

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 3 (37)

Сентябрь 2020



**Влияние конструкции подвижного состава  
городского общественного транспорта  
на время посадки-высадки пассажиров**

**С. 7**

**Развитие легкорельсового  
транспорта в китайском  
горном городе Чунцине**

**Оценка  
надежности работы  
трансформаторов**

**Расчет экономических  
показателей гибридного  
тепловоза**



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**

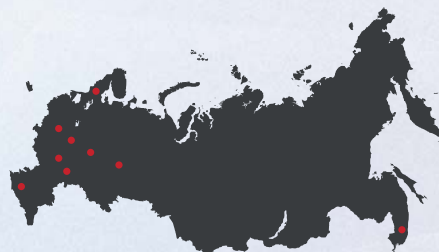
## НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ:

- > Цифровая экономика на транспорте
- > BIM-технологии
- > Интернет вещей
- > BIG DATA
- > Взаимодействие транспорта регионов страны
- > Взаимодействие с бизнес-сообществом
- > Экспертиза взаимодействия видов транспорта
- > Научное сопровождение транспортной стратегии РФ

## КТО МОЖЕТ СТАТЬ ЧЛЕНОМ АКАДЕМИИ?

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

- доктора транспорта
- кандидата наук
- доктора наук



**2** ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
ОТДЕЛЕНИЯ

**8** РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ОТДЕЛЕНИЙ

**Аппарат Российской академии транспорта:**  
107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34, 11 этаж  
+7 (929) 915-74-65  
info@rosacademtrans.ru  
[www.rosacademtrans.ru](http://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](http://www.uralakademia.ru)

## Инновационный транспорт (Иннотранс)

Научно-публицистическое издание

№ 3 (37), 2020 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](http://www.usurt.ru), e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto: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.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета в типографии ООО «Универсальная Типография «Альфа Принт».

620049, Свердловская обл., г. Екатеринбург, пер. Автоматики, д. 2Ж.

Тел.: 8-800-300-16-00. Сайт: [www.alfaprint24.ru](http://www.alfaprint24.ru)

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге

«Пресса России» — 85022. Цена 395 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X.

Подписано в печать 30.09.2020. Дата выхода в свет 30.10.2020.

Печать офсетная. Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–160). Заказ № 12658

Фото на обложке: Kzenon. <https://ru.depositphotos.com/portfolio-1046535.html>

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», 2020

© Общероссийская общественная организация

«Российская академия транспорта», 2020

### 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).

**Рольф Эпштайн**, доктор технических наук, Siemens (Германия).

**Денис Викторович Ломотко**, доктор технических наук, академик Транспортной академии Украины, профессор Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, Харьков (Украина).

**Мargarita Булатовна Имандосова**, 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).

**Сергей Алексеевич Румянцев**, доктор физико-математических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

**Валерий Михайлович Самуйлов**, 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

№ 3 (37), 2020

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](http://www.usurt.ru). E-mail: [innotrans@mail.ru](mailto: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. Price 395 rub.

Released for printing on 30.09.2020. Date of issue 30.10.2020. Offset printing. Circulation 500 copies.

© ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, 2020

© All-Russian Public Organisation “Russian Academy of Transport”, 2020

### 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).

**Rolf Epstein**, DSc in Engineering, Siemens (Germany).

**Denis V. Lomotko**, DSc in Engineering, Academician of the Transport Academy of Ukraine, professor of the Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov (Ukraine)

**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).

**Sergey A. Rumyantsev**, Doctor of Physico-mathematical Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor of “Higher and Applied Mathematics” at Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg (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**, Doctor of Technical Sciences, 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**, Doctor of Technical Sciences, 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

<i>Илесалиев Д. И., Махматкулов Ш. Г.</i> Перспективы и направления транспортного развития Узбекистана в условиях формирования железных дорог Афганистана .....	3
<i>Цариков А. А., Бондаренко В. Г., Бушуева В. Е.</i> Влияние конструкции подвижного состава городского общественного транспорта на время посадки-высадки пассажиров .....	7
<i>Зинovieва Ю. С., Самуйлов В. М., Неволин Д. Г.</i> ВСМ Екатеринбург — Челябинск как значимый проект для развития Уральской агломерации .....	16
<i>Журавская М. А.</i> Прогнозирование системы показателей транспортного пространства территорий на основе анализа регионов РФ .....	21
<i>Самуйлов В. М., Гашкова Л. В., Бронников С. А., Хуан Куичжан.</i> Развитие легкорельсового транспорта в китайском горном городе Чунцине .....	27

## Организация производства (транспорт)

<i>Харитонов А. С., Штрапенин Г. Л.</i> Программно-аппаратный комплекс для разработки и тестирования электронных устройств для транспортной отрасли .....	33
<i>Линькова Н. А.</i> Синдром хронической усталости — одна из проблематик физического воспитания студентов транспортного вуза .....	37
<i>Кураксин А. А., Шемякин А. В.</i> Оценка динамической матрицы корреспонденций путем обезличенного детектирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth .....	41
<i>Орлов В. В.</i> О межсезонном осмотре деформационных швов городских мостов .....	46

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Окунев А. В., Иванова А. А., Филиппев А. А.</i> Оценка надежности работы трансформаторов .....	50
<i>Подлесников Я. Д., Силюта А. Г.</i> Оценка эффективности пневматического тормоза рельсового автобуса РА-3 .....	54
<i>Сикорский Е. С.</i> Расчет экономических показателей гибридного тепловоза .....	57

# CONTENTS

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

<i>Daurenbek I. Ilesaliev, Shakhobiddin G. Makhmatkulov.</i> Prospects and directions of transport development of Uzbekistan in the context of formation of railways in Afghanistan .....	3
<i>Alexey A. Tsarikov, Viktor G. Bondarenko, Viktoriya E. Bushuyeva.</i> Effect of urban public transport rolling stock construction on time of boarding and disembarkation of passengers .....	7
<i>Julia S. Zinovieva, Valeriy M. Samuylov, Dmitry G. Nevollin.</i> HSM Yekaterinburg – Chelyabinsk as an important project of Ural agglomeration .....	16
<i>Marina A. Zhuravskaya.</i> Forecasting the system of transport space indicators based on the analysis of the regions` territories in the Russian Federation .....	21
<i>Valeriy M. Samuylov, Lyudmila V. Gashkova, Sergey A. Bronnikov, Huang Kuizhuang.</i> Development of light rail transport in the Chinese highland town Chungking .....	27

## The organization of production (transport)

<i>Anton S. Kharitonov, Gennadiy L. Shtrapenin.</i> Hardware and software complex for development and testing of electronic devices for transport industry .....	33
<i>Natalia Linkova-Daniels.</i> Chronic fatigue syndrome – one of the problems of physical education of transport higher school students .....	37
<i>Anton A. Kuraksin, Alexander V. Shemyakin.</i> Assessment of dynamic matrix of correspondence through depersonalized detection of devices transmitting Bluetooth signal .....	41
<i>Viktor V. Orlov.</i> About off-season inspection of deformation joints of bridges .....	46

## Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Alexander V. Okunev, Anastasia A. Ivanova, Alexander A. Philipiev.</i> Assessment of performance reliability of transformers .....	50
<i>Yaroslav D. Podlesnikov, Anatoly G. Silyuta.</i> Evaluation of PA-3 rail bus pneumatic brake efficiency .....	54
<i>Evgeny S. Sikorskiy.</i> Calculation of economic indicators of a hybrid diesel locomotive .....	57



Дауренбек Ихтиярович  
Илесалиев

Daurenbek I. Ilesaliev



Шахобиддин Гиёсиддин угли  
Махматкулов

Shakhobiddin G. Makhmatkulov

## Перспективы и направления транспортного развития Узбекистана в условиях формирования железных дорог Афганистана

### Prospects and directions of transport development of Uzbekistan in the context of formation of railways in Afghanistan

#### Аннотация

В статье рассмотрены перспективы и направления развития транспортного комплекса Узбекистана в условиях формирования трансафганского транспортного коридора. Проведена оценка внутренних и внешних факторов, которые влияют на транспортное развитие страны.

**Ключевые слова:** транспортная система, транспорт, железнодорожный транспорт, транзитный потенциал, транспортный коридор.

#### Abstract

The article looks upon prospects and directions of development of Uzbekistan transport complex in the context of formation of trans-Afghan transport corridor. The assessment of internal and external factors is made which influence transport development of the country.

**Keywords:** transport system, transport, railway transport, transit potential, transport corridor.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-3-6

#### Авторы Authors

Дауренбек Ихтиярович Илесалиев, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортная логистика и сервис» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: ilesaliev@mail.ru | Шахобиддин Гиёсиддин угли Махматкулов, докторант (Ph.D.) кафедры «Инженерная логистика и менеджмент» Чаньаньского университета, Сиань, Китай; e-mail: shoh1970@bk.ru

Daurenbek I. Ilesaliev, PhD, associate Professor of Department «Transport logistics and services» at Tashkent institute of railway engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan; e-mail: ilesaliev@mail.ru | Shakhobiddin G. Makhmatkulov, doctoral student (Ph.D.) of the Department of «Engineering Logistics and Management» at Chang'an University, Xi'an, China; e-mail: shoh1970@bk.ru

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

Транспортный коридор через Афганистан мог бы максимально упростить потоки экспорта-импорта для Центральной Азии и всего континента. Если трансафганский транспортный коридор получит свою реализацию, то, несомненно, это повлияет на конкурентоспособность узбекской продукции, которая на сегодняшний день проигрывает другим аналогичным товарам соседних республик. Товары из Узбекистана до ближайшего морского порта доходят за 20–25 дней, а трансафганский транспортный коридор позволит сократить эти сроки до 7–10 дней [1–4].

Одна из основных проблем железной дороги Афганистана состоит в неопределенности ширины колеи. Со стороны Узбекистана, Туркменистана и Таджикистана ширина составляет 1520 мм, со стороны Индии и Пакистана — преимущественно 1676 мм, а со стороны Ирана — 1435 мм. Вопрос выбора ширины колеи для Афганистана особенно важен и связан с выбором направления экономической и транспортной интеграции. В интересах нашей страны целесообразно закладывать колею 1520 мм, так как Афганистан является большим рынком сбыта узбекских товаров.

На сегодняшний день перед Афганистаном стоит задача по развитию трансафганской сети железных дорог (рис. 1), которая составит примерно 2067 км:

- Шерхан Бандер — Мазари-Шариф — Герат (1246 км);
- Мазари-Шариф — Торхам (718 км);
- Чаман — Кандагар (103 км).

В 2013 г. тремя государствами (Туркменистан, Афганистан, Таджикистан) была достигнута договоренность о строительстве железной дороги в обход Узбекистана (рис. 2).

В конце 2016 г. Туркменистан проложил 4 км железных дорог от своих границ до станции Акина. Но на сегодняшний день пока не известен окончательный вариант данного направления. Варианты развития железной дороги Туркменистан — Афганистан — Таджикистан:

- Имамназар — Андхой — Акина — Мазари-Шариф — Хульм — Кундуз — таджикская граница — 383 км;
- Имамназар — Андхой — Акина — Мазари-Шариф — Хульм — Кальдар — 323 км.

В 2017 г. Узбекистан и Афганистан подписали соглашение о строительстве железной дороги Мазари-Шариф — Шибеган — Маймана — Герат, предполагаемая протяженность которой составит 760 км.

В конце лета 2017 г. Иран завершил строительство 184 км железной дороги от иранского города Хафа до города Герат. За счет данного направления Афганистан получил доступ к 11 международным коридорам через Иран, в том числе и в Европу.

Также существует большая вероятность строительства Пакистаном железной дороги по югу Афганистана до города Герат с шириной колеи 1637 мм. В этом слу-

чае Герат превратится в крупнейший в мире железнодорожный транспортный хаб с тремя разными колеями.

Следующий этап — это разработка железнодорожного направления на северо-восток (Афганистан — Таджикистан — Киргизстан — Китай).

С точки зрения развития железнодорожного направления для Узбекистана перспективными являются следующие варианты:

1. Мазари-Шариф — Герат — Мешхед (далее иранские порты);
2. Мазари-Шариф — Кабул — Пешавар (далее пакистанские порты) — так называемый «Кабульский коридор».



Рис. 1. Трансафганская сеть железных дорог (2067 км)



Рис. 2. Варианты развития железной дороги Туркменистан — Афганистан — Таджикистан

На рис. 3 представлено предполагаемое железнодорожное направление Мазари-Шариф — Герат (далее иранские порты).

Развитие направления Мазари-Шариф — Герат — Мешхед может вызвать интерес в странах Европы и России для продвижения и увеличения транзитных перевозок. Интересным выглядит и тот факт, что Узбекистан получит доступ к 11 международным коридорам.



Рис. 3. Направление Мазари-Шариф — Герат — Мешед



Рис. 5. Направление Мазари-Шариф — Кабул — Пешавар

	Положительное влияние	Отрицательное влияние
<b>Внешняя среда</b>	<p><b>Преимущества</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Интеграция в мировое транспортное пространство, наращивание и реализация транзитного потенциала Узбекистана через порты Ирана.</li> <li>Кратчайший выход к Персидскому заливу</li> </ol>	<p><b>Слабые стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Санкции США в отношении Ирана. (Две крупнейшие мировые контейнерные линии — датская Maersk Line и швейцарская Mediterranean Shipping Co. (MSK) — сворачивают перевозки общего назначения в Иран).</li> <li>Внутреннее политическое положение Афганистана.</li> <li>Отсутствие прямого выхода к морским портам</li> </ol>
<b>Внутренняя среда</b>	<p><b>Возможности</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Расширение рынков сбыта.</li> <li>Развитие альтернативных направлений.</li> <li>Транспортное обеспечение новых центров социально-экономического развития страны.</li> <li>Улучшение инвестиционного климата в транспортной отрасли</li> </ol>	<p><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Присоединение с восточной стороны Афганистана таджикских ж. д., что приведет к отводу грузопотока из Китая.</li> <li>Присоединение с западной стороны Афганистана туркменских ж. д., что приведет к дополнительному отводу грузопотока</li> </ol>

Рис. 4. SWOT-анализ варианта развития направления Мазари-Шариф — Герат — Мешед

	Положительное влияние	Отрицательное влияние
<b>Внешняя среда</b>	<p><b>Преимущества</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Кратчайший и эффективный выход на внешний рынок (к портам Индийского океана).</li> <li>Географическое расположение региона (потенциальная возможность стать транспортным мостом между Европой, Россией, Пакистаном и Индией)</li> </ol>	<p><b>Слабые стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Неофициальные транзитные сборы и завышенные пошлины.</li> <li>Политическая нестабильность.</li> <li>Отсутствие единого механизма (организации), координирующего транспортную систему региона</li> </ol>
<b>Внутренняя среда</b>	<p><b>Возможности</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Расширение рынков сбыта.</li> <li>Развитие альтернативных направлений.</li> <li>Транспортное обеспечение новых центров социально-экономического развития страны.</li> <li>Улучшение инвестиционного климата в транспортной отрасли</li> </ol>	<p><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Присоединение с восточной стороны Афганистана таджикских ж. д., что приведет к отводу грузопотока из Китая.</li> <li>Противоречия в интересах ведущих государств мира по реализации транспортных проектов в регионе</li> </ol>

Рис. 6. SWOT-анализ варианта развития направления Мазари-Шариф — Кабул — Пешавар

На рис. 4 приведены слабые и сильные стороны варианта развития железной дороги Мазари-Шариф — Герат — Мешед.

Железнодорожное направление Мазари-Шариф — Кабул — Пешавар (далее пакистанские порты) представлено на рис. 5.

Направление Мазари-Шариф — Кабул — Пешавар может стать транспортным коридором, связывающим Евросоюз, Россию, Узбекистан, Афганистан, Пакистан, Индию и далее государства Юго-Восточной Азии. Однако не надо забывать о том, что взаимоотношения между Пакистаном и Индией не дают в полной мере осуществить данный проект (рис. 6).

Далее на рис. 7 отражены возможные риски, которые могут тяжело отразиться на транзитном потенциале. Пунктирные черные линии, а также красные линии обо-

значают существующие обходы грузопотока, например, железнодорожная линия вдоль Каспийского моря (Казakhstan — Туркменистан). Пунктирная синяя линия — морской путь через Индийский океан.

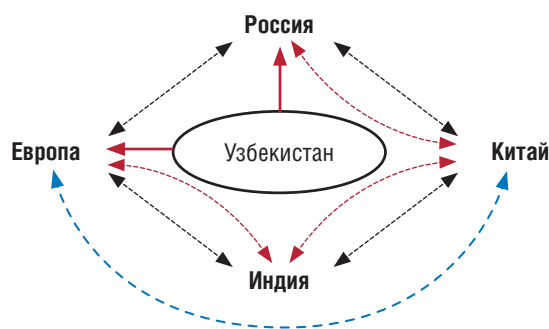


Рис. 7. Существующие и возможные обходы грузопотока

## Выводы

1. Вышеуказанные железнодорожные направления для Узбекистана являются альтернативными выходами к морским портам, они могут способствовать как увеличению транзитных потоков грузов через страну, так и создать угрозу отвода уже существующих грузопотоков.

2. Развитие направления Мазари-Шариф — Герат — Мешхед может тяжело отразиться на транзитном потен-

циале Узбекистана, так как есть большая вероятность присоединения двух стран к железнодорожному направлению после сдачи железной дороги. С Запада — Туркменистан, с Востока — Таджикистан.

3. Наиболее перспективным для Узбекистана можно считать развитие железнодорожного направления Мазари-Шариф — Кабул — Пешавар. В дальнейшем есть вероятность присоединения Китая через Таджикистан. Однако взаимоотношения Пакистана и Индии могут затруднить продвижение данного направления. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Илесалиев Д. И. Обоснование метода переработки тарно-штучных грузов на перевалочных складах в цепях поставок : автореф. ... канд. техн. техн. наук. — СПб., 2016. — 16 с.
2. Илесалиев Д. И. Перевозка экспортно-импортных грузов в Республике Узбекистан / Д. И. Илесалиев, Е. К. Коровяковский, О. Б. Маликов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2014. — № 2 (39). — С. 11–17. — ISSN 1815–588X.
3. Илесалиев Д. И. Объемы и направления тарно-штучных грузов в Республике Узбекистан // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сборник трудов LXXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I, 2014. — С. 173–178.
4. Маликов О. Б. Логистика пакетных перевозок штучных грузов / О. Б. Маликов, Е. К. Коровяковский, Д. И. Илесалиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2014. — № 4 (41). — С. 51–57. — ISSN 1815–588X.

Объем статьи: 0,31 авторских листа





**Алексей  
Алексеевич  
Цариков**

**Alexey A.  
Tsarikov**



**Виктор  
Григорьевич  
Бондаренко**

**Viktor G.  
Bondarenko**



**Виктория  
Евгеньевна  
Бушуева**

**Viktoriya E.  
Bushuyeva**

## Влияние конструкции подвижного состава городского общественного транспорта на время посадки-высадки пассажиров

### Effect of urban public transport rolling stock construction on time of boarding and disembarkation of passengers

#### Аннотация

В статье представлены данные по исследованию процесса посадки и высадки пассажиров из подвижного состава общественного транспорта различного класса. Выявлены основные конструктивные показатели подвижного состава общественного транспорта, которые влияют на время нахождения подвижного состава на остановке.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, городской общественный транспорт, посадка-высадка пассажиров, подвижной состав.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-7-15

#### Авторы Authors

**Алексей Алексеевич Цариков**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Виктор Григорьевич Бондаренко**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Виктория Евгеньевна Бушуева**, магистр Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург

**Alexey Alexeyevich Tsarikov**, Cand.of tech.sci., Associate Professor, "Road vehicle design and operation" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg | **Viktor Grigorievich Bondarenko**, Cand.of tech.sci., Associate Professor, "Road vehicle design and operation" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg | **Viktoriya Evgenievna Bushuyeva**, Student in Master's Program, Ural state forestry university (USFU), Yekaterinburg

В течение последних двадцати лет особую популярность в крупных и крупнейших городах Российской Федерации стал завоевывать низкопольный подвижной состав общественного транспорта. Несомненным его преимуществом является возможность удобной и быстрой посадки пассажиров, относящихся к маломобильной группе граждан. Вместе с тем низкое расположение пола подвижного состава, а также отсутствие ступеней в значительной мере снижают время посадки-высадки и для обычных пассажиров. А это, в свою очередь, уменьшает общее время выполнения рейса на маршруте.

Однако точные данные, указывающие, насколько быстрее пассажиры выходят из низкопольного подвижного состава, чем из высокопольного, на данный момент остаются малоизученными. Анализ отечественной литературы по данному вопросу показал, что в расчетных формулах и моделях время посадки-высадки пассажиров не разделяется отдельно на низкопольный и высокопольный подвижной состав.

В практике организации перевозок городским пассажирским транспортом при расчете пропускной способности остановок широкое распространение получили формулы (1–5):

$$N_0 = \frac{3600}{T_0}, \quad (1)$$

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (2)$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot l_0}{v}}, \quad (3)$$

$$t_2 = \frac{\Delta \cdot q \cdot t'}{n_d \cdot \varepsilon}, \quad (4)$$

$$t_4 = \sqrt{\frac{2 \cdot l_0}{a}}, \quad (5)$$

где  $T_0$  — продолжительность занятия остановочного пункта транспортным средством, с;  $t_1$  — затраты времени на маневрирование при подъезде к остановочному пункту, с;  $t_2$  — затраты времени на посадку и высадку пассажиров, с;  $t_3$  — затраты времени на подачу сигнала и закрытие дверей (в расчетах  $t_3 = 3$  с);  $t_4$  — затраты времени на освобождение остановочного пункта, с;  $\Delta$  — доля пассажиров, осуществляющих посадку и высадку на данном остановочном пункте, от номинальной вместимости транспортного средства;  $q$  — номинальная вместимость, пасс.;  $t'$  — затраты времени на посадку и высадку одного пассажира (зависят от типа транспортного средства, оборудования остановочного пункта;  $t' = 1,5$  с), с/пасс.;  $n_d$  — количество дверей;  $\varepsilon$  — коэффициент неравномерности распределения пассажиров между дверьми автобусов;  $a$  — величина ускорения при разгоне, м<sup>2</sup>/с [1].

Как видно из формулы (4), время посадки-высадки одного пассажира принято в данной методике равным 1,5 с. Кроме того, в методике нет разделения в зависимости от типа подвижного состава. С одной стороны, это связано с тем, что методика была разработана достаточно давно, когда весь подвижной состав был высокопольным. С другой стороны, в советский период на маршрутах городского транспорта использовался в основном подвижной состав большого и особо большого класса. При этом проблемы перегруженности остановок подвижным составом в тот период времени практически не возникали. Еще более грустно в те годы обстояла ситуация с маломобильной группой граждан. Подвижной состав, инфраструктура улиц и зданий не были приспособлены под нужды инвалидов, женщин с колясками или пожилых людей.

Более детально затраты времени на посадку-высадку пассажиров в подвижной состав общественного транспорта представлены в американском руководстве Highway Capacity Manual 2000 [2]. Здесь приведены данные по времени входа и выхода пассажиров на автобусах различного типа, имеющих от одной до шести дверей. При этом руководство отражает в большей мере ситуацию, принятую с общественным транспортом в США, где на автобусе большого класса может быть установлена одна дверь. Как и в методике, описанной в [1], американское руководство не учитывает разделение на подвижной состав с высоким и низким полом (табл. 1).

На современном этапе организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом все большую популярность получают такие виды систем, как легкорельсовый транспорт (от английского Light rail transit — LRT) и скоростные автобусные перевозки (от английского Bus rapid transit — BRT). При организации подобных систем специалисты и проектировщики достаточно давно озаботились проблемой скорости сообщения подвижного состава и времени посадки-высадки пассажиров. Анализ материалов, представленных в «Руководстве по планированию скоростных автобусных перевозок» [3], показал, что на время посадки-высадки пассажиров влияет не только высота пола подвижного состава, но и количество и ширина дверей, а также способ оплаты проезда.

В табл. 2 представлены данные о времени посадки-высадки в салон подвижного состава с различной шириной двери, способом оплаты и высотой пола. Как видно из таблицы, при оплате проезда в автобусе водителю время посадки пассажиров значительно увеличивается.

По данным руководства [3], при оплате проезда у водителя пассажир в среднем тратит на посадку время, равное 3 с. Если сравнивать два одинаковых по вместимости автобуса, с одинаковой шириной дверей, то, как видно из табл. 2, время посадки в низкопольный автобус происходит несколько быстрее. Для высокопольного автобуса время посадки одного пассажира составит 2 с, а для низкопольного — 1,5 с.

Таблица 1

**Затраты времени на посадку-высадку пассажиров [2]**

Тип транспортного средства	Наличие дверей		Время посадки, с/пасс. <sup>1</sup>		Время выхода, с/пасс.
	Число	Расположение	Оплата на входе	Оплата на выходе одной монетой без сдачи	
Автобусы большой вместимости	1	впереди	2	2,6–3	1,7–2
	1	сзади	2	—	1,7–2
	2	впереди	1,2	1,8–2	1–1,2
	2	сзади	1,2	—	0,9
	2	впереди и сзади <sup>2</sup>	1,2	—	0,6
	4	впереди и сзади <sup>3</sup>	0,7	—	0,8
Автобусы особо большой вместимости	3	впереди, сзади и посередине	0,9 <sup>3</sup>	—	0,8
	2	сзади	1,2 <sup>4</sup>	—	—
	2	впереди и сзади <sup>2</sup>	—	—	0,6
Специальные автобусы	6	впереди, сзади и посередине <sup>2</sup>	0,5	—	0,4
	6	три двойных двери <sup>5</sup>	0,5	—	0,4

<sup>1</sup>Интервал между последовательно входящими и выходящими пассажирами.

