников начиная с начала 2000-х гг. постепенно снижалась и на сегодняшний момент достигла критической отметки. Иными словами, рентабельных маршрутов в городе практически не осталось.

Кадровые проблемы городского транспорта Екатеринбурга

Вопросы кадрового обеспечения предприятий городского транспорта в научной литературе изучены мало, можно отметить лишь некоторые работы [1, 2]. Кадровый «голод» на транспортных предприятиях наблюдается во многих крупнейших городах России — Казани, Перми, Челябинске, Омске и др. Не стал исключением и Екатеринбург, где предприятия муниципального транспорта обеспечены водительским составом лишь на 50 %.

Как видно из рис. 1, в Екатеринбурге распределение водителей по полу в значительной мере зависит от вида транспорта. Так, на трамваях большую долю (70,1 %) составляют водители-женщины, мужчин около 30 %. Стоит отметить, что преобладание водителей-женщин на трамвайных вагонах началось во время Великой Отечественной войны, после чего эта ситуация существенно не менялась.

На автобусных маршрутах водителей-женщин значительно меньше — всего 5 %. На троллейбусах наблюдается примерно одинаковое соотношение водителей-мужчин и женщин: 52,7 и 47,3 % соответственно.

Рассмотрим более детально распределение водителей по возрасту. Как видно из рис. 2, на трамвайных вагонах работает много мужчин молодого и среднего возраста. Персонала старше 50 лет здесь всего 19 %.

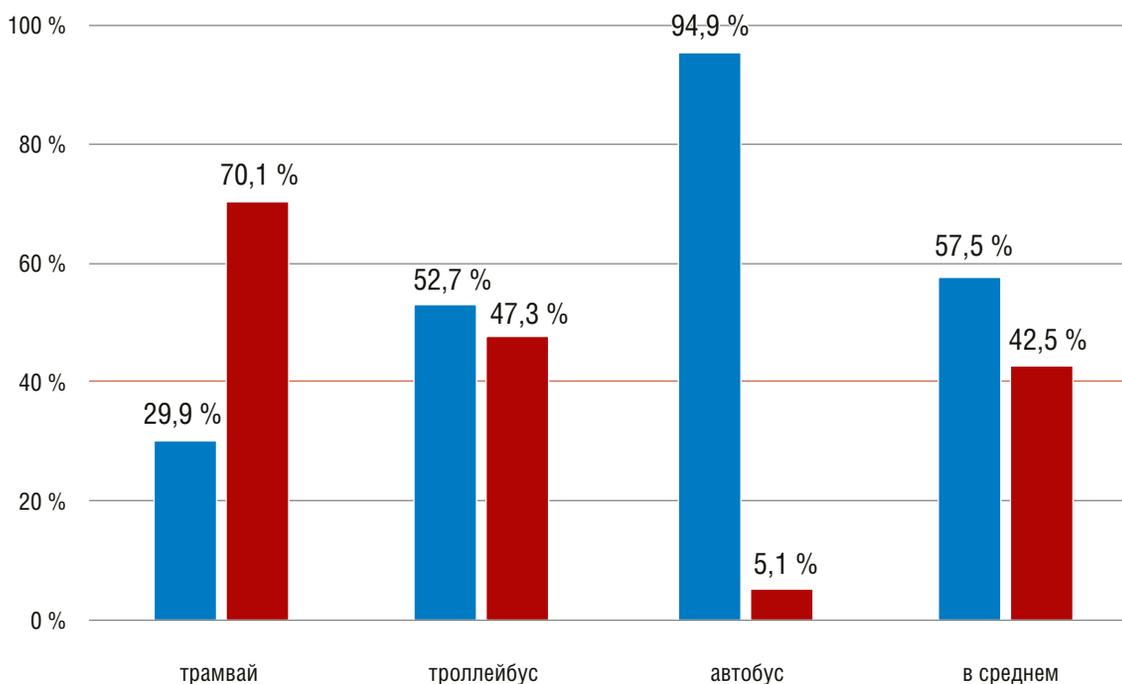


Рис. 1. Распределение водителей различных видов транспорта в городе Екатеринбурге по половому признаку: ■ — мужчины; ■ — женщины

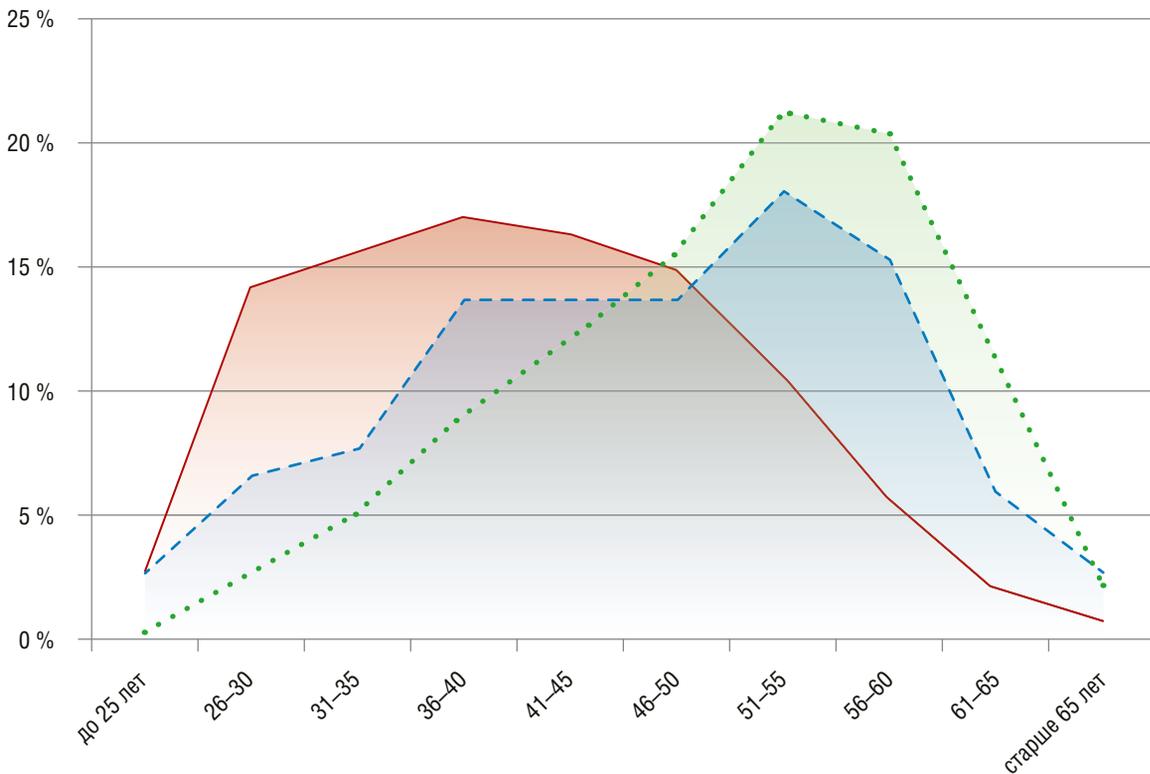


Рис. 2. Распределение водителей-мужчин по возрастным группам: — трамвай; — троллейбус; — автобус

Гораздо хуже складывается ситуация с персоналом на автобусных маршрутах. Здесь достаточно много мужчин старшего возраста (50 лет и более). Как видно из графика, к старшей возрастной категории можно отнести 55 % водителей, которые постепенно будут уходить на пенсию. Высокая доля водителей автобусов старшей возрастной категории говорит о том, что в ближайшие годы кадровая проблема будет только ухудшаться. Через 3–5 лет дефицит водителей автобусов составит 70–80 %, что может полностью парализовать работу городского пассажирского транспорта.

Похожую ситуацию с водительским составом можно наблюдать и на троллейбусных маршрутах, где доля мужчин старшего возраста составляет 42 %. Однако и здесь проблемы с персоналом будут все серьезнее ощущаться с каждым годом.

На рис. 3 представлен график возрастной структуры водителей-женщин, на котором рассмотрены только трамвайные и троллейбусные маршруты, поскольку на автобусах работает всего 5 % женщин, что можно считать нерепрезентативной выборкой.

Старшей возрастной группой среди женщин был выбран возраст старше 46 лет, к данной категории можно отнести 50,8 % женщин — водителей трамваев и 54,3 % — водителей троллейбусов. На первый

взгляд, проблемы с водительским составом здесь немного лучше, чем у мужчин. Однако, в соответствии с действующим законодательством, в Российской Федерации женщины уходят на пенсию в 60 лет, то есть на 5 лет раньше. При этом мужчины могут выйти на пенсию в 55 лет, а женщины в 50 лет, если проработали не менее 20 лет на маршрутах городского пассажирского транспорта. Таким образом, в возрастных группах от 45 до 50 лет у женщин и от 50 до 55 лет у мужчин может быть высокая доля водителей, которые в ближайшее время уйдут на пенсию. Примечательно, что среди женщин — водителей трамваев это наиболее многочисленная группа.

Выводы

Пrestиж профессии водителя и других специальностей городского пассажирского транспорта необходимо поднимать. Для этого должна быть существенно увеличена заработная плата и улучшены рабочие условия водителей. Одновременно с этим следует повышать производительность труда на городском транспорте. В первую очередь это связано с увеличением объема перевозок одной единицей подвижного состава.

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

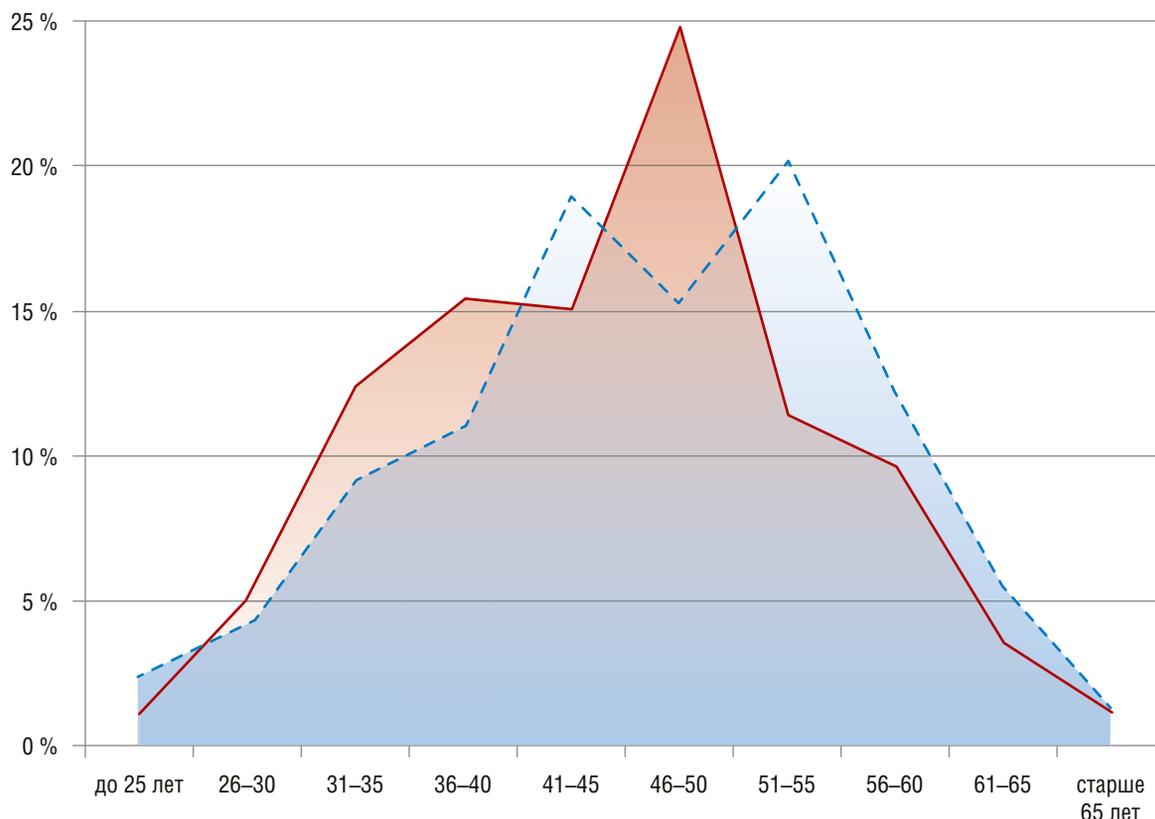


Рис. 3. Распределение водителей-женщин по возрастным группам:
— трамвай; - - - троллейбус

Среди эффективных мер повышения производительности труда работников транспортных предприятий можно назвать следующие:

- выделение отдельных полос для движения общественного транспорта, которые значительно увеличивают скорость сообщения подвижного состава и, соответственно, количество рейсов,

выполняемых транспортной единицей в течение рабочего дня;

- использование автобусов и троллейбусов большого и особо большого класса, благодаря чему вырастет число пассажиров, перевозимых за смену, из расчета на одного водителя транспортного предприятия. **ИТ**

Список литературы

1. Коновалова Т. В., Надирян С. Л., Папазян М. В. Современное состояние кадрового обеспечения автомобильного транспорта // Вестник СибАДИ. 2017. № 1(53). С. 150–158. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1\(53\)-150-158](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1(53)-150-158).
2. Чумаков А. И., Левтеева Т. А. К вопросу кадрового обеспечения пассажирских автотранспортных предприятий на примере Омской области // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2018. № 3 (27). С. 65–72. ISSN 2225-8264.

References

1. Konovalova T. V., Nadiryan S. L., Papazian M. F. The modern state of staffing of the road transport // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2017. No. 1(53). Pp. 150–158. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1\(53\)-150-158](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1(53)-150-158).
2. Chumakov A.I. Levteeva T.A. To the question of human resources procuring at road transport enterprises on the example of the Omsk region // Bulletin of the Siberian Institute of Business and Information Technology. 2018. No. 3 (27). Pp. 65–72. ISSN 2225-8264.



**Диана Владимировна
Лядская**
Diana V. Lyadskaya



**Владимир Львович
Лядский**
Vladimir L. Lyadskij

Цифровая среда и ее влияние на когнитивные процессы пользователя в условиях цифровой трансформации

Digital environment and its impact on users' cognitive processes in the digital transformation

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы взаимодействия человека с искусственным интеллектом, особенности восприятия и работы оператора с разнородными данными в условиях цифровой трансформации и появление новых когнитивных стилей в процессе обучения в цифровой среде. Данные подходы могут быть реализованы в ходе человеко-машинного обучения, в том числе при управлении беспилотным транспортом.

Ключевые слова: данные, искусственный интеллект, когнитивные процессы, гипертекст, цифровая среда, мультимодальность.

Abstract

The article considers topical issues of interaction between humans and artificial intelligence, an operator's features of perception and work with heterogeneous data in the digital transformation and the appearance of new cognitive styles in the process of learning within the digital environment. These approaches can be realized during human-machine learning including unmanned vehicles control.

Keywords: data, artificial intelligence, cognitive processes, hypertext, digital environment, multimodality.

Авторы Authors

Диана Владимировна Лядская, PhD, старший научный сотрудник; Университет г. Тренто, Италия | Владимир Львович Лядский, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и компьютерных технологий; Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Diana V. Lyadskaya, PhD, Postdoc Research Fellow, University of Trento, Italy | Vladimir L. Lyadskij, PhD of technical science, associate professor, chair "Automation and Computer Technologies"; Ural State Mining University, Ekaterinburg

Введение

Президент России Владимир Путин, выступая на форуме будущих технологий «Вычисления и связь. Квантовый мир», предложил в течение года подготовить новый нацпроект по формированию экономики данных [1]. «Наша принципиальная задача — перевести всю экономику и управление на качественно новые принципы работы на основе больших данных», — сказал Президент во время выступления. По его словам, нацпроект должен отвечать за сбор данных, развитие систем связи, суверенную инфраструктуру для хранения данных в стране, отечественные облачные и вычислительные решения, безопасность данных, продолжение работы над технологиями квантовой коммуникации и шифрования.

Национальный проект «Экономика данных» является закономерным этапом цифровизации, когда создана вся экосистема в обществе и государстве в целом и на первый план выходит задача использования разнородных баз данных, взаимодействия человека и искусственного интеллекта, машинного обучения и обучения человека в новых условиях.

С развитием технологий за последние десятилетия существенным образом изменилось количество информации, с которой приходится взаимодействовать современному человеку. Огромный объем данных, с которым ежедневно сталкиваются пользователи в цифровом пространстве, стал толчком для развития новых моделей поведения (например, поисковое чтение, скроллинг и т.д.) [2]. Необходимость воспринимать и перерабатывать большое количество информации привела к возникновению новых когнитивных стилей, основанных на скорости и поверхностности восприятия, фрагментарности и отсутствии линейности в обработке получаемой информации (так называемое клиповое мышление). Данные когнитивные особенности должны учитываться в процессе обучения в цифровой среде (как при обучении с преподавателем, так и во время самостоятельной работы обучающихся).

Чтобы понять, как сделать процесс цифрового обучения более продуктивным, рассмотрим, какими свойствами обладает цифровая среда и как ее характеристики влияют на когнитивные процессы (внимание, восприятие, память и т.д.), а следовательно, на поведение пользователя.

1. Информационная насыщенность цифровой среды

Необходимость взаимодействия с большим количеством разноплановой информации в цифровой среде требует от пользователя умения эффективно вос-

принимать, обрабатывать и систематизировать получаемые данные. Это означает, что пользователь, работая с информацией в цифровой среде, должен научиться отделять главное от второстепенного, удерживать внимание на приоритетных задачах, игнорировать отвлекающие факторы (реклама, ссылки, изображения и т.п.).

2. Наличие гипертекста

Гипертекст — это способ организации информации на основе системы взаимосвязанных узлов, объединенных ссылками. Не только в цифровой среде, но и в бумажных источниках, таких как справочники и энциклопедии, можно встретить систему ссылок, которыми объединяются фрагменты информации [3]. Цифровой контент, представленный в виде гипертекста, обладает сетевой иерархической структурой, включающей несколько уровней. Гипертекст также характеризуется фрагментарностью и нелинейным расположением цифровых элементов. Благодаря этой особенности можно начать чтение гипертекста на экране с любого фрагмента. Такая фрагментарность становится основой для нелинейного восприятия текста. Пользователь, читая текст с цифрового экрана, оценивает всю страницу целиком, выбирая свой собственный путь чтения. Таким образом, читатель цифрового гипертекста становится как бы его соавтором, самостоятельно решая, в каком порядке и насколько глубоко воспринимать информацию. Например, он оценивает, сколько времени посвящать тому или иному фрагменту, переходить ли по ссылке или продолжать линейное чтение и т.д. [4].

Особенности взаимодействия с гипертекстом в цифровой среде должны учитываться и при обучении. Необходимость ориентироваться в нелинейно организованном цифровом тексте, выбирать и запоминать порядок действий, нужных для нахождения какой-либо информации, создает для пользователя определенную когнитивную нагрузку. При чрезмерно большом количестве фрагментов информации из разнородных источников (например, при параллельной работе с несколькими открытыми окнами браузера) происходит постоянное переключение внимания пользователя. Это может негативно повлиять на уровень его концентрации, привести к утомляемости, рассеянности внимания, ухудшить запоминание учебного материала. Чтобы избежать такого негативного эффекта, рекомендуется четко определить цель, для чего производится поиск информации, а также мысленно представить («проговорить про себя») порядок перехода по ссылкам, который приведет к нужному источнику информации.

3. Мультимодальная природа цифровой среды

Мультимодальность — это свойство цифровых текстов, смысл которых складывается из знаков различных систем. В мультимодальных текстах носителями смысла могут быть различные средства: слова, аудиоэлементы, графические изображения (как статичные, так и движущиеся), ссылки, видео [5]. На уровне когнитивных процессов мультимодальный цифровой текст задействует различные каналы восприятия, главным образом зрительный и слуховой. Процесс восприятия и обработки вербального и невербального визуального контента, по мнению исследователей, способствует укреплению связей между двумя полушариями головного мозга, повышая таким образом его нейропластичность [6]. Благодаря данному свойству мультимодальные тексты с визуальными элементами активно используются в цифровом обучении, являясь для обучающихся не только средствами наглядности, но и источником мотивации. Тем не менее, в ходе работы с мультимодальными текстами необходимо учитывать потенциальную когнитивную нагрузку, которую создает сочетание элементов, передающихся вербальными и невербальными средствами [7]. Например, изображения в цифровом тексте не должны отвлекать читателя от словесного содержания, но должны логично дополнять текст, способствуя его пониманию. Таким образом, чтобы сделать работу с мультимодальными текстами более эффективной, необходимо составить и применять специальный алгоритм, позволяющий читателю определить порядок взаимодействия с элементами текста, а также выделить приоритетные моменты, на которых стоит сосредоточить внимание [8]. Это поможет избежать рассеянности и улучшить запоминание в цифровой среде.

4. Интерактивность цифрового текста

Такое свойство цифровой среды, как интерактивность, дает пользователю возможность взаимодействовать с ее элементами: добавлять или перемещать текст, оставлять пометки, комментарии и т.д. [4]. Интерактивность также предоставляет возможность общения с другими пользователями, находящимися в цифровой среде. В контексте цифрового обучения это свойство положительно влияет на поддержание мотивации учащихся. Можно также отметить, что при правильном подходе интерактивные свойства цифровой среды положительно влияют на развитие творческого потенциа-

ла обучающихся. В то же время обучение в интерактивной среде требует от пользователя определенной степени самостоятельности, которая реализуется в осознанном принятии решений, касающихся выбора цифрового контента, а также применяемых стратегий и стилей взаимодействия с элементами среды.

5. Тенденция к ускорению процессов в цифровой среде

В цифровой среде постоянно происходят процессы быстрого обмена данными, пользователи потребляют большие объемы информации. В связи с этим в процессе взаимодействия с цифровой средой выработан ряд стратегий, которые определяют поведение человека и позволяют ему справиться с информационной насыщенностью. Чтобы ускорить восприятие и обработку информации, применяются следующие виды чтения: поисковое чтение (scanning), просмотровое чтение (skimming), беглый просмотр сайта (browsing) [9]. Следует отметить, что потребление информации в цифровой среде зачастую отличается быстротой и поверхностностью восприятия. Возможность быстрого поиска и незамедлительного потребления цифрового контента приводит к такому же быстрому его забыванию. Это происходит из-за того, что входящая информация чаще всего никак не обрабатывается пользователем и, следовательно, не переходит из кратковременной памяти в долговременную. Для того чтобы уменьшить негативный эффект, связанный с поверхностностью восприятия и недостатком концентрации в цифровой среде, исследователи предлагают воспользоваться следующими приемами:

- четко определять конкретные цели (для чего производится чтение текста, какую информацию в нем нужно найти и т.д.);
- замедлять темп чтения, стараясь концентрироваться на тексте;
- избегать многозадачности, свойственной цифровой среде (например, переход по ссылкам, отвлечение на рекламу, уведомления и т.п.);
- выбирать шрифт, который позволяет отображать наиболее оптимальное количество текста на экране, чтобы избежать слишком быстрой его прокрутки (эффекта скроллинга, т.е. перемещения данных по экрану дисплея);
- после прочтения каждой страницы, прежде чем идти дальше и продолжать прокручивать текст, стоит остановиться и осмыслить прочитанное, сделать краткий вывод.

Выводы

Сегодня цифровые устройства неизбежно присутствуют в нашей повседневной жизни и деятельности, поэтому необходимо разрабатывать и применять стратегии осознанного взаимодействия с цифровой средой, определить принципы, на которых должно быть основа-

но создание эффективной интерактивной среды обучения (учет роли визуальных компонентов, четко организованная структура, удобное расположение цифровых элементов и т.д.). В связи со значительным прогрессом в сфере роботизации и проектирования беспилотных транспортных средств тема цифровизации становится актуальной в транспортной отрасли и является необходимым условием ее устойчивого развития. **ИТ**

Список литературы

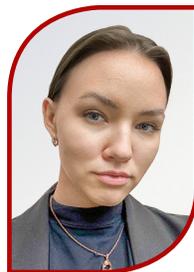
1. Национальный портал в сфере искусственного интеллекта (ИИ) и применения нейросетей в России. URL: <https://ai.gov.ru/>
2. Азимов Э. Г., Шукун А. Н. Новый словарь методических терминов и понятий. Теория и практика обучения языкам. М., 2009.
3. Лебедева М. Ю., Веселовская Т. С., Купрещенко О. Ф. Особенности восприятия и понимания цифровых текстов: междисциплинарный взгляд // Перспективы науки и образования. 2020. № 4 (46). С. 74–98. eISSN 2307-2334.
4. Лебедева М. Ю. Эффективное чтение для эффективного обучения: формирование читательской компетенции в цифровой среде // Социальное и профессиональное становление личности в эпоху больших вызовов: междисциплинарный дискурс. Ярославль, 2021.
5. Лебедева М. Ю., Куваева А. С. Синхронный онлайн-урок по РКИ как особая форма обучения в цифровой среде // Русский язык за рубежом. 2020. № 2. С. 27–33. ISSN 0131-615X.
6. Crepaldi D. Neuropsicologia della lettura. Roma : Carocci editore, 2020.
7. Веселовская Т. С. Особенности организации онлайн-урока в цифровой образовательной среде // Русский язык в глобальном научном и образовательном пространстве : сборник материалов Международного научного конгресса. М., 2021. Ч. 2. С. 468–470.
8. Веселовская Т. С. Особенности исследования цифровых учебных текстов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2022. Т. 44, № 1. С. 56–62. ISSN 2542-1077.
9. Baron N. Come leggere Carta, schermo o audio? Milano : Raffaello Cortina Editore, 2022.