<sup>2</sup>На каждую дверь.

<sup>3</sup>Меньшее использование разделенных дверей для одновременной посадки и высадки пассажиров.

<sup>4</sup>Двойная задняя дверь, обеспечивающая разделение входящих и выходящих потоков.

<sup>5</sup>Специализированный подвижной состав, перевозящий большое количество пассажиров на короткие дистанции, например в аэропортах.

Таблица 2

**Влияние конструкции подвижного состава и остановочной площадки на время посадки-высадки пассажиров [3]**

Метод сбора оплаты за проезд	Ширина двери	Тип остановки	Высота пола автобуса	Наблюдаемое время посадки	Наблюдаемое время высадки
В автобусе, вручну, водителем	0,6 м	Обычная остановка	Высокий	3,0	Нет данных
В автобусе, смарт-картами (без турникетов)	0,6 м	Обычная остановка	Высокий	2,0	Нет данных
Вне автобуса	0,6 м	Обычная остановка	Высокий	2,0	1,5
Вне автобуса	0,6 м	Обычная остановка	Низкий	1,5	1,2
Вне автобуса	1,1 м	Обычная остановка	Высокий	1,5	1,0
Вне автобуса	1,1 м	Обычная остановка	Низкий	1,1	0,9
Вне автобуса	1,1 м	Платформа в уровень с полом автобуса	Высокий	0,75	0,5

**Влияние типа подвижного состава на провозную способность и время посадки-высадки пассажиров [3]**

Тип автобуса	Среднее время задержки на остановке, с	Среднее время посадки и высадки одного пассажира, с	Провозная способность полосы движения, пасс./ч	Пропускная способность полосы движения, ед./ч
Автобус малого класса	10	3,0	1137	76
Автобус среднего класса	11	3,0	1575	45
Автобус большого класса	12	3,0	1867	27
Автобус особо большого класса с кондуктором	13	1,5	3777	24
Автобус двойного сочленения с кондуктором	14	1,5	4019	17
Низкопольный автобус особо большого класса с кондуктором	13	1,0	5120	32
Низкопольный автобус двойного сочленения с кондуктором	14	1,0	5574	23
Автобус особо большого класса с оплатой вне автобуса	13	0,3	9779	61
Автобус двойного сочленения с оплатой вне автобуса	14	0,3	12169	51

В практике организации скоростных автобусных систем довольно часто применяют подвижной состав с высоким полом совместно с высокими платформами. Подобная схема посадки пассажиров используется в системах метро.

Как видно из табл. 3, применение таких схем значительно ускоряет процесс посадки-высадки пассажиров. Так, на вход одного пассажира в среднем необходимо 0,75 с, а для выхода — 0,5 с.

Снижение времени посадки-высадки пассажиров на автобусах с низким полом, а также использование платформ позволяет в значительной мере повысить провозную способность полосы движения, предназначенной для общественного транспорта. Так, автобусы двойного сочленения могут перевозить до 12 тысяч пассажиров в час в одном направлении (табл. 3). Пассажиропотоки такого уровня практически не наблюдаются в городах с населением менее 1 млн жителей. А в городах-миллионниках подобные пассажиропотоки можно наблюдать на 2–3 участках, проходящих через центр города.

Необходимо отметить, что данные табл. 2 и 3 соответствуют определенным условиям, которые организованы при автобусных перевозках в разных городах мира. Однако российские условия организации пассажирских перевозок могут в значительной мере отличаться

от принятых в руководстве [3]. В связи с этим авторы статьи провели экспериментальные исследования процесса посадки-высадки пассажиров на подвижном составе общественного транспорта различного типа. Для этого перед проведением исследований подвижной состав разделили на несколько классов в зависимости от конструкции и условий посадки-высадки пассажиров (табл. 4).

В процессе натурных обследований фиксировалось время, которое необходимо для входа первого и последующих пассажиров. При этом временем начала эксперимента считался момент полного открытия дверей исследуемого подвижного состава.

Группу пассажиров, осуществляющих посадку и высадку, в данном исследовании авторы назвали очередью. Так как генеральная совокупность состоит из бесконечного множества объектов, то объем сплошной выборки принимаем  $n \geq 50$  очередей.

Средняя величина рассчитывается как показатель, который позволяет получить обобщенную характеристику совокупности единиц по определенному признаку:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{ij}}{n}, \quad (6)$$

Габаритные размеры подвижного состава общественного транспорта различного класса

Класс	Расстояние от проезжей части до пола, мм	Ширина/высота дверей, мм	Открытие дверей	Оборудование для маломобильных групп населения и женщин с детьми (колясками)	Ширина прохода между сиденьями, максимальная/минимальная, мм
1	0	1250/1900	автоматическое	да	1220
2	около 300	1320/1900	автоматическое	да	1010/550
3	более 700	1200/2070	автоматическое	нет	1010/550
4	575/1315	760/1965	автоматическое	нет	486
5	825	1010/1840	ручное/автоматическое	нет	450

где  $\bar{X}_i$  — среднее арифметическое для  $i$ -го пассажира в очереди,  $s; X_{ij}$  — интервал движения  $j$ -го пассажира, находящегося в очереди  $i$ -м,  $s; n$  — общее количество пассажиров, находящихся в очереди  $i$ -ми.

Рассчитываем средние арифметические величины для каждого порядкового номера пассажиров в очереди ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ), для всех групп пассажиров отдельно.

Логично, что процесс входа и выхода из вагона метро более удобный и быстрый, чем из микроавтобусов типа «Газель». Метрополитен обычно имеет высокий пол вагона и аналогичную высоту посадочной платформы станции. Это позволяет пассажирам входить и выходить из вагона, не используя ступеней. Кроме того, ширина дверей вагонов метро такова, что одновременно можно выходить двум пассажирам.

Микроавтобусы марки «Газель» зачастую имеют одну сдвижную дверь, высота которой не позволяет входить в салон, не нагибаясь. Наличие ступеней в салоне увеличивает время выхода из автобуса, особенно для пожилых людей с сумками. В связи с вышесказанным подвижной состав общественного транспорта был разделен на 5 классов в зависимости от качества процесса посадки-высадки (данные по всем классам подвижного состава представлены в табл. 4).

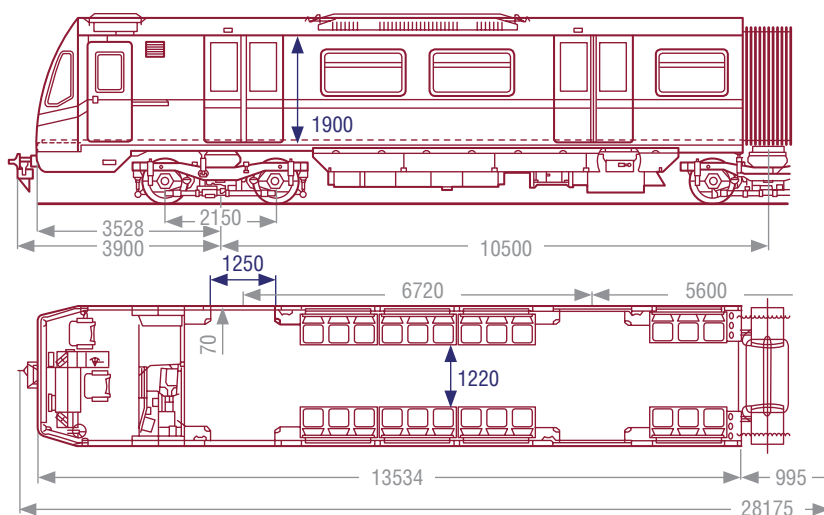


Рис. 1. Габаритные размеры подвижного состава 1-го класса

К подвижному составу 1-го класса относятся вагоны метрополитена. Вагоны метро отечественного производства имеют несколько двойных дверей выше человеческого роста, при этом высота платформы станции совпадает с высотой пола внутри вагона. Это означает, что пассажиру нет необходимости подниматься по ступенькам. Вагоны метро имеют двухстороннее расположение дверей, а напротив каждого входа обустроена площадка для стоящих пассажиров. Кроме того, в вагонах метро сиденья расположены боком по ходу движения поезда, что позволяет организовать широкие проходы между сиденьями. Такая ширина прохода (1220 мм) позволяет разместить

двух пассажиров между сиденьями без особых затруднений (рис. 1).

Обработка данных о времени посадки-высадки пассажиров позволила построить графики времени, потраченного первыми и последующими пассажирами при входе и выходе из вагона метро. Как видно из графика на рис. 2, процесс выхода пассажиров из вагона метро происходит несколько медленнее, чем вход. При этом первый пассажир при входе и выходе тратит меньше всего времени, второй и последующие пассажиры входят в вагон все медленнее и медленнее. Если на вход первого пассажира тратится в среднем 0,17 с, то десятый пассажир входит примерно 1,3 с.



Рис. 2. Результат исследования процесса посадки-высадки пассажиров подвижного состава 1-го класса:

— вход; — выход

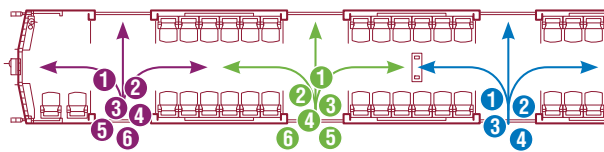


Рис. 3. Схема распределения пассажиров при входе в вагон метро

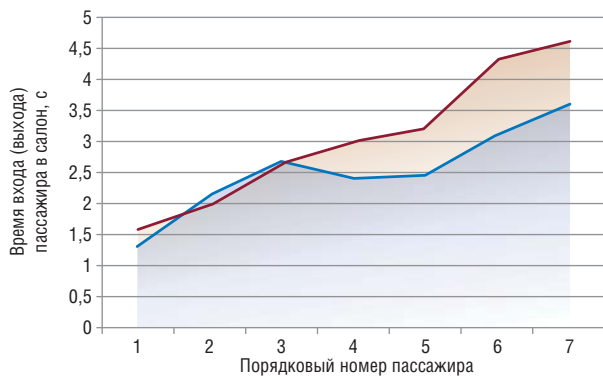


Рис. 4. Результат исследования процесса посадки-высадки пассажиров подвижного состава 2-го класса:

— вход; — выход

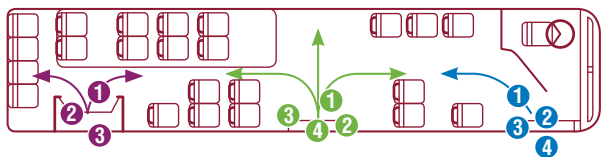


Рис. 5. Схема распределения пассажиров при входе в автобус 2-го класса

Столь своеобразный процесс увеличения среднего времени, необходимого пассажиру для выхода или входа в вагоны метро, вызвал большой интерес, поэтому исследователи более детально изучили процесс входа пассажиров в вагон метро.

Как видно из рис. 3, вагоны метрополитена имеют напротив каждого входа площадку для размещения

стоящих пассажиров. Когда пассажиры входят в салон, они постепенно распределяются внутри вагона. Одни проходят налево, другие направо, некоторые остаются на площадке. Первые пассажиры, которые входят в салон, выполняют это достаточно быстро. По мере заполнения проходов и площадок вагона процесс входа затормаживается, поскольку свободных мест становится все меньше и меньше, а пространства для маневра практически не остается.

Если сравнить данные, полученные в результате экспериментов, и значения, представленные в табл. 2 и 3, становится очевидным, что они достаточно близки по значению. То есть скоростные автобусы, использующие в качестве остановок высокие платформы, соизмеримы по скорости посадки-высадки с традиционным метрополитеном.

К подвижному составу 2-го класса были отнесены трамваи, троллейбусы и автобусы с низким полом. В подвижной состав данного класса входит несколько сложнее, чем в вагоны метрополитена. Несмотря на то что низкий пол улучшает качество работы подвижного состава, все равно остается одна ступень, которую необходимо преодолеть пассажиру.

Подвижной состав 2-го класса должен иметь несколько двойных дверей выше человеческого роста. При этом высота пола должна составлять примерно 300 мм от уровня проезжей части (табл. 4). Пол в салоне полностью одинаковый и не имеет ступеней.

Обработка данных о времени посадки-высадки пассажиров подвижного состава 2-го класса показала несколько иные результаты. Как видно из графика на рис. 4, процесс выхода пассажиров из автобуса происходит несколько медленнее, чем вход. При этом первый пассажир тратит на вход в среднем 1,34 с, в то время как у седьмого пассажира на это уходит 3,6 с. Как и в случае с метрополитеном, каждый последующий пассажир тратит на вход в подвижной состав все больше и больше времени.

В автобусах 2-го класса проходы между сиденьями значительно уже, чем в вагонах метро (рис. 5). Особенно узкие проходы в той части салона, где установлены два двойных сиденья. Здесь ширина прохода составляет всего 550 мм (табл. 4). Перемещаться по таким проходам для большинства взрослых людей удобно только боком. В связи с этим становится понятным, почему процесс посадки пассажиров в салон автобуса при большом их количестве так затягивается.

К подвижному составу 3-го класса были отнесены трамваи, троллейбусы и автобусы с высоким полом. Как и подвижной состав 2-го класса, данный общественный транспорт имеет несколько двойных дверей с высотой выше человеческого роста. Высота пола салона составляет 700 и более миллиметров и зависит от конкретной марки подвижного состава (табл. 4). Для осуществления посадки (высадки) пассажиру необходимо преодолеть три ступени, что увеличивает общее время

нахождения подвижного состава на остановке. Данный класс подвижного состава не оборудован средствами для посадки/высадки маломобильной группы граждан. Особенно это касается инвалидов-колясочников. Габаритные размеры подвижного состава 3-го класса показаны на рис. 6.

Данные о времени посадки-высадки пассажиров подвижного состава 3-го класса представлены на рис. 7. Как видно из графика, первый пассажир тратит на вход в автобус с высоким полом в среднем 1,9 с, в то время как у шестого пассажира на это уходит 4,7 с. Как и в случае с низкопольными автобусами, каждый последующий пассажир тратит на вход в подвижной состав все больше и больше времени.

Если сравнить данные графиков рис. 4 и 7, то можно сделать вывод, что применение низкопольного подвижного состава ускоряет процесс посадки пассажиров на 20–30 % по сравнению с высокопольным. Что, в свою очередь, снижает общее время нахождения подвижного состава на остановке. Отдельный анализ данных процесса посадки-высадки пассажиров старше 60 лет показал, что низкопольный подвижной состав для пожилых людей предпочтительнее, поскольку сокращает время посадки на 30–40 %.

К подвижному составу 4-го класса авторы отнесли автобусы среднего класса с одинарной дверью высотой выше человеческого роста. Обычно автобусы данного класса имеют одну или две ступени, что также увеличивает время посадки/высадки пассажиров (рис. 8). Кроме того, автобусы 4-го класса пассажирского транспорта обычно не оборудованы устройствами для посадки/высадки маломобильных групп населения и женщин с колясками.

Автобусы среднего класса в советский период крайне редко использовались для перевозки пассажиров на маршрутах городского транспорта. Данный тип автобусов больше подходил для перевозки рабочих бригад, пассажиров в пригородном направлении, а также широко использовался в сельской местности. В 90-е годы автобусы данного класса стали популярны у частных перевозчиков по причине их дешевизны и относительно небольших размеров.

Высота пола автобусов среднего класса таких марок, как ПАЗ и «Богдан», несколько ниже, чем у высокопольных автобусов марки МАЗ, НЕФАЗ. В свою очередь, пассажиры, входящие в салон автобусов среднего класса, испытывают меньшие затруднения, чем при входе в автобус большого класса. Как видно из графика, представленного на рис. 9, на вход первого пассажира тратится в среднем 1,58 с, что несколько меньше, чем данные по высокопольным автобусам 3-го класса. Последующие пассажиры входят в автобус гораздо медленнее. Так, пятому пассажиру для посадки требуется уже 3,9 с. Причины замедления здесь такие же, как и в автобусах большого класса.

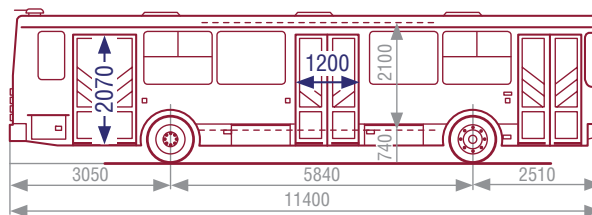


Рис. 6. Габаритные размеры автобуса, относящегося к подвижному составу 3-го класса

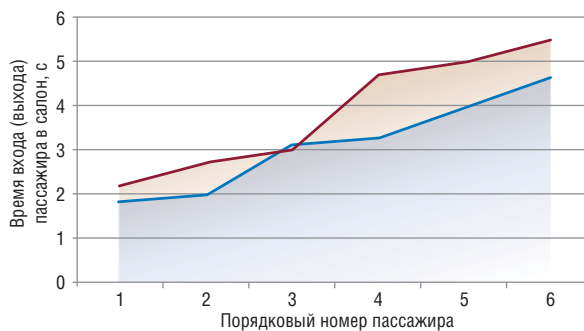


Рис. 7. Результат исследования процесса посадки-высадки пассажиров подвижного состава 3-го класса:

— вход; — выход

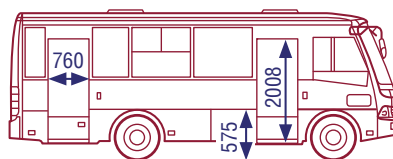


Рис. 8. Габаритные размеры автобуса 4-го класса «Богдан»

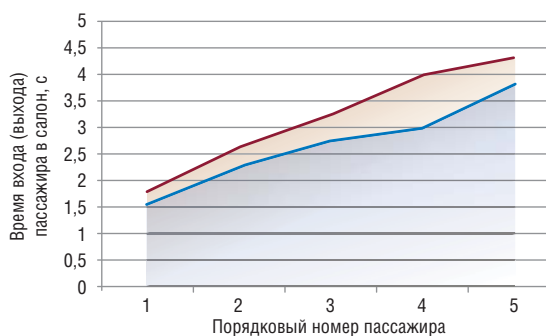


Рис. 9. Результат исследования процесса посадки-высадки пассажиров подвижного состава 4-го класса:

— вход; — выход

Если детально рассмотреть схему автобуса среднего класса (рис. 10), то видно, что площадь, предназначенная для размещения стоящих пассажиров, здесь достаточно маленькая. Если в салоне заняты все сидячие места и несколько пассажиров стоят в проходах, то новым людям заходить в автобусы среднего класса очень неудобно. Узкие проходы затрудняют маневрирование пассажиров в салоне, что существенно сказывается на времени нахождения автобуса на остановочном пункте.

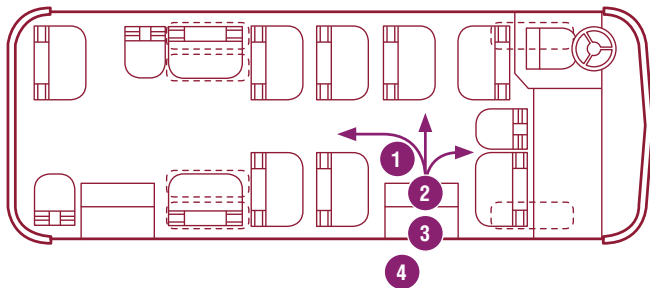


Рис. 10. Схема распределения пассажиров при входе в автобус 4-го класса

К подвижному составу 5-го класса были отнесены автобусы малого и особого малого классов с одной дверью, которая имеет высоту ниже человеческого роста. Пассажирам таких автобусов при входе и выходе приходится нагибаться, что увеличивает время нахождения автобуса на остановке (рис. 11).

В автобусах данного класса имеется только одна дверь, которая в большинстве случаев открывается не автоматически, а вручную. Данный класс автобусов не оборудован для перевозки маломобильных групп населения.

Для сравнительного анализа процессов посадки-высадки пассажиров для подвижного состава различного класса полученные данные были сведены в один график (рис. 12, 13).

Как видно из рисунков, разница между уровнем платформы остановки и уровнем пола салона оказывает огромное влияние на скорость входа и выхода пассажиров. Пассажиры метро практически в 4 раза быстрее заходят в вагон, чем в автобус с низким полом. Наличие широких проходов внутри салона и накопительных площадок также оказывает существенное влияние на время, проведенное транспортным средством на остановке. Чем больше пассажиров на остановке планируют посадку в автобус, тем медленнее пассажиры заходят в подвижной состав и выходят из него.

Высота дверей и их количество также оказывают влияние на процесс посадки-высадки пассажиров. Автобусы марки «Газель» и «Форд» оборудованы сдвижной дверью высотой меньше, чем рост среднего пассажира. Как видно из рис. 12 и 13, подобное ограничение в значительной мере снижает скорость посадки пассажиров в салон. При этом время посадки каждого последующего пассажира растет гораздо быстрее, чем в автобусы среднего и большого класса.

В заключение необходимо отметить, что использование низкопольного подвижного состава действительно уменьшает время, проведенное на остановке. При этом в крупных и крупнейших городах России необходимо более широкое использование подобного подвижного состава. Кроме того, из приведенных материалов видно, что чем выше пассажиропоток на маршруте или на определенной магистрали, тем более вместительный подвижной состав на нем нужно использовать. Одновременно с вместимостью необходимо не забывать о количестве дверей и наличии накопительных площадок для стоящих пассажиров. **ИТ**



Рис. 11. Высадка пассажиров из автобуса 5-го класса

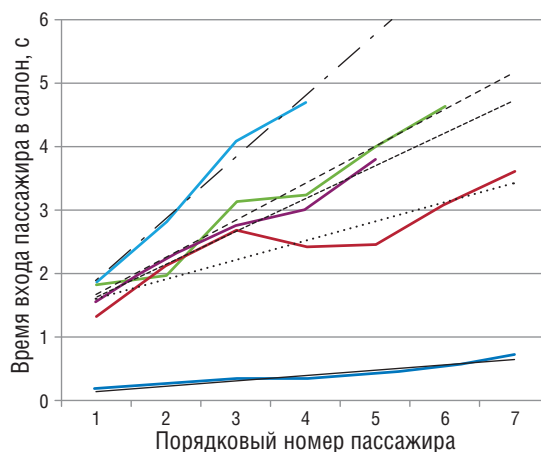


Рис. 12. Время посадки в салон подвижного состава различного класса в зависимости от порядкового номера пассажира:

— 1 класс; — 2 класс; — 3 класс;  
— 4 класс; — 5 класс;  
— линейная (1 класс); ..... — линейная (2 класс);  
- - - линейная (3 класс); - - - - линейная (4 класс);  
· · · · · линейная (5 класс)

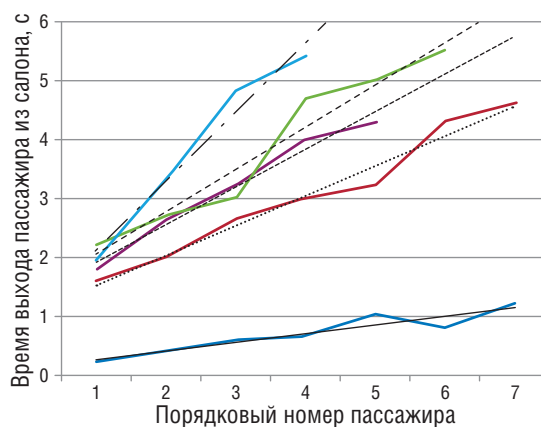


Рис. 13. Время выхода из салона подвижного состава различного класса в зависимости от порядкового номера пассажира:

— 1 класс; — 2 класс; — 3 класс;  
— 4 класс; — 5 класс;  
— линейная (1 класс); ..... — линейная (2 класс);  
- - - линейная (3 класс); - - - - линейная (4 класс);  
· · · · · линейная (5 класс)



## **Список литературы / Reference**

1. Коссой Ю. М., Поначугин В. А., Ширин В. Н. Организация движения и пассажирских перевозок на городском электрическом транспорте : учебник для студентов высших учебных заведений. — М. : Изд-во Академия, 2002. — 271 с.
2. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, DC (2000).
3. Скоростные автобусные перевозки. Руководство по планированию / Институт политики транспорта и развития. — 3-е изд. — 2007. — 1004 с.

*Объем статьи: 0,9 авторских листа*



Юлия  
Станиславовна  
Зиновьева

Julia S.  
Zinovieva



Валерий  
Михайлович  
Самуйлов

Valeriy M.  
Samuylov



Дмитрий  
Германович  
Неволин

Dmitry G.  
Nevolin

## ВСМ Екатеринбург — Челябинск как значимый проект для развития Уральской агломерации

### HSM Yekaterinburg – Chelyabinsk as an important project of Ural agglomeration

#### Аннотация

В статье исследуется влияние реализации проекта высокоскоростной магистрали Екатеринбург — Челябинск на развитие территорий Уральской агломерации, отмечены возможные социально-экономические эффекты. Рассмотрены этапы реализации проекта, планируемый объем финансирования, схема трассы ВСМ, сопутствующая инфраструктура. Определены перспективы региона как «соединительного звена» в международном транспортном коридоре. Сделан вывод о том, что строительство и эксплуатация высокоскоростной магистрали Екатеринбург — Челябинск положительно повлияет на развитие экономики региона и повысит инвестиционную привлекательность крупных проектов.