References

1. The national portal in the field of Artificial intelligence (AI) and the use of neural networks in Russia. URL: https://ai.gov.ru
2. Azimov E. G., Shchukin A. N. A new dictionary of methodological terms and concepts. Theory and practice of language teaching. M., 2009.
3. Lebedeva M. Yu., Veselovskaya T. S., Kupreschenko O. F. Features of perception and understanding of digital texts: an interdisciplinary view // Prospects of science and education. 2020. No. 4 (46). Pp. 74–98. eISSN 2307-2334.
4. Lebedeva M. Y. Effective reading for effective learning: the formation of reading competence in the digital environment // Social and professional formation of personality in the era of great challenges: interdisciplinary discourse. Yaroslavl, 2021.
5. Lebedeva M. Yu., Kuvaeva A. S. Synchronous online lesson on RCT as a special form of learning in a digital environment // Russian language abroad. 2020. No. 2. Pp. 27–33. ISSN 0131-615X.
6. Crepaldi D. Neuropsicologia della lettura. Roma : Carocci editore, 2020.
7. Veselovskaya T. S. Features of the organization of an online lesson in a digital educational environment // Russian language in the global scientific and educational space : collection of materials of the International Scientific Congress. Moscow, 2021. Part 2. Pp. 468–470.
8. Veselovskaya T. S. Features of the study of digital educational texts // Scientific notes of Petrozavodsk State University. 2022. Vol. 44, No. 1. Pp. 56–62. ISSN 2542-1077.
9. Baron N. Come leggere Carta, schermo o audio? Milano : Raffaello Cortina Editore, 2022.



**Александр Иванович
Скутин**
Aleksandr I. Skutin



**Валерия Дмитриевна
Гришина**
Valeriya D. Grishina

Оценка вариантов строительства железных дорог на эстакадах и на земляном полотне

Valuation of the variants of railways construction on overpasses and subgrades

Аннотация

В статье рассмотрены особенности строительства дорог на эстакадах и земляном полотне, выявлены достоинства и недостатки конструкций нижнего строения пути, приведена оценка стоимости и объемов строительства по вариантам.

Ключевые слова: эстакада, земляное полотно, пролетные строения, опоры.

Abstract

The article considers the features of railways construction on overpasses and subgrades, advantages and disadvantages of the constructions of structural elements of the railway sub-base. Valuation of cost and construction volume on options are given.

Keywords: overpass, subgrade, span structures, bearings.

Авторы Authors

Александр Иванович Скутин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Путь и железнодорожное строительство»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, e-mail: ASkutin@usurt.ru | **Валерия Дмитриевна Гришина**, инженер; ООО «СпецПроектПуть», Екатеринбург, e-mail: leragrishina27@mail.ru

Aleksandr I. Skutin, Cand. Techn. D., associate Professor of the Department "Road and railway construction"; Ural state University of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: ASkutin@usurt.ru | **Valeriya D. Grishina**, engineer; LLC "SpetsProektPut", Yekaterinburg; e-mail: lera-grishina27@mail.ru

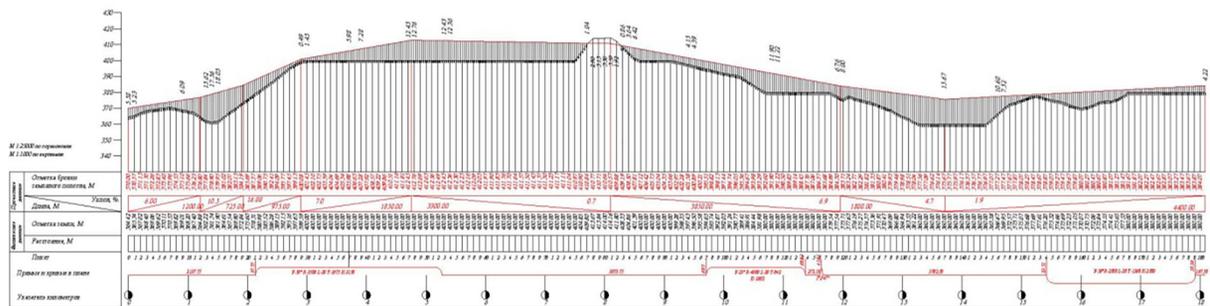
Скоростные железнодорожные линии являются важнейшим элементом транспортной инфраструктуры, обеспечивающей безопасное и быстрое перемещение пассажиров между различными городами и регионами. Разработка и строительство скоростных железных дорог рассматриваются как один из ключевых факторов развития транспортной системы в современном мире [1, 2].

Актуальность строительства скоростных железнодорожных линий на Урале заключается в том, что регион нуждается в скоростной транспортной инфраструктуре и связях с другими регионами России. Быстрый и удобный транспорт позволит людям быстрее добраться на работу, учебу, лечение и отдых. Кроме того,

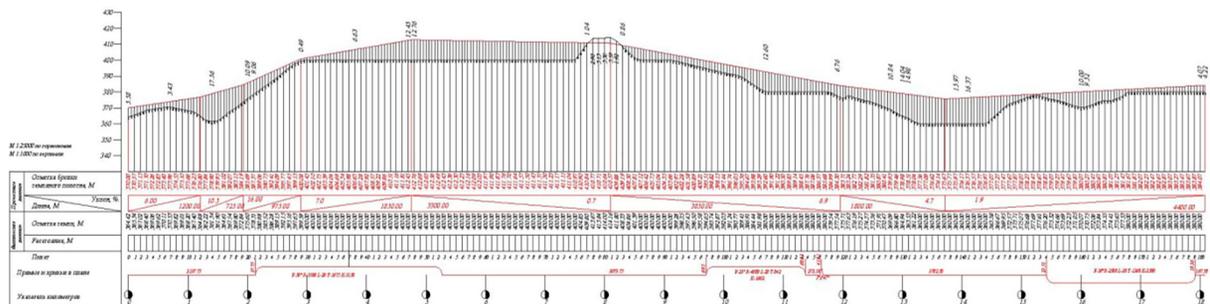
скоростные линии будут способствовать развитию туристического бизнеса, увеличению доходов и созданию новых рабочих мест в регионе.

При разработке проекта скоростной линии применяются различные технические решения одной и той же проектной задачи, которые могут отличаться друг от друга объемами работ и капитальными вложениями в строительство. Ранее аналогичный подход к проектированию трасс рассматривался в [3]. Все проектные решения должны разрабатываться в соответствии с действующими строительными нормами и правилами, отвечать в полной мере требованиям заданий, выданных на проектирование железнодорожной линии.

Вариант продольного профиля на эстакаде с длиной пролетного строения 34,2 м



Вариант продольного профиля на эстакаде с длиной пролетного строения 50 м



Вариант продольного профиля на земляном полотне

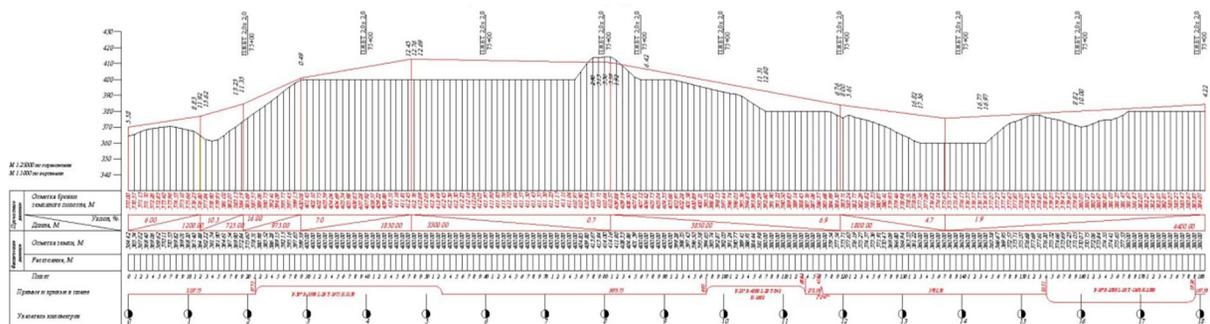


Рис. 1. Продольные профили трассы по вариантам:
— проектная линия новой линии; — опора

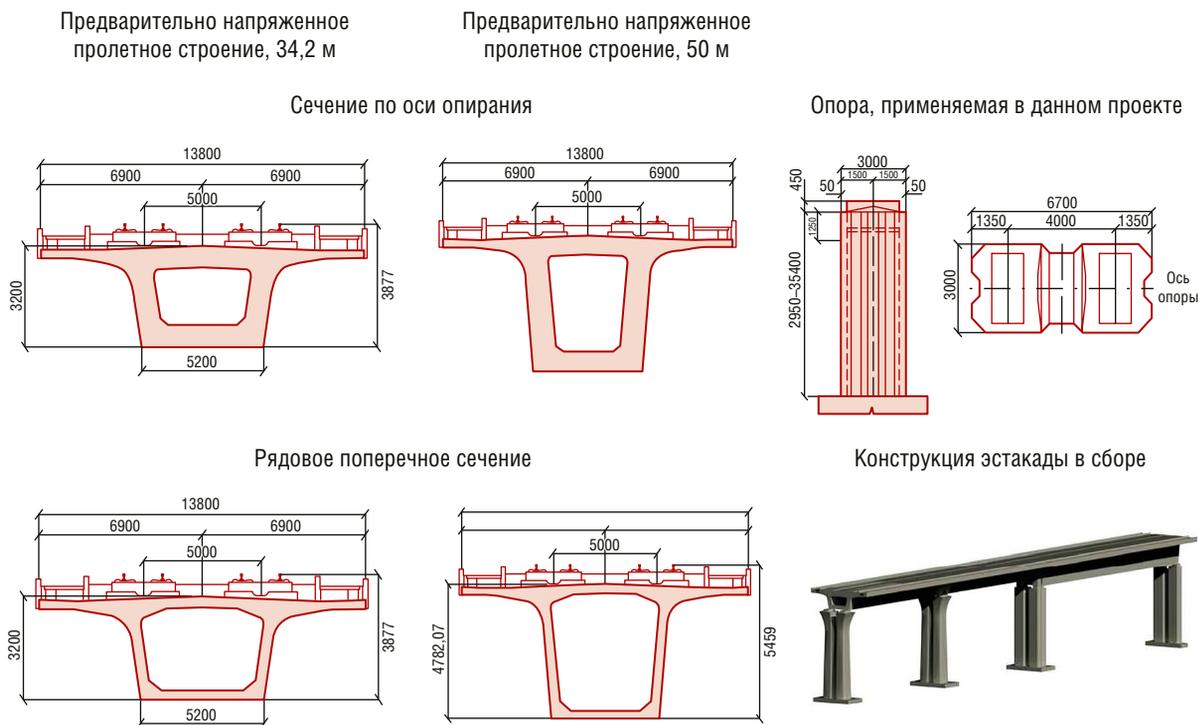


Рис. 2. Конструктивные элементы эстакад

Рассматриваемый для проектирования и строительства участок скоростной железной дороги расположен в юго-западной части Свердловской области и имеет довольно сложный рельеф. Станции находятся на Транссибирской магистрали с напряженным грузопассажирским движением. Протяженность рассматриваемой железной дороги по существующей трассе составляет 25 км.

К техническим параметрам, оказывающим влияние на положение трассы, можно отнести установленную максимальную скорость движения до 200 км/ч, руководящий уклон до 20 ‰ и минимальный допустимый радиус кривых 2500 м. Эти параметры соответствуют нормативам, приведенным в [4]. Для пассажирского движения запланирован электропоезд ЭС2Г «Ласточка» с асинхронными тяговыми двигателями, предназначенный для перевозки пассажиров по железным дорогам колеи 1520 мм.

На рассматриваемом участке запроектирована трасса отдельной двухпутной железной дороги для скоростного пассажирского движения. Протяженность принятой к дальнейшей разработке трассы составила 18 км. План и продольные профили новой трассы соответствуют нормативным требованиям. План скоростной линии состоит из прямолинейных и криволинейных участков (72 и 28 % соответственно). При проектировании использовались кривые радиусами 3500, 4000, 2500 м.

По намеченному плану скоростной железной дороги рассматривалось несколько вариантов продольных про-

филей с конструктивными решениями нижнего строения пути на эстакадах или на земляном полотне.

На рис. 1 представлены варианты продольных профилей скоростной железной дороги с пониженными отметками на проектируемом участке. Варианты отличаются конструктивными решениями нижнего строения пути, а положение проектной линии неизменное. Первый и второй варианты запроектированы на эстакадах с длинами пролетов 34,2 и 50 м, третий — на земляном полотне. Подход к проектированию аналогичен в каждом из вариантов.

Для дальнейших исследований рассмотрены две наиболее популярные эстакады с пролетными строениями 34,2 и 50 м (конструктивные элементы эстакад показаны на рис. 2). Третий вариант — традиционные конструкции земляного полотна в виде насыпей и выемок.

В табл. 1–3 приведены объемно-строительные и стоимостные показатели двухпутной скоростной железной дороги длиной 18 км между проектируемыми станциями. При расчете показателей определялись только объемы материалов и их стоимость без учета доставки, монтажа и отделки.

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

1. Стоимость материалов при сооружении нижнего строения в виде земляного полотна на 25–35 % меньше по сравнению со стоимостью материалов железобетонных эстакад.

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

2. При сооружении эстакад на 15 % эффективнее использовать конструкции с меньшими пролетными строениями. Это объясняется тем, что количество опор не так сильно влияет на объем, как сечение пролетных строений. В подтверждение можно привести конструкции эстакад в Китае, где визуальная оценка длины пролетных строений составляет 15–25 м.

Сооружение дорог с применением эстакад, особенно вместо высоких насыпей, является наиболее приемлемым вариантом, так как эстакады не разделяют территорию, не препятствуют водным потокам, проезду и проходу под ними транспорта, людей и животных в отличие от земляного полотна. **ИТ**

Таблица 1

Объемно-строительные показатели ЖБК при сооружении эстакад с пролетами 34,2 м

Вариант 1	Вид конструкции	Кол-во (шт.)	Объем железобетона (м ³)	Среднее значение стоимости за 1 м ³ (руб.)	Стоимость железобетона по виду конструкции (млрд руб.)	Итого (млрд руб.)
Эстакада с пролетным строением 34,2 м	Опоры	529	38775,610	15300	0,590	4,103
	Пролетные строения	528	220260,500	15900	3,510	
Разработка выемки						0,008
Итоговая стоимость строительства						4,111

Таблица 2

Объемно-строительные показатели ЖБК при сооружении эстакад с пролетами 50 м

Вариант 2	Вид конструкции	Кол-во (шт.)	Объем железобетона (м ³)	Среднее значение стоимости за 1 м ³ (руб.)	Стоимость железобетона по виду конструкции (млрд руб.)	Итого (млрд руб.)
Эстакада с пролетным строением 50 м	Опоры	362	26526,540	15300	0,405	4,715
	Пролетные строения	361	271352,870	15900	4,310	
Разработка выемки						0,008
Итоговая стоимость строительства						4,723

Таблица 3

Объемно-строительные показатели при сооружении земляного полотна

Вариант 3	Вид работ	Объем грунта (м ³)	Стоимость за 1 м ³ (руб.)	Итог по видам работ (млрд руб.)	Итого (млрд руб.)
Земляное полотно	Погрузка и вывоз грунта	9 439 029,880	84,090	0,829	3,11
	Разработка грунта бульдозерами		131,820	1,279	
	Планировка откосов и полотна		74,750	0,712	
	Уплотнение грунта		30,000	0,291	
Устройство 10 водоотводных устройств		131,800	12400	0,0016	0,0016
Итоговая стоимость строительства					3,116

Список литературы

1. Копыленко В. А. Технические предпосылки снижения стоимости строительства ВСМ // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 4 (71). С. 51–55. ISSN 1994-831X.
2. Скутин А. И., Касимов М. А. Особенности проектирования ВСМ для пассажирского движения в условиях Урала // Инновационный транспорт. 2019. № 3 (33). С. 46–50. ISSN 2311-164X.
3. Скутин А. И., Савельев Н. В. Сравнительная оценка строительства дорог на земляном полотне и на эстакадах // Инновационный транспорт. 2022. № 2 (44). С. 24–29. ISSN 2311-164X.
4. СП 119.13330.2017. Свод правил. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95. М. : Стандартинформ. 2018. 36 с.

References

1. Kopylenko V. A. Technical prerequisites for reducing the cost of construction of the HSR // Transport of the Russian Federation. 2017. No. 4 (71). Pp. 51–55. ISSN 1994-831X.
2. Skutin A. I., Kasimov M. A. Design features of the HSR for passenger traffic in the Urals // Innotrans. 2019. No. 3 (33). Pp. 46–50. ISSN 2311-164X.
3. Skutin A. I., Saveljev N. V. Comparative evaluation of road construction on subgrade and overpasses // Innotrans. 2022. No. 2 (44). Pp. 24–29. ISSN 2311-164X.
4. SP 119.13330.2017. A set of rules. Railways of 1520 mm gauge. Updated edition of SNiP 32-01-95. Moscow : Standartinform, 2018. 36 p.



**Ольга Леонидовна
Скутина**
Olga L. Skutina



**Кирилл Игоревич
Алферьев**
Kirill I. Alferev

Новая конструкция железнодорожного пути на многолетнемерзлых грунтах

New design of railway track on permafrost soils

Аннотация

Разработана новая конструкция земляного полотна для многолетнемерзлых грунтов, выполнено ее сравнение с существующими конструкциями и способами усиления температурной устойчивости. Выявлены достоинства и недостатки, особенности каждого варианта конструкций. Проведен теплотехнический расчет работоспособности типовой конструкции земляного полотна и новой разработанной конструкции. Показана возможность решения технических и технологических проблем строительства железнодорожной линии в условиях многолетнемерзлых грунтов. Найдено оригинальное решение конструкции земляного полотна и железнодорожного пути в целом, позволяющее снизить объемы привозного грунта земляного полотна.

Ключевые слова: железнодорожный путь, многолетнемерзлые грунты, насыпь земляного полотна, охлаждающие устройства, теплотехнический расчет.

Abstract

A new subgrade design for permafrost soils has been developed and compared with existing structures and methods for enhancing temperature stability. The advantages and disadvantages and features of each design option are revealed. A thermal engineering calculation of the performance of a standard subgrade structure and a new, developed structure was performed. The possibility of solving technical and technological problems of constructing a railway line in permafrost conditions is shown. The possibility of solving technical and technological problems of constructing a railway line in permafrost conditions is shown. An original solution has been found for the design of the subgrade and the railway track as a whole, which makes it possible to reduce the volume of imported subgrade soil.

Keywords: railroad track, permafrost soils, earth embankment, cooling devices, thermal engineering calculation.

Авторы Authors

Ольга Леонидовна Скутина, канд. техн. наук, доцент кафедры «Путь и железнодорожное строительство»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, e-mail: Oskutina@usurt.ru | Кирилл Игоревич Алферьев, студент строительного факультета; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, e-mail: kirill.r@gmail.com

Olga L. Skutina, Cand. Techn. D., associate Professor of the Department "Road and railway construction"; Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg, e-mail: Oskutina@usurt.ru | Kirill I. Alferev, student of the Faculty of Civil Engineering; Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg, e-mail: kirill.r@gmail.com

Введение

Возведение сооружений в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов имеет ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве земляного полотна железных и автомобильных дорог.

Многолетнемерзлые грунты (ММГ) представляют собой грунты, в которых температура на глубине более 0,5 м от поверхности земли не поднимается выше 0 °С в течение двух лет подряд. В России ММГ распространены на обширной территории, занимающей более 60 % всей площади страны.

При строительстве инженерных сооружений на ММГ необходимо учитывать их основные особенности:

1. ММГ обладают большой прочностью и несущей способностью. Это вызвано тем, что при замерзании вода в грунтах превращается в лед, который имеет значительно большую прочность, чем вода.

2. ММГ обладают низкой теплопроводностью: медленно прогреваются и медленно оттаивают. Процесс промерзания-оттаивания имеет определенную инерционность.

3. ММГ подвержены сезонному оттаиванию. В течение теплого периода года верхний слой ММГ (деятельный слой Д) оттаивает, а в течение холодного периода года снова замерзает (рис. 1). Причем глубина оттаивания и промерзания деятельного слоя в разные годы может отличаться, что обусловлено различием в погодно-климатических условиях. В результате под деятельным слоем могут образовываться перелетки (П) и талики (Т'). Перелеток — слой мерзлого грунта незначительной мощности, не оттаивающий в течение 1–2 лет, «переживший» лето. Талик — слой талого, как правило, насыщенного водой грунта с постоянной положительной температурой.

Строительство железных дорог в условиях распространения ММГ является сложной и трудоемкой задачей. Это связано с тем, что железнодорожное полотно должно быть устойчивым к воздействию нагрузок от подвижного состава, а также к сезонному оттаиванию ММГ.

В связи с расширением освоения северных и восточных регионов России потребность в строительстве зданий и сооружений в условиях распространения ММГ будет только расти, поэтому необходимо развивать технологии строительства, которые бы позволяли строить надежные и долговечные сооружения в таких условиях.

В настоящее время ведется активная научная и практическая работа по разработке новых технологий строительства в условиях распространения ММГ. В частности, проводятся исследования по использованию геосинтетических материалов для защиты оснований и фундаментов инженерных сооружений от оттаивания, разрабатываются новые конструкции, более долговечные, надежные, устойчивые и пригодные к работе на многолетнемерзлых основаниях.

Существующие конструкции земляного полотна на многолетнемерзлых основаниях

В практике строительства приняты два основных принципа сооружения земляного полотна на многолетнемерзлых основаниях: с консервацией или с оттаиванием грунтов основания. Более распространенным вариантом считается первый принцип — консервация грунта основания без последующего его оттаивания. При консервации принимаются все меры для сохранения существующего уровня верха ММГ и заведения его в тело земляного полотна. С этой целью, помимо строгого соблюдения технологии сооружения земляного полотна, необходимо использовать различные методы управления тепловыми процессами, позволяющими сохранять грунты оснований в мерзлом состоянии и дополнительно охлаждать их.

Классификация методов управления тепловыми процессами в грунтах, разработанная А. Д. Цернантом [1], приведена на рис. 2.

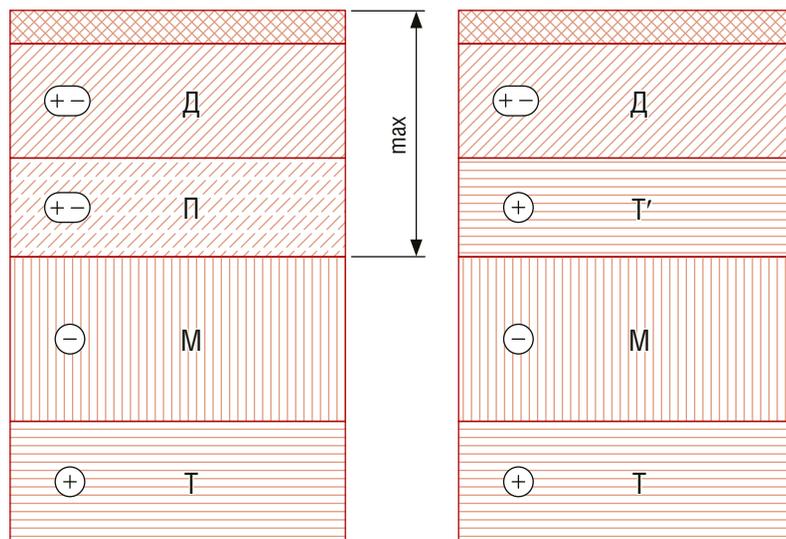


Рис. 1. Разрез толщи многолетнемерзлых грунтов: Д — деятельный слой; М — мерзлый грунт; Т — талый грунт с постоянной положительной температурой; П — перелеток; Т' — талик

Методы управления тепловыми режимами в грунтовых массивах

Тепловые экраны:

- солнцезащитные навесы, светоотражающие покрытия;
- заполненные газом замкнутые полости между грунтом и пленочным или пенопластовым покрытием;
- барьеры, регулирующие скорость ветра в приземном слое;
- растительный покров, покрытия из геотекстиля (белого), отражающего солнечный свет

Тепловые амортизаторы —

любые материалы (торф, пенопласт, снег) или замкнутые емкости (полосы), заполненные жидкостью, изменяющие величину коэффициента теплопередачи или обладающие большой теплоемкостью и замедляющие процесс теплопередачи

Тепловые диоды:

- любые прослойки, призмы, выполненные из влагоемких природных материалов (торф, глина);
- крупнопористые скальные призмы и обсыпки из крупнообломочных грунтов;
- сложные инженерные устройства с замкнутыми полостями, заполненными хладагентами с низкой температурой испарения (фреон, пропан, аммиак). К ним относятся термосифоны, термосваи, термостабилизаторы

Тепловые трансформаторы —

теплообменники, работа которых основана на использовании дополнительной энергии (механической, электрической, химической)

Рис. 2. Методы управления тепловыми режимами в грунтах

К тепловым амортизаторам могут быть отнесены современные материалы, разработанные Институтом химии нефти СО РАН (Томск), — наноструктурированные криотропные полимерные материалы (криогели) [2–4]. Криогели не только устойчивы к различным неблагоприятным воздействиям окружающей среды (вода, микроорганизмы и т.д.), но и снижают теплопроводность грунта. Так, грунт, укрепленный криогелем, имеет коэффициент теплопроводности на 10–15 % меньше, чем неукрепленный, что положительно сказывается на надежности всего объекта.

Земляное полотно, сооружаемое на многолетнемерзлых основаниях, растекает их, что приводит к просадкам и деформациям. Для поддержания грунта основания в мерзлом состоянии широко применяются сезонные охлаждающие устройства (СОУ) различных модификаций.

I вариант — вертикальные термостабилизаторы (термосифоны), основной принцип работы которых — извлечение тепла из грунта и передача его в окружающую среду. Термосифоны располагаются по одну или по обе стороны у подошвы насыпи. Важно, что данная система является естественно действующей, внешние источники энергии не требуются, необходима лишь периодическая дозаправка термосифонов хладагентом. В то же время следует учитывать, что термосифоны, установленные вдоль линии, должны иметь большую длину, чтобы охлаждать центральную часть основания. По некоторым данным, длина обычных термосифонов может достигать 50–100 м [5].

II вариант охлаждения грунта — горизонтальная естественно действующая трубчатая (ГЕТ) система для создания горизонтальной плиты из мерзлого грунта (рис. 3). Данная система работает по принципу термо-

сифонов, но рассчитана на промораживание оснований на локальных участках длиной до 100–200 м, например, оснований зданий и сооружений.

Рассмотренные варианты СОУ достаточно эффективны в эксплуатации, но охлаждают лишь основание, не заводя мерзлоту в тело земляного полотна.

III вариант — сочетание системы ГЕТ и аналога «пластиковой дороги» [6], на основе которого на кафедре «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС был разработан вариант конструкции железнодорожного земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах (рис. 4) [7]. Данная конструкция позволяет поднять уровень мерзлоты и завести его в земляное полотно. Обладая многими достоинствами [8], конструкция в то же время локальна по своему применению, требует размещения громоздкого и дорогостоящего конденсаторного блока, возникают затруднения, связанные с балластировкой и выправкой пути.

Новая конструкция железнодорожного пути на многолетнемерзлых грунтах

На основе рассмотренных вариантов авторами разработана новая, комбинированная конструкция железнодорожного пути. Были решены следующие задачи:

- уменьшение объемов дефицитного в условиях Севера привозного грунта земляного полотна;
- исключение балластировки пути за счет устройства аналога безбалластного пути;
- стабилизация земляного полотна за счет его промораживания на максимальную высоту.

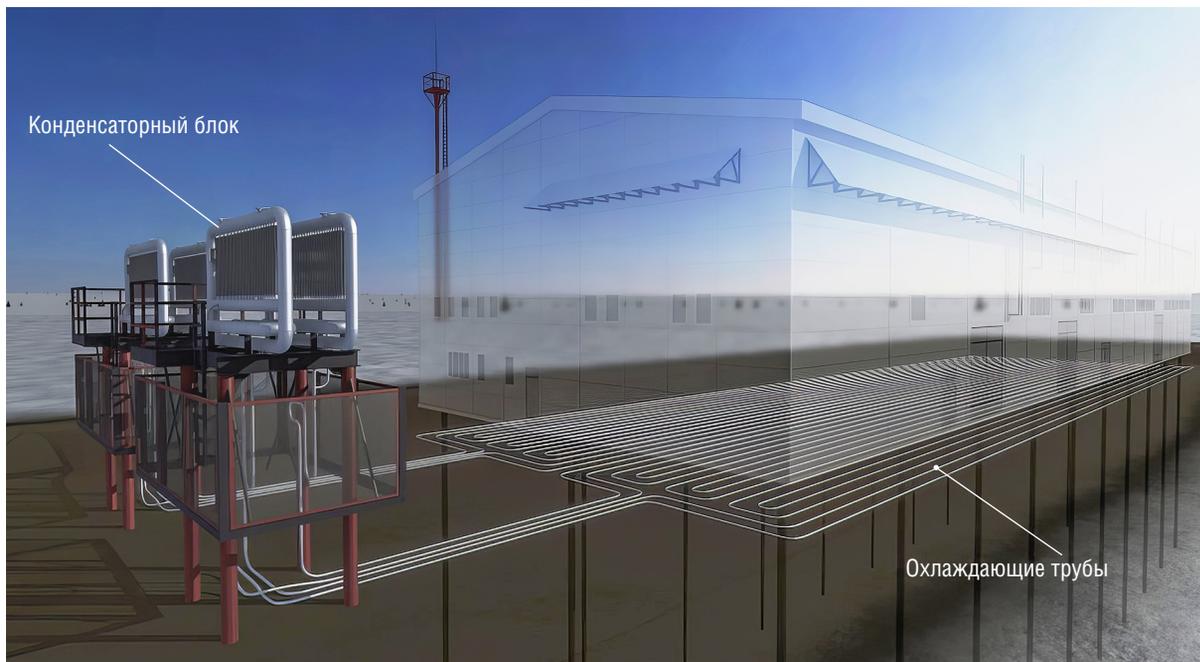


Рис. 3. ГЕТ-система охлаждения грунта [9]

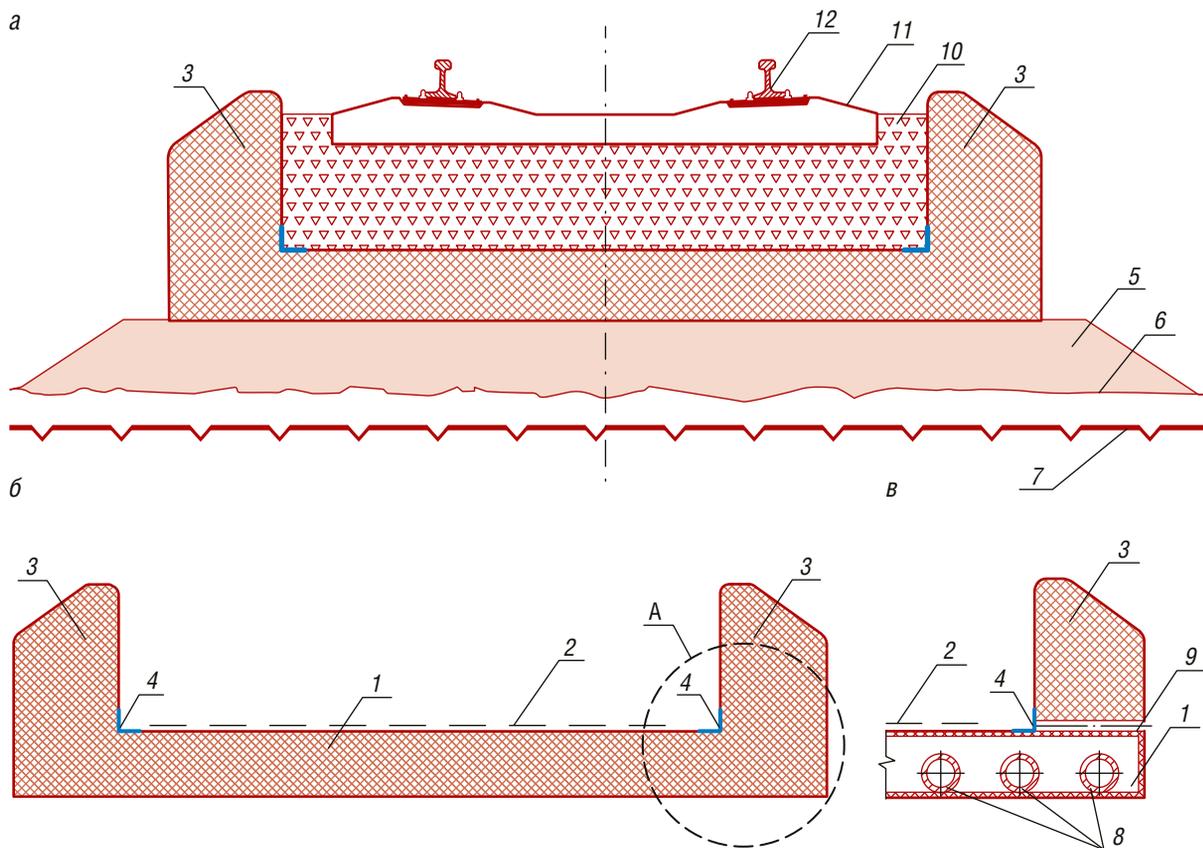


Рис. 4. Схема основания для верхнего строения пути на ВМГ:

- а — общий вид; б — схема плиты из полимерных материалов; в — вид А;
 1 — плита из полимерных материалов; 2 — ребристая поверхность плиты; 3 — бортики высотой 0,4–0,6 м;
 4 — геотекстиль; 5 — песчаная подушка; 6 — земляное полотно; 7 — уровень ММГ; 8 — каналы для прокладки ГЕТ;
 9 — дренажные отверстия; 10 — щебеночный балласт; 11, 12 — рельсошпальная решетка

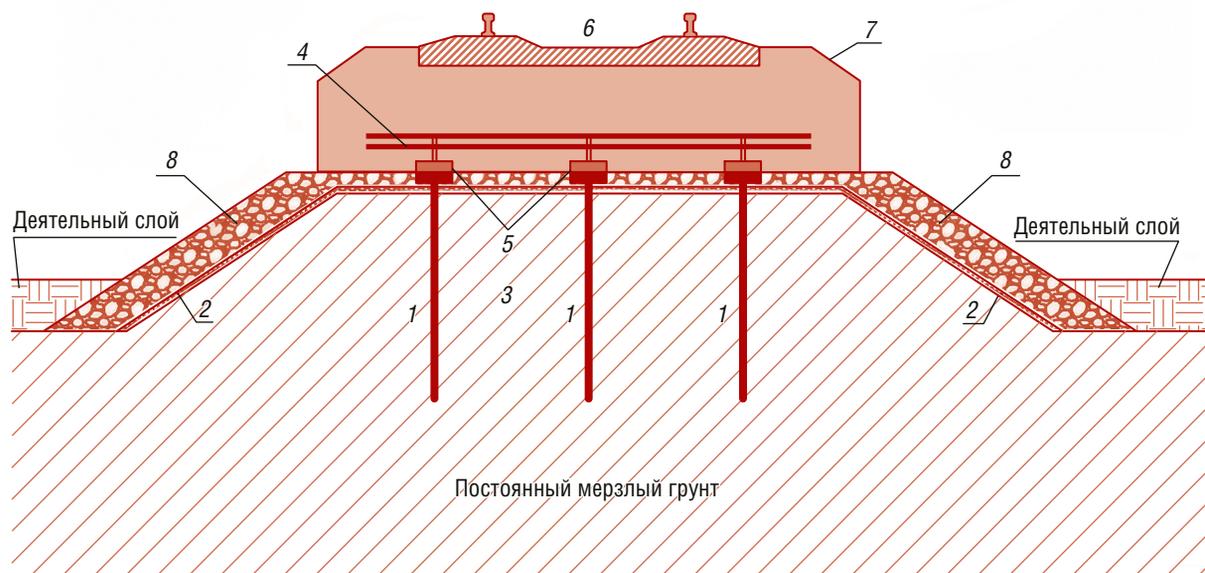


Рис. 5. Схема разработанной конструкции железнодорожного пути

На рис. 5 представлена схема разработанной конструкции железнодорожного пути. За основу взят короб 7, выполненный из полимерных материалов, по нижнему контуру которого устанавливается металлическая радиаторная решетка 4, контактирующая с пластинами 5, расположенными на оголовках термосифонов 1. Внутри короба находится рельсошпальная решетка 6, впрессованная в слой полимера. Конструкция устанавливается на предварительно подготовленное земляное полотно 3, откосы которого покрыты контуром из теплоизолирующего материала 2 и слоем грунта, пропитанного криогелем 8. В данной конструкции криогель используется как гидро- и теплоизоляционный материал, стабилизирующий грунт земляного полотна.

Принцип работы конструкции заключается в следующем: термосифоны принимают тепло грунта основания и земляного полотна и передают его на металлические пластины, расположенные в днище короба; тепло, принимаемое пластинами, распределяется в радиаторе короба и выводится наружу. В зимнее время при отрицательных температурах наружного воздуха происходит постоянное охлаждение земляного полотна и его основания, и уже после первого цикла замораживания верхняя граница мерзлоты поднимается, заходит в земляное полотно, цементируя и стабилизируя его, подготавливая к работе с безбалластной конструкцией пути. Откосы земляного полотна дополнительно покрываются теплоизоляционным материалом и укрепляются криогелем. Звенья рельсошпальной решетки длиной 12,5 м на стенде базы ПМС устанавливаются в короб при тщательном соблюдении их планового и высотного положения, закрепляются по-

лимером. Вся конструкция, по предварительным подсчетам, весит не более 18 т и может быть установлена на подготовленное земляное полотно стреловыми кранами.

Теплотехнический расчет, выполненный в программном комплексе ЛИРА-САПР, позволил оценить эффективность предлагаемой конструкции.

Теплотехнический расчет в программном комплексе ЛИРА-САПР

В программе ЛИРА-САПР была смоделирована железнодорожная насыпь типовой конструкции, отсыпанная из песчано-гравийно-щебеночной смеси. Моделирование проводилось для условий Полярного Урала с максимальной среднемесячной температурой воздуха в летний период 12,4 °С [10]. Расчеты показали, что высоты насыпи в 4 м достаточно для того, чтобы температура основания не поднималась выше нуля градусов, то есть основание оставалось в замерзшем состоянии. В нижней части была зафиксирована температура минус 4 °С, она показывала зону стабильно отрицательных температур. Схема распределения температур в типовой насыпи и основании показана на рис. 6.

Аналогичные расчеты были проведены для новой конструкции железнодорожного пути (рис. 7). В этом случае высота насыпи может быть принята 1,9 м, а ширина основной площадки сопоставима с размерами пластикового короба.

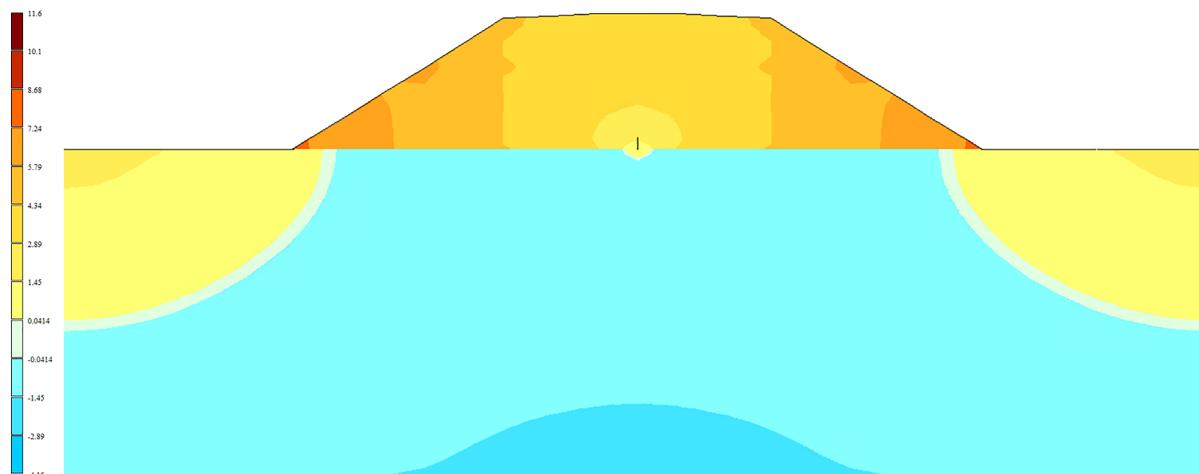


Рис. 6. Схема распределения температуры в основании типовой насыпи

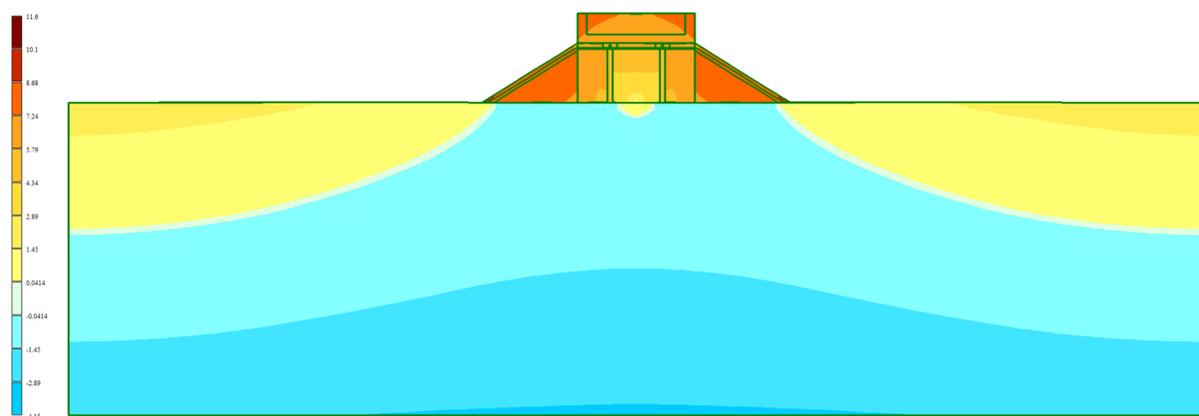


Рис. 7. Схема распределения температуры в основании новой конструкции железнодорожного пути

Выводы

Выполненные расчеты подтверждают возможность сооружения земляного полотна на ММГ, не повышая температуру основания более 0 °С. При этом высота насыпи должна быть не менее 4 м, а выемки полностью исключаются. В условиях Севера строители испытывают дефицит грунтов, пригодных для возведения насыпей. В связи с этим сооружение высоких насыпей затруднительно.

Новая разработанная конструкция позволяет:

- уменьшить объемы земляных работ за счет того, что высота насыпи снижается практически вдвое до 1,9 м, а ширина по верху уменьшается до 5 м;
- уменьшить теплопроводность грунта насыпи не менее чем на 15 % только за счет применения криогеля;
- отвести тепло от основания, завести уровень мерзлоты в тело насыпи за счет применения термосифонов и изолирования теплопередачи теплоизоляционным слоем (экструдированным пенопластом или пенополистиролом);
- уменьшить длину термосифонов до 3,5 м; термосифоны закрыты пластиковым коробом, защищены от осадков, снега и механических повреждений. При необходимости их ремонта производится подъем пластикового короба и дальнейшая работа с термосифонами. **ИТ**

Список литературы

1. Спиридонов Э. С., Призмозонов А. М., Акуратов А. Ф. Технология железнодорожного строительства : учебник. М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. 592 с. ISBN 978-5-89035-610-9.
2. Стоянович Г. М., Шипарев, Р. Г. Закрепление грунтов с помощью криотропного гелеобразования в дорожном строительстве // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14, № 4. С. 759–767. ISSN 1815-588X.
3. Криогели — новый материал для строительной индустрии и решения экологических проблем // Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (ИХН СО РАН). URL: https://www.ipc.tsc.ru/proekts/ECOLOGY/КРИОГЕЛИ-новый_материал.pdf.
4. Жданова С. М., Тукмакова О. В. Актуальные проблемы содержания земляного полотна линейных сооружений в сложных условиях (результаты экспериментального внедрения новых разработок ДВГУПС) // Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием : в 3 томах, Хабаровск, 21–22 октября 2015 года. Т. 3. Хабаровск : Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2015. С. 47–53.
5. Пат. 2629281 С1 Российская Федерация, МПК E02D 3/115. Охлаждающий термосифон для глубинной термостабилизации грунтов (варианты) / И. П. Рило. № 2016117601 ; заявл. 29.04.2016 ; опубл. 28.08.2017.
6. Мусорный хайвей: из чего лучше строить дороги // Интернет-издание «За рулем». URL: <https://www.zr.ru/content/articles/848428-musornyj-xajvej-iz-chego-luchshe-stroit-dorogi>.
7. Пат. 2687723 С1 Российская Федерация, МПК E01C 3/06. Способ устройства основания для верхнего строения пути на вечномерзлых грунтах / О. Л. Скутина, Л. В. Федянина, А. И. Скурихин. № 2018125409 ; заявл. 10.07.2018 ; опубл. 15.05.2019.
8. Скутина О. Л., Федянина Л. В., Скурихин А. И. Конструктивно-технологические решения по сооружению земляного полотна в зоне вечномерзлых грунтов // Инновационный транспорт. 2020. № 1(35). С. 36–42. DOI 10.20291/2311-164X-2020-1-36-42.
9. Охлаждаемые основания сооружений как эффективное и экономное техническое решение при обустройстве объектов на вечномерзлых грунтах // Сфера. Нефть и газ. 2016. № 2 (52). С. 96–98. URL: <https://xn--80aaigboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/fsa-2016-2>.
10. Малявина Е. Г., Маликова О. Ю., Фролова А. А. Строительная климатология. М. : Московский государственный строительный университет, 2020. 47 с. ISBN 978-5-7264-2094-3.

References

1. Spiridonov E. S., Prismazonov A.M., Akuratov A. F. Technology of railway construction : textbook. M. : Educational and Methodological Center for education in railway transport, 2013. 592 p. ISBN 978-5-89035-610-9.
2. Stoyanovich G. M., Shiparev, R. G. Soil fixation using cryotropic gelation in road construction // Izvestiya Peterburgskogo universiteta of Railway Communications. 2017. Vol. 14, No. 4. Pp. 759-767. ISSN 1815-588X.
3. Cryogels are a new material for the construction industry and solving environmental problems // Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IHN SB RAS). URL: https://www.ipc.tsc.ru/proekts/ECOLOGY/КРИОГЕЛИ-новый_материал.pdf.
4. Zhdanova S. M., Tukmakova O. V. Actual problems of maintaining the roadbed of linear structures in difficult conditions (results of experimental implementation of new developments of DVGUPS) // Improving the efficiency of the transport system of the region: problems and prospects : materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation : in 3 volumes, Khabarovsk, October 21–22, 2015. Vol. 3. Khabarovsk : Far Eastern State University of Railway Engineering, 2015. Pp. 47–53.
5. Pat. 2629281 C1 Russian Federation, IPC E02D 3/115. Cooling thermosiphon for deep thermal stabilization of soils (variants) / I. P. Rilo. No. 2016117601 ; application 04/29/2016 ; publ. 08/28/2017.
6. Garbage highway: what is better to build roads from // Online edition “Za Rulem”. URL: <https://www.zr.ru/content/articles/848428-musornyj-xajvej-iz-chego-luchshe-stroit-dorogi>.
7. Pat. 2687723 C1 Russian Federation, IPC E01C 3/06. Method of foundation for the upper structure of the track on permafrost soils / O. L. Skutina, L. V. Fedyanina, A. I. Skurikhin. No. 2018125409 ; application 07/10/2018 ; publ. 05/15/2019.
8. Skutina O. L., Fedyanina L. V., Skurikhin A. I. Constructive and technological solutions for the construction of an earthen bed in the permafrost zone // Innotrans. 2020. No. 1 (35). Pp. 36-42. DOI 10.20291/2311-164X-2020-1-36-42.
9. Cooled foundations of structures as an efficient and economical technical solution for the construction of facilities on permafrost soils // Sphere. Oil and gas. 2016. No. 2 (52). Pp. 96–98. URL: <https://xn--80aaigboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/fsa-2016-2>.
10. Malyavina E. G., Malikova O. Yu., Frolova A. A. Construction climatology. Moscow : Moscow State University of Civil Engineering, 2020. 47 p. ISBN 978-5-7264-2094-3.



**Олег Ведининович
Голубев**
Oleg V. Golubev

Определение параметров геометрии рельсовой колеи с помощью современных путеизмерительных средств

Determination of the parameters of the geometry of the track gauge using modern track measuring tools

Аннотация

Работа посвящена сравнению параметров геометрии рельсовой колеи, полученных по данным вагона-путеизмерителя ЦНИИ-4МД и аппаратно-программного комплекса «Профиль». АПК «Профиль» измеряет параметры рельсовой колеи без нагрузки, а вагон ЦНИИ-4МД под нагрузкой, что соответствует реальным условиям взаимодействия. Использование мобильных путеизмерительных средств позволяет определить равностность подрельсового основания на участке. Дополнительно предложено проводить оценку геометрии рельсовой колеи с использованием портативного шумомера.

Ключевые слова: неисправности рельсовой колеи, жесткость пути, АПК «Профиль», путеизмерительный вагон, шумомер.

Abstract

The research is dedicated to the comparison of the parameters of geometry of a rail track which have been received due to the data of TsNII-4MD track-tester and APK "Profile". APK "Profile" measures the parameters of an unladen rail track, and TsNII-4MD car under stress, which corresponds to the real interaction conditions. The use of mobile track testing devices will let determine the equirigidity of a rail base on the site. Additionally proposed to conduct the evaluation of the geometry of a rail track with the use of a portable noise meter.

Keywords: rail track failure, track rigidity, APK "Profile", track-tester, noise meter.

Авторы Authors

Олег Ведининович Голубев, канд. техн. наук, доцент; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Oleg V. Golubev, PhD. of Technical science, associate professor; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Экономическая эффективность железнодорожного транспорта тесно связана с постоянством геометрии рельсовой колеи и ее равножесткости по длине. Сейчас и в дальнейшем необходимо находить оптимальные решения при проведении работ текущего содержания. Одно из решений этой задачи — количественная оценка, позволяющая установить связь между параметрами геометрии рельсовой колеи и затратами на ее содержание.

Когда подвижной состав движется по рельсовой колее, имеющей неисправности, изменяется взаимодействие колеса с рельсом, увеличивается вибродинамика элементов верхнего строения пути и земляного полотна, увеличивается расход энергии на тягу поездов, возрастает шум. Решение задач динамики рельсовых экипажей становится с каждым годом все более актуальным как для проектировщиков подвижного состава, так и для эксплуатационников из-за возросшей конкуренции на рынке транспортных услуг и необходимости в новых экономических условиях гарантировать грузоотправителю безопасность, качество и высокую скорость перевозок.

Взаимодействующие элементы ходовых частей подвижного состава и верхнего строения железнодорожного пути зависят друг от друга и образуют единую механическую систему. В реальных условиях рельсы и колеса имеют неровности на поверхностях катания, а также некоторые другие технические особенности (кривизна пути, конусность поверхностей катания колес, подуклонка рельсов и др.), в результате чего в элементах подвижного состава и пути возникают различные колебания, а между ними — динамические силы взаимодействия.

Если бы путь был идеально ровным, а колеса сбалансированными и без неровностей, то было бы целесообразно увеличивать жесткость пути вплоть до бесконечности, поскольку тем самым снизится сопротивление движению. А это позволит повысить скорость и вес поездов, уменьшить затраты на топливо, увеличить пропускную и провозную способность дорог. Но дефекты колес производственного характера (неравномерный прокат, ползуны, навары, выщербины, неуравновешенные массы на колесах и неровности пути в стыках и местах сварки рельсов, пробуксовины, седловины, волнообразный износ) приводят к росту динамических сил взаимодействия колес с рельсами при увеличении жесткости пути [1]. Силы динамического взаимодействия могут быть снижены путем совершенствования ходовых частей и пути, а также улучшением технического содержания их в эксплуатации.

Там, где присутствуют неровности, силы взаимодействия пути и подвижного состава, а также элементов пути между собой и их вибрации значительно выше, чем на участках без неровностей [1]. На участках железнодорожного пути, где встречаются неисправности геометрии рельсовой колеи, интенсивность износа рельсов растет, и образуются пустоты между балластной призмой и подрельсовыми опорами. При этом обязательно

увеличиваются колебания подвижного состава и верхнего строения железнодорожного пути.