**Ключевые слова:** высокоскоростная магистраль, Екатеринбург, Челябинск, Уральская агломерация, транспортная ситуация, скорость перевозок.

#### Abstract

The article explores the influence of realization of Yekaterinburg-Chelyabinsk high speed main line project on Ural agglomeration territory development, possible social and economic effects are pointed out. The project realization stages, planned amount of funding, HSML circuit, related infrastructure are looked upon. The prospects of the region as “a connecting link” in international transport corridor are identified. A conclusion is drawn about the fact that building and operation of high speed main line Yekaterinburg-Chelyabinsk will positively influence the development of regional economy and increase investment attractiveness of major projects.

**Keywords:** high speed main line, Yekaterinburg, Chelyabinsk, Ural agglomeration, transport situation, traffic speed.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-16-20

#### Авторы Authors

Юлия Станиславовна Зиновьева, студент 3 курса Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: ms.zinoveva2000@mail.ru | Валерий Михайлович Самуйлов, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: innotrans@mail.ru

Julia Stanislavovna Zinovieva, 3rd-year student, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: ms.zinoveva2000@mail.ru | Valeriy Mikhailovich Samuylov, Dr. of Tech. Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor, World Economy and Logistics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | Dmitry Germanovich Nevolin, Dr. of Tech. Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor, Head of the Department «Designing and Exploitation of Automobiles» of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru

Создание и развитие новых видов транспорта, к которым относится и высокоскоростное движение, является неотъемлемой частью развития экономики, промышленности и государства в целом и существенно влияет на нашу жизнь. Высокоскоростные магистрали (ВСМ) — приоритет современной транспортной политики, один из элементов конкурентоспособности национальной экономики. Россия в этом плане не исключение. Проект реализации высокоскоростной железнодорожной сети в России, включенный в Транспортную стратегию Российской Федерации на период до 2030 г., предусматривает строительство линий протяженностью 4200 км со скоростью более 200 км/ч, модернизацию 7000 км линий со скоростью 160–200 км/ч, создание новой экономической и социальной карты страны [1].

Всего в мире построено более 30 тыс. км высокоскоростных железных дорог. Несомненным лидером в этом вопросе является КНР, которая в 2008 г. ввела первую линию между городами Пекин и Чанджоу. Сегодня сеть ВСМ в Китае насчитывает 16 тыс. км, а к концу года достигнет 20 тыс. км. Неслучайно возникла идея строительства высокоскоростного железнодорожного транспортного коридора «Москва — Пекин» [2].

В августе 2014 г. во время заседания межправительственной комиссии в присутствии премьеров стран был подписан меморандум о начале реализации этого проекта. В мае 2015 г. между Министерством транспорта РФ, ОАО «РЖД», Комитетом по реформам и развитию Китая, Китайскими железными дорогами в присутствии глав государств подписан меморандум об условиях и этапах реализации проекта высокоскоростного железнодорожного коридора «Москва — Пекин» и реализации первого пилотного участка Москва — Казань на территории Российской Федерации. Проект включает в себя строительство железной дороги протяженностью 7 тыс. км, обеспечивает уменьшение времени в пути в 4 раза, считается крупнейшим проектом в мире — по масштабам его можно сравнить со строительством Суэцкого и Панамского каналов [2]. Проект высокоскоростной железной дороги должен обеспечить таким странам, как Китай и Россия, достойную конкурентоспособность на международном рынке.

Общая длина железнодорожной дороги составит 7 тысяч километров, из которых 3200 км от Пекина по территории Китая уже построено. Скоростная железная дорога Москва — Пекин обойдется странам в 7 триллионов рублей. Китайские партнеры готовы вложить в строительство необходимую сумму, эквивалентную 4 триллионам рублей, все остальные расходы будут возложены на российский бюджет.

Время в пути составит приблизительно 32 часа вместо 5 суток в настоящее время. Трасса впервые будет рассчитана на обращение как пассажирских, так и грузовых контейнерных поездов. Примерная стоимость всей железнодорожной линии через Казань, Екатеринбург, Челя-

бинск, Нур-Султан расценивается в 242 млрд долларов.

Проект строительства высокоскоростной магистрали Челябинск — Екатеринбург является одним из направлений транспортной стратегии России до 2030 года. Согласно планам разработчиков проекта, новая железная дорога соединит два города-миллионника, а также населенные пункты между ними.

Цель проекта: развитие Уральского макрорегиона, наращивание его производственного потенциала, улучшение инфраструктурного освоения (транспортной обеспеченности) его территорий и обеспечение национальной безопасности России через формирование объединенной транспортно-логистической системы (ТЛС) для решения следующих задач:

1. Обеспечение устойчивых транспортных связей между субъектами УрФО, областями, смежными макрорегионами, перспективными центрами экономического роста РФ.

2. Осуществление процессов размещения производства на территории УрФО.

3. Реализация транзитного потенциала Уральского макрорегиона, обеспечение его связующей роли между европейской и азиатской частями РФ и международного транзита.

4. Формирование и развитие транспортно-логистических комплексов на геостратегических и приграничных территориях Уральского макрорегиона.

5. Создание новых транспортных схем, с целью реализации экспортного потенциала промышленности Уральского макрорегиона через вхождение в систему международных транспортных коридоров.

### Предпосылки формирования объединений ТЛС УрФО

1. Уникальное транспортно-географическое положение Свердловской и Челябинской областей на стыке региональных и глобальных евразийских континентальных транспортных связей.

*Свердловская область.* Через Свердловскую область проходят важнейшие международные транспортные коридоры:

- 1) МТК-2 (Берлин — Москва — Нижний Новгород — Екатеринбург);

- 2) Транссибирская магистраль (Москва — Екатеринбург — Дальний Восток) связывает Центральную Европу с Дальним Востоком и далее с выходом на Китай;

- 3) МТК «Север — Юг» (Санкт-Петербург — Нижний Новгород — Астрахань — страны Персидского залива и Ближнего Востока).

Продление МТК-2 через города Пермь и Екатеринбург позволит Пермскому речному порту организовать перевозки грузов по внутренним водным путям РФ.

**Челябинская область.** Челябинск является одним из крупнейших транспортных узлов РФ. Создание мировых транспортных коридоров открывает строительство новой архитектуры евроазиатских транспортных коридоров.

Проектом предполагается создание двухпутной электрифицированной железнодорожной магистрали протяженностью около 218 км. Стоимость строительства участка ВСМ от Екатеринбурга до Челябинска оценивается в 360 млрд руб. На УВСМ будут запущены два типа поездов: высокоскоростные (ВСП) со скоростью движения до 300 км/ч и ускоренные региональные поезда (УРП) со скоростью движения до 160 км/ч. В маршрут высокоскоростного поезда планируется включить пять станций: Екатеринбург, аэропорт Кольцово, Касли, Челябинск, Челябинский международный аэропорт Бalandино. Ускоренный региональный поезд в дополнение охватит станции Сысерть, Снежинск (рис. 1). При этом в г. Касли создается мультимодальный пересадочный узел [4].

Целевое время в пути высокоскоростных поездов — до 1 часа 10 минут. Для сравнения: сегодня дорога из Челябинска в Екатеринбург на поезде занимает 5 часов, на автобусе — 4 часа, на автомобиле — 2,5 часа. Экономия времени, по предварительным оценкам, составит около 50–55 % по отношению к личному автомобильному транспорту при поездках в Екатеринбург и Челябинск и около 77 % — по отношению к пригородному железнодорожному транспорту. По предварительным расчетам, скоростная ж/д магистраль оттянет на себя почти четверть существующих пассажиропотоков [4].

В перспективе высокоскоростной участок Челябинск — Екатеринбург станет частью большого транспортного пути Москва — Пекин. В связи с этим 30–31 мая 2016 г. на Российско-Китайском форуме малого и среднего бизнеса в Сочи президент корпорации «Китайские железные дороги» Ли Чанцинъ заявил о намерении участия КНР в реализации данного проекта. В случае непосредственного участия китайская сторона готова взять на себя обязанности по геологическим исследованиям проекта, совершенствованию его экономической структуры и частичному финансированию [3]. По предварительным подсчетам, совокупный прирост ВВП в результате строительства и эксплуатации ВСМ может превысить триллион рублей за период до 2030 г. Подобное территориальное объединение позволит создать третью по величине агломерацию в стране [5].

Формирование крупных современных агломераций обеспечивает следующие эффекты:

1. Агломерация предоставляет населению дополнительные возможности доступа к научной, производственной и культурной информации, возможность выбора вида работ, доступа к учебным, медицинским и культурным заведениям.

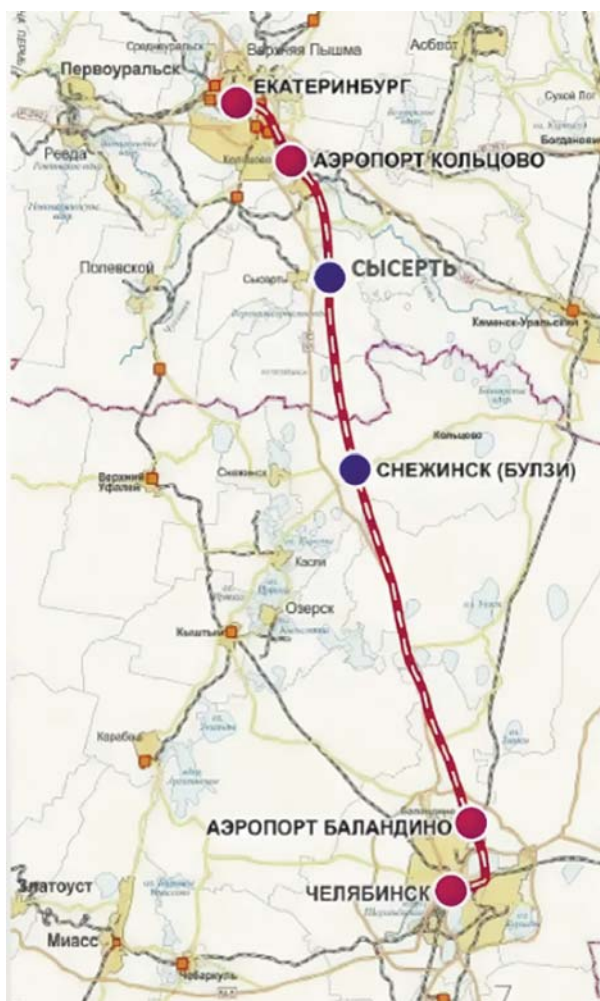


Рис. 1. Маршрут высокоскоростной магистрали Екатеринбург — Челябинск

Таблица 1

### Маршрут скоростного поезда «Екатеринбург — Челябинск»

Остановки на маршруте	Время в пути от Екатеринбурга	Время в пути от Челябинска
Екатеринбург	—	1 час 10 мин
Аэропорт Кольцово	10	1 час 00 мин
Сысерть	30–35 мин	1 час 20 мин
Снежинск	—	—
Касли	37 мин	33 мин
Челябинск	1 час 10 мин	—

*Примечание:* станции, выделенные синим цветом, являются пунктами для запуска ускоренного регионального поезда (УРП) со скоростью движения до 160 км/ч.

2. Возникает эффект масштаба для региональной экономики, торговли, развиваются перспективные производства товаров потребительского рынка и сектор услуг. Возникновение агломерации создает благоприятные условия для прихода в регион крупного бизнеса, а также дает возможность местным компаниям дорастать до лидеров рынка.

3. Создание емкого и разнообразного рынка труда. У людей появляется возможность быстро найти работу, отвечающую их квалификации и личной жизненной стратегии.

На текущий момент находятся в проработке следующие этапы проекта:

1. Создание специальной проектной компании для разработки технико-экономического обоснования проекта строительства магистрали (2016 г.).

2. Разработка технико-экономического обоснования проекта. Определение инвестора. Подготовка и выход с предложением о заключении концессионного соглашения в соответствии с Федеральным законом от 21.07.2005 № 115-ФЗ «О концессионных соглашениях» (2017 г.).

3. Разработка проектно-сметной документации (2017–2018 гг.).

4. Строительство высокоскоростной магистрали (2019–2023 гг.).

В глобальной перспективе ВСМ Челябинск — Екатеринбург должна стать частью транспортного проекта «Евразия», который будет проходить по маршруту Берлин — Москва — Нур-Султан — Пекин [6].

ВСМ «Евразия» является глобальным проектом, который должен стать важнейшим связующим элементом в системе транспортных коммуникаций Евразии и обеспечивать непосредственное сопряжение Евразийского экономического союза с китайским проектом «Экономический пояс Шелкового пути». Общая протяженность магистрали составит около 9,5 тысяч километров, из них 6,7 тыс. км вновь построенных линий, в том числе 2,3 тыс. км по России. В результате будет создана крупнейшая сеть высокоскоростного и скоростного движения протяженностью более 50 тыс. км за счет объединения транспортных систем стран Азии, России и Европы. Этот факт вызывает огромный интерес со стороны как российских, так и иностранных инвесторов к постройке транспортного коридора между городами на Урале. В данный момент известно, что в партнерстве для реализации проекта состоят Свердловская и Челябинская области, а также ОАО «РЖД». К проекту также подключились китайская компания China Railway Group Limited и Петербургский государственный университет путей сообщения [4]. В рамках реализации «Программы организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации до 2030 года» предусмотрена реализация 20 проектов, что позволит организовать более 50 скоростных маршрутов общей протяженностью

более 7 тыс. км. Главные перспективные проекты ВСМ в России — это линии Москва — Казань — Екатеринбург с подключением Уфы и Челябинска, Москва — Санкт-Петербург и Москва — Сочи [3].

Проанализируем возможности, которые предоставляет железная дорога для пассажиров, следующих из Екатеринбурга в Челябинск и в обратном направлении. Воспользуемся для этого официальным сайтом поиска железнодорожных билетов. Для поиска билетов выберем произвольную дату — 08.09.2020 г. Как оказалось, ситуация очень сложная для пассажиров: минимальное время в пути для преодоления 200 км составляет 4 ч 15 мин (т.е. средняя скорость — 47 км/ч). Это слишком долго для дневной поездки и весьма некомфортно для поездок бизнесменов и туристов [7].

Предложения авиационного транспорта изучаем с помощью системы информации о воздушных перевозках Aviasales. Ситуация еще более плачевная: прямых рейсов нет, так как гражданская авиация малой дальности с использованием небольших самолетов отсутствует, а использование больших самолетов на коротких дистанциях нецелесообразно [8].

Рассмотрим предложения общественного автомобильного транспорта на ту же дату, воспользовавшись сайтом поиска билетов на автобус. Ситуация аналогична железнодорожному транспорту. Время поездки составляет около 4 часов, стоимость билета несколько дешевле стоимости билета на ж.-д. транспорте [9].

На основании обзора ближайших конкурентов можно выделить несколько ключевых позиций:

- На маршруте Екатеринбург — Челябинск однозначно существует необходимость уменьшения времени в пути, так как средняя скорость 47 км/ч препятствует активным туристическим и деловым связям между городами.
- Предложения авиационного транспорта показали их нецелесообразность — авиаперелеты стоят достаточно дорого, но при этом за счет дополнительных затрат времени на путь в аэропорт и регистрацию ( $\pm 1,5$ –2 часа) дают небольшой выигрыш во времени, т.е. ключевым является именно суммарное время в пути «от двери до двери». При прочих равных условиях пассажир выбирает более дешевый вариант.

Таким образом, строительство новой высокоскоростной линии необходимо и является прямой реализацией задач развития Свердловской области, где четко отмечена необходимость развития транспортной сети и улучшение связи области с соседями.

При строительстве дороги нельзя забывать об экологии. При трассировании важно учитывать и стараться максимально обходить все природоохранные зоны, а при неизбежном их пересечении — принимать все меры по сокращению ущерба. Так, многие виды млекопитающих мигрируют с одного места на другое в поисках

пищи, лучших условий для проживания и размножения. При строительстве железнодорожных путей необходимо учитывать этот фактор и делать «зеленые мосты» для возможной миграции животных. В некоторых странах уже работают специальные переходы для животных, которые каждый год спасают сотни, а то и тысячи жизней.

В результате выполнения данного исследования был собран большой объем информации, необходимой для обоснованной разработки проекта высокоскоростной магистрали Екатеринбург — Челябинск. Реализация данного проекта позволит достичь ускорения темпов экономического роста и повышения качества жизни населения за счет создания сети высокоскоростного железнодорожного сообщения, обеспечивающего оптимальное для пассажиров соотношение скорости, комфорта и стоимости проезда.

Таким образом, от реализации проекта УВСМ можно ожидать следующих эффектов:

- развития региональных предприятий, участвующих в работе над проектом;
- повышения дохода населения регионов;

- привлечения дополнительных средств в казну Челябинской и Свердловской областей;
- улучшения экологической ситуации за счёт снижения количества выбросов от автомобильного и автобусного транспорта.

Для реализации данного проекта следует остановиться на ряде вопросов, которые позволят сделать его по-настоящему успешным. Среди них — привлечение инвестиций, технико-экономическое обоснование и сравнение с проектом строительства автомобильной магистрали, окупаемость, роль в экономике региона и страны.

К сожалению, в апреле 2020 г. партнерство «Уральская скоростная магистраль», которое занимается разработкой скоростной железнодорожной ветки между Челябинском и Екатеринбургом, уведомило о заморозке плана. Причина заморозки проекта — необходимость направления ресурсов на преодоление социально-экономического кризиса в результате распространения коронавирусной инфекции [10]. После стабилизации ситуации в стране и наступления наиболее благоприятной обстановки проект снова встанет на повестке дня, и команда обеспечит новый импульс его развитию. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Самуйлов В. М., Цяо Цун, Бронников С. А., Каргапольцева Т. А. Организация инновационной деятельности на транспорте (на примере Россия — Китай). — Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2019. — 138 с.
2. Мишарин А. С. Особенности развития инфраструктурного проекта «Евро-азиатский высокоскоростной транспортный коридор «Москва — Пекин» // Инновационный транспорт. — Екатеринбург, 2015. — № 3 (17) — С. 3–5. — ISSN 2311–164X.
3. Специальная компания для реализации проекта ВСМ Екатеринбург — Челябинск создана на Урале // Сайт информационного агентства ТАСС. — URL: <http://tass.ru/uralnews/2765882>.
4. Мишарин А. С. ВСМ между Екатеринбургом и Челябинском станет продолжением транспортного коридора Европа — Азия // Новости Урала. — 10.07.2017. — URL: <http://justmedia.ru>.
5. Петров М. Б., Журавская М. А., Левченко М. А. Пути и возможности формирования дружественной сети регионального и городского общественного транспорта при создании ВСМ // Инновационный транспорт. — 2016. — № 4 (22). — С. 3–8. — ISSN 2311–164X.
6. Карасёва А. А., Васильева М. А. Анализ мирового опыта развития высокоскоростного железнодорожного транспорта // Молодой ученый. — 2016. — № 6. — С. 114–117.
7. Поиск билета // РЖД Пассажирам. — URL: <https://pass.rzd.ru> (дата обращения: 08.09.2020).
8. Авиабилеты // Aviasales. — URL: <https://www.aviasales.ru> (дата обращения: 08.09.2020).
9. Расписание автобусов // Автовокзалы.ру. — URL: <https://www.avtovokzaly.ru> (дата обращения: 08.09.2020).
10. Проект ВСМ Челябинск — Екатеринбург заморожен из-за кризиса // ZNAK.COM — URL: [https://www.znak.com/2020-04-23/proekt\\_vsm\\_chelyabinsk\\_ekaterinburg\\_zamorozhen\\_iz\\_zh\\_krizisa](https://www.znak.com/2020-04-23/proekt_vsm_chelyabinsk_ekaterinburg_zamorozhen_iz_zh_krizisa).

Объем статьи: 0,52 авторских листа



Марина Аркадьевна  
Журавская

Marina A. Zhuravskaya

## Прогнозирование системы показателей транспортного пространства территорий на основе анализа регионов РФ

### Forecasting the system of transport space indicators based on the analysis of the regions's territories in the Russian Federation

#### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы организации транспортных пространств различных территорий и их влияния на эффективность регионов. Для выявления степени влияния выполнен анализ корреляционной связи в региональном аспекте среди 31 субъекта (региона) Российской Федерации. Применен философский подход к прогнозированию показателей транспортного пространства регионов в условиях перехода общества к устойчивому развитию. Проведена систематизация базовых категорий транспортной сети: транспортной доступности и транспортной обеспеченности. Предложена схема показателей транспортного пространства региональных территорий.

**Ключевые слова:** транспортная доступность, транспортная обеспеченность, транспортотдача, устойчивое развитие, пространство-время.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-21-26

#### Авторы Authors

*Марина Аркадьевна Журавская, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия*

*Marina Arkadievna Zhuravskaya, Cand. of tech. sci., Associate Professor, «World Economics and Logistics» Department, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg, Russia*

В настоящее время все большее значение в геополитике различных государств и межгосударственных объединений приобретает пространственная парадигма, а сети крупнейших инфраструктур разных регионов выступают ключевым фактором развития территорий. Важно отметить, что пространственное освоение территории региона включает в себя как минимум развитие трех инфраструктур: энергетической, информационной и транспортной. Однако прогресс территории определяется развитием именно транспортной инфраструктуры. При этом одна из первостепенных ролей отводится формированию транспортной сети как мощному базовому потенциалу для процветания и отдельного региона, и страны в целом. Именно сеть формирует физическое транспортное пространство, а эффективность его развития можно определить с помощью многокритериального анализа территорий регионов.

Путешествуя по России, нельзя не отметить тот факт, что территории различных регионов развиваются очень неравномерно. И красноречивее всего об их экономическом, социокультурном и даже экологическом уровне развития рассказывают автодороги, где буквально на границе двух областей можно наблюдать совершенно разный режим обслуживания, содержания, ремонта, придорожного сервиса. При этом формирование устойчивой системы транспортных потоков является наиболее эффективным решением задачи выравнивания территорий.

Российскими и зарубежными учеными [1] доказана сильная связь между протяженностью автомобильных дорог общего пользования и экономикой региона. Так, в своей статье [2] автор определил уровень корреляции, равный 0,79, между ВРП на душу населения и протяженностью автосети. О приросте объема валового регионального продукта при повышении объемов перевозки грузов и финансирования дорожного хозяйства округа говорится и в ра-



Рис. 1. Регионы России в разрезе качества автодорог

боте [3], где коэффициент корреляции составил 0,6. А в исследовании [4] отмечается необходимость учета показателей обеспеченности территории сетью дорог для текущей оценки конкурентоспособности экономики региона и разработки комплекса мероприятий по повышению эффективности и привлекательности региона в будущем. Однако в настоящее время отсутствует система показателей оценки функционирования транспортных систем регионов, что препятствует выработке ясных стратегий пространственного развития макротерриторий страны. Очевидно, что разработка такой системы показателей транспортного пространства с целью решения первоочередных задач развития территории — важная тема дня.

В связи с вышесказанным, целью данной статьи стало прогнозирование системы показателей транспорта на основе анализа влияния транспортных систем различных регионов России на пространственное развитие своих территорий. В течение последних десятилетий автор, как независимый эксперт Министерства транспорта и связи Правительства Свердловской области, вел свои наблюдения за состоянием транспортных сетей наземных видов транспорта различных регионов Российской Федерации, собирал статистические данные, набирал свой опыт оценки транспортных территорий, изучал опыт других экспертов и т.д.

Интересной показалась работа [5], где по данным Росстата представлена доля хороших дорог в регионах РФ (рис. 1).

Оценочная шкала в этой работе построена по принципу светофора: регионы, выделенные красным цветом, имеют низкое качество дорог, здесь как бы говорят движению: «Нет», а регионы, отмеченные зеленым цветом, отличаются хорошими дорогами, тут «путь открыт». Конечно, это исследование неоднозначно и вызывает определенные вопросы, особенно после знакомства с рейтингом 15 лучших и 15 худших регионов РФ по вопросу содержания и обслуживания автотранспортной инфраструктуры [5] (рис. 2).