Для качественной и количественной оценки колебаний подвижного состава и его воздействия на путь наряду с характеристиками колеблющейся системы необходимо знать характеристики источника возмущений, которым являются случайные (непрерывные) неровности пути. Различают силовые и геометрические неровности рельсовой колеи. Неровности под воздействием нагрузки (силовые) возникают вследствие неравножесткости подрельсового основания и увеличения прогиба рельсов в междушпальных ящиках, а остаточные деформации и износ рельсов формируют геометрическую составляющую неровности [2].

Значения геометрических параметров железнодорожного пути, полученные с датчиков путеизмерителей, зависят от целого ряда факторов: неровностей на поверхности качения колес, взаимного влияния колебаний букс одной колесной пары, резонансных явлений в системе «колесо — рельс», скорости движения. Все эти факторы служат причиной систематических и случайных погрешностей измерений, которые при последующей статистической обработке существенно влияют на достоверность получаемых данных.

В настоящее время для измерения геометрических параметров рельсовой колеи используются различные путеизмерительные устройства. В данном исследовании рассматриваются аппаратно-программный комплекс «Профиль» (АПК «Профиль»; разработчик — Сибирский государственный университет путей сообщения) и вагон — путеизмерительная станция ЦНИИ-4МД (ВПС ЦНИИ-4МД).

Аппаратно-программный комплекс «Профиль» в отличие от ВПС ЦНИИ-4МД позволяет:

- получать точные данные о пространственном положении рельсовой колеи в любой системе координат, включая международные WGS;
- использовать полученные данные для ремонтов пути, чтобы улучшить взаимодействие пути и подвижного состава и устранить длинные неровности и многорадиусные кривые;
- использовать автоматизированные программные комплексы для проектирования;
- уменьшить стоимость работ, связанных с инвентаризацией земли, и объектов на железной дороге;
- создать цифровую модель железнодорожного пути;
- создать ГИС железной дороги;
- перевести работу рихтовочных машин на координатный способ выправки;
- выполнять мониторинг по основным параметрам пути, находящимся под воздействием динамических нагрузок (поперечный и продольный уклон, высотные отметки, азимут, координаты, расстояние и неровности, уровень, шаблон, рихтовка, просадки).

Сравнение параметров АПК «Профиль» и ВПС ЦНИИ-4МД

Наименование параметра	АПК «Профиль»		ВПС ЦНИИ-4МД	
	Диапазон измерения	Погрешность измерения	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Расстояние	100 км	±0,01 %	100 км	±0,05 %
Ширина колеи	1505–1560 мм	±1 мм	1510–1550 мм	±1 мм
Уровень	0–300 мм	± 0,5 мм	0–160 мм	± 4 мм
Рихтовка	±160 мм	1 мм	±225 мм	± 4 мм
Просадка	±50 мм	1 мм	±40 мм	1 мм

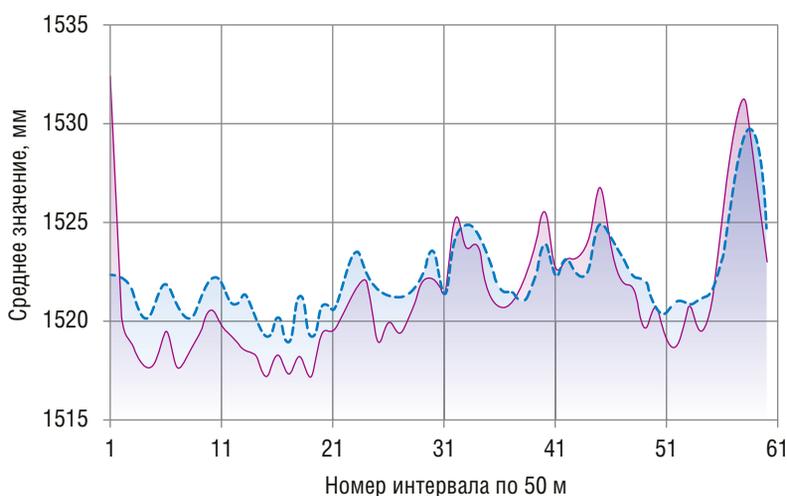


Рис. 1. Средние значения ширины колеи по интервалам в 50 м: — ВПС ЦНИИ-4 МД; - - - АПК «Профиль»

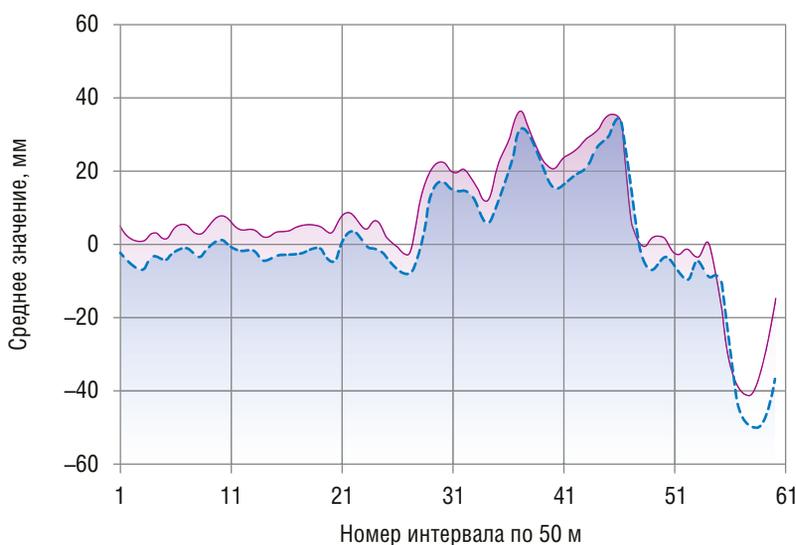


Рис. 2. Средние значения уровня по интервалам в 50 м: — ВПС ЦНИИ-4 МД; - - - АПК «Профиль»

Сравнение параметров АПК «Профиль» и ВПС ЦНИИ-4МД приведено в табл. 1.

Для сравнения величины неровностей незагруженного пути и пути под воздействием нагрузки были получены данные по перегону Свердловской железной дороги после прохода ВПС ЦНИИ-4МД и АПК «Профиль». Оценивались средние значения геометрических параметров на участке длиной 3 км на 60 интервалах по 50 м. Графики средних значений по интервалам в 50 м по данным ВПС ЦНИИ-4МД и АПК «Профиль» представлены на рис. 1–4. Графики рихтовок не приводятся из-за отсутствия датчиков на ВПС ЦНИИ-4МД.

Графики ширины колеи и уровня по данным ВПС ЦНИИ-4МД и АПК «Профиль» практически совпадают (рис. 1, 2). Ширина колеи характеризует горизонтальную жесткость пути на участке, и если наблюдаются сильные расхождения между данными, то это говорит о плохом прикреплении рельсов к шпалам за счет изгиба или излома костылей, клеммных и закладных болтов.

Даже небольшая разница (1–3 мм по средним значениям) в величине ширины колеи свидетельствует о том, что путь, на котором производилась съемка, звеньевой на деревянных шпалах. Эта разница была бы минимальной в случае железобетонных шпал, так как связь

рельсов более прочная. Например, промежуточные рельсовые скрепления КБ и ЖБР имеют жесткую связь в вертикальной плоскости и боковой упор для подошвы рельса, поэтому исключается провал колесной пары из-за распора рельсовой колеи. Такая связь отсутствует на участках с деревянными шпалами. На рис. 2 видно, что ВПС ЦНИИ-4МД продавливает больше левую рельсовую нить (уровень имеет положительный знак при возвышении правого рельса).

По графикам просядок (рис. 3, 4) можно обнаружить участки с плохо выполненной подбивкой при ремонте пути: 12389–12689 м, 12789–13289 м, 13589–13789 м, 14589–14789 м. Значения просядок, полученные по данным ВПС ЦНИИ-4МД, сильно отличаются от значений АПК «Профиль», поскольку из-за имеющихся на этих участках зазоров между шпалой и балластом при проходе путеизмерительного вагона путь деформируется.

При анализе геометрических характеристик пути выявлено, что данные с ВПС ЦНИИ-4МД смещены вдоль пути в среднем на 20 м. Для построения графиков на рис. 5 и 6 ряд значений по данным АПК «Профиль» был смещен вдоль ряда значений по данным ВПС ЦНИИ-4МД. Затем для каждой точки смещения (на 0,5 м) определили среднюю разницу между значениями геометрических параметров по данным ВПС ЦНИИ-4МД и АПК «Профиль». Минимальное среднее значение пока-

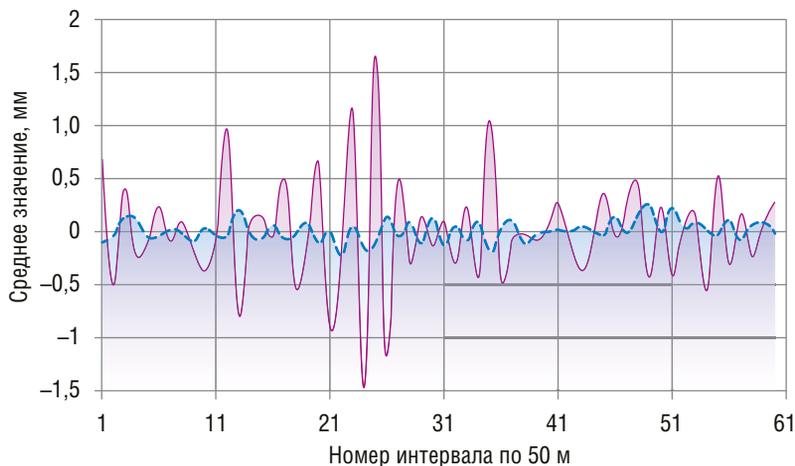


Рис. 3. Средние значения просядок левого рельса по интервалам в 50 м: — ВПС ЦНИИ-4 МД; - - - АПК «Профиль»



Рис. 4. Средние значения просядок правого рельса по интервалам в 50 м: — ВПС ЦНИИ-4 МД; - - - АПК «Профиль»

зывает совместимость рядов в данной точке. Начальная точка перемещаемого ряда имеет координату пу-

ти 12039 м. В табл. 2 приведена разница в привязке по минимальному значению на построенных графиках.

Таблица 2

Точность привязки

Геометрические характеристики	Средняя минимальная разница, мм	Координата пути, м		Разница координат, м
		АПК «Профиль»	ВПС ЦНИИ-4МД	
Ширина колеи	2,3	12039	12024	15
Уровень	6,1	12039	12017	22
Просадки левые	1,8	12039	12006,5	32,5
Просадки правые	1,6	12039	12022	17

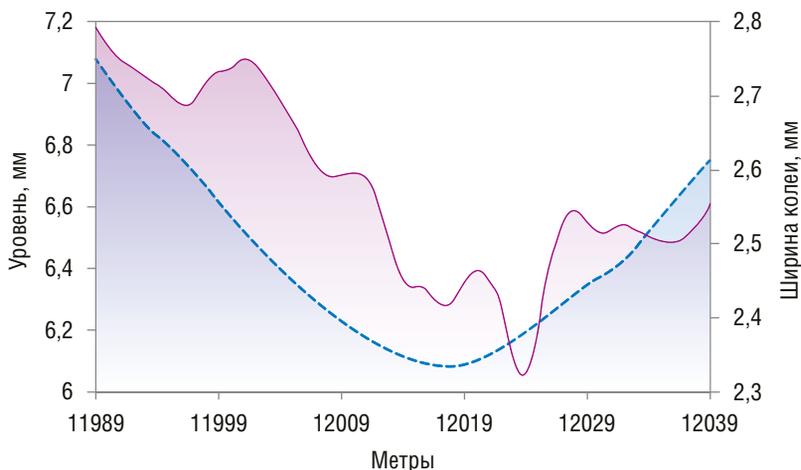


Рис. 5. Минимальная средняя величина разниц между значениями ширины колеи и уровня по данным ВПС ЦНИИ-4МД и АПК «Профиль»:
 - - - - - уровень; — — — — — ширина колеи

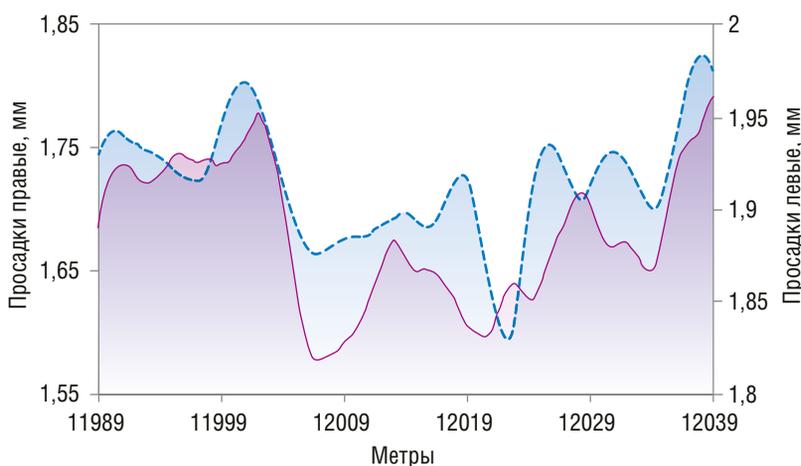


Рис. 6. Минимальная средняя величина разниц между значениями просадок правого и левого рельса по данным ВПС ЦНИИ-4МД и АПК «Профиль»:
 - - - - - просадки правые; — — — — — просадки левые



Рис. 7. Портативный шумомер

Таким образом, точность привязки АПК «Профиль» и ВПС ЦНИИ-4МД различна. ВПС ЦНИИ-4МД привязывается на станции во время стоянки и по возможности на каждом километре во время движения, а АПК «Профиль» — к любой точке как во время движения (менее точно), так и при остановке (более точно). В любом случае точность привязки АПК «Профиль» выше, чем у ВПС ЦНИИ-4МД.

Существуют иные способы оценки качества геометрии рельсовой колеи, без использования путеизмерителей, например, исследование шума, который появляется в результате контакта колеса с рельсом.

Известно, что уровень шума, исходящего от контактирующих поверхностей колеса и рельса при их взаимодействии, зависит от массы, скорости движения, неровностей поверхностей и геометрии пути. Для оценки уровня шума необходимо разместить микрофон-шумомер (систему микрофонов) вблизи контакта колеса и рельса, например на тележке в области буксы. При этом принимающее устройство микрофона должно быть направлено в область контакта (в сторону распространения звуковой волны). Микрофоны должны располагаться над каждой рельсовой нитью непосредственно у источника шума (колеса) на колесной паре тягового подвижного состава (локомотива), так как он имеет постоянную массу (нагрузку на ось).

Выпускаемые портативные шумомеры (ШМ) имеют диапазон измеряемых уровней от 16 до 134 дБ, разбиваемый на различное число шкал. Приборы снабжены средствами акустической и электрической калибровки, часто применяются в сочетании с фильтрами для измерения усредненных спектральных характеристик шума. Прибор состоит из направленного измерительного микрофона, усилителя, корректирующих фильтров, детектора и стрелочного или цифрового индикатора (рис. 7). Шумомеры применяются в исследованиях уровня производственных

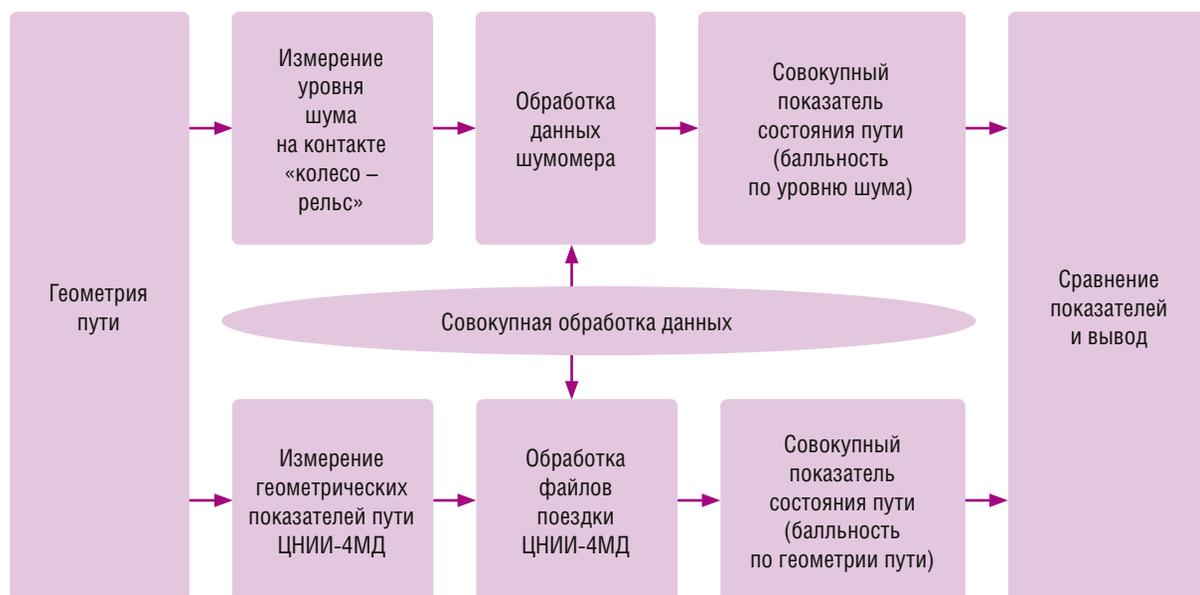


Рис. 8. Алгоритм обработки и анализа данных на опытном участке

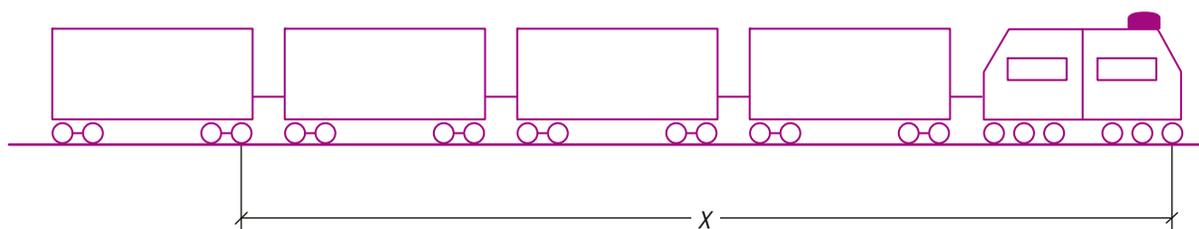


Рис. 9. Схема измерения уровня шума и геометрических параметров пути:
 X — расстояние от установки шумомера до точки, в которой ВПС ЦНИИ-4МД измеряет геометрические параметры

шумов, при экологическом мониторинге в населенных пунктах, вблизи аэропортов, автомагистралей, железных дорог и т.п. [3].

На рис. 8 показан алгоритм обработки данных для сравнения показателей состояния пути, которые можно получить при измерении уровня шума на контакте «колесо — рельс», и геометрических параметров рельсовой колеи, измеряемых ВПС ЦНИИ-4МД. Действуя по алгоритму, можно определить корреляционную связь между уровнем шума и геометрическими параметрами рельсовой колеи. Это дает возможность проводить более частую оценку качества геометрии рельсовой колеи, оснастив шумомером локомотивы графиковых поездов.

На рис. 9 приведена схема измерения уровня шума и геометрических параметров пути. Расстояние X должно учитываться при совместной обработке данных шумомера и файлов поездки.

При учете скорости движения можно использовать данные ВПС ЦНИИ-4МД, но необходимо помнить, что, когда локомотив трогается, вагон некоторое время стоит, и наоборот, когда локомотив тормозит, вагон движется с прежней скоростью. Это связано с наличием зазоров в автосцепке. Поэтому нужно вводить поправочный коэффициент, значение которого будет тем больше,

чем дальше вагон-путеизмеритель отстоит от локомотива. Лучший вариант учета скорости при обработке данных — это установка датчика скорости вместе с шумомером либо использование данных с локомотива (если эти данные можно отобразить в цифровом формате).

Выводы

Качество качения колеса по рельсу зависит не только от величины геометрических параметров рельсовой колеи (ширина колеи, уровень, просадки), но и от равномерности подрельсового основания. АПК «Профиль» измеряет параметры рельсовой колеи без нагрузки, а вагон ЦНИИ-4МД под нагрузкой, что соответствует реальным условиям взаимодействия. Сравнение геометрических параметров рельсовой колеи, получаемых с помощью АПК «Профиль» и ВПС ЦНИИ-4МД, позволяет оценить уровень равномерности верхнего строения железнодорожного пути, что, в свою очередь, может служить критерием для назначения капитального ремонта.

Использование шумомеров при оценке качества геометрических параметров рельсовой колеи позволит сократить затраты на более дорогое специализированное путеизмерительное оборудование. **ИТ**

Список литературы

1. Лысюк В. С., Сазонов В. Н., Башкатова Л. В. Прочный и надежный железнодорожный путь. М. : Академкнига, 2003. 588 с. ISBN 5-94628-112-7.
2. Голубев О. В. Оценка состояния рельсовой колеи с учетом видеонаблюдений : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / Голубев Олег Владимирович. Екатеринбург, 2013. 148 с.
3. Портативный шумомер NL-52. URL: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-7070-portativnii-shymomer-nl-52.htm?ysclid=m4I9p47bkz823644039> (дата обращения: 12.12.2024).

References

1. Lysyuk V. S., Sazonov V. N., Bashkatova L. V. Durable and reliable railway track. M. : Akademkniga, 2003. 588 p. ISBN 5-94628-112-7.
2. Golubev O. V. Assessment of the state of the rail track taking into account video surveillance : dis. ... candidate of Technical Sciences : 05.22.06 / Golubev Oleg Vladimirovich. Yekaterinburg, 2013. 148 p.
3. Portable noise meter NL-52. URL: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-7070-portativnii-shymomer-nl-52.htm?ysclid=m4I9p47bkz823644039> (date of access: 12.12.2024).



**Алексей Васильевич
Завадич**
Alexey V. Zavadich



**Александр Васильевич
Смолянинов**
Alexander V. Smolyaninov

Совершенствование конструкции полувагона модели 12-515 в 1964–1979 гг.

The improvement of the construction of the gondola car of 12-515 model in 1964–1979

Аннотация

Статья продолжает серию публикаций о разработке и проектировании конструкций вагонов и их элементов Уральским конструкторским бюро вагоностроения Уралвагонзавода и охватывает период с 1964 по 1979 г. В конце 1963 г. полувагон модели 12-515 был поставлен на серийное производство, и все последующие годы вносились незначительные конструктивные доработки по усилению отдельных узлов конструкции. Были введены в конструкцию цельнокатаные облегченные колеса и поглощающий аппарат Ш-2-Т. В результате увеличена грузоподъемность полувагона с 63 до 65 т, что привело к улучшению его параметров. Выполнены работы по унификации обозначений технической документации, введено и заменено более пятидесяти ГОСТов.

Ключевые слова: Уралвагонзавод, полувагон, кузов и его элементы, ходовые части, рама, стены полувагона, тормозное оборудование.

Abstract

The article continues the series of publications on the development and design of the constructions of cars and their elements by the Ural Railcar-Building Design Office of Uralvagozavod and covers the period from 1964 to 1979. At the end of 1963 the gondola car of 12-515 model was launched into mass production and minor structural modifications to strengthen the components of the structure were being implemented during all the subsequent years. Single-rolled lightweight wheels and absorber W-2-T were implemented into the structure. As a result, carrying capacity of the gondola car was increased from 63 to 65 tons. It lead to the improvement of its parameters. The work on the unification of technical documentation codes was conducted and over fifty GOSTs were changed.

Keywords: Uralvagozavod, gondola car, body and its elements, bogies, frame, gondola car walls, braking equipment.

Авторы Authors

Алексей Васильевич Завадич, инженер-конструктор бюро проектирования кузовов полувагонов (1937–1987); Уральское конструкторское бюро вагоностроения (УКБВ) Уралвагонзавода | Александр Васильевич Смолянинов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, e-mail: asmolyaninov@inbox.ru

Alexey V. Zavadich, design engineer of the gondola car body design bureau (1937–1987), Ural car building design bureau (UCBDB) | Alexander V. Smolyaninov, doctor of technical science, professor, "Wagons" department; Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, e-mail: asmolyaninov@inbox.ru

1963 г. закончился выпуском установочной партии полувагонов модели 12-515 грузоподъемностью 63 т, объемом кузова 70,5 м³ и высотой кузова 2060 мм [1]. Конструкция полувагона была отработанной и завершенной и получила разрешение на серийное производство. В течение последующих лет проводились работы по небольшим доводкам узлов и элементов.

В течение 1964–1976 гг. выполнены следующие мероприятия:

1. В местах постановки крайних петель крышек люков введены усиливающие ребра.

2. Введены усиливающие накладки на стенки зетов хребтовой балки в местах постановки задних упорных угольников автосцепки.

3. Все стойки фермы — усиленные прокатные корытообразные.

4. Зазор по контуру закрытых крышек люков между крышкой и элементами рамы: на участке между закладками — 2 мм; в углах на длине 40 мм — 5 мм; по остальному периметру — 4 мм.

5. На все полувагоны устанавливаются шестиугольные крышки люка с каркасом из гнутых профилей и средней усиливающей балкой. Детали каркаса сварены между собой ручной электродуговой сваркой. Лист крышки люка толщиной 5 мм приваривается к каркасу контактно-точечной сваркой. Материал деталей каркаса и крышки — низколегированная сталь 09Г2.

6. Полностью внедрено цельнокатаное облегченное колесо (1963 г. на 26 кг; 1964 г. на 157 кг; 1965 г. на 7 кг).

7. Аппарат поглощающий Ш-2-Т.

8. Установлены ребра жесткости на нижний пояс торцевой двери.

9. Стенка фермы облегченная корытообразная горячекатаная по черт. проф. Э-50-202.

10. Введена облегченная стойка боковой стены по черт. проф. Э-50-199.

11. Усилен шкворневой узел рамы за счет:

- приварки нижнего листа;
- геометрии нижнего листа;
- усиливающей планки;
- увеличения толщины накладок, соединяющих двутавр хребтовой балки с вертикальными листами с толщины 7 мм на 8 мм.

12. Введены раскосы из полосы 6 и 8×144 вместо 140 и с удлиненным в верхней части гофром.

13. Введена верхняя косынка фермы высотой 395 мм вместо 340 мм и с выемкой под гофр раскоса.

14. В концевой части, в районе выемки под гофр, в гофр раскоса вварена планка (рис. 1).

15. Усилена заделка средних и промежуточных стоек. Планка толщиной 10 мм вварена в стойку снизу заподлицо с фланцами на высоте выше на 100 мм верхней кромки нижнего пояса фермы. Стойка приварена к нижнему поясу непрерывным швом по фланцам

и планке. Вертикальные листы поперечных балок удлинены на 8 мм (рис. 2).

16. Для полувагона черт. 515.00.000-2 «Полувагон грузоподъемностью 63 т» введено наименование «Полувагон модель 12-515» (рис. 3).

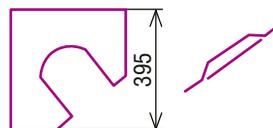


Рис. 1. Верхняя косынка фермы боковой стены

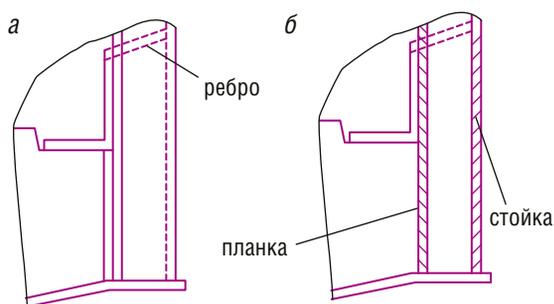


Рис. 2. Заделки средних и промежуточных стоек



Рис. 3. Полувагон модели 12-515

17. Для тележек черт. 100.00.000-0 и черт. 100.00.000-1 введено наименование «Тележка модель 18-100».

18. В связи с уточнением веса тележки вес вагона (тара) принят 21,8 т вместо 21,75 т.

19. Для гарантирования качества приварки допущены на катет шва только плюсовые допуски $\Delta 8^{+2}$, $\Delta 10^{+2}$. По черт. 515.01.000-1 — «Кузов»:

а) швы приварки вертикального листа поперечных балок рамы к горизонтальной полке нижнего пояса фермы и к планке, вваренной в нижнюю часть стойки фермы;

б) швы приварки вертикальных листов шкворневой балки к фланцам шкворневой стойки и горизонтальной полке нижнего пояса фермы, а также приварки нижнего листа шкворневой балки к верхней полке сечения стойки;

в) приварки угловой стойки по контуру к горизонтальной лобового листа $\Delta 8^{+2}$.

По черт. 515.01.022-1 — «Ферма»:

г) швы приварки косынки шкворневой стойки (к которой привариваются вертикальные листы шкворневой балки) к горизонтальной полке нижнего пояса фермы;

д) приварка средней и промежуточной стойки к горизонтальной полке нижнего пояса фермы, принят шов $\Delta 10^{+2}$.

По черт. 515.02.017-1 — «Балка шкворневая»:

е) приварка вертикального листа шкворневой балки к зету хребтовой балки производится швом $\Delta 8^{+2}$ по вертикальной и горизонтальной полкам.

По черт. 515.02.071 — «Балка хребтовая»:

ж) приварка надпятниковой коробки 532.02.076 к вертикальной стенке и верхним полкам производится швом $\Delta 8^{+2}$.

20. Унификация обозначений. Детали и узлы тормоза переведены на номер модели «532». Детали общие с полувагоном 12-532 по группам 00, 01, 02, 45 с объектов 37, 68, 70, 515, 508, употребляемые в четырехосном полувагоне с деревянной обшивкой модели 12-515, переведены на нумерацию объекта «532».

21. Вводятся усиленные зеты хребтовой балки по черт. профиля Э-50-332.

22. Введена косынка, соединяющая нижний пояс фермы и верхний лист промежуточной и передней балки раструбом, вместо гофра параллельного оси балки.

23. Введение безшлицевых сдвоенных торсионов (рис. 4, а) для облегчения подъема крышек люков по чертежам общего вида взамен безшлицевых одинарных торсионов (рис. 4, б).

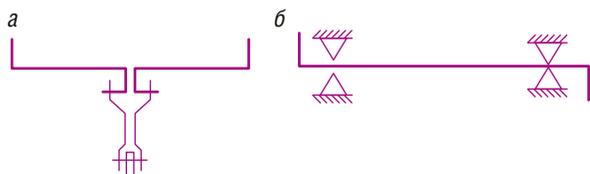


Рис. 4. Конструктивное исполнение торсионов крышек люков

24. По требованию ЦВ МПС в картах технического уровня с III квартала 1976 г. приняты зазоры по периметру крышек люков:

а) по нижней обвязке фермы между закидками люков — не более 2 мм;

б) в углах между крышкой люка, двутавром и верхним листом на длине 40 мм — не более 5 мм;

в) по остальному периметру крышки люка зазоры не более 3 мм, при этом местные зазоры допускаются не более 4 мм, длиной не более 150 мм и суммарной длиной не более 20 % соответствующей стороны крышки;

г) зазоры по периметру крышки люка, превышающие допустимые, допускается устранять подгонкой по месту.

25. Шкворневые и промежуточные стойки выполнены одинаковыми по высоте — унифицированы.

26. Обвязка нижняя фермы унифицирована с обвязкой нижней боковой стены четырехосного цельнометаллического полувагона модели 12-532.

27. Введены:

- планка, связывающая гофр верхнего листа шкворневой балки в районе двутавра (рис. 5, а);
- усиление ребром передней отбуртовки угловой стойки, привариваемой к отбуртовке и горизонтальной полке лобового листа (рис. 5, б).

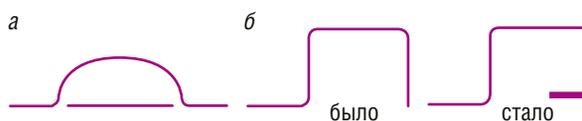


Рис. 5. Усиление элементов боковой стены

28. Введено и заменено около сорока гостей: низколегированная сталь, литье, оси (валики), шайбы, тяги и головки тормозных тяг, шплинты, колесо цельнокатаное, гнутая средняя стойка дверей, сварка, валики, заклепки, гайки, болты, углеродистая сталь, тонкий лист, сортament круглой стали, пружинная сталь, сталь 40Х, смазка осевая, болты с полукруглой головой и усом, швеллер, угольники, шайбы, деревянные доски и детали, резервуар, пятники, трубы, лист и другие.

В период 1977–1979 гг. внесены следующие конструктивные изменения:

1. Введена доска фирменная с новым товарным знаком (рис. 6, а) вместо доски фирменной по черт. 532.02.131-0 со старым товарным знаком (рис. 6, б).



Рис. 6. Фирменные товарные знаки

2. Изменена грузоподъемность по требованию МПС с 63 на 65 т. В связи с этим изменяются характеристики:

- грузоподъемность: было 63 т — стало 65 т;
- коэффициент тары: было 0,345 — стало 0,335;
- нагрузка от колесной пары на рельсы: было 21,25 т — стало 22 т;
- погонная нагрузка на путь: было 6,08 т — стало 6,235 т.

3. Для стойки боковой фермы, зета хребтовой балки и двутавра № 19 принят материал 14-й категории вместо 12-й: 09Г2Д-14 ГОСТ 19281-73, по требованию МПС.

4. По требованию заказчика (МПС) в надпятниковой коробке изменена геометрия скоса в нижней плоскости для приварки к зету хребтовой балки.

5. Введена приварка упоров люка на передней балке вместо приклепки, без приварки по кромке нижнего листа.

6. В крышке люка снято ребро, усиливающее стенку боковой обвязки крышки люка и ее приварку к крышке в районе крайних петель крышки люка.

7. Крепление розетки переднего упора автосцепки крепится к лобовому листу сваркой вместо приклейки заклепками диаметром 22 мм.

8. Вводится рама с короткими упорами люка без угла наклона $7^{\circ}30'$. Наклон получен за счет поворота продольной оси короткого упора относительно продольной оси длинного упора на $7^{\circ}30'$.

9. Фирменная доска переведена с приклейки к хребтовой балке заклепками диаметром 6 мм на приварку к стенке хребтовой балки.

10. Выход штока тормозного цилиндра принят не менее 25 мм.

11. Введено 11 гостов: электроды, резьбовые соединения, сталь 09Г2Д, подпитка и пропитка, обозначения, спокойная и полуспокойная сталь, тру-



Рис. 7. Полувагон модели 12-532

бы, белила цинковые, гнутые профили, контргайки, смазка графитовая.

С 1973 г. начато освоение серийного производства четырехосного цельнометаллического полувагона модели 12-532 (рис. 7). В январе

1975 г. присвоен знак качества четырехосному цельнометаллическому полувагону грузоподъемностью 63 т модели 12-532. Полувагон модели 12-515 в 1979 г. снят с производства [2]. **ИТ**

Список литературы

1. Завадич А. В., Смольянинов А. В. Основные конструктивные изменения четырехосной гондолы грузоподъемностью 60–62 тонны с деревянной обшивкой, выполненные в период с 1949 по 1963 год (модернизация модели 12-37 и создание модели 12-515) // Инновационный транспорт. 2023. № 4 (50). С. 44–51. ISSN 2311-164X.
2. Полувагон модели 12-515 // Вагон.by : сайт о вагонном парке и вагонном хозяйстве. URL: <https://vagon.by/model/12-515> (дата обращения 29.10.2024).

References

1. Zavadich A. V., Smolyaninov A. V. The main structural changes of a four-axle gondola with a lifting capacity of 60-62 tons with a wooden frame, made in the period from 1949 to 1963 (modernization of model 12-37 and creation of model 12-515) // Innotrans. 2023. No. 4 (50). Pp. 44–51. ISSN 2311-164X.
2. Gondola car model 12-515 // Wagon.by : website about the wagon fleet and wagon farm. URL: <https://vagon.by/model/12-515> (accessed 29.10.2024).



**Александр
Борисович
Никитин**
Aleksandr B.
Nikitin



**Дмитрий
Викторович
Копытов**
Dmitriy V.
Kopytov



**Константин
Вячеславович
Гундырев**
Konstantin V.
Gundyrev

Особенности управления удаленной и распределенной инфраструктурой СЦБ в управляющих системах семейства МПК

Peculiarities of remote and distributed SSB infrastructure control in MPC control systems

Аннотация

В статье идет речь о потребностях в управлении удаленной распределенной инфраструктурой СЦБ и способах, позволяющих реализовать эти потребности. Предлагаемые решения основаны на применении релейно-процессорных и микропроцессорных систем семейства МПК в рамках модернизации устройств или нового строительства. Дано описание функциональных возможностей программно-аппаратной части предлагаемых решений. Проведен анализ внедрения и реальные примеры реализации описанных решений. Сформулированы дальнейшие перспективные направления в развитии и совершенствовании технологий, позволяющих осуществлять управление распределенной инфраструктурой СЦБ.

Ключевые слова: инфраструктура СЦБ, релейно-процессорная централизация, микропроцессорная централизация, удаленное управление, промышленный железнодорожный транспорт, системы МПК.

Abstract

The article deals with the control needs of remote and distributed SSB infrastructure and the ways allowing to realize these requirements. The proposed solutions are based on the use of relay-processor and microprocessor MPC systems within the upgrade of devices and new building. Description of functionality of the software and hardware of the proposed solutions is introduced. Implementation and real examples of the realization of the described solutions is analyzed. Further perspectives of the technologies development and upgrade are stated which allow to control the distributed SSB infrastructure.

Keywords: SSB infrastructure, relay-processor centralization, microprocessor centralization, remote control, industrial railway transport, MPC systems.

Авторы Authors

Александр Борисович Никитин, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»; Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС), Санкт-Петербург, e-mail: nikitin@crtc.spb.ru | **Дмитрий Викторович Копытов**, заведующий отделением программного обеспечения научно-исследовательской лаборатории «Компьютерные системы автоматизации»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: dmitry9786@gmail.com | **Константин Вячеславович Гундырев**, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Компьютерные системы автоматизации»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, e-mail: KGundyrev@gmail.com

Aleksandr B. Nikitin, Doctor of technical Science, professor, head of the chair "Automation, Telemechanic and Communication on Railways"; Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS), St. Petersburg, e-mail: nikitin@crtc.spb.ru | **Dmitriy V. Kopytov**, head of department of software of the research laboratory "Computer Automation Systems"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: dmitry9786@gmail.com | **Konstantin V. Gundyrev**, head of the chair "Computer Automation Systems"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, e-mail: KGundyrev@gmail.com

Введение

Релейные системы управления движением поездов были и остаются на сегодняшний день самыми распространенными на сети железных дорог магистрального транспорта и на объектах инфраструктуры различных промышленных предприятий нашей страны. Прежде всего, это связано с историей становления систем ЭЦ, их высокой надежностью и относительной простотой. До определенного момента было выгоднее поддерживать их работоспособность, чем менять на другой тип, более современный и функциональный. Однако развитие перевозок и увеличение объемов движения потребовали расширения функционала систем управления движением и их соответствующей модернизации или замены. Из анализа статистики внедрения систем управления движением на сети дорог ОАО «РЖД» за последние 25 лет видно, что большая часть внедренных систем управления движением за этот период (85 %) относится к классическим релейным системам (рис. 1) [1].

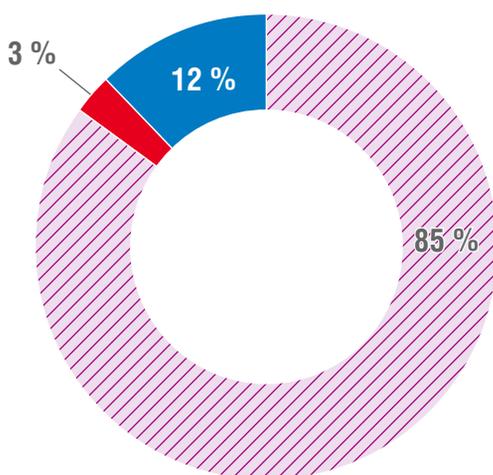


Рис. 1. Типы устройств управления движением поездов, внедренные в 1999–2024 гг.:

▨ — релейные ЭЦ (4730 ед.); ■ — МПК (650 ед.); ■ — РПЦ (150 ед.)

Большинство эксплуатируемых систем железнодорожной автоматики и телемеханики — полностью релейные, что накладывает ограничения по глобальному и стратегическому развитию инфраструктуры управления движением. В современных реалиях нецелесообразно менять релейные системы на такие же по целому ряду причин: ограниченная функциональность, малая гибкость в эксплуатации, моральное устаревание и др. Кроме того, наряду с функциональными и эксплуатационными причинами можно отметить и экономические, например высокую стоимость внедрения.

Применяется несколько вариантов модернизации или замены систем управления, которые сопоставимы по стоимости с релейными системами, но имеют более

широкие функциональные возможности: удобство пользования, реализация различных режимов управления, быстрое масштабирование системы без больших капитальных вложений и трудозатрат в случаях изменения путевого развития [2].

Потребности в управлении удаленной инфраструктурой

Современная логистика требует гибкого подхода к эксплуатационной работе железнодорожных станций и участков. Это касается как объектов и полигонов магистрального железнодорожного транспорта, так и объектов многочисленных промышленных предприятий, имеющих выход на железнодорожные пути РЖД и осуществляющих совместную эксплуатационную работу по погрузке, разгрузке, формированию и расформированию поездов. С увеличением объемов перевозок встают вопросы модернизации действующей инфраструктуры с учетом интересов всех участников перевозочного процесса.

В рамках научно-производственной деятельности, направленной на разработку, проектирование и внедрение новых и техническое перевооружение эксплуатируемых систем СЦБ, на примере Свердловской и Южно-Уральской железных дорог проведен анализ внедрений систем семейства МПК (разработчик — ЦКЖТ ПГУПС совместно с НИЛ КСА УРГУПС). Анализ отражает потребности со стороны заказчиков, связанные с текущей и перспективной эксплуатационной работой железнодорожного транспорта, с соблюдением требуемых норм безопасности. Были поставлены задачи по управлению удаленной железнодорожной инфраструктурой промышленных предприятий, имеющих выход на пути общего пользования ОАО «РЖД», с различной реализацией механизмов и способов управления движением. Так, в период с 2021 по 2024 г. на указанных полигонах ведены в эксплуатацию восемь станций, оборудованных релейно-процессорными системами семейства МПК разного типа. Большинство объектов имеют примыкания путей необщего пользования (пути промышленных предприятий, логистических центров) с соответствующей инфраструктурой хозяйства автоматики и телемеханики. Сегодня продолжает прослеживаться тенденция, связанная с потребностями заказчиков в управлении удаленной инфраструктурой СЦБ, обеспечивающей безопасность движения и позволяющей оптимизировать эксплуатационную работу объектов ОАО «РЖД» и примыкающих к ним станций промышленных предприятий. Проектирование объектов осуществлялось с учетом пожеланий заказчиков и конкретных эксплуатационных особенностей. Это потребовало разработки технических решений, позволяющих реализовывать дополнительные функции безопасного управления

в зависимости от типа применяемых решений. Помимо программно-аппаратных особенностей, в одних случаях это функции и алгоритмы, обеспечивающие увязку между станциями и безопасную передачу прав управления, в других — интеграция в существующую инфраструктуру, включая организацию двойного управления одним районом с разных постов ЭЦ и другие интеллектуальные функции управления [3].

Управление распределенной (удаленной) инфраструктурой СЦБ на базе релейно-процессорных систем ЭЦ (РПЦ)

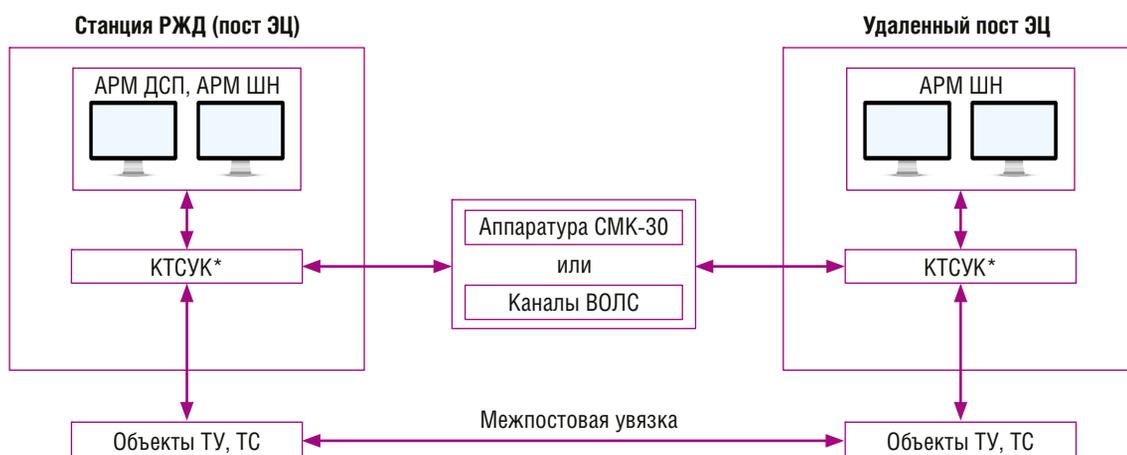
Решения по управлению распределенной инфраструктурой СЦБ на базе релейно-процессорной техники находят свое применение как при новом строительстве, так и при реконструкции существующей инфраструктуры. Преимущество таких решений — меньший объем капитальных вложений по сравнению с полностью микропроцессорными системами, особенно при сохранении действующей системы управления и ее модернизации средствами РПЦ. Таким образом, система остается, по сути, старой и понятной для обслуживающего персонала, со значительным расширением функциональных возможностей с точки зрения управления движением.

Основная часть системы по-прежнему построена на реле, и это накладывает соответствующие требования и ограничения по площади размещения оборудования, его компоновке и возможностям управления, особенно удаленными, распределенными объектами ЭЦ. Релейно-процессорные решения, как правило, применяются для удаленного управления группой объектов ЭЦ,

отдельных парков. Например, при наличии примыкания к станции РЖД какого-либо промышленного предприятия или группы (парка) путей необщего пользования, имеющих светофоры, стрелки, рельсовые цепи или датчики счета осей, на территории предприятия можно разместить компактное модульное здание с оборудованием ЭЦ и «вытягиванием» управления на станцию РЖД с соответствующим согласованием регламента производства эксплуатационной работы.

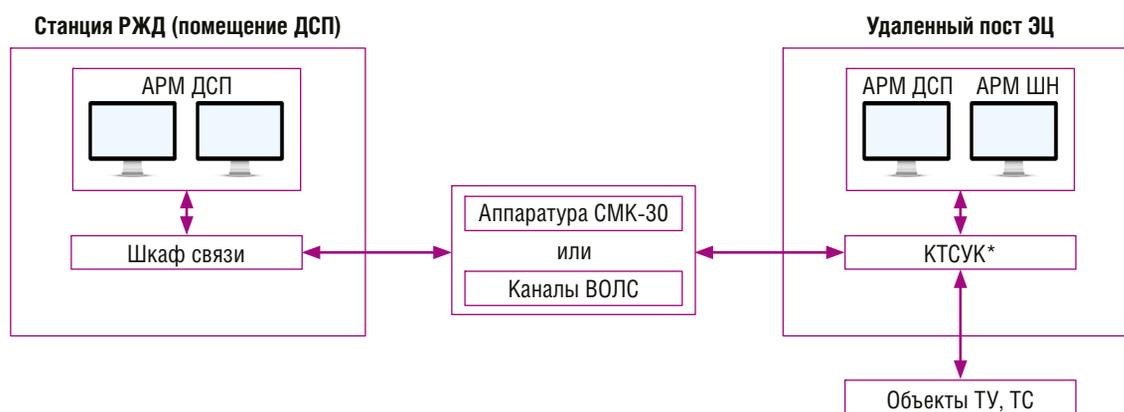
На рис. 2 представлена структурная схема организации управления устройствами СЦБ удаленного района при модернизации управляющей системы ЭЦ на самой станции. Использование современных телекоммуникационных решений делает несущественным расстояние от станции управления до удаленного района.

В связи с тем, что управление осуществляется из одной точки (станция РЖД) и удаленный район становится частью станции РЖД, отсутствует необходимость в организации удаленного АРМ ДСП. Для удобства производства работ, проводимых в порядке текущей эксплуатации, в помещении удаленного поста ЭЦ организуется рабочее место электромеханика с функционалом полного контроля станции и удаленного района. Как и в классической релейной системе, безопасность возлагается на релейные схемы СЦБ с дополнительной проверкой и контролем реализации команд управления программно-аппаратными средствами. Главная особенность реализации такого варианта — решения по межпостовой увязке. Здесь идет речь как о схемных решениях, так и о программных, в том числе реализующих функции безопасности при задании маршрутов «между постами». Для этого, например, в работу схем включаются так называемые «фиктивные» светофоры или участки пути, необходимые для реализации функций правильного замыкания, размыкания маршрутов, работы программно-аппаратной части. Другая особенность — применение



*Комплекс технических средств управления и контроля

Рис. 2. Структурная схема организации управления удаленным районом средствами РПЦ при модернизации станции управления



*Комплекс технических средств управления и контроля

Рис. 3. Функциональная схема программно-аппаратных средств РПЦ при организации управления удаленным районом

телекоммуникационного оборудования, способного работать с протоколами резервирования линий связи. Интуитивно понятная обратная связь между эксплуатирующим персоналом и системой во время работы с ней (подсказки, протоколирование, контроль действий оператора и т.п.) обеспечивается специально разработанными алгоритмами контроля состояния устройств и средствами пользовательского интерфейса АРМ ДСП.

Другой вариант организации управления удаленным районом приведен на рис. 3. Этот вариант применяется при необходимости управлять удаленным районом только с какого-либо стационарного места (помещение ДСП близлежащей станции или любое другое технологическое помещение), оборудованного АРМ ДСП или АРМ оператора и необходимым телекоммуникационным оборудованием. При этом на удаленном посту ЭЦ также организуется рабочее место АРМ ДСП на случай выхода из строя каналов связи. АРМ ДСП на обоих пунктах управления идентичны и отличаются лишь алгоритмом активации при передаче прав управления и соответствующей индикацией.

Решения по совместному (двойному) управлению устройствами СЦБ на базе релейно-процессорных систем ЭЦ (РПЦ)

В случае, когда две рядом расположенные станции имеют один общий, тесно связанный между ними технологический процесс по погрузке, разгрузке и формированию поездов, возникает потребность в оптимизации этого процесса. Одним из пунктов оптимизации является возможность передачи прав управления движением на определенной части станции дежурному по соседней станции. Такая возможность реализуется при наличии одинаковых управляющих систем на обеих станци-

ях, а режим управления, при котором частью путевого развития управляет другой ДСП, получил название «режим реконфигурации станции». Удобство функционала обеспечивается за счет идентичности программного обеспечения на рабочих местах дежурных обеих станций. На практике это выглядит как объединение двух станций в одну, но с двумя ДСП, с разными функциональными задачами районов и тесным взаимодействием. Такая технология удобна для эксплуатации в случае плотного примыкания к станции РЖД путей необщего пользования промышленного предприятия. ДСП двух станций видят одну и ту же картинку, которая отличается определенной индикацией в зависимости от состояния режима реконфигурации.

На рис. 4 приведена функциональная схема взаимодействия программно-аппаратных средств систем ЭЦ-МПК на двух станциях.

Взаимодействие между управляющими комплексами двух станций осуществляется по стандартным каналам передачи данных, включая волоконно-оптические линии связи или аппаратуру передачи данных SMK-30. Программно-аппаратные средства осуществляют контроль за текущим состоянием системы, режимом управления объектами и отображением соответствующей индикации на АРМ ДСП обеих станций. Перед реализацией команды на включение режима реконфигурации управления сначала на программном уровне проверяется необходимое положение стрелок, отсутствие группового замыкания стрелок, разомкнутое состояние соответствующих приемо-отправочных путей и прилегающих секций. После программной проверки условий и отправки команды на реконфигурацию управления (или отключение этого режима) происходит проверка условий безопасности на уровне релейных схем первого класса надежности, что в условиях применения релейно-процессорных систем является обязательным (рис. 5). При соблюдении всех требуемых условий происходит реализация алгоритма включения или выключения режима реконфигурации с соответствующей индикацией на АРМ ДСП обеих станций.