Рейтинг выполнен только по одному критерию — «дорожное полотно». Дороги с высоким качеством дорожного покрытия — важная составляющая такого показателя, как «транспортная обеспеченность», однако не менее важным является и показатель «транспортная доступность». И если под транспортной обеспеченностью страны или ее отдельного региона понимают насыщенность путями сообщения на единицу площади, то транспортная доступность — это нормативный показатель затрат времени на транспортные сообщения между различными пунктами. Если учитывать только транспортную обеспеченность и не учитывать транспортную доступность, нельзя объек-



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

а

Топ-15 регионов с лучшим дорожным покрытием				
	Регион	2018	2019	Изменение
1	Москва	97,0%	97,0%	0%
2	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	84,5%	84,9%	↑ 0,4%
3	Ставропольский край	74,9%	74,6%	↓ 0,3%
4	Республика Ингушетия	70,4%	71,3%	↑ 0,9%
5	Краснодарский край	68,5%	70,1%	↑ 1,6%
6	Воронежская область	68,7%	68,9%	↑ 0,2%
7	Республика Хакасия	68,6%	68,7%	↑ 0,1%
8	Красноярский край	71,4%	67,8%	↓ 3,6%
9	Тюменская область	67,1%	67,3%	↑ 0,2%
10	Пензенская область	64,0%	66,8%	↑ 2,8%
11	Московская область	62,7%	66,4%	↑ 3,7%
12	Ямало-Ненецкий автономный округ	66,2%	65,6%	↓ 0,6%
13	Санкт-Петербург	64,3%	64,1%	↓ 0,2%
14	Чукотский автономный округ	62,5%	63,6%	↑ 1,1%
15	Белгородская область	62,7%	63,2%	↑ 0,5%

б

Топ-15 регионов с худшим дорожным покрытием				
	Регион	2018	2019	Изменение
71	Ненецкий автономный округ	25,1%	29,4%	↑ 4,3%
72	Кировская область	26,4%	29,3%	↑ 2,9%
73	Оренбургская область	25,0%	27,9%	↑ 2,9%
74	Тверская область	25,7%	27,8%	↑ 2,1%
75	Забайкальский край	26,4%	27,7%	↑ 1,3%
76	Томская область	23,8%	25,0%	↑ 1,2%
77	Рязанская область	22,0%	24,2%	↑ 2,2%
78	Костромская область	19,9%	22,7%	↑ 2,8%
79	Республика Крым	21,1%	21,1%	↓ 0,0%
80	Республика Алтай	19,4%	20,8%	↑ 1,4%
81	Архангельская область	15,4%	17,3%	↑ 1,9%
82	Республика Калмыкия	11,8%	16,2%	↑ 4,4%
83	Саратовская область	9,9%	13,3%	↑ 3,4%
84	Магаданская область	17,0%	7,8%	↓ 9,2%
85	Республика Марий Эл	1,4%	5,7%	↑ 4,3%

Рис. 2. Рейтинг регионов по качеству дорог: а — топ-15 лучших регионов; б — топ-15 худших регионов России

тивно оценить значение транспортной территории региона и корректно спрогнозировать его пространственное развитие. Так, если у города отсутствуют объездные пути, и весь транзитный поток идет непосредственно по улицам, то затрудняется организация внутригородского транспортного потока, и значительно быстрее разрушается дорожное покрытие городских дорог. Например, таким городом является Воронеж, где даже при неплохом качестве дороги (6-е место в рейтинге) время проследования транспортного узла увеличивается существенно. Ситуация в Воронеже усугубляется почти полным отсутствием указателей направлений транзитного движения, и вместо комфортной и приятной езды по региону, занимающему топовое место в рейтинге, автомобилист получает огромный стресс, а город — «пробки», увеличение количества ДТП, быстрый износ дорожного полотна. Поэтому рейтинг оценки транспортной инфраструктуры региона должен включать различные показатели, а не только качество дорожного полотна.

Для разработки таких показателей автор проанализировал 31 регион России. Были выбраны 10 лучших и 10 худших регионов из выше представленного рейтинга (за исключе-

	Географо-экологические			Социально-политические	
	Градус территории	Площадь тыс. км2	Плотность насел. чел на 1 км2	Об. торгов. на душу млн. руб	Набор тов. корз. тыс. руб
Архангельская область	5,25	589,9	1,9	0,23	16,9
Воронежская область	8,5	52,2	44,6	0,24	14,6
Иркутская область	-3,95	774,8	3,1	0,145	14,5
Костромская область	6	60,2	10,6	0,16	13,6
Краснодарский край	11,75	75,5	74,8	0,24	16,12
Красноярский край	-7,2	2366,8	1,2	0,187	15,7
Курганская область	1,3	71,5	11,7	0,136	14,5
Магаданская область	-6,15	462,5	0,3	0,226	21,7
Московская область	7,35	44,3	171,4	0,31	17,1
Нижегородская область	6,55	76,6	42	0,23	15,26
Новосибирская область	-1,35	177,8	15,7	0,18	14,83
Оренбургская область	5	123,7	15,9	0,156	13,45
Пензенская область	6,55	43,3	30,4	0,16	13,71
Пермский край	3,7	160,2	16,3	0,21	14,7
Республика Алтай	-1,35	92,9	2,4	0,119	15,94
Республика Башкортостан	4,2	142,9	28,3	0,217	14,25
Республика Ингушетия	10,65	3,6	137,1	0,051	12,8
Республика Калмыкия	11,7	74,7	3,6	0,078	14,3
Республика Коми	3,8	416,8	2	0,18	16,8
Республика Крым	11	26,1	73,3	0,13	15,12
Республика Марий Эл	5,8	23,4	29,1	0,127	13,9
Республика Хакасия	-2,45	61,6	8,7	0,156	14,7
Рязанская область	7,2	39,6	28,1	0,17	14,66
Саратовская область	7	101,2	24,1	0,145	12,9
Свердловская область	2,3	194,3	22,2	0,262	14,84
Ставропольский край	11	66,2	42,2	0,182	15,2
Томская область	-1,8	314,4	3,4	0,147	15,2
Тюменская область	-1,65	1464,2	2,5	0,25	16,9
Удмуртская Республика	5,75	42,1	35,8	0,155	14
Ханты-Мансийский автономный округ	0,95	534,8	3,1	0,25	18,1
Челябинская область	0,85	88,5	39,3	0,149	13,5

Рис. 3. Фрагмент таблицы сбора статистических данных

нием Москвы, так как это город), добавлена Свердловская область, ее соседи и стратегически важные партнеры: Челябинская, Курганская, Иркутская, Новосибирская области, Пермский край и др. Сбор статистических данных был выполнен по 13 показателям, таким как площадь территории, плотность ее населения, набор товарной корзины, ВРП на душу населения, протяженность и плотность дорог, количество ДТП и др. [6–8]. Фрагмент таблицы исходных данных представлен на рис. 3.

Корреляционный анализ показал существование следующих зависимостей:

1. Протяженность сетей разных видов транспорта: чем длиннее в регионе сеть железных дорог, тем больше в регионе автодорог, корреляция — 0,67 (рис. 4). В среднем по стране на 1 км железных дорог в регионе приходится 16 км автодорог.

2. Еще более высокая корреляция — 0,74 наблюдается при анализе связи плотности сети дорог на железнодорожном и автомобильном транспорте. Таким образом, наземные транспортные сети регионов носят мультимодальный характер, что абсолютно соответствует требованию времени и является хорошим заделом для дальнейшего пространственного развития региональных территорий. В этом плане увеличение доли автодорог региона до 25–30 и более километров на 1 км железных дорог приведет к более эффективному внедрению такой логистической технологии, как «Ступица и спица» (*Hub and spoke*).

3. Высокий коэффициент корреляции получился и при анализе транспортной территории региона с позиции географических характеристик, например, таких как средние температуры. Автор ввел понятие «градус территории» (среднее арифметическое средних температур июля и января) и установил связь с плотностью дорог (рис. 5).

Коэффициент корреляции для сети автодорог составил 0,62 и 0,55 для сети железнодорожных магистралей. С увеличением градуса территории российских регионов плотность сети увеличивается. На рис. 5 видно, что из общей картины выбиваются такие регионы, как Московская область и две республики: Ингушетия и Калмыкия, что объясняется особым режимом жизнедеятельности этих регионов.

4. Тесная связь выявлена между оборотом торговли на душу населения и протяженностью дорог: коэффициент корреляции составил 0,56 для автодорог и 0,64 для железнодорожных линий (рис. 6).

5. Важным результатом стала обратная зависимость между количеством ДТП и плотностью сети автодорог: чем выше плотность сети, тем меньше ДТП в регионе.

Конечно, в статье приведена лишь малая часть исследования. Важно отметить, что исследование и анализ имели широкий характер. Особенно такой анализ актуален в условиях перехода социума на идеологию устойчивого развития, при которой не только экономические показатели определяют уровень жизнедеятельности региона, но и экологическая безопасность и комфорт, а также социокультурный аспект жизни. Именно принципы устойчивого развития были положены в основу системы показателей транспортного пространства [9–11].

Учитывая, что в теории устойчивого развития равно важны три сферы человеческой деятельности: экономика, экология и социальная сфера, в работе предла-

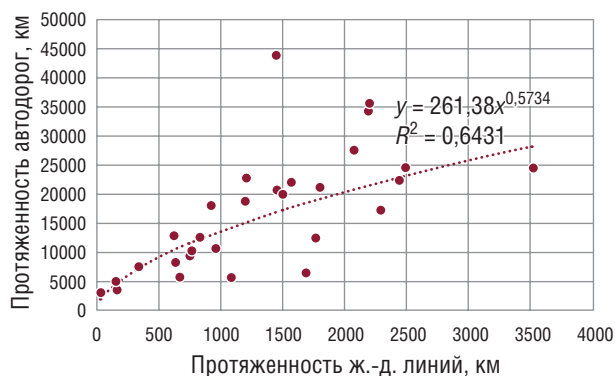


Рис. 4. Зависимость протяженности дорог наземных видов транспорта друг от друга

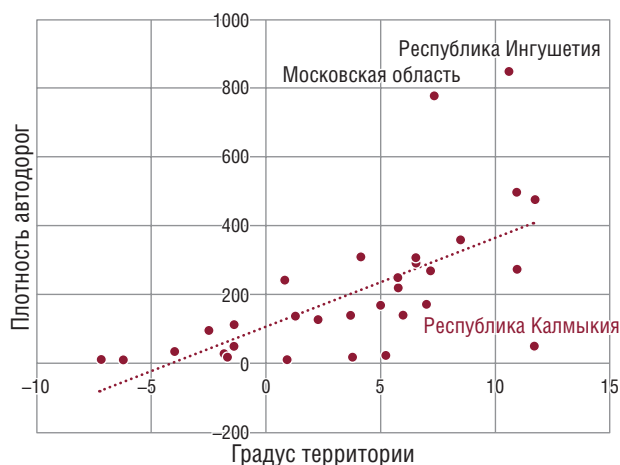


Рис. 5. Зависимость плотности автодорог от «градуса территории»



Рис. 6. Корреляционная связь протяженности дорог и оборота торговли

гаются три блока укрупненных показателей, влияющих на транспортную обеспеченность и доступность территории [10]. Однако автор предлагает расширить эти сферы:

1. Прежде всего это блок эколого-географических показателей территории EnGI (Environmental and geographical indicator):  $EnGI = \{EnGI\ 1, EnGI\ 2, \dots\}$ . Говорить об экологии в последние десятилетия стало хорошим тоном, но для России — уникального государства с огромнейшей территорией, расположенного в двух ча-

стях света, в 11 часовых поясах и 7 климатических зонах, учитывать географические особенности различных территорий просто необходимо. Например, такая характеристика региона, как климат. Ученые [12] отмечают, что страны и регионы с более благоприятными природными условиями имеют и более высокий уровень жизни и развития экономики. Автором статьи также установлена зависимость транспортного развития региона от средних температур территории.

2. Блок социально-политических показателей SPI (Socio-political indicators):  $SPI = \{SPI_1, SPI_2, \dots\}$ . Казалось бы, социальная сфера вполне отражает тенденции времени, но политические манипуляции, санкции и др. внесли свои серьезные коррективы в жизнь общества различных стран, и не учитывать это в пространственном развитии отдельных территорий страны было бы ошибкой.

3. И, наконец, блок технико-экономических показателей территории региона (Technical and economic indicators of the territory):  $TECI = \{TECI_1, TECI_2, \dots\}$ . В условиях «Индустрии 4.0», массового внедрения киберфизических систем в производство и сферу человеческих потребностей технико-инновационная составляющая региона приобретает новую роль.

Принимаем, что все эти блоки показателей равнозначны.

Для определения транспортной обеспеченности и доступности имеется математический арсенал, который хорошо сочетается с предлагаемой методикой, но требует определенной доработки с точки зрения категорий диалектического материализма — пространства и времени.

Итак, транспортную обеспеченность, измеряемую в мерах длины (километрах), отнесем к показателю пространственного развития территории. А транспортную доступность, измеряемую в единицах времени (часах), отнесем к временным показателям. Таким образом, налицо категории диалектико-материалистической

философии, опирающейся на понятия «пространство» и «время» — основные формы существования материи. Учтем также движение как способ существования материи в качестве третьей базовой философской категории для формирования системы показателей транспортного пространства. Теперь результаты этого рассуждения представим на схеме (рис. 7) в виде 9 укрупненных блоков показателей.

В России развернута государственная программа «Развитие транспортной системы», где разработано 84 показателя (индикатора) [13] транспортной части комплексного плана модернизации и расши-

рения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. Стоит отметить, что в этом документе почти четверть показателей (20 из 84) относятся к комплексному показателю «транспортная обеспеченность» и 4 показателя — к «транспортной доступности», т.е. вместе они составляют почти 30%. Конечно, прогноз пространственного развития регионов на основе функционирования транспортных систем при таком большом количестве показателей весьма затруднен. И, безусловно, работу по формированию системы показателей транспортного развития регионов необходимо продолжать.

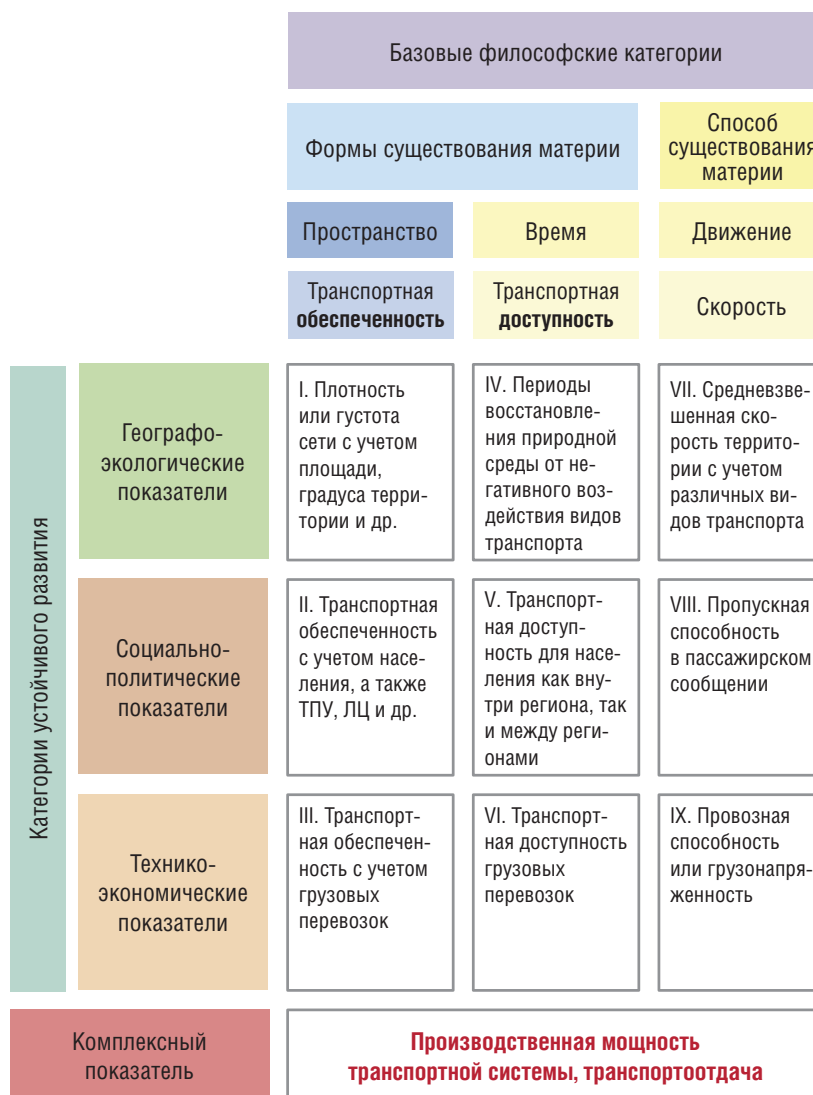


Рис. 7. Прогнозирование системы показателей транспортного пространства для оценки транспортотдачи региона

Достоинством настоящего исследования является систематизация базовых категорий транспортной сети: транспортной доступности и обеспеченности с учетом философского подхода и на основе устойчивого развития территорий. Представленный в данной работе подход адекватен современным условиям развития как отдельного региона, так и страны в целом, однако

требует пересмотра математического инструментария, разработки интеллектуальных информационно-вычислительных технологий для принятия решений в задачах пространственного развития территорий. **ИТ**

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00604 и № 20-010-00724.*

### Список литературы / Reference

1. Gorecka A., Baran J., Skender H. P., Fabic M. G. Correlation between inland transport efficiency, GDP and environmental aspects in EU countries // Business logistics in modern management: proceedings of the 18th International Scientific Conference. — Osijek, 2018. — P. 453–470.
2. Постников В. П., Буторина О. В. Выявление взаимосвязи развития транспорта и экономики: временной и региональный аспект исследования // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. — 2014. — № 2. — С. 17–25.
3. Москвитина Т. В. Методы организации работ по повышению потребительских качеств дорожной сети региона : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22 / Иван. гос. архитектур.-строит. акад. — Иваново, 2005. — 19 с.
4. Варюхин А. М. Эффективность аграрного производства и уровень развития региональной сети автомобильных дорог : автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Ин-т аграрных проблем РАН. — Саратов, 1998. — 22 с.
5. Эксперты оценили качество дорог в российских регионах. — URL: [https://zen.yandex.com/media/show\\_me\\_world/eksperty-ocenili-kachestvo-dorog-v-rossiiskih-regionah-5f0814acdb00016bd74b3eaa](https://zen.yandex.com/media/show_me_world/eksperty-ocenili-kachestvo-dorog-v-rossiiskih-regionah-5f0814acdb00016bd74b3eaa).
6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019 : стат. сб. / Росстат. — М., 2019. — 1204 с. — URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region\\_Pokaz\\_2019.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2019.pdf).
7. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2019 : стат. сб. / Росстат. — М., 2019. — 766 с. — URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Reg\\_sub19.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Reg_sub19.pdf).
8. Статистика ДТП в России за 2019, 2020 год и прошлые периоды // Статистика и показатели: региональные и федеральные — URL: <https://rosinfostat.ru/dtp/#i-3>.
9. Вохмянина А. В., Журавская М. А., Петров М. Б. Многокритериальный подход для оценки и обоснования приоритетов развития транспортной сети территорий, превосходящий региональный масштаб // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2018. — № 4 (40). — С. 58–68. — ISSN 2079–0392.
10. Zhuravskaya M. Green logistics as the basis for improving environmental efficiency on transport. Paulina Golinska-Dawson, Adam Kolinski // Efficiency in Sustainable Supply Chain. — Springer International Publishing AG, 2017. — P. 99–115.
11. Журавская М. А., Цяо Цун. О модернизации инструментария для комплексной оценки эффективности и устойчивости развития транспортно-логистических систем территорий макрорегионального уровня // Инновационный транспорт. — 2018. — № 4 (30). — С. 3–8. — ISSN 2311–164X.
12. Зоркальцев В. И., Хажеев И. И. Как климат влияет на экономику // ЭКО. — 2015. — № 7. — С. 147–162. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kak-klimat-vliyaet-na-ekonomiku/viewer>.
13. Приказ Минтранса России от 30.04.2019 № 129 «Об утверждении Методики расчета показателей (индикаторов) государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы», транспортной части комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года и федеральных проектов, входящих в его состав». — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_325438](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325438).

Объем статьи: 0,57 авторских листа



**Валерий Михайлович Самуйлов**

Valeriy M. Samuylov



**Людмила Вячеславовна Гашкова**

Lyudmila V. Gashkova



**Сергей Александрович Бронников**

Sergey A. Bronnikov



**Хуан Куичжан**

Huang Kuizhuang

## Развитие легкорельсового транспорта в китайском горном городе Чунцине

### Development of light rail transport in the Chinese highland town Chungking

#### Аннотация

В статье раскрывается понятие и сущность легкорельсового транспорта на примере китайского города Чунцина. Это крупный современный мегаполис, центр экономических, финансовых, научных и технологических инноваций, судоходства, торговли и логистики Китая. Приводится анализ особенностей развития транспортной системы, экономики Чунцина и его окрестностей. Исследуется международный опыт развития легкорельсового транспорта.

**Ключевые слова:** Чунцин, легкорельсовый транспорт, скоростной трамвай, городская инфраструктура.

#### Annotation

The article discloses the concept and essence of light rail transport as exemplified by the Chinese town Chungking. It is a large modern megapolis, centre of economic, financial, scientific and technological innovations, navigation, commerce and logistics of China. The analysis of transport system and economy development peculiarities of Chungking and its surroundings is given. The international experience of light rail transport is examined.

**Keywords:** Chungking, light rail transport, speed tram, urban infrastructure.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-27-32

(Статья публикуется в авторской редакции)

#### Авторы Authors

**Валерий Михайлович Самуйлов**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | **Людмила Вячеславовна Гашкова**, канд. экон. наук, доцент, зав. кафедрой «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: LGashkova@usurt.ru | **Сергей Александрович Бронников**, ст. преподаватель кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: 7sigma2007@mail.ru | **Хуан Куичжан** (Китай), студент группы ЭКмд-426 Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: 2934280395@qq.com

**Valeriy Mikhailovich Samuylov**, Dr. of Tech. Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor, World Economy and Logistics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | **Lyudmila Vyacheslavovna Gashkova**, Cand. of econ. science, Associate Professor, Head of the Department "World economics and logistics", Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: LGashkova@usurt.ru | **Sergey Alexandrovich Bronnikov**, Senior Teacher, "World economics and logistics", Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: 7sigma2007@mail.ru | **Huang Kuizhang**, Student of Group ЭКмд-426, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: 2934280395@qq.com



李仕网 WWW.EEEO.COM/117428

Рис. 1. Деловая часть Чунцина

Легкорельсовый транспорт (легкий рельсовый транспорт, ЛРТ, от англ. Light Rail) — это особый вид городского пассажирского общественного транспорта, современная высокотехнологичная система пассажирских перевозок, разработанная на основе трамвайного движения.

Легкорельсовый транспорт характеризуется меньшими, чем у метрополитена и железной дороги, габаритами, грузоподъемностью и скоростью сообщения [1]. Разновидностями легкорельсового транспорта являются трамвай, скоростной трамвай, в том числе подземный трамвай и городская железная дорога. При этом отличия таких легкорельсовых систем от метрополитена, городской железной дороги (S-Bahn) являются нечеткими, что зачастую становится причиной терминологических ошибок. В целом данный термин, как правило, применяется для обозначения скоростных электрифицированных железнодорожных систем (например, трамвайных), обособленных от прочих транспортных потоков на большей части сети, однако допускающих в рамках системы и одноуровневые пересечения, и даже уличное движение (в том числе трамвайно-пешеходные зоны) [2, 9]. В отличие от легкого метро, более близкого к обычному метрополитену, легкорельсовый транспорт ближе к трамваю.

По мнению авторов, к легкорельсовому транспорту в России относится и струнный транспорт А. Э. Юницкого [3].

В статье приводится опыт развития легкорельсового транспорта в китайском городе Чунцине (рис. 1).

Чунцин — одна из старых промышленных баз Китая и важная современная производственная база в стране, сформировавшая крупнейший в мире кластер элек-

тронной, информационной и автомобильной промышленности. Промышленный кластер является крупнейшей в мире производственной базой для ноутбуков и второй по величине в мире базой по производству мобильных телефонов, в том числе для России. Население Чунцина и его окрестностей насчитывает почти 33 миллиона человек.

Чунцин является важным центром современной индустрии услуг в Китае, сформировавшим следующие сферы: финансы, торговлю, логистику [4, 8] и аутсорсинг. Чунцин сегодня включает в себя следующие логистические объекты: экспериментальную зону свободной торговли, таможенный порт Лянглу Кунтан, комплексную таможенную зону Чунцин Сиюн, железную дорогу Чунцин, бондовый логистический центр, Чунцинский автомобильный логистический центр Наньпэн, таможенный логистический центр Ваньчжоу. Вся эта инфраструктура позволяет эффективно выстраивать логистические цепи поставок от производителя до конечного потребителя. Так, доставка фруктов, мяса, свежих морепродуктов и других скоропортящихся товаров производится в короткие сроки, в течение 72 часов. В табл. 1 представлены данные по экономическому развитию (ВВП) города.

В 2019 г. ВВП Чунцина, рассчитанный в сопоставимых ценах, составил 2360577 млрд юаней, что на 6,3 % больше, чем в 2018 г. Тяжелая промышленность развивалась быстрее легкой. Добавленная стоимость тяжелой промышленности составила 155,142 млрд юаней, увеличившись на 3,6 %, добавленная стоимость легкой промышленности составила 949,684 млрд юаней, увеличившись на 6,4 % [4].