Рис. 4. Функциональная схема взаимодействия программно-аппаратных средств ЭЦ-МПК двух станций с общими объектами управления

Двойная проверка условий безопасности необходима для обеспечения понятной обратной связи от системы: дежурный по станции видит состояние устройств, система подсказывает и не дает реализовать команды, которые все равно не реализуются.

В настоящее время использование подобного функционала на исключительно релейной системе — это шаг назад. Такой консервативный подход потребовал бы существенного увеличения объемов релейной аппаратуры, включая пульт-табло, что, в свою очередь, повлекло бы за собой задачи их размещения, усложнение проектной, рабочей документации, строительно-монтажных и пусконаладочных работ. Использование программно-аппаратных средств РПЦ позволяет не только сократить инвестиции в реализацию подобных проектов, но и организовать эксплуатационный процесс в удобном, современном и интуитивно понятном виде.

Управление распределенной (удаленной) инфраструктурой СЦБ на базе микропроцессорных систем ЭЦ (МПЦ)

На сегодняшний день полностью микропроцессорные системы управления движением поездов на сети железных дорог нашей страны мало распространены. Основная причина медленного темпа обновления устройств — высокая стоимость МПЦ, которая в разы

превышает аналогичные релейные ЭЦ [4], что обусловлено прежде всего сложностью реализации безопасных технологий на вычислительной платформе [5]. Поэтому одной из приоритетных задач в развитии микропроцессорных решений управления инфраструктурой железнодорожной автоматики и телемеханики является расширение функциональных возможностей и интеграции функций нескольких управляющих систем в единых вычислительных средствах. Такие решения позволяют осуществлять управление удаленной (распределенной) инфраструктурой СЦБ [6].

На рис. 6. представлена функциональная схема взаимодействия программно-аппаратных средств МПЦ при управлении распределенными объектами. Программное обеспечение безопасного УВК адаптировано для работы сразу с несколькими объектами, оборудованными своими КБСО. Используется один централизованный безопасный УВК, что позволяет получить существенную экономию на программно-аппаратных средствах. Для каждой группы объектов управления и контроля (стрелки, светофоры, реле, аппаратура кодирования и формирования частот) разработаны свои контроллеры безопасного сопряжения (КБСО-СТ, КБСО-СВ, КБСО-У, КБСО-К, БФРЧ), работой которых управляет центральная вычислительная система (ЦВС), входящая в состав УВК. Главной особенностью разработанных КБСО является бесконтактное управление (сопряжения) с объектами, что значительно упрощает построение принципиальных схем. Таким образом, располагая соответствующую аппаратуру сопряжения с объектами в требуемых местах (в виде компактных транспортабельных модулей), можно

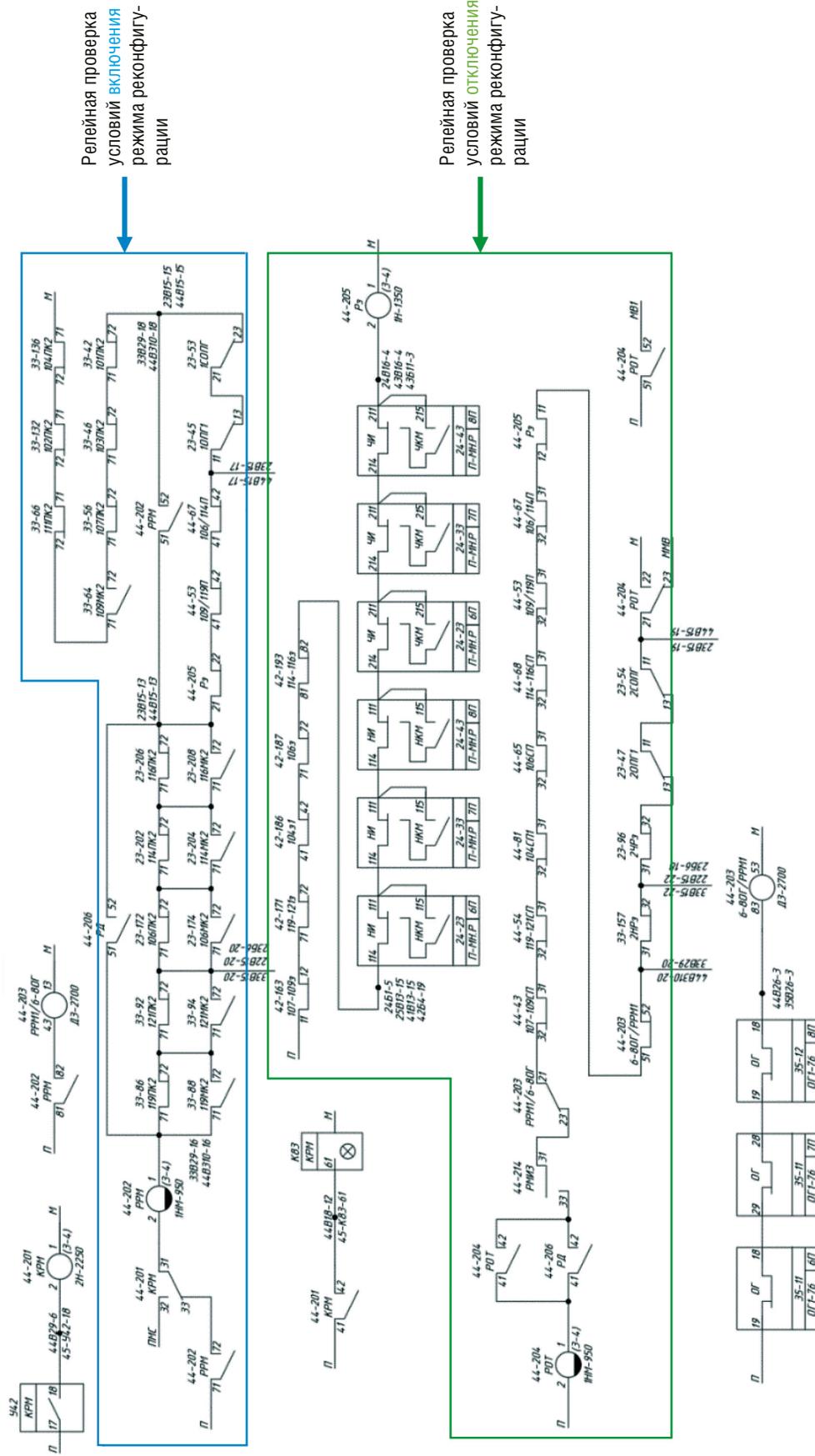
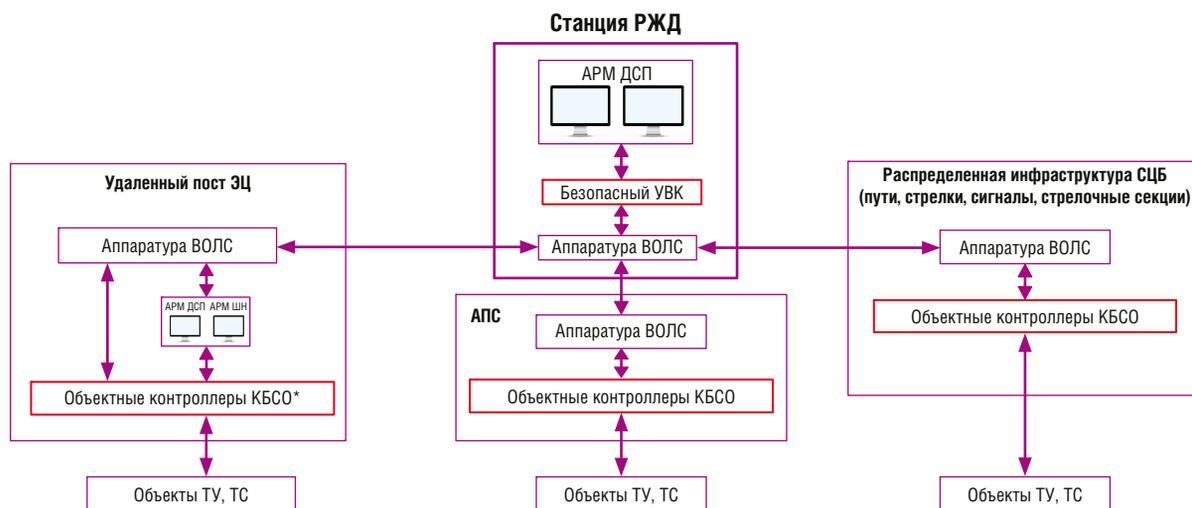


Рис. 5. Схемная проверка необходимых условий для включения и отключения режима реконфигурации

А. Б. Никитин, Д. В. Копытов, К. В. Гундырев | Особенности управления удаленной и распределенной инфраструктурой СЦБ в управляющих системах семейства МПК



* Контроллер безопасного сопряжения с объектами

Рис. 6. Функциональная схема взаимодействия программно-аппаратных средств МПК при управлении распределенными объектами

объединить в единую систему управления всю необходимую инфраструктуру. Такое решение также позволяет получить экономию на кабельных сетях. Одной из реализаций управления удаленными устройствами (КБСО) является преобразование данных линии интерфейса RS-485 в формат для передачи по оптическому каналу и обратно с помощью медиаконвертеров.

Еще одна особенность реализации удаленного управления инфраструктурой средствами МПК — применение технологий контроля за несанкционированным подключением к линии передачи данных (аппаратное кодирование) и использование проприетарного протокола обмена данными с КБСО. Однако в результате испытаний от применяемых устройств пришлось отказаться из-за прекращения передачи данных в случае обнаружения несанкционированного доступа к линии. Это ведет к потере управления устройствами и движения в целом.

В настоящее время наиболее приемлемым вариантом решения задачи по защите линий связи от несанкционированного доступа является внедрение технологий программного шифрования данных.

Технологии управления распределенной инфраструктурой на основе МПК наиболее распространены сегодня на промышленных предприятиях, которые служат своего рода полигоном для испытаний и доработок перед внедрением их на магистральном железнодорожном транспорте общего пользования.

Заключение

1. Увеличение объемов перевозок требует строительства новой или модернизации существующей инфраструктуры железнодорожного транспорта в целом и систем управления движением поездов в частности.

Эта тема актуальна как для магистрального железнодорожного транспорта, так и для собственников промышленных предприятий, где эксплуатируется железнодорожная инфраструктура. Возникает потребность в оптимизации эксплуатационной работы путем реконструкции инфраструктуры или строительства новой с реализацией различных дополнительных функций, возможностью выхода на пути общего пользования для увеличения объемов перевозок. Необходима разработка гибких технических решений, способных реализовать требуемый функционал с сохранением оптимального соотношения стоимости реализации и ожидаемого эффекта от нее. Тема удаленного управления парками или районами особенно актуальна при плотном примыкании двух станций, объединенных одним эксплуатационным процессом. На многих объектах железнодорожной инфраструктуры уже реализованы описанные в статье технические решения. В ближайшем будущем они будут внедрены на ряде объектов промышленного и магистрального железнодорожного транспорта.

2. Технические решения по удаленному управлению распределенной инфраструктурой СЦБ на базе релейно-процессорных систем в большинстве случаев являются оптимальными для технического перевооружения существующей инфраструктуры. Эти решения имеют как преимущества (сохранение знакомой ранее схемотехники при существенном расширении функционала системы), так и недостатки, связанные с применением реле (требования к площади размещения оборудования, материалоемкость), тем не менее, они показали свою надежность и функциональность и продолжают тиражироваться.

3. Перспективным направлением развития систем управления движением поездов являются дополнитель-

ные исследования, разработка и испытания микропроцессорных систем (МПЦ), в том числе для управления распределенными и удаленными объектами СЦБ. На сегодняшний день объем внедрения решений на основе МПЦ достаточно небольшой, что обусловлено высокой стоимостью безопасных программно-аппаратных управляющих комплексов. Однако применение МПЦ позволяет реализовывать различные функциональные возможности по управлению инфраструктурой в любой конфигурации, предоставляя при этом большое коли-

чество интеллектуальных функций, облегчающих эксплуатационную работу. Кроме того, за счет применения микропроцессорных решений можно существенно сэкономить на проектировании и монтаже кабельных сетей. А использование единого управляющего вычислительного комплекса и адаптированного программного обеспечения для управления несколькими объектами (станция, переезд, перегон) позволяет сэкономить на программно-аппаратных вычислительных средствах МПЦ. **ИТ**

Список литературы

1. РЖД поможет РПЦ, а не микропроцессоры // Сетевое издание «Вгудок». URL: <https://vgudok.com/lenta/rzhd-pomozhet-rpc-ne-mikroprocessory-zheleznodorozhniki-zhaluyutsya-vgudok-na-sostoyanie>.
2. Гавзов Д. В., Никитин А. Б. Релейно-процессорная централизация ЭЦ-МПК // Автоматика, связь, информатика. 2002. № 1. С. 12–15. ISSN 3034-3194.
3. Никитин А. Б., Наседкин О. А., Лыков А. А., Журавлева Н. А., Хоменко А. Д., Копытов Д. В. Интеллектуальные функции управления в микропроцессорных системах централизации // Автоматика на транспорте. 2023. № 1. С. 63–71. DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-01-63-71.
4. Сапожников Вл. В., Никитин А. Б. Анализ компьютерных систем оперативного управления устройствами ЭЦ // Автоматика, связь, информатика. 2006. № 6. С. 6–8. ISSN 3034-3194.
5. Системы микропроцессорной централизации. Международный обзор // Железные дороги мира. 1997. № 8. С. 8–17. ISSN 0321-1495.
6. Никитин А. Б., Наседкин О. А., Лыков А. А., Журавлева Н. А., Корниенко А. А., Копытов Д. В. Построение распределенных микропроцессорных систем управления движением поездов // Автоматика на транспорте. 2023. Т. 9, № 2. С. 153–161. DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-02-153-161.

References

1. Russian Railways will help the ROC, not microprocessors // Internet portal "Vgudok". URL: <https://vgudok.com/lenta/rzhd-pomozhet-rpc-ne-mikroprocessory-zheleznodorozhniki-zhaluyutsya-vgudok-na-sostoyanie>.
2. Gavzov D. V., Nikitin A. B. Relay-processor centralization of EC-MPK // Automation, communications, informatics. 2002. No. 1. Pp. 12–15. ISSN 3034-3194.
3. Nikitin A. B., Nasedkin O. A., Lykov A. A., Zhuravleva N. A., Khomenko A. D., Kopytov D. V. Intelligent control functions in microprocessor centralization systems // Automation in transport. 2023. No. 1. Pp. 63–71. DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-01-63-71.
4. Sapozhnikov V. V., Nikitin A. B. Analysis of computer systems for operational control of EC devices // Automation, communications, informatics. 2006. No. 6. Pp. 6–8. ISSN 3034-3194.
5. Microprocessor centralization systems. International review // Railways of the world. 1997. No. 8. Pp. 8-17. ISSN 0321-1495.
6. Nikitin A. B., Nasedkin O. A., Lykov A. A., Zhuravleva N. A., Kornienko A. A., Kopytov D. V. Construction of distributed microprocessor systems for train traffic control // Automation in transport. 2023. Vol. 9, No. 2. Pp. 153–161. DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-02-153-161.



Кристина Владимировна
Ковалева

Kristina V. Kovaleva



Василий Федорович
Лапшин

Vasilij F. Lapshin

Обоснование конструкции кузова двухэтажного пассажирского вагона из экструдированных алюминиевых профилей

Rationale of the structure of the body of a double-deck passenger car from extruded aluminum profiles

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы проектирования кузова двухэтажного пассажирского вагона с учетом анализа мирового опыта разработки аналогичных конструкций. Приведены особенности конструкций, влияющие на выбор размещения оборудования и пассажиров. В соответствии с выбранной концепцией предложен вариант кузова двухэтажного вагона электропоезда. Приведены результаты сравнительного анализа двух вариантов конструкции кузова по их несущей способности.

Ключевые слова: двухэтажный вагон, кузов, масса кузова, алюминиевый профиль, концепция расположения оборудования, напряженное состояние, оценка прочности.

Abstract

The research considers the problems of the design of the body of a double-deck passenger car taking into account the analyses of the world experience in the development of similar structures. Specific designs influencing on the choice of the equipment layout and passengers have been provided. According to the chosen conception a variation of the body of an electric vehicle double-deck car has been proposed. Results of a comparative analyses of two variations of the body structure on their bearing capacity have been introduced.

Keywords: double-deck car, body, body weight, aluminum profile, conception of equipment layout, stress state, stress evaluation.

Авторы Authors

Кристина Владимировна Ковалева, аспирант кафедры «Вагоны»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Василий Федорович Лапшин, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Kristina V. Kovaleva, postgraduate student of chair "Wagons"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Vasilij F. Lapshin, Doctor of technical Science, professor, head of the chair "Wagons"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

При проектировании подвижного состава особого внимания требует масса тары вагона. Уменьшение массы вагонов позволит не только увеличить скорость движения и пассажироместимость, но и снизить затраты на энергопотребление, эксплуатацию и ремонт инфраструктуры. Обзор мирового опыта проектирования и производства двухэтажных вагонов [1] показал, что существенную долю (до 35 %) массы тары вагона составляет масса несущей конструкции кузова, поэтому вагоностроение ориентируется на разработку облегченных конструкций кузовов. Однако конструктивное облегчение несущей конструкции кузова может значительно уменьшить его прочность и жесткость, что влияет на частоту собственных колебаний кузова, которая напрямую связана с безопасностью и комфортом пассажиров. Поэтому актуальной становится комплексная задача выбора такого конструктивного исполнения кузова двухэтажного вагона, который при наименьшей возможной массе и оптимальной жесткости имел бы наиболее благоприятную картину напряженного состояния.

Наиболее перспективное направление в развитии конструкций двухэтажных вагонов — применение экструдированных алюминиевых панелей [2–4]. Такие панели (профили) изготавливаются из алюминий-магниево-кремниевых (скандиевых) сплавов благодаря их хорошей свариваемости, коррозионной стойкости и повышенному пределу прочности.

Экструдированные алюминиевые профили в конструкции кузовов двухэтажных вагонов успешно применяют ведущие компании-производители подвижного состава [2–7]. В исследованиях, касающихся проектирования и эксплуатации двухэтажных пассажирских вагонов, ученые чаще всего затрагивают прикладные вопросы: постепенное улучшение уже существующих конструкций, развитие применяемых алюминиевых сплавов, улучшение виброаку-

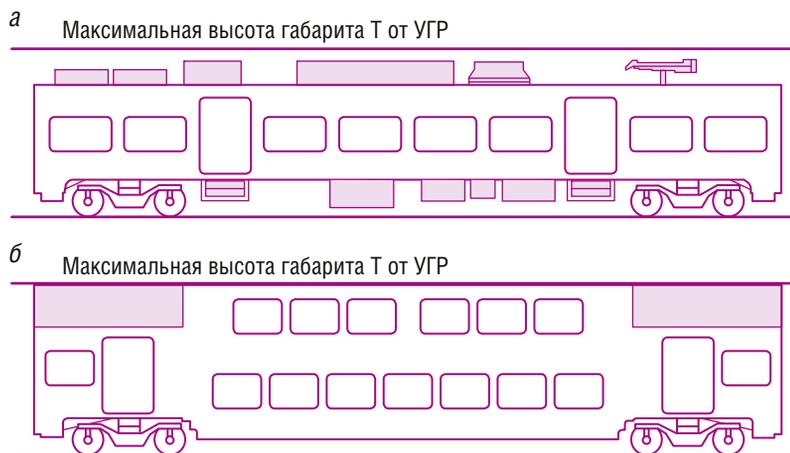


Рис. 1. Размещение крупногабаритного оборудования в вагонах габарита Т: а — одноэтажный вагон; б — двухэтажный вагон

стических характеристик, повышение безопасности и комфорта пассажиров и т.д. [3, 4, 8]. Также при проектировании кузовов с применением экструдированных алюминиевых профилей рассматриваются преимущественно одноэтажные вагоны [9–13].

В России экструдированные алюминиевые профили применяются при производстве одноэтажных вагонов электропоездов ООО «Уральские локомотивы», двухэтажные пассажирские вагоны с кузовами из алюминиевых экструдированных профилей не производятся.

Проектирование двухэтажного пассажирского вагона начинается с выбора основной компоновки кузова. Особенности конструкции кузова всех известных двухэтажных пассажирских вагонов связаны, в первую очередь, с ограничениями максимальной нагрузки на ось и критерием вписывания в габарит. Так, например, для обеспечения вписывания в габарит второго этажа и возможности комфортного размещения пассажиров уровень первого этажа опущен в межтележечное пространство (рис. 1). Такое конструктивное решение требует переноса тяжеловесного оборудования (в конструкции кузова одноэтажного пассажирского вагона располагается в межтележечном пространстве) в другие части кузова.

Обзор конструкций двухэтажных пассажирских вагонов показал, что чаще всего тяжеловесное и крупногабаритное оборудование переносят в консольные части крыши вагона [14], что приводит к смещению центра тяжести вагона и влияет на его устойчивость. Размещение крупногабаритного оборудования в консольных частях кузова на уровне пола более благоприятно с точки зрения обеспечения высокого запаса устойчивости вагона, но это сокращает пассажироместимость вагона.

Большая часть двухэтажных пассажирских вагонов эксплуатируется в составе электропоездов (дизельпоездов), что дает возможность переноса тяжеловесного крупногабаритного оборудования (например, трансформаторных установок, преобразователей и другого электрооборудования) в отдельный вагон. Такая концепция имеет ряд преимуществ, однако в большинстве случаев возможность, например, переформирования таких поездов крайне ограничена. Равномерное распределение тяжеловесного и крупногабаритного оборудования по всем вагонам в составе поезда (как реализовано, например, в электропоездах серии ЭГЭ производства ООО «Уральские локомотивы») встречается намного чаще.

В конструкциях рам кузовов двухэтажных вагонов, выполненных

из сталей, основным элементом выступает хребтовая балка. Из-за обнижения пола первого этажа балка имеет сложную пространственную форму, что влечет за собой появление дополнительных концентраторов механических напряжений. В этом случае экструдированные алюминиевые профили обеспечивают более равномерное распределение напряжений, передающихся от сцепных устройств.

Эти и многие другие особенности конструкции должны быть учтены при разработке новых вариантов кузовов двухэтажных пассажирских вагонов.

На основе анализа конструкций эксплуатируемых двухэтажных вагонов сформированы четыре конфигурации, среди которых методом анализа иерархий [15] выбрана одна (рис. 2), оптимальная с точки зрения рассматриваемых критериев (с учетом целей и задач ООО «Уральские локомотивы»). Концепция предусматривает рациональное использование пространства для расположения мест для сидения (в том числе у выходов) при размещении основного оборудования в подкрышном пространстве.

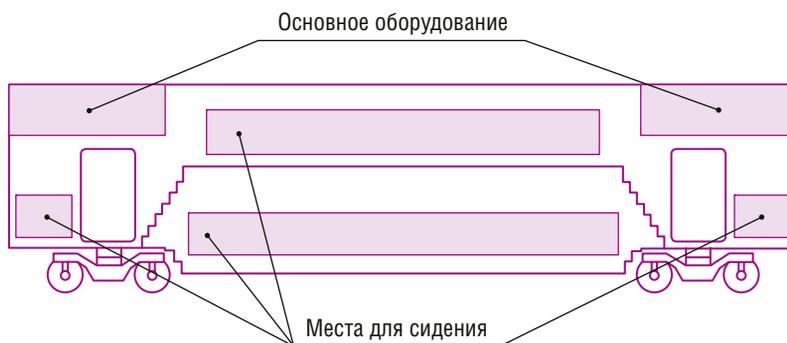


Рис. 2. Выбранная конфигурация кузова двухэтажного пассажирского вагона

В основе рассматриваемого варианта кузова двухэтажного вагона лежит конструкция вагона электропоезда ЭС2Г «Ласточка» [16]. Часть экструдированных профилей была перенесена без изменения форм их поперечного сечения, но большая часть претерпела изменения (рис. 3).

Разрабатываемый кузов вагона (рис. 4) составлен из прессованных алюминиевых профилей EN AW-6005A T6 [17], аналогичных тем, которые применяются в электропоездах ЭС2Г «Ласточка», и алюминиевых листов EN AW-5083 [18]. В этой конструкции тяжеловесное и крупногабаритное оборудование (климатическая установка, преобразо-

ватель собственных нужд, система подготовки воздуха и аккумуляторная батарея) размещается в консольных частях крыши (рис. 4, а). Однако, согласно [14], исходную конструкцию кузова, построенную на основе метода анализа иерархий, можно модифицировать: удалить участки консольных частей крыши и перенести оборудование с них внутрь кузова на уровень пола [14] (рис. 4, б). При этом несущая способность модифицированной конструкции кузова при действии нагрузок основных эксплуатационных режимов (по ГОСТ 33796 [19]) увеличивается сразу в нескольких оцениваемых зонах (рис. 5).

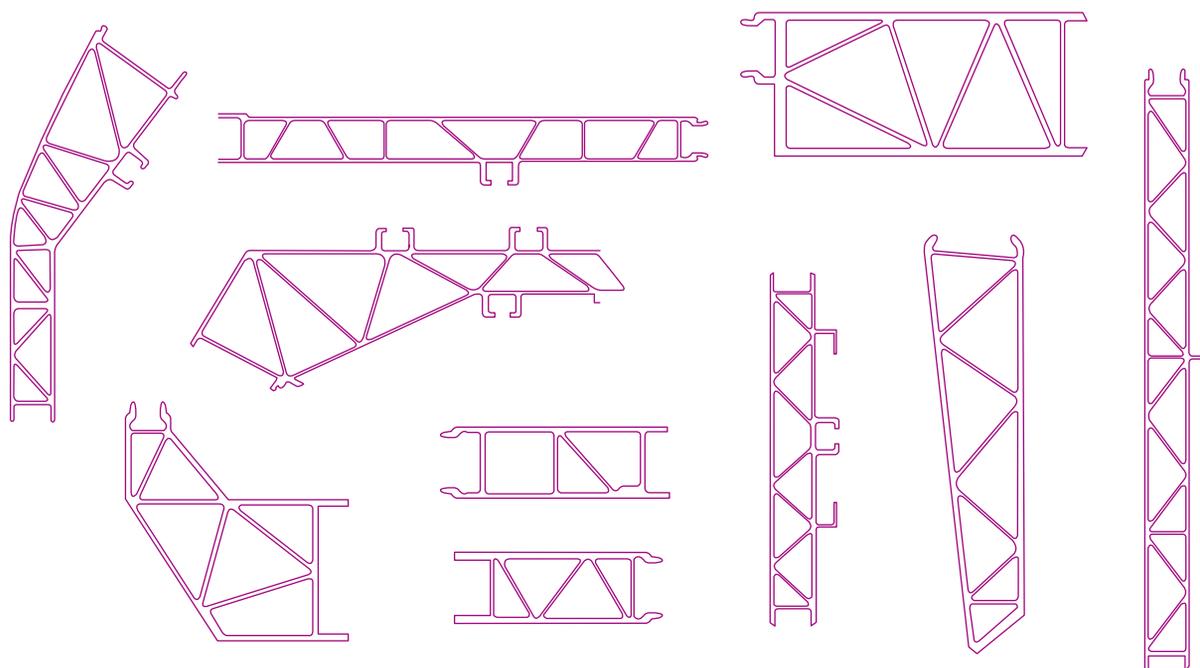


Рис. 3. Примеры форм поперечных сечений экструдированных профилей в конструкции кузова двухэтажного вагона

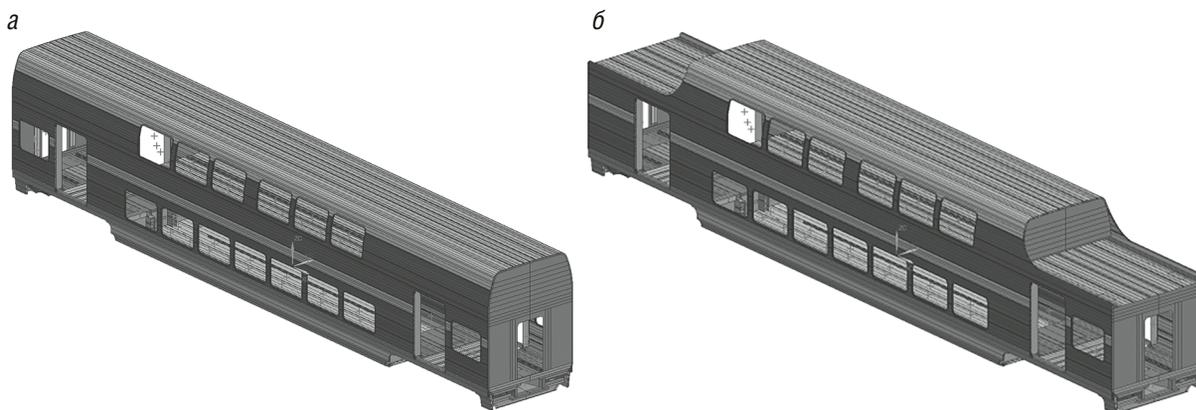


Рис. 4. Варианты конструкции кузова двухэтажного пассажирского вагона: а — исходный вариант; б — модифицированный вариант

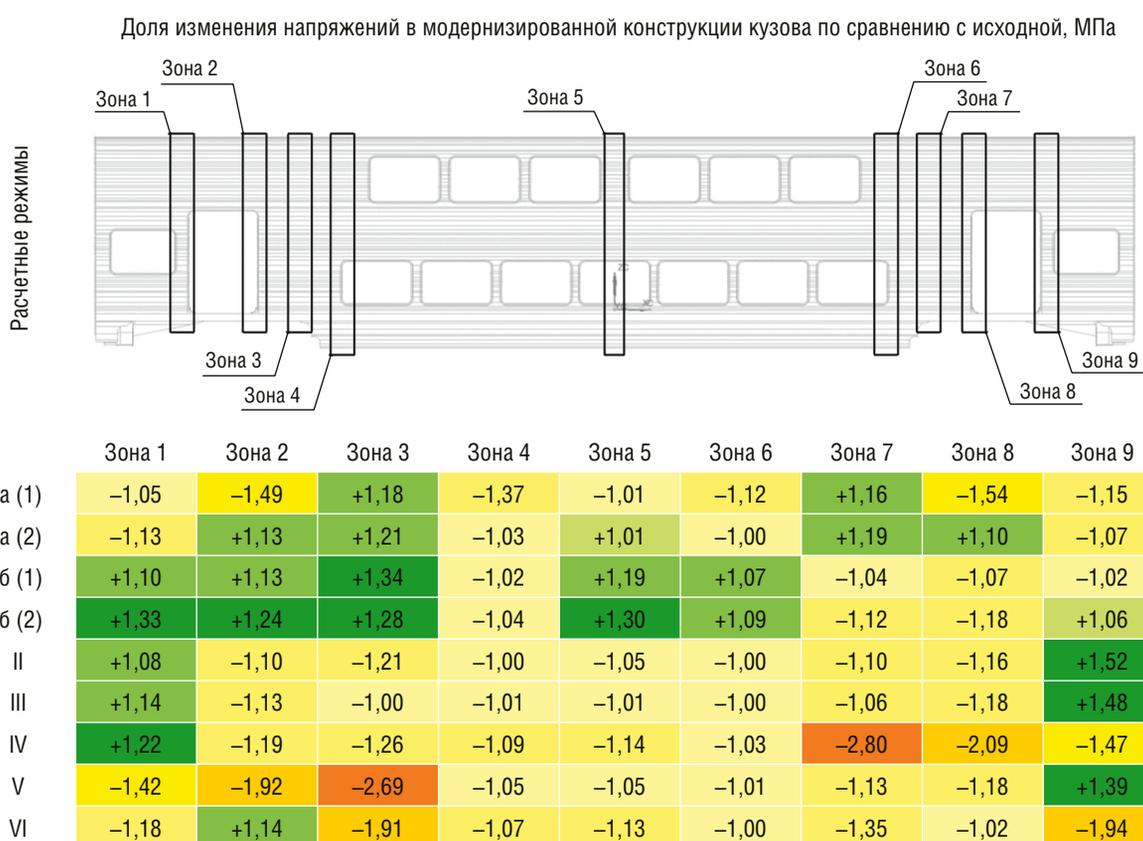


Рис. 5. Результаты сравнительного анализа напряжений в кузовах исходной и модернизированной конструкций («+» — улучшение показателя; «-» — ухудшение)

По результатам сравнительной оценки изменения напряженного состояния конструкций по эквивалентным напряжениям можно сделать вывод о необходимости совершенствования конструкции модифицированного варианта кузова с учетом комплекса предложенных мер [14].

В дальнейшем представляется перспективным вариант конструкции кузова, где консольные части кры-

ши полностью открыты, а основное оборудование размещено внутри кузова для снижения общего уровня напряжений в конструктивных элементах. Эти и последующие исследования могут послужить основой для доработки конструкции двухэтажного вагона с использованием алюминиевых профилей, что существенно уменьшит расходы на проведение экспериментов. ИТ

Список литературы

1. Лебедев В. А. Обоснование технических решений конструкции двухэтажного пассажирского вагона : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. М., 2017. 178 с.
2. Двухэтажные пассажирские вагоны железных дорог Германии // Железные дороги мира. 2008. № 12. С. 34–39.
3. Kallee S. W., Davenport J. Trends in design and fabrication of rolling stock // *European Railway Review*. 2007. Issue 1. Pp. 75–79.
4. Ohba H., Ueda C., Agatsuma K. Innovative Vehicle — the «A-train» // *Hitachi Review*. 2001. Vol. 50, № 4. Pp. 130–133.
5. Railgallery. URL: <https://railgallery.ru/models.php> (дата обращения: 09.08.2023).
6. Alstom. URL: <http://www.alstom.com> (дата обращения: 22.05.2023).
7. JR Восточные поезда. URL: <https://jreasttrains.wordpress.com/> (дата обращения: 16.07.2023).
8. Kawasaki T., Yamaguchi T., Mochida T. Numerical analysis and quasi-static compression test on energy absorption structure made of aluminium alloys for railway vehicle // *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A*. 2008. Vol. 74, № 737. Pp. 154–161.
9. Жуков А. С., Гончаров Д. И., Коршунов С. Д. О целесообразности перехода к проектированию и изготовлению кузова пассажирских вагонов из алюминиевых экструдированных профилей // Проблемы и перспективы развития вагоностроения : м-лы VII Всеросс. науч.-практ. конф. Брянск : БГТУ, 2016. С. 53–55.
10. Балалаев А. Н., Краснов В. А., Паренюк М. А. Разработка и исследование кузовов подвижного состава нового поколения из экструдированных вакуумных панелей // *Транспорт Российской Федерации*. 2014. № 3 (52). С. 73–74. ISSN 1994-831X.
11. Жуков А. С. Обоснование конструкции кузова пассажирского вагона из экструдированных алюминиевых панелей : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. М., 2020. 20 с.
12. Андрончев И. К., Балалаев А. Н. Особенности эксплуатации и ремонта пассажирского вагона с кузовом из алюминиевых панелей, полученных методом экструзии // *Вестник транспорта Поволжья*. 2013. № 3 (39). С. 29–34. ISSN 1997-0722.
13. Артемьев Р. И., Балалаев А. Н., Киселев Д. А. Алгоритм проектирования кузова пассажирского вагона из алюминиевых экструдированных панелей // *Новая наука: опыт, традиции, инновации*. 2016. № 4–2 (77). С. 107–117. ISSN 2412-9747.
14. Ковалева К. В., Лапшин В. Ф., Митраков А. С. Моделирование напряженного состояния конструкции кузова двухэтажного вагона из алюминиевых профилей // *Вестник УрГУПС*. 2023. № 4 (60). С. 21–30. ISSN 2079-0392.
15. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1994. 278 с.
16. Электропоезд «Ласточка» // *Уральские локомотивы*. URL: <https://ulkm.ru/produkcija/elektropoezd-lastochka/> (дата обращения: 21.10.2024).
17. ГОСТ 8617-2018. Профили прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160546> (дата обращения: 22.10.2024).
18. ГОСТ 21631-2019. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169756> (дата обращения: 22.10.2024).
19. ГОСТ 33796-2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456008399> (дата обращения: 22.10.2024).

References

1. Lebedev V. A. Substantiation of technical solutions for the design of a double-decker passenger car : dis. ... candidate of Technical Sciences: 05.22.07. M., 2017. 178 p.
2. Double-decker passenger cars of German railways // *Railways of the world*. 2008. No. 12. Pp. 34–39.
3. Kallee S. W., Davenport J. Trends in design and fabrication of rolling stock // *European Railway Review*. 2007. Issue 1. Pp. 75–79.
4. Ohba H., Ueda C., Agatsuma K. Innovative Vehicle – the “A-train” // *Hitachi Review*. 2001. Vol. 50, No. 4. Pp. 130–133.
5. Railgallery. URL: <https://railgallery.ru/models.php> (date of access: 08/09/2023).
6. Alstom. URL: <http://www.alstom.com> (date of access: 05/22/2023).
7. JR Eastern Trains. URL: <https://jreasttrains.wordpress.com/> (date of access: 07/16/2023).
8. Kawasaki T., Yamaguchi T., Mochida T. Numerical analysis and quasi-static compression test on energy absorption structure made of aluminum alloys for railway vehicle // *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A*. 2008. Vol. 74, No. 737. Pp. 154–161.
9. Zhukov A. S., Goncharov D. I., Korshunov S. D. On the expediency of switching to the design and manufacture of passenger car bodies from aluminum extruded profiles // *Problems and prospects of development of car building : materials VII All-Russian scientific and practical conference*. Bryansk : BSTU, 2016. Pp. 53–55.
10. Balalaev A. N., Krasnov V. A., Parenjuk M. A. Development and research of new generation rolling stock bodies from extruded vacuum panels // *Transport of the Russian Federation*. 2014. No. 3 (52). Pp. 73–74. ISSN 1994-831X.
11. Zhukov A. S. Substantiation of the design of the passenger car body made of extruded aluminum panels : abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.22.07. M., 2020. 20 p.
12. Andronchev I. K., Balalaev A. N. Features of operation and repair of a passenger car with a body made of aluminum panels obtained by extrusion // *Bulletin of transport of the Volga region*. 2013. No. 3 (39). Pp. 29–34. ISSN 1997-0722.
13. Artemyev R. I., Balalaev A. N., Kiselev D. A. Algorithm for designing a passenger car body made of aluminum extruded panels // *New science: experience, traditions, innovations*. 2016. No. 4-2 (77). Pp. 107–117. ISSN 2412-9747.
14. Kovaleva K. V., Lapshin V. F., Mitravkov A. S. Modeling of the stress state of the body structure of a double-deck wagon made of aluminum profiles // *Gerald of USURT*. 2023. No. 4 (60). Pp. 21–30. ISSN 2079-0392.
15. Saati T. Decision-making. The method of hierarchy analysis. M. : Radio and Communications, 1994. 278 p.
16. Lastochka electric train // *Ural locomotives*. URL: <https://ulkm.ru/produkcija/elektropoezd-lastochka/> (date of access: 10/21/2024).
17. GOST 8617-2018. Profiles pressed from aluminum and aluminum alloys. Technical conditions. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160546> (date of access: 10/22/2024).
18. GOST 21631-2019. Sheets made of aluminum and aluminum alloys. Technical conditions. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169756> (date of access: 10/22/2024).
19. GOST 33796-2016. Motor-car rolling stock. Requirements for strength and dynamic qualities. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456008399> (date of access: 10/22/2024).



Сергей Валентинович
Бушуев

Sergej V. Bushuev

О методах повышения провозной и пропускной способности участков железных дорог

On methods of increasing carrying and traffic capacity of railway sections

Аннотация

В статье рассмотрены методы повышения провозной и пропускной способности участков железных дорог за счет совершенствования систем железнодорожной автоматики (электрической централизации и автоблокировки) и систем автоведения грузовых поездов.

Ключевые слова: пропускная способность, провозная способность, электрическая централизация, автоблокировка, системы автоведения, виртуальная сцепка.

Abstract

The article considers Methods of Increasing Carrying and Traffic Capacity of Railway Sections due to the improvement of the systems of railway automation (electric centralization and auto-lock) and systems of automatic control of freight trains.

Keywords: carrying capacity, traffic capacity, electric centralization, auto-lock, systems of automatic control, virtual coupling.

Авторы Authors

Сергей Валентинович Бушуев, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Sergej V. Bushuev, PhD. of technical science, associate professor, chair "Automation, Telemechanics and Communication on Railways"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Обеспечение связанности территорий страны невозможно без роста объема перевозок по железной дороге и повышения скорости доставки груза. Но использование пропускной способности многих участков Транссибирской магистрали находится на критически высоком уровне (более 80 %), что требует незамедлительных мер по развитию инфраструктуры: усиления тягового электроснабжения, реконструкции станций, строительства новых путей и современных систем электрической централизации и автоблокировки. Такие проекты требуют огромных инвестиций и реализуются на БАМе и Восточном полигоне.

Развитие средств цифровой радиосвязи, микропроцессорных систем автоматики, устройств безопасности и автоведения на локомотиве создали предпосылки по повышению пропускной способности за счет нового подхода — так называемой «виртуальной сцепки». Под этим термином будем понимать активно внедряемый на Восточном полигоне способ организации движения пакета поездов в специальном режиме автоведения с учетом динамики впередиидущего поезда, по сигналам трехзначной автоблокировки с разрешением ведомому поезду проследовать желтый сигнал светофора со скоростью 80 км/ч. Такой способ должен уменьшать межпоездной интервал с минимальными затратами на развитие путей перегонов и станций, однако первоначальная оценка эффекта увеличения пропускной способности до 10–12 % пока не достигнута. Поэтому исследование методов повышения пропускной способности участков железных дорог в условиях влияния эксплуатационных факторов — актуальная и комплексная задача.

Анализ различных способов повышения пропускной способности железных дорог выявил, что применение виртуальной сцепки — одно из интересных решений задачи [1].

Идея повышения пропускной способности в ближайшей перспективе заключается в гармонизации работы систем автоведения пакета поездов, активно внедряемых на полигонах железных дорог с интенсивным движением, и систем железнодорожной автоматики, которые при этом продолжают обеспечивать безопасность движения, потому что готового к массовому внедрению технического решения уровня УА4 по ГОСТ Р 70059-2022 не существует.

Без гибких и адаптивных алгоритмов работы систем электрической централизации и автоблокировки, обеспечивающих безопасность движения, невозможно уменьшать межпоездные интервалы, даже при наличии систем автоведения пакетов поездов. В работе [2] рассмотрены тенденции развития электрической сигнализации и компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях. Общий вывод: системы релейно-процессорной и микропроцессорной централизации позволяют реализовывать требуемые алгоритмы и функциональность для обеспечения роста пропускной способности на станции. Они облегчают увязки со смежными системами автоматики, например с автоблокировкой,

системами диагностики, и в перспективе — с локомотивными системами автоведения. Развитые пользовательские интерфейсы снижают вероятность ошибочных или неоптимальных действий оперативного персонала, а также облегчают поиск отказов [3]. Все это уменьшает потери из-за задержек движения.

Один из подходов к автоматизации принятия решений по заданию маршрутов приема-отправления в интеллектуальных системах управления движением поездов на станции приведен в [4]. Здесь рассматривается проблема недостаточного информационного обеспечения систем уровня станции о ходе технологического процесса, что не позволяет реализовывать алгоритмы, опираясь на логику построения технологического процесса, а использование нечеткой логики и систем искусственного интеллекта в ситуации недостаточности данных создает недопустимый уровень неопределенности при принятии решений. Ответ на вопрос, будет ли выигрыш в пропускной способности станции при применении такого рода моделей, требует более глубоких исследований.

Интеграция средств технической диагностики и удаленного мониторинга в системы электрической централизации, например СТД-МПК в составе ЭЦ-МПК [5], улучшает технико-экономические показатели ЭЦ, снижает количество отказов с задержками поездов, но не является средством повышения пропускной способности участка железной дороги в связи с высокой надежностью резервированной структуры ЭЦ-МПК.

Разработанные технические решения релейно-процессорной централизации ЭЦ-МПК и микропроцессорной централизации МПЦ-МПК оказались достаточно гибкими и позволяют решать комплексные задачи автоматизации не только магистральных железных дорог, но и промышленного транспорта [6] и метрополитенов.

Однако совершенствованием только систем автоматики на станции невозможно обеспечить требуемый рост пропускной способности, поэтому необходимо понять, в какие направления эффективно вкладывать силы и средства для достижения конечного результата транспортной системы — перевозки груза. В работе [7] проанализированы основные направления повышения провозной способности. Получен вывод, что методы увеличения массы поездов за счет длины и увеличения нагрузки на ось [8] представляют большой интерес, но прежде всего для грузоотправителей.

С точки зрения провозной способности двухпутных участков железных дорог меры, связанные с увеличением нагрузки на ось, тяжеловесным движением и технологией вождения соединенных поездов, практически исчерпали себя. Начинается новый этап, когда повышение провозной способности обеспечивается ростом пропускной способности за счет сокращения межпоездного интервала и увеличения технической скорости при автоведении поездов. При этом нельзя забывать об обеспечении достаточного энергоснабжения [9], потому

что сближение поездов неизбежно увеличивает нагрузку на контактную сеть и тяговые подстанции. Далее будем считать, что необходимая мощность тягового энергоснабжения будет обеспечена реконструктивными мероприятиями под требуемые межпоездные интервалы.

Для решения проблемы электроснабжения наиболее эффективным способом в соотношении цена/результат становится применение виртуальной сцепки, которая за счет повышения технической скорости движения и снижения интервалов между поездами без модернизации автоблокировки позволит увеличить пропускную способность до 30–40 % [10, 11]. Однако для получения таких значимых результатов требуется точечная, ограниченная модернизация автоблокировки, ЭЦ, систем радиосвязи и систем автоведения на грузовых локомотивах, усиление тягового электроснабжения и технологии организации движения. Все инфраструктурные мероприятия в этом перечне весьма затратные, хотя, если сравнивать со строительством третьих путей, требуют меньших инвестиций.

Повысить точность оценки результатов применения интервального регулирования движения поездов, алгоритмов ведения и пр. для обоснования инвестиций можно, опираясь на большие данные ОАО «РЖД». С этой целью разработана методика сбора и обработки данных ряда АСУ «РЖД», создана база данных «Поездная работа участка железной дороги (ПРУЖД)» [12], особенностью которой стала регуляризованная структура всех необходимых данных для исследования пропускной способности железнодорожных направлений. Полученные из разных АСУ данные синхронизированы во времени и пространстве с заданной точностью и дополнены расчетными данными аналитических или имитационных моделей. Опираясь на созданную базу данных, можно оценить перспективы сокращения межпоездных интервалов за счет применения новых технологий интервального регулирования [13], проанализировать загрузку путевого развития станции (по данным архивов систем централизаций стрелок и сигналов) [14], а также осуществлять моделирование движения поезда на основе применения статистических данных участка [15], что позволяет учитывать все условия движения.

Для определения возможностей по снижению межпоездного интервала проведены исследования погрешностей определения скорости и ускорения средствами спутниковой навигации [16], а также возможного расстояния сближения поездов при организации движения по технологии виртуальной сцепки [17]. В результате установлено, что движение с минимальными расстояниями (например, длина тормозного пути) в большей степени нужно для компенсации проблем в организации движения при капитальном ремонте или других отклонениях от графика. При точной реализации запланированного потока поездов эффективно движение с заданным межпоездным интервалом. Такое движение равномернее загружает мощности технологических фронтов (пунктов

осмотра и т.п.). Кроме того, по условиям приема на боковой путь минимальный интервал не может быть меньше пяти минут, что обусловлено ограничением скорости движения по стрелкам на боковой путь и фактически реализуемым тормозным коэффициентом в грузовых поездах. С другой стороны, при использовании автоведения пакета поездов при трехзначной автоблокировке есть возможность двигаться с двухблочным разграничением с установленной скоростью с интервалом пять минут даже при проследовании участков с ограничениями скорости до 60 км/ч. Тогда лимитирующим процессом на пути сокращения межпоездного интервала до пяти минут оказывается процесс отправления грузовых поездов, что обусловлено низкими ускорениями (недостаточной силой тяги при установленной весовой норме). Можно предложить техническое решение [18, 19] для систем электрической централизации и увязки ЭЦ с перегонем, которое позволяет уменьшить интервал попутного отправления за счет ограниченной модернизации устройств автоматики на расстоянии до 2 до 4 км от оси станции.

Переход на пятиминутные межпоездные интервалы для унифицированных грузовых поездов неизбежно потребует совершенствования технологических процессов на станции, иначе эффекта не получить. Комплексное исследование технологии работы участка возможно только методом имитационного моделирования [20]. В результате установлено, что сдерживающим фактором при снижении межпоездных интервалов становятся станции и прежде всего пункты технического осмотра (ПТО), что ограничивает рост пропускной способности десятью процентами. Усиление ПТО дополнительными фронтами обслуживания или в перспективе автоматизация функции технического осмотра позволяет удвоить прирост пропускной способности за счет автоведения пакетов поездов. Дальнейшее увеличение связано с необходимостью точечной модернизации горловин и путей станций.

Хороший эффект приносит применение автоведения пакетов поездов в ситуации восстановления движения после отказов (длительных перерывов в движении) [21].

В статье [22] сформулирована проблема пространственного развития региона и определено влияние на этот процесс развитости инфраструктуры железнодорожного транспорта. В работе [23] показано, что снижать стоимость строительства и эксплуатации автоматики можно за счет применения новых микропроцессорных систем.

В рассмотренных публикациях убедительно доказывается возможность повышения пропускной способности за счет технологии виртуальной сцепки (автоведения пакетов поездов) и гармонизации работы систем железнодорожной автоматики с системами автоведения. При этом показано, что путь повышения провозной способности за счет увеличения длины и массы поездов, который считался приоритетным более полувека, практически исчерпан и требует больших вложений в развитие инфраструктуры, чем развитие автоматики. **ИТ**

Список литературы

1. Бушуев С. В., Голочалов Н. С. Анализ способов повышения пропускной способности железных дорог // Транспорт Урала. 2023. № 1 (76). С. 42–50. ISSN 1815-9400.
2. Никитин А. Б., Бушуев С. В. Тенденции развития электрической сигнализации и компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях // Транспорт Урала. 2006. № 2 (9). С. 14–18. ISSN 1815-9400.
3. Никитин А. Б. и др. Проектирование пользовательского интерфейса для ЭЦ-МПК // Автоматика, связь, информатика. 2006. № 10. С. 10–11. ISSN 3034-3194.
4. Никитин А. Б., Бушуев С. В., Кучумов Р. В. Модель принятия решений в интеллектуальной системе управления движением поездов на станции // Транспорт Урала. 2009. № 2(21). С. 22–25. ISSN 1815-9400.
5. Никитин А. Б. и др. Средства технической диагностики и удаленного мониторинга СТД-МПК // Автоматика, связь, информатика. 2012. № 10. С. 6–8. ISSN 3034-3194.
6. Никитин А. Б. и др. Технические решения по централизации управления железнодорожным транспортом в подземных горных выработках // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 4. С. 21–26. ISSN 3034-3194.
7. Бушуев С. В. Пути повышения провозной способности участков железных дорог // Автоматика на транспорте. 2022. Т. 8, № 4. С. 343–353. ISSN 2412-9186.
8. Антропов А. Н. и др. Пути развития подвижного состава в рамках цифровизации железнодорожного транспорта // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. № 4 (88). С. 200–208. ISSN 0201-727X.
9. Bushuev S. V., Baeva I. Investigation of a direct current traction power supply system when trains are running in a virtual coupling // Collection of conference materials. Ekaterinburg: USA: Aip publishing, 2021. V. 2624. P. 30–57.
10. Бушуев С. В., Гундырев К. В., Голочалов Н. С. Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки // Автоматика на транспорте. 2021. Т. 7, № 1. С. 7–20. ISSN 2412-9186.
11. Bushuev S. V., Golochalov N. Reducing train intervals with virtual coupling technology // Collection of conference materials. Ekaterinburg: USA: Aip publishing, 2021. V. 2624. P. 020011.
12. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2023624055. Поездная работа участка железной дороги (ПРУЖД) / С. В. Бушуев, А. В. Мартыненко, К. К. Ваколюк, Д. С. Плотников ; заявл. от 31.10.2023, опубл. 20.11.2023, № 2023623680.
13. Мишарин А. С., Шабалин Н. Г., Бушуев С. В. Оценка перспективы сокращения межпоездных интервалов за счет применения новых технологий интервального регулирования // Транспорт Российской Федерации. 2024. № 2 (111). С. 11–17. ISSN 1994-831X.
14. Бушуев С. В. и др. Анализ загрузки путевого развития станции (по данным архивов систем централизации стрелок и сигналов) // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2 (50). С. 30–44. ISSN 2079-0392.