**Экономические данные (ВВП) по развитию регионов Чунцина в 2018–2019 гг. [4]**

Районы города Чунцина	2018 г., млн юаней	2019 г., млн юаней	% к предыдущему году
Чунцин	22189,94	23605,77	6,30
Юбейский район	1543,09	1848,24	19,78
Цзюлунпо	1211,25	1462,88	20,77
Южонг	1203,85	1301,35	8,10
Цзянбэй	1027,87	1240,07	20,64
Фулин	1076,13	1178,66	9,53
Цзянцзинь	902,33	1036,74	14,90
Шапинба	936,41	976,78	4,31
Юнчуань	845,67	952,69	12,66
Ваньчжоу	982,58	920,91	-6,28

Устойчивое экономическое развитие Чунцина тесно связано с развитием легкорельсового транспорта (рис. 2). До настоящего времени развитие китайского городского легкорельсового транзита было относительно медленным, но в конце 1999 г. Шанхай успешно завершил создание первой полностью автоматической системы транзита легкорельсового транспорта в Китае, что позволило крупным городам страны активизировать работу в этом направлении [5, 6].

Строительство транспортной системы Чунцина сформировало модель органического соединения сельского хозяйства, тяжелой промышленности и транспортной отрасли между ними. Площадь обрабатываемых сельскохозяйственных земель в Чунцине составляет 1,622 млн га, включает в себя площадь пахотных земель, сельское и лесное хозяйство, животноводство и перерабатывающие отрасли.

Из-за постепенного роста экономики региона и материального уровня жизни населения произошло увеличение объемов перевозок на различных видах транспорта и в первую очередь на автомобильном транспорте. Движение по боль-

шинству направлений стало перегруженным, не могло справиться с растущим количеством населения в городских районах, поэтому администрацией города 26 декабря 2000 г. было принято решение о строительстве первой очереди линии 2 от Чанкоу до зоопарка. Этот проект был включен в десятку ключевых проектов по развитию западного региона страны, а в апреле 2001 г. он получил от правительства Китая кредит в размере 27 млрд долларов.

В 2003 г. «Основной комплексный городской транспортный план города Чунцина (2002–2020 гг.)» и «Генеральный план городского развития Чунцина (2005–2020 гг.)» было предложено расширить — увеличить главный городской транзит до 9 линий и одного кольца.

Легкорельсовый транспорт начал свою работу в 2004 г. Линии скоростного трамвая городского транспорта постоянно совершенствуются, что обеспечивает удобство



Рис. 2. Скоростной трамвай в городской инфраструктуре Чунцина

передвижения людей, а также развитие города. Из-за гористой местности в Чунцине (рис. 3) строительство является сложным, линии трамвая и городская инфраструктура в каждой области маршрута различны, поэтому строительство данного вида транспорта повлияло на развитие жилых массивов Чунцина.

Легкорельсовое строительство в Чунцине имеет три основных особенности: длинный маршрут, технически сложное строительство, длительный период реализации проекта и его окупаемости.

По состоянию на начало 2020 г. в Чунцине функционирует 9 железнодорожных транзитных линий и одно кольцо. Общая протяженность пути составляет 313 км, является пятой по величине в Китае и первой на среднем западе Китая (рис. 4).

С момента открытия в 2004 г. скоростной трамвай повысил имидж Чунцина и стал новой визитной карточкой города. Однако строительство городской инфраструктуры отстает от темпов роста транспортных потоков, что приводит к региональным пробкам, качество услуг общественного транспорта и привлекательность снижаются. Скорость движения автобусов упала с 35 до 9 км/ч. Качество обслуживания автобусных перевозок перестало удовлетворять жителей. Эта ситуация косвенно способствовала развитию личного транспорта. Количество частных автомобилей увеличилось в геометрической прогрессии: по состоянию на 2018 г. число автомобилей в Чунцине превысило 2,42 миллиона, ежедневно добавляется в среднем 290 новых транспортных средств. Такое развитие событий делает городские дороги чрезвычайно перегруженными, снижает скорость движения, ухудшает экологию мегаполиса.

Со времени открытия легкорельсового транспорта было перевезено 740 миллионов пассажиров. В ближайшем будущем будет построено еще шесть скоростных трамвайных линий с общей протяженностью 350 км, что обеспечит 600 тыс. пассажиров удобными и комфортными транспортными услугами. Примерно 60 % населения будут проживать в зоне прохождения легкорельсового транспорта. Железная дорога Чунцина постепенно образует кольцевую петлю, соединяющую вертикальную и горизонтальную сеть (табл. 2).

Основные источники финансирования проекта транзита легкорельсового транспорта в Чунцине подразделяются на три части: государственные инвестиции, внутренние коммерческие кредиты и иностранные государственные займы. Основными методами финансирования линий 1 и 3 являются внутренние и иностранные кредиты, особенно кредиты внутренних коммерческих банков имеют очень высокие квоты финансирования (рис. 5).

В линию 1 было инвестировано около 12,5 млрд юаней, из которых правительство привлекло 41 % от общего объема инвестиций (примерно 5,1 млрд юаней),



Рис. 3. Скоростной трамвай в окрестностях Чунцина

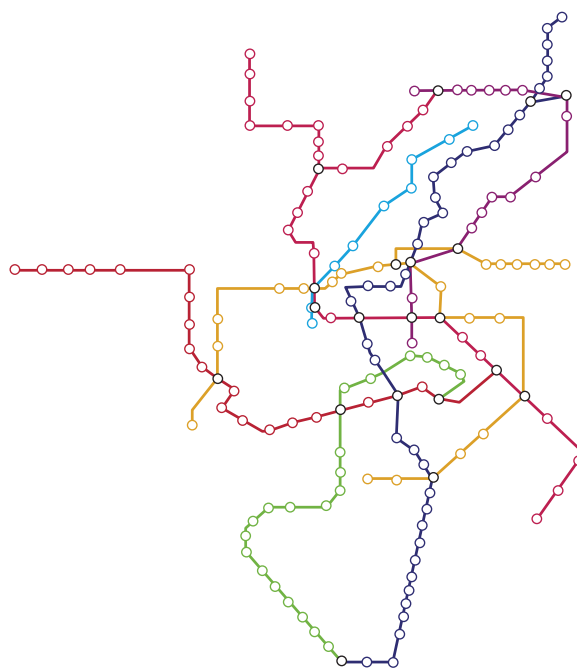


Рис. 4. Маршруты легкорельсового скоростного транспорта в Чунцине:

— линия 1; — линия 2; — линия 3;  
— линия 4; — линия 5; — линия 10

а оставшаяся часть включала в себя 200 млн евро на продвижение по кредиту (около 2 млрд юаней от правительства Германии), вложения внутреннего бизнеса составляют около 5,4 млрд юаней [4].

Общий объем инвестиций линии 2 составляет 4,3 млрд юаней, из которых различные кредитные средства составляют примерно 3,38 млрд юаней. Кредитные



**Маршруты транзита легкорельсового транспорта в Чунцине, запланированные на 2012–2020 гг.**

Маршрут	Период строительства	Длина, км	Всего инвестиций, млн юаней	Количество станций
Линия 4	2016–2020	14,97	64,52	8
Линия 5	2013–2017	40	200,46	25
Кольцевая линия	2012–2020	50,47	273,3	34
Линия 6	2010–2020	25,9	118,17	15
Линия 9	2015–2019	39,1	203,25	26
Линия 10	2014–2018	44,69	237,24	27
Общий		215,13	1096,94	135

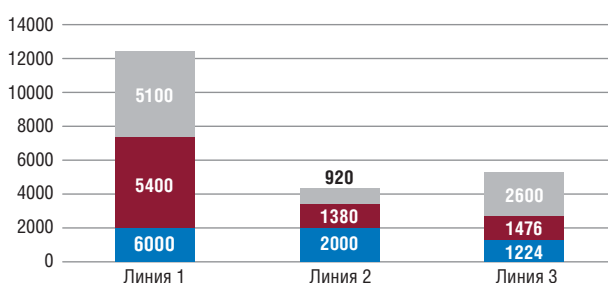


Рис. 5. Структура финансирования основных линий легкорельсового транспорта в Чунцине, млн юаней:

- — иностранные государственные займы;
- — коммерческие кредиты;
- — государственное финансирование

средства включают внутренние коммерческие кредиты и иностранные государственные займы. Внутренние коммерческие кредиты составляют 1,38 млрд юаней (32,1 % от общей суммы инвестиций). Иностранный заем частично получен муниципальным правительством за счет займа правительства Японии. Срок действия внешнего займа равен 40 лет, годовая процентная ставка 0,75 %. Все иностранные кредитные средства используются для покупки линий и оборудования, а также для специального структурного проектирования линий.

Студент УрГУПС Хуан Куичжан под руководством профессора В. М. Самуйлова и доцента Л. В. Гашковой провел исследование, целью которого было получение рекомендаций по повышению эффективности работы городского легкорельсового транспорта в административном районе Ю города Чунцине. В ходе исследования получены следующие выводы.

По сравнению с другими видами городского транспорта система легкорельсового транспорта имеет следующие преимущества. Во-первых, для организации поездов используются маршруты, которые имеют максимальный объем загруженности пассажиров от 10000 до 60000 человек в час. Во-вторых, транспортная система скорост-

ного трамвая является закрытой и независимой от внешних факторов, со стабильной работой поездов и высокой скоростью передвижения. Кроме того, городские легкорельсовые перевозки могут осуществляться на земле, под и над землей в соответствии с условиями дорожного движения, тем самым экономя наземное пространство. Использование электрической энергии легкорельсовым транспортом является экологически чистым [7].

Самое большое преимущество скоростного трамвая в городском движении – это оптимальная загруженность транспортной системы, так как маршруты не пересекают другие общественные транспортные потоки. Транзит скоростного трамвая идет строго по расписанию, и его пассажиропоток намного выше, чем у других видов общественного транспорта. Исследования, проведенные китайскими учеными, показали, что пропускная способность скоростного трамвая в 2,5–14 раз выше, чем у автобуса [4].

С ростом городов транспортные системы стали двигателем и движущей силой экономического и социального развития многих развитых стран мира, включая и Китай. Главной особенностью мегаполисов является высокая плотность концентрации офисных зданий в центральных районах города, а также общий рост цен на жилье и арендной платы, что приводит к росту количества жителей в отдаленных районах и пригородах. В результате ежедневное увеличение числа поездов на работу и учебу ведет к серьезной проблеме заторов и пробок на автодорогах. Проблема городского движения больше не может быть решена путем ремонта и строительства новых автодорог. Многие международные исследования и дискуссии показали, что существует взаимосвязь между городским транспортом, инфраструктурой и логистикой [8].

Поскольку крупномасштабное экономическое строительство ведется в основном в центре города и прилегающих районах, изменения в городской инфраструктуре

и структуре экономики привели к значительному увеличению численности городского населения и более частым поездкам жителей. Мегалополисы постоянно развиваются и меняются, поэтому сеть линий легкорельсового транспорта должна своевременно корректироваться в соответствии с изменениями города.

В связи с ограниченными территориями в центральной части города требуется сместить фокус развития строительства на периферию. Необходимо правильное распределение населения и государственных служб, которые следует размещать и развивать в новых региональных центрах, тем самым уменьшая нагрузку на транспорт.

Исследования показали, что развитие линий городского трамвая постепенно улучшает транспортную систему города, уменьшает нагрузку на общественный транс-

порт и предоставляет большое количество рабочих мест. Однако строительство легкорельсового транспорта является целостным и не может быть отделено от планирования общей городской инфраструктуры.

С 2010 по 2020 г. при застройке Чунцина стали учитывать большое количество факторов, и в первую очередь транспортную доступность. В процессе строительства новых линий легкорельсового транспорта каждый маршрут обязательно должен быть включен в городское планирование в целом, что принесет наибольшее удобство для пассажиров.

Опыт КНР весьма актуален и полезен для планирования транспортной системы городов-мегаполисов в России, где часто можно видеть аналогичные транспортные проблемы. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Буслов А. С. Перспективы развития легкорельсового транспорта в Воронеже // Стратегии и ресурсы развития крупных городов центра России: сб. тезисов международной научной конференции. — Воронеж : ВГУ, 2008.
2. Бакланов В. В. Внедрение легкорельсового транспорта — один из путей повышения качества транспортного обслуживания населения г. Москвы // Международная практическая конференция «Тенденции развития легкорельсового транспорта в городе Москве», 16 октября 2008 г.
3. Юницкий А. Э., Цырлин М. И. Экологические аспекты струнного транспорта // Инновационный транспорт. — 2020. — № 2 (36). — С. 7–9. — ISSN 2311–164X.
4. Чунцинское муниципальное бюро статистики. — URL: <http://www.stats-ch.gov.cn>.
5. Самуйлов В. М., Цяо Цун, Бронников С. А., Каргапольцева Т. А. Организация инновационной деятельности на транспорте (на примере Россия — Китай) : монография. — Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2019. — 136 с.
6. Самуйлов В. М., Цяо Цун, Каргапольцева Т. А. Современное состояние развития метрополитена города Шанхая // Инновационный транспорт. — 2019. — № 3(33). — С. 21–25. — ISSN 2311–164X.
7. Хуан Ифей, Дрягина Ю. А., Самуйлов В. М. Высокоскоростные Китайские железные дороги горного города Чунцин // Проблемы организации и управления на транспорте. — Екатеринбург, УрГУПС. — 2017. — С. 10–11.
8. Xue Sun. Modern Logistics and Its Development in China: A Brief Introduction // Инновационный транспорт. — 2019. — № 1 (31). — С. 11–20. — ISSN 2311–164X.
9. Самуйлов В. М., Цяо Цун, Дрягина Ю. А. Городская транспортная система города Чунцина (Китай) // Инновационный транспорт. — 2017. — № 1 (23). — С. 26–29. — ISSN 2311–164X.

Объем статьи: 0,6 авторских листа



**Антон Сергеевич  
Харитонов**  
Anton S. Kharitonov



**Геннадий Львович  
Штрапенин**  
Gennadiy L. Shtrapein

## Программно-аппаратный комплекс для разработки и тестирования электронных устройств для транспортной отрасли

### Hardware and software complex for development and testing of electronic devices for transport industry

#### Аннотация

Целью работы является создание экспериментального варианта программно-аппаратного комплекса для разработки и тестирования электротехнических и электронных устройств для транспортной отрасли. Комплекс сочетает программное обеспечение для моделирования, анализа и оптимизации схем, а также аппаратный модуль с возможностью импортирования данных для установки его параметров, предназначенный для сборки макета устройства, проведения измерений и последующего анализа полученных результатов.

**Ключевые слова:** электронные устройства для транспортной отрасли, разработка, тестирование, анализ.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-33-36

#### Авторы Authors

*Антон Сергеевич Харитонов, магистрант кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: the-best2012@mail.ru | Геннадий Львович Штрапенин, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: shtrap@mail.ru*

*Anton Sergeevich Kharitonov, postgraduate student of the Department «Mechatronics» of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia; e-mail: the-best2012@mail.ru | Gennadiy Lvovich Shtrapein, PhD, Associate Professor of the Department «Electrical Machines» of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia; e-mail: shtrap@mail.ru*

Современный подход к разработке и тестированию электротехнических и электронных устройств различного уровня сложности для транспортной отрасли требует применения программного обеспечения, позволяющего создать виртуальную математическую модель, способную с достаточным уровнем точности заменить оригинальное изделие на различных этапах его разработки. В то же время и вопрос адекватности используемых с этой целью моделей и алгоритмов не перестает быть актуальным, в связи с чем возникает потребность создания программно-аппаратных комплексов, сочетающих в себе как программное обеспечение (ПО) для моделирования, анализа и оптимизации схем, так и аппаратный модуль, позволяющий при необходимости провести набор измерений на действующем макете устройства с последующим сравнением полученных результатов. В отличие от традиционных испытательных стендов на основе типовых радиоизмерительных приборов, в которых параметры измерений задаются оператором вручную, в аппаратной части комплекса целесообразно использовать компьютерные измерительные приборы, параметры которых устанавливаются автоматически путем импортирования данных непосредственно из программы моделирования.

В наших предыдущих работах [1, 2] были описаны программные продукты, направленные на изучение, анализ, тестирование и оптимизацию электронных устройств для транспортной области. Первым этапом стало создание ПО для моделирования электронных устройств, которое послужило основой всей последующей работы. Затем был создан «Оптимизационный модуль» — программа для оптимизации пользовательских схем и стандартизации параметров схемных элементов согласно заранее выбранным электротехническим рядам.

Описываемый в работе аппаратно-программный комплекс представляет собой экосистему, соединяющую в единое целое ранее разработанное модернизированное ПО для моделирования электронных устройств, оптимизационный модуль, а также вновь созданный аппаратный модуль для тестирования электронных устройств. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса и порядок взаимодействия его составных частей приведены на рис. 1.



Рис. 1. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса и порядок взаимодействия его составных частей

Важно подчеркнуть достоинства модульной структуры комплекса. Каждый из модулей является самостоятельным продуктом, способным функционировать автономно и решать пользовательские задачи с заявленным уровнем качества, однако в рамках одной общей экосистемы модули и основное ПО способны функционировать максимально эффективно. Предусмотренные разработчиками программные интерфейсы взаимодействия подсистем комплекса значительно упрощают работу пользователя, минимизируют вероятность возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором, и существенно сокращают время разработки электронных устройств.

Разработка основного ПО и его модулей проводилась с использованием методологии функционального проектирования *IDEFO*, которая позволяет легко и удобно разработать и описать систему как совокупность взаимосвязанных подсистем. В работах [1, 2] были приведены соответствующие представления основного программного обеспечения и оптимизационного модуля. На рис. 2 представлена функциональная схема аппаратного модуля.

Генератор испытательных сигналов выполнен на микроконтроллере Arduino, дополненном 8-разрядным ЦАП и схемой регулировки амплитуды [3]. Прием и регистрация выходных сигналов осуществляется встроенным АЦП аналогичного микроконтроллера. Программный код был реализован в среде программирования *Arduino IDE*. При разработке программного обеспечения взаимосвязь приложения с микроконтроллером организовывалась посредством интерфейсов *USB* и *UART*. Для установки параметров генерируемого сигнала (форма, частота и амплитуда) использовался оригинальный пользовательский интерфейс на базе языка *Python*.

Следует отметить, что данный аппаратный модуль отличается сравнительной простотой и в то же время довольно узким диапазоном параметров, в связи с чем его следует рассматривать как опытный экземпляр, предусматривающий в дальнейшем существенную модернизацию.

В качестве примера работы программно-аппаратного комплекса рассмотрим порядок моделирования и последующего тестирования типовой схемы однокаскадного транзисторного усилителя на МОП транзисторе.

Основное ПО [1] включает встроенный конструктор моделей элементов, посредством которого возможно создание пользовательских моделей радиоэлектронных компонентов. Отметим, что с момента создания основного ПО для моделирования и оптимизации электронных устройств [1, 2] оно было значительно модернизировано. В частности, был существенно переработан и улучшен интерфейс конструктора, а также вычислительная основа [4]. Новое вычислительное ядро *SPICE#* расширило возможности симулятора и позволило дополнить элементную базу.

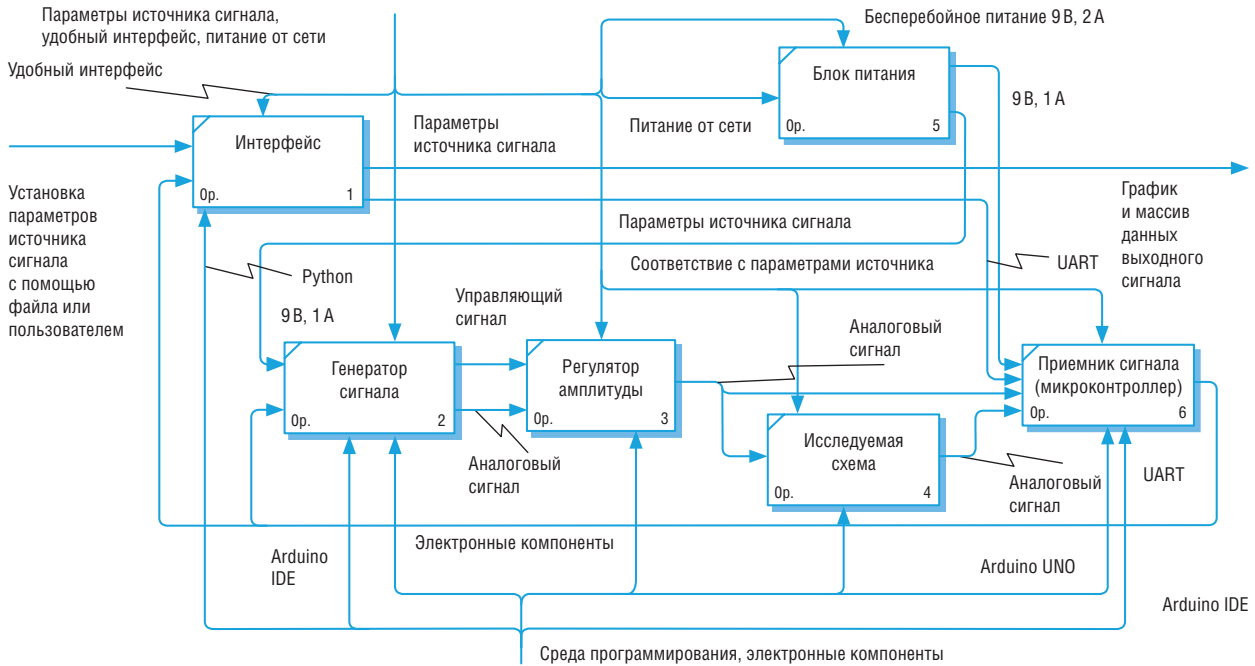


Рис. 2. Функциональная схема аппаратного модуля для тестирования электронных устройств

На первом этапе используем данную подсистему для создания модели генератора входного напряжения усилителя, параметры которой в дальнейшем будут импортированы в аппаратный модуль в виде специального .mdl файла. Окно интерфейса конструктора моделей представлено на рис. 3.

Аналогично создадим модель МОП транзистора ZVN 0124A, который предполагается установить в схему усилителя. Соответствующее окно конструктора представлено на рис. 4.

Далее нужно в рабочем пространстве ПО «собрать» схему транзисторного усилителя сигнала (рис. 5). Величины сопротивлений резисторов выбираются исходя из корректной установки начальной рабочей точки. В настройках параметров транзистора следует указать созданную ранее модель транзистора ZVN 0124A.

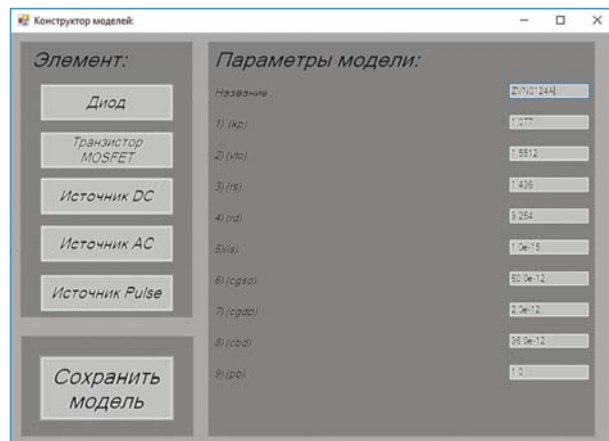


Рис. 4. Окно интерфейса конструктора модели МОП транзистора

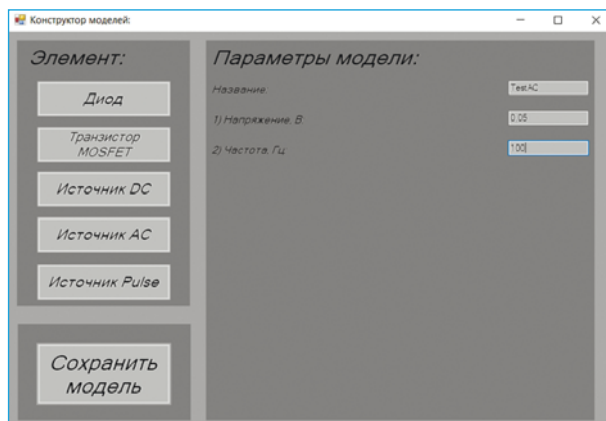


Рис. 3. Окно интерфейса конструктора модели генератора входного сигнала

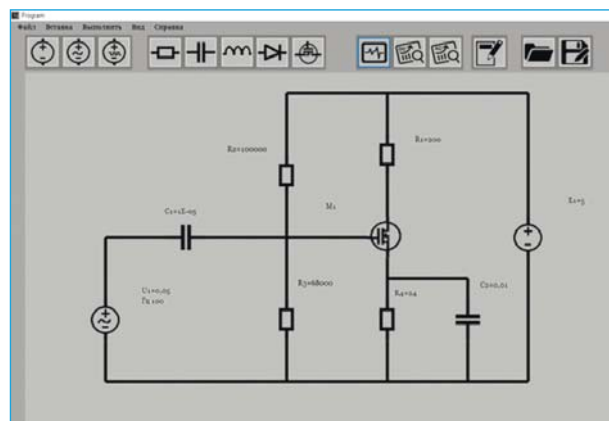


Рис. 5. Исследуемая схема транзисторного усилителя

После этого запускается анализ временных диаграмм, при этом окно виртуального осциллографа настраивается для одновременного вывода временных зависимостей входного и выходного напряжений, как показано на рис. 6.

Далее можно рассчитать коэффициент усиления:

$$k = \frac{(U_{\text{ВЫХ МАКС}} - U_{\text{ВЫХ МИН}})}{U_{\text{ВХ МАКС}} - U_{\text{ВХ МИН}}} = \frac{(3,7 - 1,3)}{0,05 - (-0,05)} \approx 24.$$

Следующий этап — сборка схемы усилителя с теми же параметрами элементов на макетной плате аппаратного модуля и подключение ее к генератору сигналов и осциллографу модуля. После запуска программы управления аппаратным модулем через встроенный интерфейс импортируем .mdl файл с параметрами генератора и получаем осциллограмму выходного напряжения исследуемого усилителя, приведенную на рис. 7.

Для проверки корректности моделирования рассчитаем экспериментальное значение коэффициента усиления с учетом того, что реальные МОП транзисторы всегда имеют разброс параметров.

$$k = \frac{(U_{\text{ВЫХ МАКС}} - U_{\text{ВЫХ МИН}})}{U_{\text{ВХ МАКС}} - U_{\text{ВХ МИН}}} = \frac{(3,5 - 0,8)}{0,05 - (-0,05)} \approx 27.$$

Сравнивая осциллограммы выходных сигналов усилителя, изображенные на рис. 6 и 7, можно сделать вывод, что результаты виртуального моделирования и натурального эксперимента в целом совпадают. Таким об-

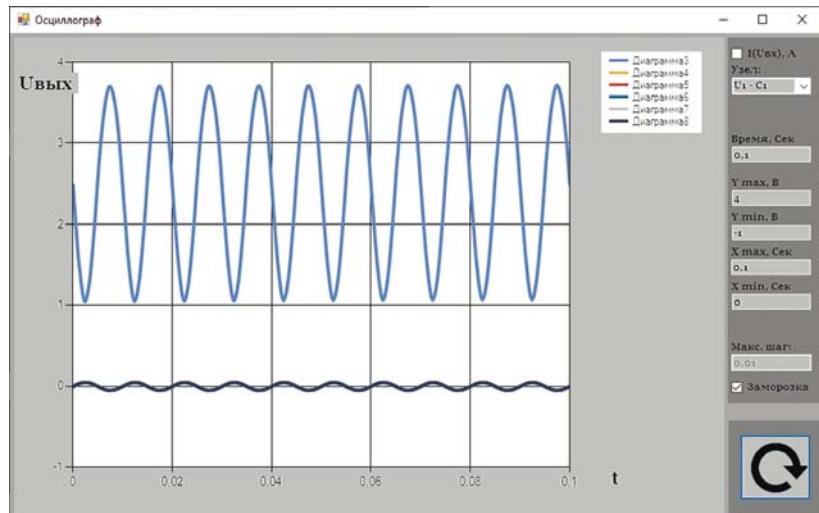


Рис. 6. Моделирование работы транзисторного усилителя

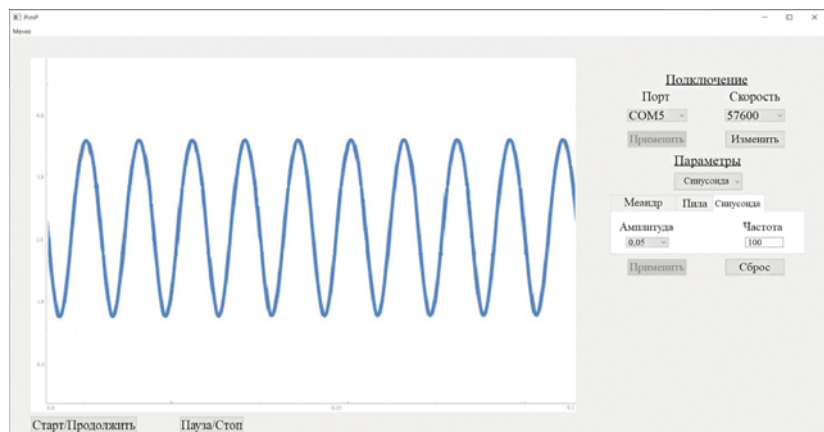


Рис. 7. Осциллограмма выходного напряжения усилителя

разом, в рамках экосистемы аппаратно-программного комплекса становится возможным провести как моделирование, так и физические измерения, а затем наглядно сравнить полученные результаты, откуда следует, что разработанный масштабный аппаратно-программный комплекс способен решать большинство имеющихся задач по конструированию, моделированию, анализу, оптимизации и стандартизации электронных устройств. Результаты работы пред-

ставляют интерес как с точки зрения опционных возможностей комплекса, так и с позиции организации поэтапной разработки отдельных схемотехнических составляющих с последующим их объединением в общее целое.

Авторы статьи выражают благодарность и признательность студентам механического факультета УрГУПС Павлу Вальтеру и Владиславу Киселеву за помощь в разработке и изготовлении аппаратного модуля. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Харитонов А. С. Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств для транспортной отрасли на базе вычислительных алгоритмов SPICE / А. С. Харитонов, Г. Л. Штрапенин // Инновационный транспорт. — 2018. — № 3. — С. 45–48. — ISSN 2311–164X.
2. Харитонов А. С. Разработка программного обеспечения для оптимизации моделирования электронных устройств для транспортной отрасли / А. С. Харитонов, Г. Л. Штрапенин // Инновационный транспорт. — 2019. — № 3. — С. 37–40. — ISSN 2311–164X.
3. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : ДМК Пресс, 2018. — 636 с. : ил.
4. CosePlex Archive spicenet. — URL: <https://archive.codeplex.com/?p=spicenet> (дата обращения: 01.07.2020).



Наталья Анатольевна  
Линькова

Natalia Linkova-Daniels

## Синдром хронической усталости — одна из проблематик физического воспитания студентов транспортного вуза

### Chronic fatigue syndrome — one of the problems of physical education of transport higher school students

#### Аннотация

Молодой возраст является лучшим периодом жизни человека, но при этом имеет свои особенности и трудности. Современный учебный процесс несет большие физические, психофизические и эмоциональные нагрузки. Студент сталкивается с различными трудностями не только во время учебного процесса, но и в повседневной, социальной жизни. Такая ситуация может привести к усталости в хронической форме — синдрому хронической усталости, что зачастую отражается на профессиональной подготовке студентов. В статье исследуются основные факторы риска возникновения хронической усталости у учащейся молодежи. С этой целью рассмотрены режимы сна и питания студентов. Кроме того, отмечена зависимость хронической усталости от двигательной активности и возможного стресса в жизнедеятельности молодежи.

**Ключевые слова:** студент, синдром хронической усталости, учебная нагрузка, факторы риска, режим, зависимость, проблематика.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-37-40

#### Авторы Authors

*Наталья Анатольевна Линькова, канд. пед. наук, доцент Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), профессор РАЕ, Екатеринбург, Россия; Register Nurse, Brisbane, Australia*

*Natalia Linkova-Daniels, candidate of pedagogical sciences, senior lecture, Ural State University of Railway Transport (USURT), professor RAE, Ekaterinburg, Russia; Register Nurse, Brisbane, Australia*

#### Abstract

Young age is the best period of human life but it has its peculiarities and hardships. The up-to-date academic process is carrying great physical, psycho-physical and emotional loads. A student faces different hardships not only during the academic process, but in everyday, social life. Such a situation may result in fatigue in chronic form – chronic fatigue syndrome, often being reflected on professional training of students. The article deals with the main risk factors of chronic fatigue in students. The sleep and diet regimens of students are examined for this purpose. Besides, dependence of chronic fatigue on motion activity and possible stress in young people's lives is noted.

**Keywords:** student, chronic fatigue syndrome, academic load, risk factors, regimen, dependence, problems.

### Актуальность проблемы

Современный учебный труд требует достаточно высокого уровня функционального состояния организма и хорошего здоровья. При этом результаты медицинского осмотра в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) показывают, что 37 % студентов имеют отклонения в состоянии здоровья и посещают занятия по физической культуре в оздоровительном отделении. К основным заболеваниям можно отнести расстройства вегетативной нервной системы. Вегето-сосудистая дистония (ВСД) определяется у каждого третьего студента, и количество их увеличивается с годами обучения в вузе [1, 2]. Такое состояние организма, как «синдром менеджера», становится все более распространенным в студенческой среде [3].

Любое заболевание значительно снижает профессиональную подготовку студентов. Функциональное состояние организма и здоровье человека во многом определяются образом его жизни. Несоблюдение здорового образа жизни (ЗОЖ), частые стрессовые ситуации, связанные как с процессом обучения, так и с возможными проблемами в социальной жизни, могут послужить факторами возникновения синдрома хронической усталости у студента.

**Цель исследования:** выявление распространенности синдрома хронической усталости у студентов транспортного вуза.

**Задачи:**

1) проанализировать функциональное состояние студентов;

2) определить факторы риска, влияющие на возникновение и развитие синдрома хронической усталости у студентов.

**Методика и организация исследования:** анализ литературных и информативных источников, опрос и анкетирование студентов УрГУПС, 60 человек (юношей и девушек) 1–3 курсов в возрасте 18–20 лет.

### Анализ и результаты исследования

Синдром хронической усталости (СХУ) — это тяжелая форма эмоционального, физического и умственного утомления при отсутствии диагностированного органического заболевания, способного вызвать такое состояние [1, 2].

К главным симптомам хронической усталости относятся беспричинная усталость, которая не проходит даже после длительного отдыха. К второстепенным симптомам относят недомогания неясной этиологии, похожие на гриппозные: чувство разбитости, невозможность сосредоточиться, общий дискомфорт, головные боли, головокружения, депрессия и др. [3].

Современные студенты имеют высокий риск заболеваемости нервной системы, на это указывают определенные симптомы. Так, например, исследования и опрос студентов УрГУПС показали следующую обобщенную картину:

1. Студенты старших курсов жалуются на разбитость и усталость по утрам чаще, чем младшие. При этом половина респондентов все-таки высыпается после ночного сна и не чувствует дискомфорта. Указывает на опасность тот факт, что 15 % студентов ночью спят 4 часа и менее, так как они заняты выполнением учебных заданий.

2. Около 40 % студентов считают, что физическая нагрузка является причиной усталости. Интересно, что около 50 % студентов считают, что физические упражнения помогают побороть усталость и улучшить концентрацию. В данном случае наблюдается определенное непонимание роли целенаправленной физической нагрузки для жизнедеятельности студентов.

3. Все опрошенные порой замечают за собой повышенную раздражительность, особенно в сессионный период, что предполагает снижение функциональной деятельности нервной системы.

4. Около 25 % респондентов положительно относятся к утренней зарядке и стараются ее делать. При этом 63 % игнорируют ее, и только 12 % регулярно занимаются спортом, т.е. студенты пытаются соблюдать двигательный режим, но не у всех респондентов получается по причинам, которые они связывают с занятостью.

6. 40–45 % опрошенных студентов считают, что режим питания является обязательным в образе жизни, и стараются его соблюдать [5, 6]. Надо сказать, что больше половины студентов получили информацию о правильном питании в семье. Большинство респондентов считают, что в физическое воспитание студентов необходимо включить основы правильного питания.

### Влияние режима сна на возникновение хронической усталости у студентов

Сон — это естественный физиологический процесс пребывания в состоянии с пониженной реакцией на окружающий мир, присущий млекопитающим, птицам, рыбам и некоторым другим животным [4].

В данном случае необходимо рассмотреть две стороны синдрома хронической усталости, связанные со сном. Во-первых, это причины, приводящие к нарушению сна и, как следствие, к хронической усталости. Во-вторых, наоборот, как непосредственно хроническая усталость влияет на нарушение сна.

Определено, что одной из главных причин нарушения сна у студентов УрГУПС является экзаменационная сессия. В этот период студенты забывают о правилах здорового образа жизни, так как сосредоточены на подго-



товке к экзаменам, при постоянной нехватке времени. Эта проблема достаточно широко обсуждается многими учеными. Директор медицинского центра, который занимается проблемами сна, профессор Медицинского колледжа Бейлора (Baylor College of Medicine) доктор Филип Эйлэйпэт рекомендует всем студентам подходить рационально ко всему учебному процессу и не оставлять большой объем подготовки на сессионный период. Необходимо готовиться к сессии в течение всего семестра и спать перед экзаменом 8 часов [10].

Известно, что «внутренние часы» человека при помощи гормонов регулируют дневные и ночные процессы. Важнейший гормон сна человека — мелатонин вырабатывается в организме ночью с 12 до 4 часов [2]. Большая учебная нагрузка, отложенная на сессионный период, порой не позволяет студенту спать в эти часы, что может привести к нарушению функций организма и возникновению хронической усталости. Исследования подтверждают и обратный процесс, т.е. хроническая усталость может привести к нарушению ритма сна и бодрствования, что связано с нехваткой мелатонина [2]. Кроме того, недостаток мелатонина у человека может привести к тяжелым онкологическим заболеваниям [1].

### Влияние питания на возникновение хронической усталости у студентов

Обезвоживание организма приводит к изменениям объема и состава крови, значительно ухудшается эффективность работы сердца, снижается обогащение организма кислородом. В таком случае нарушаются процессы окисления, ведущие к высвобождению энергии, без которой человеческий организм нормально функционировать не может [2]. При этом, согласно опросу, студенты не придают большого значения воде, заменяют ее газированными напитками, чаем, кофе, тем самым попадают в зону риска сердечно-сосудистых заболеваний, жалуются на усталость.

Неправильное питание приводит к дефициту необходимых студенту питательных веществ, минеральных солей и витаминов, что может привести к недостатку энергии, накоплению усталости и понижению работоспособности.

Кроме того, люди, страдающие синдромом хронической усталости, часто жалуются на проблемы с пищеварительным трактом. Биологи из Корнеллского университета проанализировали наличие связи между хронической усталостью и нарушением кишечной микрофлоры. Исследователи изучили содержание различных бактерий в кишечнике 48 пациентов, страдавших синдромом хронической усталости, и 39 здоровых добровольцев. Оказалось, в кишечнике страдающих синдромом хронической усталости полезных бактерий гораздо мень-

ше нормы, причем особенно мало бактерий, помогающих организму бороться с воспалительными процессами [8]. Данное открытие подтверждает влияние питания на возникновение и развитие хронической усталости.

### Зависимость хронической усталости от двигательной активности

Синдром хронической усталости может возникнуть у людей, которые имеют дисбаланс между физическим и умственным трудом. Гиподинамия становится одним из главных рисков возникновения хронической усталости [3]. При уменьшении двигательной активности нарушается функциональная деятельность всего организма человека, всех его органов и систем, что, в свою очередь, может способствовать развитию хронической усталости.

Большое значение в профилактике гиподинамии у студентов играют обязательные занятия по физической культуре, что позволяет поддерживать минимальный уровень двигательной активности студентов.

Но только 73 % опрошенных студентов имеют хорошую посещаемость по данной дисциплине, значит, 27 % респондентов имеют риск развития хронической усталости.

### Влияние стресса на возникновение хронической усталости студентов

Известно, что учебный процесс зачастую требует от учащихся высокого психофизиологического напряжения, что приводит к мобилизации защитных сил организма для снижения стресса. Студенты — одна из самых часто подвергаемых стрессам категорий людей [3, 7].

Основными симптомами стресса могут быть такие физические проявления, как головная боль, бессонница, усталость. Кроме того, у студентов появляется раздражительность, тревога, депрессия, возникают когнитивные проявления, такие как снижение концентрации внимания, забывчивость [7]. Анализ перечисленных симптомов с точки зрения факторов риска, приводящих к возникновению хронической усталости, показывает, что бессонница и головная боль встречаются довольно часто.

В связи со спецификой учебного процесса и порой неумением организовать свой день студенческая молодежь подвержена достаточно высокой тревожности. Контрольные точки, объемы работ, сессия — всё это так или иначе не обходится без проявлений тревожности. Во время тревожности происходит истощение организма, которое вызывает усталость, и если не предпринимать никаких мер по восстановлению сил и нормализации психического состояния, может развиться синдром хронической усталости.

### Выводы

Определено, что достаточно большое количество студентов в настоящее время имеет риск приобретения синдрома хронической усталости, в том числе и студенты УрГУПС. Нарушение режима сна, питания, нехватка

двигательной активности могут послужить возникновению синдрома хронической усталости студентов. Кроме того, синдром хронической усталости может возникнуть на фоне долгого воздействия стрессовых факторов на человека. Таким образом, необходимо вовремя устранять факторы риска, которые могут привести к тяжелым последствиям. **IT**

### Список литературы / Reference

1. Воробьева О. В. Психовегетативный синдром, ассоциированный с тревогой (вопросы диагностики и терапии) / О. В. Воробьева // Русский медицинский журнал. — 2006. — № 23. — С. 1696–1699.
2. Зязин С. В. Клинико-функциональные особенности нейрорегуляторной дистонии у лиц молодого возраста и некоторые методы ее коррекции : дис. ... канд. мед. наук / С. В. Зязин. — Саратов, 2005. — 147 с.
3. Котова О. В. «Синдром менеджера»: от диагноза к лечению / О. В. Котов // Новая аптека. — 2010. — № 9. — С. 20–21.
4. Николаева О. В., Бабурин И. Н., Николаев Е. Л., Дубравина Е. А. Криз? Атака? Невроз? Клинический случай приступа психовегетативных нарушений в кардиологическом стационаре // Вестник психотерапии. — 2009. — № 30. — С. 86–90. — ISSN 0132-182X.
5. Линькова Н. А. Определение уровня физической нагрузки для студентов с нарушением кровообращения в сосудах головного мозга / Н. А. Линькова // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. — 2016. — № 3(133). — С. 137–142.
6. Линькова Н. А. Технология организации учебного процесса по физическому воспитанию студентов оздоровительного отделения / Н. А. Линькова // Вестник УрГУПС. — 2015. — № 3 (27). — С. 81–86.
7. Марчук С. А. Влияние экзаменационного стресса на психофизическое состояние студентов / С. А. Марчук // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. — 2019. — № 10 (176). — С. 222–226.
8. Ночь перед экзаменом: учить или спать? — URL: <http://www.infoniac.ru/news/Noch-pered-ekzamenom-uchit-ili-spat.htm> (дата обращения: 14.02.2020).
9. Причина хронической усталости — неправильное питание? — URL: <http://www.psychologies.ru/wellbeing/food/prichina-hronicheskoy-ustalosti-bolezni-kishechnika/> (дата обращения: 16.02.2020).

Объем статьи: 0,33 авторских листа



**Антон Александрович  
Кураксин**  
Anton A. Kuraksin



**Александр Владимирович  
Шемякин**  
Alexander V. Shemyakin

## Оценка динамической матрицы корреспонденций путем обезличенного детектирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth

### Assessment of dynamic matrix of correspondence through depersonalized detection of devices transmitting Bluetooth signal

#### Аннотация

В статье представлены результаты мониторинга транспортных потоков на участке дорожной сети города Рязани, проводимого с помощью обезличенного детектирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth. В работе предложен способ оценки динамической матрицы корреспонденций на основе детектирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth.

**Ключевые слова:** время в пути, транспортный поток, мониторинг, скорость, матрица корреспонденций.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-41-45

#### Авторы Authors

*Антон Александрович Кураксин, транспортный инженер, аспирант ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева», г. Рязань; e-mail: aakuraksin@gmail.com | Александр Владимирович Шемякин, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Организация транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности (БЖД)» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева», г. Рязань; e-mail: shem.alex62@yandex.ru*

*Anton Alexandrovich Kuraksin, transport engineer, Postgraduate, "Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev", Ryazan City; e-mail: aakuraksin@gmail.com | Alexander Vladimirovich Shemyakin, Doctor of tech. science, Associate Professor, Head of the Department "Organization of transportation processes and life safety", "Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev", Ryazan City; e-mail: shem.alex62@yandex.ru*

Данная работа основывается на результатах НИР, проводимой на территории г. Рязани. Работа посвящена разработке программно-аппаратного комплекса для мониторинга транспортных потоков путем обезличенного детектирования устройств, оборудованных технологией Bluetooth. Результаты проникновения сигналов и общее описание проблемы оценки времени в пути представлены в работе [1].

Статья направлена на расширение спектра применения данных мониторинга транспортных потоков путем обезличенного детектирования устройств, оборудованных технологией Bluetooth, в части оценки динамических матриц корреспонденций.

Существует достаточно большое число методов оценки матриц корреспонденций [2]. В целом их следует разделить на две основных группы. Это статическая оценка матриц на высоком уровне агрегации (обычно средние сутки) и динамическая оценка матриц с малым интервалом измерения (5, 15, 35, 60 минут в течение всего дня).

Первая группа матриц направлена на развитие методов транспортного планирования, где ошибки в матрицах с небольшим интервалом времени не снижают качества прогнозов. Статические матрицы используются в специализированном ПО для статического прогнозного моделирования (например, Transcad, Emme, Visum, и пр.) и применяются в общих оценках спроса в документах уровня Генерального плана и ПКРТИ. Получение статических матриц в настоящее время не вызывает значительных методических проблем, существуют разнообразные методы и способы, которые устойчиво вошли в практику транспортного планирования. В свою очередь, получение динамических матриц связано со значительными проблемами, так как к их качеству предъявляются более высокие требования [3, 4].

Вторая группа матриц относится к методам оперативного управ-

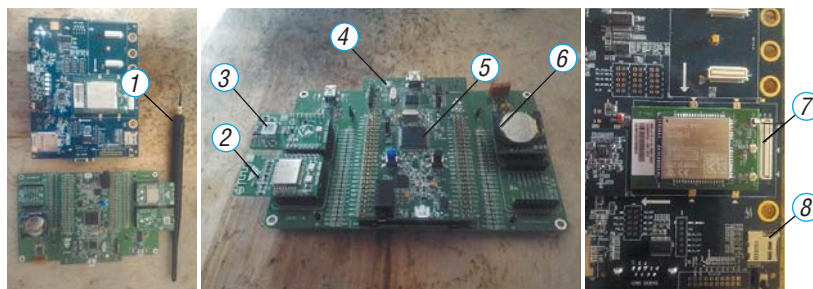


Рис. 1. Компоненты устройства для мониторинга устройств, оборудованных модулем Bluetooth:

1 — внешняя антенна; 2 — Wi-Fi-модуль; 3 — модуль позиционирования ГЛОНАСС/GPS; 4 — программатор для микроконтроллера; 5 — микроконтроллер STM 32; 6 — дополнительное питание; 7 — УС 20 модуль для передачи данных; 8 — SIM Holder

ления дорожным движением в течение определенных интервалов дня. К таким матрицам наоборот предъявляются требования к высокой детализации периодов изменения спроса. На базе данных матриц основываются все методы динамического распределения потоков в проектах ИТС и специализированных приложениях для мезоскопического моделирования (DTA Lite/NEXTA, Dynust, Dynasmart-X, и др.).

Наиболее популярными методами в оценке динамических матриц являются методы, основанные на сопоставлении государственных автомобильных номеров (более точные и капиталоемкие), и методы, основанные на измерении транспортных потоков детекторами транспорта (менее точные) с последующим прогнозированием распределения потоков между парами зон. В рамках данной работы предлагается метод оценки динамических матриц корреспонденций, основанный на данных мониторинга транспортных потоков путем обезличенного детектирования устройств, оборудованных технологией Bluetooth. Он, по мнению авторов работы, обладает большей экономической эффективностью, чем методы, основанные на сопоставлении государственных автомобильных номеров, и большей точностью, чем методы, основанные на анализе данных детекторов транспорта.

В качестве исследовательской площадки был выбран участок Пер-

вомайского проспекта в г. Рязани и ряд пересекающих его улиц. Исследуемый участок начинается от пересечения ул. Типанова и Первомайского проспекта (сенсор № 1) и заканчивается на пересечении Первомайского проспекта и ул. Вокзальной (сенсор № 2). Далее станции мониторинга были установлены на пересекающих проспект улицах: ул. Дзержинского (сенсор № 3), пр. Завражного (сенсор № 4), ул. Чкалова (сенсор № 5).

Для мониторинга были развернуты 5 прототипов станций мониторинга сигналов Bluetooth. На рис. 1 представлены фотографии компонентов устройства для мониторинга сигналов Bluetooth.

Мониторинг с целью оценки динамических матриц корреспонденций производился в пиковые часы с 8:00 до 09:00 и с 17:00 до 18:00, в эти периоды участники эксперимента одновременно включали прототипы сенсоров. Общая схема размещения устройств для сбора данных представлена на рис. 2.

Дополнительными данными для вычисления матриц являются данные полуавтоматического мониторинга интенсивности транспортных потоков на базе камер видеонаблюдения. Информация о приведенной интенсивности движения была получена на основе анализа данных, полученных с веб-камер, установленных на основных пересечениях улиц города Рязани [5] (рис. 3).

Таким образом, входными данными для оценки динамических матриц являются данные детекторов транспорта (табл. 1) и относительные распределения MAC-адресов в виде матрицы с указанием относительных значений в процентах (табл. 2), т.е. предполагается использовать часть выявленной доли корреспонденций на всю генеральную совокупность корреспонденций (пропорциональное увеличение).

Для оценки динамической матрицы за определенный период времени предлагается использовать следующее выражение:

$$OD_{ij} = O_i \cdot BOD\%_{ij}, \quad (1)$$

где  $OD_{ij}$  — количество поездок из зоны  $i$  в зону  $j$ ;  $O_i$  — количество поездок, начинающихся в зоне за определенный временной период (данные детектора транспорта);  $BOD\%_{ij}$  — количество поездок в процентном соотношении между  $i$  и  $j$  зоной, на основе данных сканирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth.

Важнейшим вопросом оценки эффективности предложенного метода является создание априорной (истинной) матрицы, в которой будет высока первоначальная точность и адекватность. Также важен способ численной математической оценки адекватности предложенного метода. В целях создания сравнительной, т.е. наиболее вероятной, матрицы корреспонденций предлагается метод, основанный на полуавтоматической записи автомобильных номеров. Исследователь устанавливает на каждом подходе устройство с возможностью записи автомобильных номеров и затем с помощью видеоповтора создает базу для вычисления текущей (истинной) матрицы корреспонденций, которая берется за первоисточник. В этот же момент идет сбор данных об интенсивности движения ТП и проводится мониторинг устройств, излучающих сигналы Bluetooth с помощью специализированных станций. Целью сбора матриц является сравнение истинной матрицы и матрицы, полученной на основе экстраполяции в соответствии с выражением 1.

Для валидации качества матрицы предлагается использовать GEN-статистику [6].



Рис. 2. Расширенная зона исследования и точки расположения сенсоров Bluetooth для оценки динамических матриц корреспонденций



Рис. 3. Расположение веб-камер, осуществляющих фиксацию параметров движения автотранспорта, в рассматриваемой части УДС Рязани

Таблица 1

Данные детекторов транспорта

№ зоны	Значение входящего потока ТС в приведенных единицах
1	$O_{i1}$
2	$O_{i2}$
3	$O_{i3}$
4	$O_{i4}$
5	$O_{i5}$

Таблица 2

Данные оценок сенсоров MAC-адресов Bluetooth

№ зоны	1	2	3	4	5
1	0	$BOD\%_{1-2}$	$BOD\%_{1-3}$	$BOD\%_{1-4}$	$BOD\%_{1-5}$
2	$BOD\%_{2-1}$	0	$BOD\%_{2-3}$	$BOD\%_{2-4}$	$BOD\%_{2-5}$
3	$BOD\%_{3-1}$	$BOD\%_{3-2}$	0	$BOD\%_{3-4}$	$BOD\%_{3-5}$
4	$BOD\%_{4-1}$	$BOD\%_{4-2}$	$BOD\%_{4-3}$	0	$BOD\%_{4-5}$
5	$BOD\%_{5-1}$	$BOD\%_{5-2}$	$BOD\%_{5-3}$	$BOD\%_{5-4}$	0

Таблица 3

$$G_H = \sqrt{\frac{2(v - \hat{v})^2}{v + \hat{v}}}, \quad (2)$$

где  $G_H$  — GEN для часового периода наблюдений;  $v$  — истинные значения интенсивности корреспонденций (метод исследования автомобильных номеров);  $\hat{v}$  — значения, полученные в соответствии с предложенным методом, использующим данные сигналов Bluetooth.

Важной особенностью формулы GEN является способность учитывать различия отклонений на более и менее интенсивных значениях транспортных потоков. Соответственно, это позволяет допускать большие отклонения на менее важных участках улиц, где другие методы валидации показывали бы недопустимые отклонения. В табл. 3 представлены практические интерпретации GEN-статистики для 85 % наблюдаемых значений [7].

Анализ и валидация матриц корреспонденций проводились для утреннего и вечернего часа пик. Резуль-

**Интерпретация GEN-статистики для 85 % наблюдаемых значений**

Значение GEN	Описание качества валидации
GEN = 1.0–2.0	Отличное значение
GEN = 2.0–5.0	Хорошее значение
GEN = 5.0–10.0	Приемлемое значение
GEN > 10.0	Неприемлемое значение

таты валидации сравнительных матриц представлены в табл. 4 и 5.

Анализируя данные, полученные в табл. 4 и 5, можно сделать вывод об адекватности предложенного метода.

Таблица 4

**Результаты оценки адекватности предложенного метода для утреннего часа пик (07:00–08:00)**

Матрица на основе сопоставления автомобильных номеров		Цель				
		В зону № 1	В зону № 2	В зону № 3	В зону № 4	В зону № 5
Источник	Из зоны № 1	—	494	329	Запрет маневра	Запрет маневра
	Из зоны № 2	637	—	425	142	212
	Из зоны № 3	540	660	—	Запрет маневра	Запрет маневра
	Из зоны № 4	106	146	13	—	Запрет маневра
	Из зоны № 5	551	Запрет маневра	275	92	—
Матрица на основе данных сканирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth		Цель				
		В зону № 1	В зону № 2	В зону № 3	В зону № 4	В зону № 5
Источник	Из зоны № 1	—	398	310	0	0
	Из зоны № 2	548	—	500	117	418
	Из зоны № 3	600	540	—	Запрет маневра	Запрет маневра
	Из зоны № 4	150	180	40	—	Запрет маневра
	Из зоны № 5	951	Запрет маневра	315	140	—
Валидация GEN		Цель				
		В зону № 1	В зону № 2	В зону № 3	В зону № 4	В зону № 5
Источник	Из зоны № 1	—	4.5	1.1	—	—
	Из зоны № 2	3.7	-	3.5	2.2	11.6 (выброс)
	Из зоны № 3	2.5	4.9	—	—	—
	Из зоны № 4	3.9	2.7	5.2	—	—
	Из зоны № 5	14.6 (выброс)	—	2.3	4.5	—

То есть для более чем 85 % отклонения сравниваемых матриц лежат в диапазоне от 2 до 7 GEN. При этом присутствуют значительные выбросы ( $GEN > 10$ ), вызванные естественными отклонениями трафика на изучаемой УДС. В дальнейшей работе авторы ставят задачу по анализу и изучению выбросов данных и разработки устойчивых к выбросам методов при составлении

динамических матриц на основе данных сканирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth. Также важнейшей задачей является расширение зоны мониторинга и сканирования сигналов Bluetooth. **ИТ**

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-47-623002).*

Таблица 5

### Результаты оценки адекватности предложенного метода для вечернего часа пик (17:00–18:00)

Матрица на основе сопоставления автомобильных номеров		Цель				
		В зону № 1	В зону № 2	В зону № 3	В зону № 4	В зону № 5
Источник	Из зоны № 1	—	1456	364	Запрет маневра	Запрет маневра
	Из зоны № 2	354	—	779	142	142
	Из зоны № 3	595	1105	—	Запрет маневра	Запрет маневра
	Из зоны № 4	233	209	23	—	Запрет маневра
	Из зоны № 5	701	0	200	100	—
Матрица на основе данных сканирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth		Цель				
		В зону № 1	В зону № 2	В зону № 3	В зону № 4	В зону № 5
Источник	Из зоны № 1	—	1280	410	Запрет маневра	Запрет маневра
	Из зоны № 2	354	—	650	200	180
	Из зоны № 3	450	1250	—	Запрет маневра	Запрет маневра
	Из зоны № 4	450	180	50	—	Запрет маневра
	Из зоны № 5	600	0	150	120	—
Валидация GEN		Цель				
		В зону № 1	В зону № 2	В зону № 3	В зону № 4	В зону № 5
Источник	Из зоны № 1	—	5	2	—	—
	Из зоны № 2	0	—	5	4	3
	Из зоны № 3	6	4	—	—	—
	Из зоны № 4	12 (выброс)	2	4	—	—
	Из зоны № 5	4	—	4	2	—

## Список литературы / Reference

- Кураксин А. А. Мониторинг транспортных потоков путем обезличенного детектирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Бюллетень транспортной информации. — 2019. — № 10 (292). — С. 17–21. — ISSN 2072–8115.
- Кураксин А. А. Обзор методов оценки матрицы корреспонденций / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Наука и образование XXI века. — Рязань : НОУ ВПО Современный технический институт, 2015. — С. 93–101.
- Blogg M., Semler C., Hingorani M., Troutbeck R. Travel Time and Origin-Destination Data Collection using Bluetooth MAC Address Readers // Australasian Transport Research Forum 2010 Proceedings. — 2010. — P. 1–15.
- Madhav V. Chitturi, John W. Shaw, John R. Campbell IV, David A. Noyce Validation of Origin-Destination Data from Bluetooth Re-Identification and Aerial Observation // Australasian Transport Research Forum. — 2014. — № 14. — 0223.
- Ryazan camera. — URL: <https://ryazan.camera> (дата обращения: 07.08.2020).
- Transport for London. Traffic Modelling Guidelines Version 3.0. — London, UK, 2010. — App. III. — P. 179.
- Van Vliet D. Saturn Software User's Manual (v11.2). — Epsom, Surrey, UK, 2013. — Chapter 15. — P. 13–15.

Объем статьи: 0,52 авторских листа



**Виктор Вячеславович  
Орлов**

**Viktor V. Orlov**

## О межсезонном осмотре деформационных швов городских мостов

### About off-season inspection of deformation joints of bridges

#### Аннотация

Статья посвящена вопросам сезонного осмотра городских мостов. Акцент сделан на осмотрах деформационных швов. Предложено проводить осмотр в межсезонье, в периоды с явными перепадами температуры наружного воздуха, что позволяет более точно визуально определить места, требующие более детального обследования.

**Ключевые слова:** мост, путепровод, транспортные сооружения, эксплуатация, деформационный шов, сезонный осмотр, обследование.

#### Abstract

The article deals with issues of off-season inspection of urban bridges. Inspections of deformation joints are focused on. It is suggested that inspections should be conducted during off-season, with apparent outdoor temperature changes, this enabling to find more precisely the spots requiring a more detailed inspection.

**Keywords:** bridge, overpass, transport facilities, operation, deformation joint, off-season inspection, examination.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-46-49

#### Авторы Authors

*Виктор Вячеславович Орлов, доцент кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VOrlov@usurt.ru*

*Viktor Vyacheslavovich Orlov, Associate Professor, "Bridges and transport tunnels" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; VOrlov@usurt.ru*



Мосты, эстакады, путепроводы занимают важное место в транспортной системе городов. Проведение мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах местного значения, в том числе на объектах улично-дорожной сети, в границах городского округа при осуществлении дорожной деятельности относится к полномочиям органов местного самоуправления городского округа в области обеспечения безопасности дорожного движения [1].

Городские службы и эксплуатирующие организации осуществляют своевременные осмотры мостов, виадуков, эстакад, путепроводов, их дефектование и определение объемов требуемых работ по сезонному обслуживанию. Осмотры включают в себя визуальное наблюдение за общим состоянием транспортных сооружений для выявления дефектов, требующих устранения, определения объемов работ по ремонту и содержанию, установления порядка дальнейших действий по надзору и содержанию транспортного сооружения. Осмотры должны проводиться, согласно инструкции Минавтодора [2], в строго определенные сроки:

- 1) наплавные и деревянные мосты — не реже, чем один раз в три месяца;
- 2) железобетонные, металлические мосты — не реже, чем один раз в шесть месяцев;
- 3) сварные, усиленные сваркой, клепано-сварные пролетные строения мостов — в зимний период один раз в месяц, а при температуре наружного воздуха ниже минус 20 °С — ежедневно.

Кроме того, в инструкции [2] есть примечание, что «мосты с дефектами, влияющими на грузоподъемность сооружения, должны осматриваться еще чаще».

В основной массе в городах мосты относятся ко второй из перечисленных групп, т.е. должны осматриваться раз в полгода. Рекомендовано проводить осмотры в весенний и осенний периоды, так как именно в это время идет повышенный расход паводковых и ливневых вод, а также происходит переход температуры воздуха через нулевую отметку, что чревато изменениями условий эксплуатации.

В СП «Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний» [4] осмотры мостов не относят к автономным работам, т.е. они являются составной частью целого комплекса оценочных работ, характеризующих работоспособность моста и определяющих возможность и параметры дальнейшей эксплуатации.

Необходимость обследования [5] определяется задачами, стоящими перед эксплуатирующими организациями:

- определение дефектов, снижающих прочностные характеристики конструкции;
- увеличение (разовое или регулярное) эксплуатационных нагрузок;
- реконструкция объекта;

- восстановление данных по объекту транспортного строительства при утрате проектно-сметной и исполнительной документации;
- восстановление строительства после перерыва свыше трех лет или при отсутствии консервации объекта строительства при перерыве менее трех лет;
- выявление деформации оснований;
- определение последствий воздействия на объект стихийных бедствий и техногенных аварий.

Таким образом, обследование является сложным мероприятием, для которого необходимы техническое задание, финансирование, научная база. А осмотр транспортного сооружения — предварительная работа, проводимая в целях профилактики и контроля за состоянием объекта и служащая рекогносцировкой при планировании сезонных работ. Но, несмотря на это, осмотр является важным мероприятием в повестке организаций и собственников, эксплуатирующих городские транспортные мосты и путепроводы.

В течение зимнего сезона на мостовые сооружения воздействуют перепады температуры, осадки, динамические нагрузки от транспорта и коммунальной техники. Все это в комплексе оказывает крайне негативное влияние на состояние элементов мостов. Соответственно, необходимость вовремя определиться с необходимыми работами по содержанию является важной составляющей эксплуатации транспортных сооружений.

Мы рассматриваем только один рабочий момент, а именно осмотр деформационных швов городских мостов и путепроводов. Часто при их сезонном осмотре в целях экономии и ускорения работ упускается важность подготовительных работ (очистка сооружения от мусора, снега, устройство подмостей, специальных приспособлений, регулирование движения на и под мостом в период осмотров и т.д.). Тем самым работы по осмотру проводятся в стесненных условиях с большим количеством помех, что напрямую сказывается на качестве работ. Возможен пропуск важных моментов, свидетельствующих о нарушении работы узлов.

Чаще всего работы по осмотру проводятся в апреле-мае, когда сходит снег и паводковые воды и дороги чистые. Так прописано и в нормативной литературе. Однако в данный период времени обнаружить дефекты проблемно, особенно при экономии средств на подготовительных работах. Более эффективно проводить данные работы на месяц-другой раньше в зависимости от наружной температуры воздуха. Лучше, если температура будет переменной (днем плюсовая, ночью небольшой минус). При такой температуре в дневное время происходит оттаивание снега, льда на покрытии мостового сооружения, и вода начинает стекать вниз. Ночью вода замерзает, и по образовавшимся сосулькам легко можно проследить места протечек и работу конструкции гидроизоляции сооружения.

Рассмотрим на примере. Согласно п. 6.1.2.1 ОДМ 218.2.025–2012 «Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах» [6], конструкция деформационного шва совместно с гидроизоляцией мостового полотна образует систему непрерывной гидроизоляции для отвода воды и грязи от нижерасположенных конструкций мостового сооружения. Деформационный шов, помимо основной задачи компенсации продольных деформаций конструкций, должен исключать возможность попадания воды, грязи на нижележащие конструкции и элементы моста/путепровода. Рассмотрим путепровод через объездную дорогу в г. Екатеринбурге по ул. Щербакова (рис. 1).

Деформационный шов визуально целый. Имеется несколько не критичных мест повреждения компенсатора. При первоначальном осмотре возможно принятие решения о мелком сезонном обслуживании конструкции, а причины остальных деформаций путепровода будут отнесены к задачам дальнейших обследований.

Однако картина резко меняется при осмотре сооружения снизу в марте (рис. 2), т.е. во время значительного перепада температуры наружного воздуха. Сразу бросается в глаза большое количество сосулек по всей длине шва. Шов совершенно не выполняет функцию гидроизоляции и защиты нижележащих конструкций от намокания. Также бросается в глаза производственный брак, невидимый с верхней части мостового полотна, а именно остатки утеплителя, находящегося между торцами балок пролетного строения.

Отмечаются массовые следы выщелачивания цемента в виде пятен на ригеле опоры и на балках пролетного строения. Также можно увидеть полное разрушение защитного слоя и оголение конструктивной арматуры на участке ригеля. Притом сразу можно отметить, что места выщелачивания и нарушения защитного слоя полностью коррелируют с местами протечек воды из деформационного шва. Нет необходимости заниматься дополнительным обследованием для поиска причин повреждения бетона пролетного строения и опоры путепровода.

Таким образом, мы видим повреждение защитного слоя с коррозией арматуры, повреждение конструкции от разрушения гидроизоляции в результате выщелачивания и размораживания бетона. Данные дефекты при оценке долговечности работы конструкции относятся ко второй категории — «сооружения, имеющие неисправности, устранение которых требует выполнения ремонта» [2]. При оценке безопасности дорожного движения данные повреждения также относятся ко второй категории как «повреждения... в деформационных швах...» [2].

Надо отметить, что данные нарушения не являются единичными на этом путепроводе. Если осмотреть остальные деформационные швы, можно выявить и другие проблемы.



Рис. 1. Деформационный шов путепровода через объездную дорогу по ул. Щербакова



Рис. 2. Деформационный шов рассматриваемого путепровода. Вид снизу



Рис. 3. Деформационный шов визуально прерывается под покрытием тротуаров

Так, на рис. 3 видно, что деформационные швы на тротуарах не видны, они перекрыты асфальтобетонным покрытием, что препятствует нормальной работе швов.



Рис. 4. Разная степень деформирования покрытия над перекрытыми деформационными швами

На рис. 4 показаны полностью перекрытые деформационные швы, которые не работают, покрытие проезжей части имеет различные разрушения, что явно свидетельствует о недеформативности заполнения. Данные повреждения имеют системный характер и ежегодно возникают в одних и тех же местах.

В качестве вывода: для данного путепровода требуется кардинальное решение вопроса работоспособности

деформационных швов, малыми эксплуатационными работами решить выявленную проблему невозможно.

Перенос сезонного обследования на более ранний срок позволит в полной мере оценить состояние элементов городских мостов и путепроводов. Соответственно, объем ремонтных работ будет определен более корректно и точно, что позволит сэкономить на стоимости дальнейшей эксплуатации. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Решение № 2–548/20162–548/2016–М-575/2016 М-575/2016 от 10 ноября 2016 г. по делу № 2–548/2016. — URL: <https://sudact.ru/regular/doc/91vyWLgl8Vo7>.
2. Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах (ВСН 4–81) / Минавтодор РСФСР. — М. : Транспорт, 1981. — 32 с.
3. ВСН 24–88. Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог / Минавтодор РСФСР. — URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/5/5548>.
4. СП 79.13330.2012. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095530>.
5. СП 13–102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034118>.
6. ОДМ 218.2.025–2012. Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200112562>.

Объем статьи: 0,34 авторских листа



**Александр Владимирович Окунев**  
Alexander V. Okunev



**Анастасия Александровна Иванова**  
Anastasia A. Ivanova



**Александр Андреевич Филипов**  
Alexander A. Philipiev

## Оценка надежности работы трансформаторов

### Assessment of performance reliability of transformers

#### Аннотация

Увеличение объемов грузооборота приводит к увеличению нагрузок на тяговые подстанции и, соответственно, к увеличению рисков отказа их оборудования. В плане поддержания требуемого уровня напряжения и качества электроэнергии, которые определяют соответствующие значения по надежности к трансформаторам тяговых подстанций, в статье рассмотрено решение задачи по определению основных параметров их надежности. Приведенная модель расчета позволит упростить процесс выбора электротехнического оборудования, предназначенного для непрерывного электроснабжения тяги электроподвижного состава.

**Ключевые слова:** трансформатор, надежность, интенсивность отказов, математическая модель, отказ.

#### Abstract

Increase of freight traffic resulted in increased loads on traction substations and, respectively, in increase of their equipment failure risks. In the context of maintaining the required voltage level and power quality, which determine appropriate values in reliability for traction substation transformers, the article looks upon solving the problem of determination of reliability essential parameters. A proposed calculation model makes it possible to simplify the choice of electrical apparatus for uninterrupted power supply of electric rolling stock traction.

**Keywords:** transformer, reliability, intensity of failures, mathematical model, failure.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-50-53

#### Авторы Authors

**Александр Владимирович Окунев**, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Анастасия Александровна Иванова**, студентка группы С0э-526 Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Александр Андреевич Филипов**, студент группы С0э-526 Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург.

**Alexander Vladimirovich Okunev**, Associate Professor, "Electric power supply of transport" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg | **Anastasia Alexandrovna Ivanova**, Student of Group С0э-526, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg | **Alexander Andreyevich Philipiev**, Student of Group С0э-526, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg

Тема повышения надежности устройств тяговых подстанций в наибольшей степени важна для обеспечения безопасности движения поездов, а также для предотвращения их задержек.

Конструктивное исполнение тяговых подстанций или комплектных подстанций предусматривает наличие резервной линии оборудования, которая позволяет обеспечить бесперебойное электроснабжение тяги поездов при повреждении рабочей линии [1].

Основным элементом тяговых подстанций является тяговый трансформатор. В его конструкции отсутствуют резервирующие элементы, которые смогли бы дополнительно повысить его надежность, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по надежности, а именно повышенная возможность сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции, а также выполнять объем работы в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки [2]. При проектировании и создании таких устройств в первую очередь выбирают соответствующие материалы, а оборудование, предназначенное для защиты тяговых трансформаторов, подбирают в соответствии с потребляемой мощностью — это является основополагающим фактором, характеризующим параметры надежной работы всей системы, расчет которых позволит оценить возможность безаварийной эксплуатации.

Надежность работы трансформатора может зависеть от многих факторов, в частности, от характера питаемой электрической нагрузки и качества электрической энергии.

Техническое состояние тяговых трансформаторов оценивается интенсивностью переходов между уровнями работоспособности от более высокого до более низкого, так называемого состояния отказа. Переходы между уровнями работоспособности обуславливаются различными внешними воздействиями. Наиболее существенное влияние оказывают физические и химические загрязнения, ветер, увлажнение, изменения температурного режима. Для наиболее точной оценки показателей надежности работы тяговых трансформаторов применяются статистические методы исследования, которые дают возможность представить полную картину возможных повреждений и указать на наиболее слабые места при проектировании и создании силовых трансформаторов.

Так, проведенный статистический анализ, принятый на интервале времени 10 лет, позволил выявить основные причины повреждения тяговых трансформаторов:

- повреждение или износ изоляции обмоток под воздействием различных факторов, основной причиной которых является работа при повышенных нагрузках, близких к короткому замыканию;

- повреждения вводов трансформаторов как следствие перекрытия изоляции;
- повреждения контактных соединений;
- утечка масла.

Накопленные статистические данные, полученные в ходе эксплуатации силовых трансформаторов, позволяют сформировать статистику отказов основных элементов, к которым относятся: обмотка — 52 %, вводы — 27 %. Процент повреждения обмоток распределяется следующим образом: главная изоляция — 12 %, межвитковые замыкания — 28 %, термические и динамические воздействия — 12 % и прочие повреждения — 48 %.

На основе полученных данных составлена классификация повреждений тяговых трансформаторов (рис. 1) [3–6].

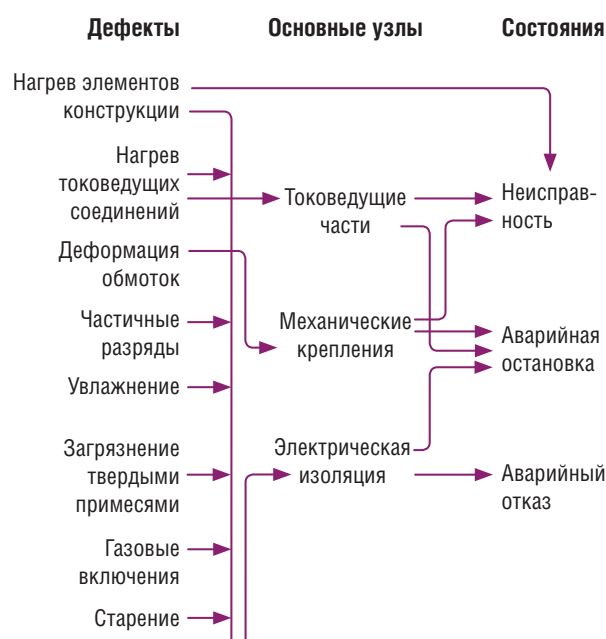


Рис. 1. Классификация повреждений трансформаторов

Приведенная классификация повреждений позволяет сформировать основные направления для повышения надежности силовых трансформаторов, которые можно условно разбить на две группы:

- 1) технические мероприятия;
- 2) организационные мероприятия.

Технические мероприятия применяются для технических решений, усовершенствования качества применяемых материалов, изменения процессов проектирования и создания силовых трансформаторов.

Организационные мероприятия направлены на своевременное выявление дефектов, создание алгоритмов выявления неисправностей и формирование показателей надежности. В методике [7] четко выделяют показатели надежности силовых трансформаторов, одним из них является показатель интенсивности отказов (табл. 1), определяемый по статистическим данным.

Таблица 1

Показатели надежности трансформаторов

Напряжение, кВ	$\lambda$ , год <sup>-1</sup>	$t_{в}$ , ч	$t_{пл}$ ч/год	$\lambda_{пл}$ , год <sup>-1</sup>
6–20	0,008–0,080	60–100	10–15	0,25
	0,005–0,020	90–150	25–30	0,3–0,7
	0,005–0,050	100–200	30–40	0,3–1,0
	0,02–0,08	150–250	40–50	0,4–1,0
	0,05–0,10	200–300	50–60	0,5–1,5
	0,05–0,15	250–350	60–80	0,5–2,0

Надежность силовых трансформаторов в условиях и режимах эксплуатации должна соответствовать следующим количественным показателям надежности [7, 8, 9, 10]:

- коэффициент готовности  $K_{Г}$  — (комплексный показатель);
- средняя продолжительность ремонта  $t_{р}$  КТП после отказа (показатель ремонтпригодности);
- средний срок службы  $T_{сл.сп}$  (показатель долговечности).

Для проведения расчета указанных показателей надежности используют соответствующие модели, разработанные с учетом следующих допущений:

- все отказы являются внезапными и представляют собой случайные независимые события;
- значения времени работы до отказа всех элементов трансформатора являются случайными величинами, которые подчинены экспоненциальному закону с постоянным параметром  $\lambda$ ;
- изменения состояний отдельных элементов взаимосвязаны;
- восстановительные работы после отказов в процессе эксплуатации осуществляются агрегатным способом и полностью восстанавливают его работоспособность.

Приведенные допущения позволяют получить отправную точку для проведения расчетов основных показателей надежности.

Расчет среднего времени наработки до отказа силовых трансформаторов производится по формуле:

$$T_{cp} = \frac{(\Delta T)}{2} \text{ ч.} \quad (1)$$

Принимаем допущение, что через интервал полученной наработки существует некоторая вероятность отказа любого из элементов трансформатора, которая определяется по формуле [10]:

$$\lambda(T_{cp}) = \frac{\left( \frac{1}{T_{cp}} \right)}{\left( \frac{8}{60} \right)}, \text{ год}^{-1}. \quad (2)$$

Интенсивность отказов не резервируемой линии будет равна:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum \lambda_i, \text{ год}^{-1}. \quad (3)$$

Учитывая полученный результат расчета суммарной интенсивности отказов, определяем среднее время безотказной работы [7, 8]:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}, \text{ лет.} \quad (4)$$

Среднее время безотказной работы системы с резервом:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{n} \right), \text{ лет.} \quad (5)$$

Комплексный показатель надежности — коэффициент готовности  $K_{Г}$ , который рассчитываем по формуле:

$$K_{Г} = \frac{T_0}{T_0 + t_{р}}. \quad (6)$$

Количественным показателем долговечности КТП является нормативный средний срок службы, который не должен быть менее 30 лет. Рассчитываем показатель долговечности КТП, определенный как средний срок службы по формуле:

$$T_{cp.сл} = \frac{T_0}{T_{ГР}}, \text{ лет,} \quad (7)$$

где  $T_0$  — средняя наработка на отказ,  $T_{ГР}$  — годовой ресурс КТП.

$$T_{ГР} = 8760 \cdot K_{И}, \text{ ч} \quad (8)$$

Коэффициент использования  $K_{И}$  определяется для соответствующего режима работы [9].

В соответствии с ГОСТ 27.003–2016 и ГОСТ 27.003–90 определяется гамма-процентный показатель сохранности, при установленных условиях хранения и транспортировке задается равным  $\gamma = 0,981$ .

Необходимые требования для обеспечения надежной работы трансформатора:

1. В соответствии с требованиями правил охраны труда, к подготовленным к эксплуатации трансформаторам должно быть смонтировано защитное заземление, сечением, соответствующим уровню пропускаемого тока.

2. Ограничить доступ к металлическим частям и баку трансформатора при эксплуатации с повышенной влажностью.

3. Обеспечить качественную вентиляцию помещений, где устанавливаются трансформаторы, исключая повышение влажности более 70 %.

4. Конструкция силового трансформатора должна быть исполнена таким образом, чтобы исключалась возможность попадания внутрь бака пыли и влаги.

5. Не допускать уровня трансформаторного масла в баке трансформатора ниже верхней части обмотки.

6. При сушке трансформаторного масла не допускается наличие грязи и посторонних жидкостей на оборудовании, с помощью которого осуществляется обслуживание трансформатора.

7. При наружной установке трансформатора необходимо обеспечить постоянное давление возникающего при работе трансформатора газа в баке, оно должно быть в допустимых пределах от 1 до 2 МПа.

8. Непосредственно перед включением в работу силового трансформатора должен быть проведен полный осмотр на соответствие правильности сборки основных узлов, а также их целостности.

9. После включения трансформатора в работу необходимо в течение первой недели осуществлять постоянный контроль значений всех его параметров, а также контролировать температуру масла и давление в баке.

10. Устройства защиты от перенапряжений (ОПН, разрядники) необходимо установить и соединить с вводами/зажимами трансформатора при помощи самой короткой ошиновки, чтобы защитить оборудование от коммутационных перенапряжений и ударов молнии.

Таким образом, большую роль в условиях эксплуатации играют не только технические характеристики силовых трансформаторов,

определяющие мощность и качество электрической энергии, но и оценка показателей их надежности, что позволяет эксплуатировать трансформаторы без дополнительных денежных затрат на обеспечение бесперебойной работы системы электрообеспечения.

Математическая модель, формируемая на основе статистических данных, позволяет прогнозировать сроки наступления критических состояний, что дает возможность планировать соответствующие виды технического обслуживания и ремонта. Своевременная диагностика и оценка показателей надежности в комплексе с техническими мероприятиями позволяют контролировать состояние системы электроснабжения и содержать ее на более высоком уровне. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Ефимов А. В., Галкин А. Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог : учеб. для вузов ж.-д. транспорта. — М. : УМК МПС России, 2000. — 512 с.
2. ГОСТ 27.003–2016. Надежность в технике (ССНТ). Состав и общие правила задания требований по надежности. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200144951> (дата обращения: 06.08.2020).
3. Анализ производственно-хозяйственной деятельности Свердловской дирекции ТРАНСЭНЕРГО в 2016 году, филиала ОАО «РЖД». — М., 2016. — 210 с.
4. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2013 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД». — М., 2013. — 122 с.
5. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2014 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД». — М., 2014. — 112 с.
6. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2015 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД». — М., 2015. — 109 с.
7. РД 50–690–89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035567> (дата обращения: 08.08.2020).
8. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/11290> (дата обращения: 06.08.2020).
9. ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006967> (дата обращения: 08.08.2020).
10. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136419> (дата обращения: 08.08.2020).
11. ГОСТ 11677–85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004970> (дата обращения: 10.08.2020).
12. ГОСТ 27.301–95. Надежность в технике (ССНТ). Расчет надежности. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001365> (дата обращения: 10.08.2020).
13. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике (ССНТ). Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001363> (дата обращения: 10.08.2020).
14. Справочник по проектированию подстанций 35–1150 кВ / под редакцией Я. С. Самойлова. — 3-е изд. — М. : ЭНЕРГОТОМИЗДАТ, 1996. — 84 с.
15. Анализ производственно-хозяйственной деятельности Свердловской дирекции по энергообеспечению ТРАНСЭНЕРГО в 2018 году, филиала ОАО «РЖД». — М., 2018. — 197 с.

Объем статьи: 0,37 авторских листа



**Ярослав Дмитриевич  
Подлесников**  
Yaroslav D. Podlesnikov



**Анатолий Геннадьевич  
Силюта**  
Anatoly G. Silyuta

## Оценка эффективности пневматического тормоза рельсового автобуса РА-3

### Evaluation of RA-3 rail bus pneumatic brake efficiency

#### Аннотация

Тормозная система является очень важным элементом любой единицы подвижного состава, от эффективности и безотказности которой зависит безопасность перевозочного процесса. Рельсовые автобусы представляют собой развитие дизель-поездов, которые предназначены для перевозки пассажиров по неэлектрифицированным участкам. Внезапно возникшее на пути препятствие требует немедленной остановки подвижного состава, для чего необходимо иметь эффективную тормозную систему, способствующую наименьшей длине тормозного пути. В работе представлены результаты расчета длины тормозного пути для рельсового автобуса РА-3 в двухвагонном исполнении с чугунными и композиционными тормозными колодками.

**Ключевые слова:** пневматический тормоз, рельсовый автобус, тормозной путь, эффективность автотормозов.

#### Abstract

Braking system is a very important element of any rolling stock unit, as transportation process safety depends on its efficiency and reliability. Rail buses represent development of diesel trains intended for passenger service on non-electrified track sections. A sudden obstacle on the track requires immediate full stop of the rolling stock, it is urgent to have effective braking which provides the least brake path length. The paper presents results of brake path length calculation for RA-3 rail bus in two-car version with iron and composite brake pads.

**Keywords:** pneumatic braking, rail bus, brake path, automatic braking efficiency.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-54-56

#### Авторы Authors

**Ярослав Дмитриевич Подлесников**, канд. техн. наук, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», преподаватель Московского колледжа транспорта, e-mail: yaroslav\_podlesnikov@mail.ru | **Анатолий Геннадьевич Силюта**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Тепловозы» АО «ВНИИЖТ»; доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»; e-mail: ma.leroy@yandex.ru

**Yaroslav Dmitrievich Podlesnikov**, Cand. of tech. sci., "Russian Transport University (MITE)", Teacher of Moscow transport college, e-mail: yaroslav\_podlesnikov@mail.ru | **Anatoly Gennadievich Silyuta**, Cand. of tech. sci., Chief of the laboratory "Diesel Locomotives" JSC "VNIIZT"; Associate Professor of the chair "Electric trains and locomotives" "Russian transport university (MITE)"; e-mail: ma.leroy@yandex.ru



Новый рельсовый автобус РА-3 производства АО «Метровагонмаш» (разработка ООО «ТМХ Инжиниринг») выпускается в следующих вариантах: двухвагонное исполнение (два головных моторных вагона), трехвагонное исполнение (два головных моторных вагона и между ними промежуточный прицепной вагон), возможно четырехвагонное исполнение с двумя промежуточными прицепными вагонами и пятивагонное исполнение с тремя промежуточными прицепными вагонами.

На неэлектрифицированных участках для перевозки пассажиров применяются в основном двухвагонные рельсовые автобусы РА-1 и РА-2, иногда трехвагонные РА-2. В данной статье будет рассмотрен двухвагонный рельсовый автобус РА-3 на предмет оценки эффективности его пневматической тормозной системы.

Следует отметить, что на рельсовом автобусе РА-3 применяется фрикционный колодочный тормоз с электропневматическим управлением, имеется противоюзная система. Известна методика определения длины тормозного пути по интервалам скорости [1], в которую входит множество исходных данных. Для определения тормозной силы необходимо выполнять проверку на недопущение юза.

Для упрощения расчета рассматривается участок пути с нулевым уклоном (площадка), величина коэффициента сцепления колеса и рельса принимается из таблицы справочника [2]. Длина тормозного пути двухвагонного рельсового автобуса РА-3 без пассажиров с шагом интегрирования 10 км/ч составила 679,5 м, с шагом интегрирования 5 км/ч — 676,8 м. Как видно, разница при более точном расчете составила всего 2,7 м, что можно отнести к погрешности, так как в расчете не учитывалось реальное состояние пути (чистый или загрязненный, переменный уклон) и погодные условия. Характер изменения удельной тормозной силы при этом показан на рис. 1, а характер изменения нажатия тормозных колодок — на рис. 2.

Из представленных рисунков видно, что нажатие тормозных колодок с уменьшением скорости снижается, а удельная тормозная сила увеличивается. Для получения наибольшего тормозного эффекта при чугунных тормозных колодках следует в начальный момент торможения увеличить давление в тормозных цилиндрах до максимального, а затем постепенно его уменьшать — применение электропневматического тормоза позволяет это сделать. В таком случае эффективность фрикционного тормоза будет наибольшей и не произойдет заклинивания колесных пар, так как выполняется условие недопущения юза.

При использовании композиционных тормозных колодок суммарное нажатие тормозных колодок и удельная тормозная сила увеличиваются, что показано на рис. 3 и 4. Тормозной путь в этом случае составил 540,8 м (при шаге интегрирования 10 км/ч).

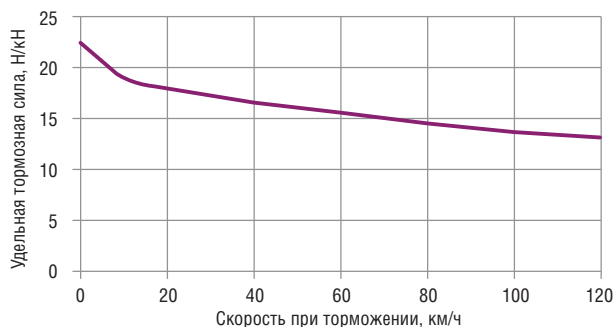


Рис. 1. Изменение удельной тормозной силы при торможении двухвагонного рельсового автобуса РА-3 без пассажиров

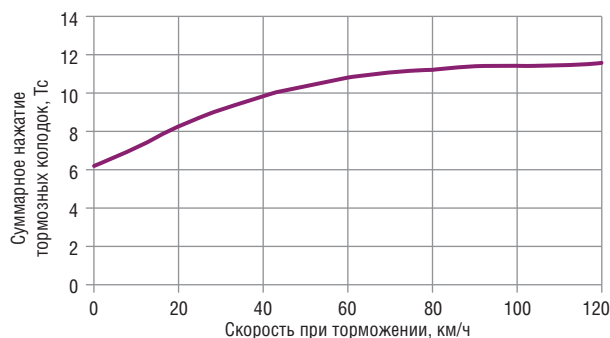


Рис. 2. Изменение суммарного нажатия тормозных колодок (чугунных) при торможении рельсового автобуса РА-3 без пассажиров

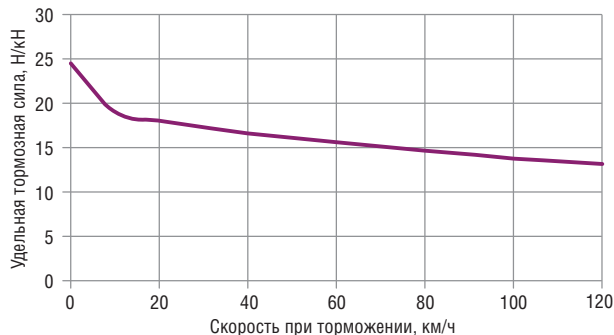


Рис. 3. Изменение удельной тормозной силы при торможении двухвагонного рельсового автобуса РА-3 без пассажиров (композиционные колодки)

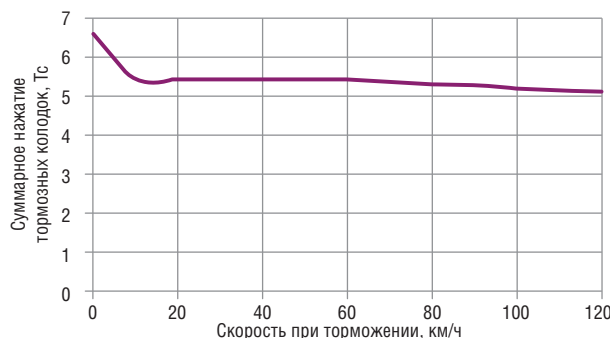


Рис. 4. Изменение суммарного нажатия тормозных колодок (композиционных) при торможении рельсового автобуса РА-3 без пассажиров

Из рис. 4 видно, что при торможении композиционными колодками для выполнения условия недопущения юза суммарное нажатие тормозных колодок несколько увеличивается, при скорости менее 20 км/ч несколько уменьшается, затем увеличивается. Соответственно, при

управлении автотормозами в этом случае не нужно снижать давление в тормозных цилиндрах до полной остановки, но давление в тормозных цилиндрах должно соответствовать передаточному числу механической части тормоза, чтобы не произошло заклинивание колесных пар. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Асадченко В. Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава : учеб. пособие / В. Р. Асадченко. — М. : Маршрут, 2004. — 120 с.
2. Крылов В. И. Справочник по тормозам / В. И. Крылов [и др.]. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1975. — 448 с.

Объем статьи: 0,2 авторских листа



Евгений Сергеевич  
Сикорский  
Evgeny S. Sikorskiy

## Расчет экономических показателей гибридного тепловоза

### Calculation of economic indicators of a hybrid diesel locomotive

#### Аннотация

В настоящее время все более остро стоит вопрос об отказе от ископаемого топлива в пользу альтернативных источников энергии. Аккумулятор имеет свою определенную емкость, поэтому при ежедневном использовании его необходимо заряжать, что ведет к простоям локомотива. Поэтому предлагается решение разместить блок батарей не в локомотиве, а в отдельной секции, которая будет отцепляться и заряжаться. Другая, уже подготовленная секция подсоединяется к локомотиву и продолжает его работу. Сам блок батарей разместится на раме с тележками и двигателями. Это позволит уравнивать тяговые усилия менее мощного локомотива с более мощным. При дальнейшем развитии технологий такая секция, имея собственные двигатели и оборудование для управления, может ездить как беспилотный локомотив. Предлагается рассмотреть экономический эффект от использования тепловоза ТЭМ10 с энергетической секцией с аккумуляторами и различной технологией изготовления в сравнении с тепловозом ТЭМ14.

**Ключевые слова:** гибридный тепловоз, батареи, расчет экономических показателей.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-3-57-65

#### Авторы Authors

Евгений Сергеевич Сикорский, инженер-конструктор 2-й категории Бюро экипажной части и трансмиссии ООО «ЦИР СТМ»

Evgeny Sergeyevich Sikorskiy, Design-Engineer of the 2nd category, Crew and Transmission Bureau LLC "TsIR STM"

#### Abstract

Currently the issue about moving away from fossil fuels towards alternative sources is becoming more acute. The battery has its own specific capacity, so being in use on a daily basis it needs to be charged, this leading to downtime of the locomotive. Therefore it is suggested to put the battery set not in the locomotive but in a separate section, which will be detached and charged. Another section is attached to the locomotive and continues its work. The battery set itself is placed on the frame with bogies and engines. This will make it possible to equalize traction forces of a less powerful locomotive with a more powerful one. With further technology development such section, having its own engines and control equipment, can travel as a driverless locomotive. The idea is put forward to examine economic effect from ТЭМ10 diesel locomotive with a power unit, having batteries and different manufacturing technology in comparison with ТЭМ14 diesel locomotive.

**Keywords:** hybrid diesel locomotive, batteries, calculation of economic indicators.

Технические характеристики силовых установок локомотивов

Тепловоз	Силовая установка	Количество дизель-генераторов	Общая мощность, кВт	Расход топлива, г/(кВт·ч)
ТЭМ10	TAD 1651VE-D	2	856	418
ТЭМ14	8ЧН21/21	2	1860	424

## Введение

В современном мире все большее распространение получает транспорт с использованием электрической энергии. Эта энергия может использоваться в качестве основной, как, например, в автомобилях *TESLA*. Также она может использоваться в качестве вспомогательной, с двигателем внутреннего сгорания в так называемых гибридных установках. Такие силовые установки на данный момент очень широко используются в автомобилях, где в паре с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) работает электродвигатель, который питается от аккумуляторных батарей. Транспорт с использованием электричества более дешевый в эксплуатации за счет меньшей стоимости электроэнергии по сравнению с ископаемым топливом, экологичнее и имеет больший КПД, чем ДВС.

Известный бизнесмен и создатель компаний *TESLA* и *SpaceX* совсем недавно заявил о создании электрокара, способного проехать 1 млн миль без замены батареи. Это в корне меняет представление об эксплуатации электрокара в лучшую сторону.

Идея локомотива с использованием гибридной силовой установки не нова: на Российских железных дорогах уже используются локомотивы ТЭМ9Н, многие компании работают над разработкой и усовершенствованием своих поездов на аккумуляторах. Компания Siemens разработала проект поезда *Desiro ML Cityjet Eco* на основе своего серийного электропоезда *Desiro ML EMU*. Средний вагон (из трёх или пяти) планируется оснастить тремя блоками аккумуляторов с литий-титанатными батареями. Такой поезд может идти как обычный электропоезд там, где дорога электрифицирована. А там, где нет, — автоматически переключаться на питание от батареи. Прототип был показан на выставке InnoTrans-2018 в Берлине.

## Цель проекта

На сегодняшний день локомотивы с гибридной установкой находятся на начальной стадии развития. Поэтому в данной работе предлагается:

1. Рассмотреть возможность применения локомотива с гибридной силовой установкой с анализом

различных батарей и расчетом экономической эффективности.

2. Рассмотреть концепцию гибридного локомотива с энергетической бустерной секцией.

3. Сравнить работу локомотива с энергетической секцией и дизеля с генераторной установкой с работой локомотива с дизельной установкой большей мощности.

## Объект исследования

За основу для расчета экономических показателей взяты локомотив ТЭМ10 с двумя дизельными двигателями и энергетической бустерной секцией и локомотив ТЭМ14 с работой только на дизельном двигателе.

## Задача исследования

Из раскладок работы локомотивов (табл. 1–3) видно, что ТЭМ14 вырабатывает на 908 кВт больше, чем ТЭМ10. Поэтому заменим эту разницу энергией аккумуляторных батарей в бустерной секции, т.е. рассчитаем суточную мощность, потребляемую ТЭМ14 до 5-й позиции (882 кВт). До этого значения будет рассчитана работа локомотива на аккумуляторных батареях. Далее приведем время и мощность работы локомотива ТЭМ14 в соответствии с мощностью и расходом топлива локомотива ТЭМ10.

## Анализ существующих батарей и их характеристик

На данный момент на рынке источников питания есть множество различных приборов с разными технологиями изготовления. Для рассмотрения возьмем несколько аккумуляторов и рассчитаем стоимость 1 Вт их энергии. Для многих батарей указывается срок службы при 75%-м разряде, для более точного расчета жизненного цикла рассчитывать стоимость 1 Вт энергии будем из расчета 75 % емкости батареи.

1) Аккумуляторная батарея Chilwee 6-DZF-22 Black Gold (табл. 4).

2) Аккумуляторная батарея RDrive 6-DZF-22 (табл. 5).

Таблица 2

Раскладка работы локомотива ТЭМ10

Позиции контроллера машиниста	0	1	2	3	4(1диз)	4(2диз)	5	6	7	8
Мощность ро ДВС, кВт		85	180	270	360	180	480	600	720	856
Удельное потребление ведущего ДВС, г/кВт·ч		208	198	195	200	198	197	198	200	208
Часовой расход, кг/ч	4	17,68	35,64	52,65	72	35,64	94,56	118,8	144	178,048
%	64,6	3,5	4,6	11,4	8,1	2	1,9	1,7	1,4	0,8
Время работы локомотива в сутки, ч	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Расход за сутки, кг	56,848	13,6136	36,0677	132,046	128,304	15,6816	39,5261	44,4312	44,352	31,3364

Таблица 3

Раскладка работы локомотива ТЭМ14

Позиции контроллера машиниста	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность ро ДВС, кВт	10	134	221	382,5	608,5	882	1096	1338	1500	1764
Часовой расход, кг/ч	5,90059	34,20342	51,0018	73,968	131,56	240,11	196,8	283,8	327,4	369,4
% времени работы в сутки	45,72	4,84	17,52	17,41	8,62	4,12	1,22	0,28	0,14	0,14
Время работы локомотива в сутки, ч	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Расход за сутки, кг	59,3472	36,41009	196,5753	283,2835	249,5103	217,4077	52,9762	17,36263	10,08392	11,37752
Расход энергии в сутки, кВт·ч	100,5784	142,6452	851,7964	1464,903	1154,052	798,6073	295,03	81,85762	46,2	54,3312

Таблица 4

Характеристики АКБ Chilwee 6-DZF-22 Black Gold

	Напряжение	Емкость по С20, А·ч	Технология	Вес, кг	Срок службы, цикл/лет	Емкость, А·ч при 75 %	Общая энергия, Вт	Стоимость 1 Вт энергии, руб.	Стоимость АКБ, руб.
	12В	30	GEL-Graphene	7,2	900 /5	22,5	270	24,6	6642

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

3) Аккумуляторная батарея DELTA LFP 24–72 24 v 72 ah (табл. 6).

4) Аккумуляторная батарея FB (Furukawa Battery) 130F51 Specialist (табл. 7)

5) Аккумуляторная батарея АКБ-40 DT 1240 (табл. 8)

6) Аккумуляторная батарея 40ан (LTO) 66160H (табл. 9)

7) Литий-железо-фосфатный (LiFePo4) аккумулятор LT-LYP200 (LT-LFP 200P) (табл. 10)

Из табл. 4–10 видно, что наименьшую стоимость 1 Вт энергии имеет батарея FB (Furukawa Battery) 130F51 Specialist (11,3 руб. за 1 Вт). Но эта батарея изготовлена с применением кальциевой технологии и имеет ряд существенных недостатков:

- сложность зарядки (нужен определенный порядок);
- плохая стойкость к глубоким разрядам и высоким разрядным токам.

Таблица 5

### Характеристики АКБ RDrive 6-DZF-22

	Напряжение	Емкость по C20, А·ч	Технология	Вес, кг	Срок службы, цикл/лет	Емкость, А·ч при 75 %	Общая энергия, Вт	Стоимость 1 Вт энергии, руб.	Стоимость АКБ, руб.
	12В	30	GEL-Graphene	7,2	900 /5	22,5	270	20,37	5500

Таблица 6

### Характеристики АКБ DELTA LFP 24–72 24 v 72 ah

	Напряжение	Емкость по C20, А·ч	Технология	Вес, кг	Срок службы, цикл/лет	Емкость, А·ч при 75 %	Общая энергия, Вт	Стоимость 1 