References

1. Bushuev S. V., Golochalov N. S. Analysis of ways to increase the capacity of railways // Transport of the Urals. 2023. No. 1 (76). Pp. 42–50. ISSN 1815-9400.
2. Nikitin A. B., Bushuev S. V. Trends in the development of electric signaling and computer systems for operational control of train traffic at stations // Transport of the Urals. 2006. No. 2 (9). Pp. 14–18. ISSN 1815-9400.
3. Nikitin A. B. et al. Designing a user interface for EC-MPK // Automation, communications, informatics. 2006. No. 10. Pp. 10–11. ISSN 3034-3194.
4. Nikitin A. B., Bushuev S. V., Kuchumov R. V. Decision-making model in the intelligent train traffic control system at the station // Transport of the Urals. 2009. No. 2(21). Pp. 22–25. ISSN 1815-9400.
5. Nikitin A. B. et al. Means of technical diagnostics and remote monitoring of STD-MPK // Automation, communications, informatics. 2012. No. 10. Pp. 6–8. ISSN 3034-3194.
6. Nikitin A. B. et al. Technical solutions for the centralization of railway transport management in underground mining // Automation, communications, informatics. 2023. No. 4. Pp. 21–26. ISSN 3034-3194.
7. Bushuev S. V. Ways to increase the carrying capacity of railway sections // Automation in transport. 2022. Vol. 8, No. 4. Pp. 343–353. ISSN 2412-9186.
8. Antropov A. N. et al. Ways of rolling stock development within the framework of digitalization of railway transport // Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering. 2022. No. 4 (88). Pp. 200–208. ISSN 0201-727X.
9. Bushuev S. V., Baeva I. Investigation of a direct current traction power supply system when trains are running in a virtual coupling // Collection of conference materials. Ekaterinburg: USA: Aip publishing, 2021. Vol. 2624. Pp. 30–57.
10. Bushuev S. V., Gundyrev K. V., Golochalov N. S. Increasing the capacity of a railway section using virtual coupling technology // Automation in transport. 2021. Vol. 7, No. 1. Pp. 7–20. ISSN 2412-9186.
11. Bushuev S. V., Golochalov N. Reducing train intervals with virtual coupling technology // Collection of conference materials. Ekaterinburg: USA: Aip publishing, 2021. Vol. 2624. P. 020011.
12. Certificate of state registration of the database No. 2023624055. Train operation of the railway section (PRUZHD) / S. V. Bushuev, A. V. Martynenko, K. K. Vakolyuk, D. S. Plotnikov ; application dated 10/31/2023, publ. 11/20/2023, No. 2023623680.
13. Misharin A. S., Shabalin N. G., Bushuev S. V. Assessment of the prospects for reducing inter-train intervals through the use of new interval control technologies // Transport of the Russian Federation. 2024. No. 2 (111). Pp. 11–17. ISSN 1994-831X.
14. Bushuev S. V. et al. Analysis of the loading of the station's track development (according to the archives of arrow and signal centralization systems) // Bulletin of the Ural State University of Railway Engineering. 2021. No. 2 (50). Pp. 30–44. ISSN 2079-0392.

15. Бушуев С. В., Голочалов Н. С. Моделирование движения поезда на основе применения статистических данных // Инновационный транспорт. 2024. № 1 (51). С. 52–57. ISSN 2311-164X.
16. Имарова О. Б. и др. Оценка погрешностей определения скорости и ускорения средствами спутниковой навигации // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 2. С. 26–29. ISSN 3034-3194.
17. Бушуев С. В., Попов А. Н. Расстояние сближения поездов при организации движения по технологии виртуальной сцепки // Наука и образование транспорту. 2020. № 1. С. 273–275.
18. Бушуев С. В., Голочалов Н. С. Технические решения повышения пропускной способности станции при использовании технологии виртуальной сцепки // Транспорт Урала. 2023. № 3 (78). С. 46–55. ISSN 1815-9400.
19. Пат. RU 2809289 C1. Способ попутного отправления поездов при использовании радиоканала / Никитин А. Б., Бушуев С. В., Голочалов Н. С., Гундырев К. В. ; опубл. 11.12.2023.
20. Bushuev S.V., Kovalev I.A., Permikin V.Y., Anashkina N.Y. Improving the efficiency of transport systems using simulation // Xitong Fangzhen Xuebao. 2020. V. 32, N 2. P. 340–345. ISSN 1004-731X.
21. Бушуев С. В., Ковалев И. А. Восстановление движения после отказов с применением виртуальной сцепки поездов // Автоматика на транспорте. 2024. Т. 10, № 1. С. 64–73. ISSN 2412-9186.
22. Бушуев С. В., Ковалев И. А., Пермикин В. Ю. Влияние инфраструктурных ограничений железнодорожного транспорта на пространственное развитие региона // Материалы V Всероссийского симпозиума по региональной экономике. Екатеринбург, 2019. Т. 2. С. 22–27.
23. Бушуев С. В., Попов А. Н., Попова М. Л. Оценка экономической эффективности средств контроля свободности участков пути // Автоматика на транспорте. 2019. Т. 5, № 2. С. 202–220. ISSN 2412-9186.
15. Bushuev S. V., Golochalov N. S. Modeling of train movement based on the use of statistical data // Innotrans. 2024. No. 1 (51). Pp. 52–57. ISSN 2311-164X.
16. Imarova O. B. et al. Estimation of errors in determining speed and acceleration by means of satellite navigation // Automation, communications, informatics. 2023. No. 2. Pp. 26–29. ISSN 3034-3194.
17. Bushuev S. V., Popov A. N. The distance of convergence of trains when organizing traffic using virtual coupling technology // Science and education for transport. 2020. No. 1. Pp. 273–275.
18. Bushuev S. V., Golochalov N. S. Technical solutions for increasing the capacity of the station using virtual coupling technology // Transport of the Urals. 2023. No. 3 (78). Pp. 46–55. ISSN 1815-9400.
19. Pat. RU 2809289 C1. The method of passing trains using a radio channel / Nikitin A. B., Bushuev S. V., Golochalov N. S., Gundyrev K. V. ; publ. 11.12.2023.
20. Bushuev S.V., Kovalev I.A., Permikin V.Y., Anashkina N.Y. Improving the efficiency of transport systems using simulation // Xitong Fangzhen Xuebao. 2020. V. 32, N 2. Pp. 340–345. ISSN 1004-731X.
21. Bushuev S. V., Kovalev I. A. Restoration of movement after failures using virtual train coupling // Automation in transport. 2024. Vol. 10, No. 1. Pp. 64–73. ISSN 2412-9186.
22. Bushuev S. V., Kovalev I. A., Permikin V. Yu. The influence of infrastructural constraints of railway transport on the spatial development of the region // Proceedings of the V All-Russian Symposium on Regional Economics. Yekaterinburg, 2019. Vol. 2. Pp. 22–27.
23. Bushuev S. V., Popov A. N., Popova M. L. Assessment of the economic efficiency of means of controlling the freedom of sections of the track // Automation in transport. 2019. Vol. 5, No. 2. Pp. 202–220. ISSN 2412-9186.



Игорь Павлович Попов

Igor P. Popov



Олег Юрьевич Моисеев

Oleg Yu. Moiseev



Дмитрий Германович Неволин

Dmitry G. Nevolin



Валерий Васильевич Харин

Valerij V. Harin

О стабилизаторе частоты вращения для транспортных машин и механизмов

On stabilizer of rotation frequency for transport machines and mechanisms

Аннотация

В статье описан механизм обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротора. Установлено, что расстояние от груза до оси вращения, а также линейная скорость груза являются функциями от момента импульса. Показано, что конструктивные параметры устройства (ротора) подобраны таким образом, что при изменении кинетического момента изменяются и радиус ротора, и его линейная скорость, причем они оба влияют на угловую скорость конкурирующим (противоположным) образом, так что она остается неизменной. Отмечено, что стабилизированный ротор может найти применение в транспортных системах, в том числе для стабилизации частоты вращения силовых генераторов.

Ключевые слова: частота вращения, стабилизированный ротор, груз, линейная скорость, момент импульса.

Abstract

The article describes the mechanism to ensure consistent rotation frequency of a stabilized rotor. It is stated, that the distance from weight to the rotation axis, and also the linear velocity of weight are the functions from the moment of impulse. It is shown, that the structural parameters of the device (rotator) are selected in such a way that under the change of kinetic moment the rotator radius and its linear velocity are also changed, and both of them influence on the angular velocity by the competing (opposite) way so that it remains the same. It is noted, that the stabilized rotator can be used in transport systems, as well as for the stabilization of the rotation frequency of power generators.

Keywords: rotation frequency, stabilized rotator, weight, linear velocity, impulse moment.

Авторы Authors

Игорь Павлович Попов, главный инженер проекта; ЗАО «Курганстальмост»; e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru | **Олег Юрьевич Моисеев**, д-р транспорта, действительный член Российской академии транспорта, технический директор; ЗАО «Курганстальмост»; e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru | **Дмитрий Германович Неволин**, д-р техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: innotrans@mail.ru | **Валерий Васильевич Харин**, канд. техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, заместитель генерального директора по научной и инновационной деятельности; ЗАО «Курганстальмост»; e-mail: uralakademia@mail.ru

Igor P. Popov, chief project engineer; CJSC "Kurganstalmost"; e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru | **Oleg Yu. Moiseev**, transport director, full member of the Russian Transport Academy, technical director; CJSC "Kurganstalmost"; e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru | **Dmitry G. Nevolin**, Doctor of technical Science, full member of the Russian Transport Academy, professor of the chair "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru | **Valerij V. Harin**, PhD. of technical science, full member of the Russian Transport Academy, deputy CEO on scientific and innovation activity; CJSC "Kurganstalmost"; e-mail: uralakademia@mail.ru

Введение

Тема стабилизации вращений ротатора достаточно актуальна [1–4], в том числе в транспортной технике, например для генераторов энергетических установок.

В работах [5–7] представлены основы теории стабилизированного ротатора. В частности, установлено, что его собственная частота вращения равна

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

и совпадает с собственной частотой колебаний маятника с идентичными параметрами m и k [8–10].

Целью работы является описание механизма обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротатора (рис. 1).

Стабилизация частоты вращения

При выполнении технологически простого условия равенства деформации пружин Δx расстоянию r от центра масс груза до оси вала

$$r = \Delta x$$

баланс сил приобретает вид:

$$F = \frac{mv^2}{r} = k\Delta x = kr.$$

Или

$$\frac{mv^2}{r} = kr.$$

При этом

$$v^2 = \frac{k}{m}r^2 = \omega^2 r^2.$$

Из этой формулы следует выражение (1).

Момент импульса стабилизированного ротатора

$$L = mvr.$$

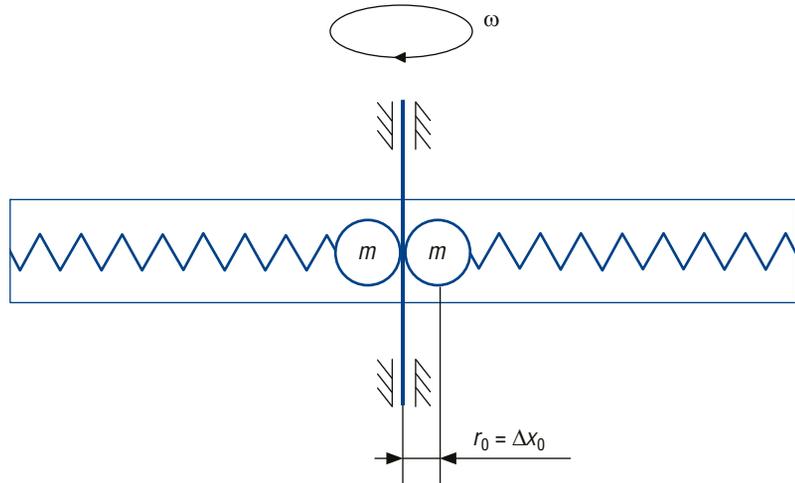


Рис. 1. Стабилизированный ротатор

Отсюда

$$r = \frac{L}{mv}. \quad (2)$$

При этом

$$v = \omega r. \quad (3)$$

Поэтому (2) приобретает вид:

$$r = \frac{L}{m\omega}.$$

Отсюда

$$r^2 = \frac{L}{m\omega}.$$

С учетом (1) последнюю формулу можно записать в следующей форме:

$$r^2 = \frac{L}{m} \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{L}{\sqrt{mk}}.$$

Отсюда

$$r = L^{1/2}(mk)^{-1/4}.$$

$(mk)^{-1/4}$ — величина неизменяющаяся. Она далее заменяется постоянным коэффициентом $C_1 = (mk)^{-1/4}$.

Таким образом,

$$r = C_1 L^{1/2}. \quad (4)$$

Другими словами, расстояние от груза до оси вращения является функцией от момента импульса.

Из (2) следует

$$v = \frac{L}{mr}. \quad (5)$$

С учетом (3)

$$r = \frac{v}{\omega}.$$

Подстановка последнего выражения в (5) дает

$$v = \frac{L \omega}{m v}.$$

Отсюда

$$v^2 = \frac{L}{m} \omega.$$

С учетом (1) последняя формула приобретает вид:

$$v^2 = \frac{L}{m} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Отсюда

$$v = L^{1/2} k^{1/4} m^{-3/4}.$$

$k^{1/4} m^{-3/4}$ — величина неизменяющаяся. Она далее заменяется постоянным коэффициентом $C_2 = k^{1/4} m^{-3/4}$.

Таким образом,

$$v = C_2 L^{1/2}. \quad (6)$$

Другими словами, линейная скорость груза является функцией от момента импульса.

Пусть при $L = L_0$ радиус в соответствии с (4) равен $r = C_1 L_0^{1/2} = r_0$, а линейная скорость груза в соответствии с (6) равна $v = C_2 L_0^{1/2} = v_0$.

Если момент импульса изменится и станет равным $L = aL_0$, то радиус тоже изменится и станет равным $r = C_1 (aL_0)^{1/2} = a^{1/2} r_0$, т.е. увеличится в $a^{1/2}$ раз.

Линейная скорость тоже изменится и станет равной $v = C_2 (aL_0)^{1/2} = a^{1/2} v_0$, т.е. тоже увеличится в $a^{1/2}$ раз.

При этом угловая скорость

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{a^{1/2} v_0}{a^{1/2} r_0} = \frac{v_0}{r_0} = \omega_0,$$

т.е. останется такой же, какой была при предыдущем значении момента импульса $L = L_0$.

Заключение

Рассмотрен механизм обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротатора. Показано, что угловая скорость ротатора при изменении момента импульса не меняется. Это обусловлено тем, что при изменении момента импульса в одинаковой мере изменяются радиус ротатора и линейная скорость груза. Ключевым условием обеспечения стабилизации вращения является равенство деформации пружин расстоянию от центра масс груза до оси вала. **ИТ**

Список литературы

1. Попов И. П. Годографы суперпозиций вращений // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2020. № 3 (144). С. 41–45. ISSN 1729-6552.
2. Попов И. П. Сложение вращательных синхронных движений // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 3. С. 37–41. ISSN 0234-6206.
3. Попов И. П. Математическая модель суммирования вращательных движений // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 4. С. 32–45. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.4.03.
4. Попов И. П. Комбинация круговых движений в машинах и механизмах // Frontier Materials & Technologies. 2021. № 4. С. 48–56. DOI: 10.18323/2782-4039-2021-4-48-56.
5. Попов И. П. Ротатор с фиксированной скоростью вращения // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2022. № 3(155). С. 3–7. DOI: 10.52190/1729-6552_2022_3_3.
6. Пат. 2795752 RU, МПК6 G09B 23/06. Механическая модель циклотронного движения — стабилизированный ротатор / И. П. Попов, М. В. Давыдова (Россия). № 2022111659; заявл. 27.04.2022; опубл. 11.05.2023, Бюл. № 14.
7. Пат. 2796041 RU, МПК6 G05D 13/10. Центробежный стабилизатор вращения / И. П. Попов, М. В. Давыдова (Россия). № 2022111651; заявл. 27.04.2022; опубл. 16.05.2023, Бюл. № 14.
8. Попов И. П. Резонансы и антирезонансы в механических системах // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2021. № 2(147). С. 14–22. ISSN 1729-6552.
9. Попов И. П. Реактансы и сассептансы механических систем // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2021. № 70. С. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6
10. Попов И. П. О резонансе и антирезонансе // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2019. № 4. С. 45–48. ISSN 0234-6206.

References

1. Popov I. P. Hodographs of superpositions of rotations // Defense complex for scientific and technological progress of Russia. 2020. No. 3 (144). Pp. 41–45. ISSN 1729-6552.
2. Popov I. P. Addition of rotational synchronous movements // Problems of mechanical engineering and automation. 2020. No. 3. Pp. 37–41. ISSN 0234-6206.
3. Popov I. P. Mathematical model of summation of rotational movements // Applied mathematics and control issues. 2020. No. 4. Pp. 32–45. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.4.03.
4. Popov I. P. Combination of circular movements in machines and mechanisms // Frontier Materials & Technologies. 2021. No. 4. Pp. 48–56. DOI: 10.18323/2782-4039-2021-4-48-56.
5. Popov I. P. Rotator with fixed rotation speed // Defense complex for scientific and technological progress of Russia. 2022. No. 3(155). Pp. 3–7. DOI: 10.52190/1729-6552_2022_3_3.
6. Pat. 2795752 RU, МПК6 G09B 23/06. Mechanical model of cyclotron motion — stabilized rotator / I. P. Popov, M. V. Davydova (Russia). No. 2022111659; application No. 04/27/2022; publ. 05/11/2023, Bulletin No. 14.
7. Pat. 2796041 RU, МПК6 G05D 13/10. Centrifugal rotation stabilizer / I. P. Popov, M. V. Davydova (Russia). No. 2022111651; application. 04/27/2022; publ. 05/16/2023, Bulletin No. 14.
8. Popov I. P. Resonances and antiresonances in mechanical systems // Defense complex for scientific and technological progress of Russia. 2021. No. 2(147). Pp. 14–22. ISSN 1729-6552.
9. Popov I. P. Reactances and sasseptances of mechanical systems // Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics. 2021. No. 70. Pp. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6
10. Popov I. P. On resonance and antiresonance // Problems of mechanical engineering and automation. 2019. No. 4. Pp. 45–48. ISSN 0234-6206.

Уважаемые читатели и авторы журнала «Инновационный транспорт»!

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>

Извещение	<p>Получатель: Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС КПП: <u>667001001</u> ИНН: <u>6670317893</u> ОКТМО: <u>65701000</u> Р/сч.: <u>40703810863010000192</u> в: ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ БИК: <u>046577795</u> К/сч.: <u>30101810900000000795</u> Код бюджетной классификации (КБК): _____ Платеж: <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u> Плательщик: _____ Адрес плательщика: _____ ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____ Сумма: _____ руб. ____ коп. Подпись: _____ Дата: «___» _____ 2025 г.</p>
Квитанция	<p>Получатель: Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС КПП: <u>667001001</u> ИНН: <u>6670317893</u> ОКТМО: <u>65701000</u> Р/сч.: <u>40703810863010000192</u> в: ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ БИК: <u>046577795</u> К/сч.: <u>30101810900000000795</u> Код бюджетной классификации (КБК): _____ Платеж: <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u> Плательщик: _____ Адрес плательщика: _____ ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____ Сумма: _____ руб. ____ коп. Подпись: _____ Дата: «___» _____ 2025 г.</p>

Подписка на 2025 год.

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.

Периодичность — 4 номера в год.

ф. СП-1



АБОНЕМЕНТ

на ~~газету~~
журнал

85022

(индекс издания)

Иновационный транспорт

(наименование издания)

Количество
комплектов:

на 2025 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	X	X	X	X						

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на ~~газету~~
журнал

85022

(индекс издания)

Иновационный транспорт

(наименование издания)

Стои- мость	подписки	руб. ___ коп.	Количество комплектов:
	переадресовки	руб. ___ коп.	

на 2025 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	X	X	X	X						

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

Технические требования и рекомендации к оформлению статей

1. Публикация состоит из следующих **обязательных элементов**:

- а) УДК;
- б) Ф. И. О. автора (авторов) (на русском и английском языках);
- в) название статьи (на русском и английском языках);
- г) аннотация (на русском и английском языках);
- д) ключевые слова (на русском и английском языках);
- е) текст статьи;
- ж) библиографический список;
- з) сведения об авторе (авторах): место работы (учебы), ученая степень, ученое звание, должность, почтовый адрес, телефон, e-mail (на русском и английском языках);
- и) портретное фото автора (авторов), представленное в электронном виде отдельным файлом, цветное, высокого качества, в форматах *.jpg (от 200 Кб), *.tif (от 1 Мб).

2. Материалы подготавливаются в редакторе MS Word.

3. Объем статьи не более 15 страниц.

4. Список литературы помещается в конце статьи после подзаголовка и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018, ГОСТ 7.0.5-2008. Ссылки на литературу в тексте статьи оформляются в квадратных скобках ([3], [3, 4], [3–7]).

5. Требования к разметке и форматированию текста.

Поля страницы – по 2 см с каждого края. Страницы должны быть без нумерации. Текст статьи: шрифт Times New Roman, кегль 14; межстрочный интервал

полуторный; выравнивание по ширине; отступ первой строки 1,25 см; расстановка переносов автоматическая. Простые формулы и сочетания символов набираются в текстовом режиме, сложные – при помощи редактора формул Microsoft Equation или MathType и располагаются по центру страницы. Написание букв: русские и греческие буквы (а, б, в, А, Б, В; ε, ω, Ω, Σ), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, V, XII; sin, lg, min и др.) пишутся только прямо; латинские буквы (*a, b, c, A, B, N* и пр.) – только курсивом.

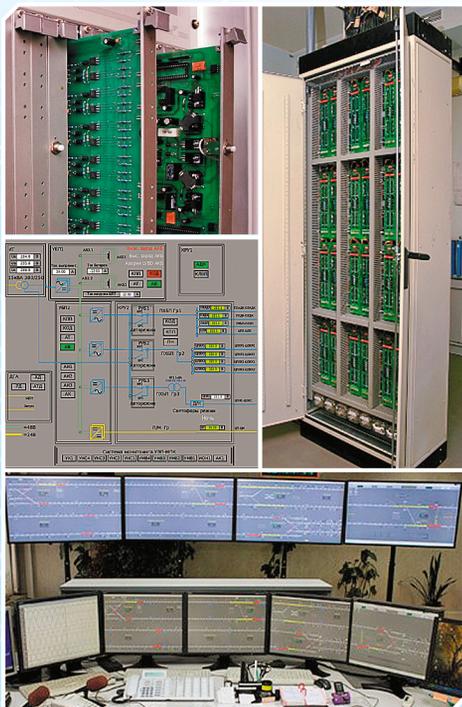
6. Рисунки и таблицы. Таблицы должны быть снабжены заголовками, а рисунки — подписями. Расположение заголовков: слово «Таблица» — в правый край таблицы; название таблицы располагается по центру над таблицей. В рисунках (диаграммах и графиках) слово «Рис.», номер и название рисунка располагаются по центру набора под рисунком. Расположение таблиц и рисунков — после ссылки на них. Условные обозначения в рисунках и таблицах, если они есть, должны быть расшифрованы в подписи или в тексте статьи.

Рисунки. Цветные и черно-белые (если нет цветных) иллюстрации принимаются отдельными файлами в форматах *.jpg (от 300 Кб), *.tif, *.bmp (от 2 Мб). Недопустимо использование изображений, взятых из Интернета, размером 5–100 Кб, а также отсканированных версий плохого качества.

Диаграммы, схемы и таблицы могут быть представлены в форматах MS Excel, MS Visio, MS Word (сгруппированные). Отдается предпочтение исходным файлам, которые допускают редактирование рисунка. Допускаются изображения, конвертированные в форматы *.cdr, *.cmx, *.eps, *.ai, *.wmf, *.cgm, *.dwg.

7. Материалы для очередного номера принимаются до 30-го числа первого месяца квартала.

**Подписной индекс издания
в общероссийском каталоге «Пресса России» — 85022.**



РАЗРАБОТКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ВНЕДРЕНИЕ И СОПРОВОЖДЕНИЕ КОМПЛЕКСА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

- ЭЦ-МПК, ЭЦ-МПК-У — релейно-процессорная централизация
- МПЦ-МПК — микропроцессорная централизация
- ДЦ-МПК — диспетчерская централизация
- УЭП-МПК — устройства электропитания
- СТД-МПК — система технической диагностики
- АСУ АРЛМ — автоматизированная система учёта и анализа работы линий метрополитена
- КАС ДУ — комплексная автоматизированная система диспетчерского управления



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, корпус Б, оф. В3-7
 Тел./факс: (343) 221-25-23
 E-mail: info@nilksa.ru. Веб-сайт: www.nilksa.ru



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

«СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ»

Основные направления работы

- Разработка проектов реконструкции и модернизации контактной сети железнодорожного транспорта.
- Проектирование внешнего электроснабжения до 1000 кВ включительно и внутреннего электроснабжения жилых, общественных и производственных зданий.
- Проведение электротехнической экспертизы оборудования.
- Расчет автоколебаний проводов контактной подвески и взаимодействия различных токоприемников с контактным проводом.
- Научно-исследовательские работы в области совершенствования системы токосъема железнодорожного транспорта.

Заведующий лабораторией: канд. техн. наук, доцент Ковалев Алексей Анатольевич.



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, оф. В3-03.
 Тел./факс: (343) 221-25-27.

E-mail: saprks@mail.ru. Веб-сайт: www.sapr-ks.usurt.ru

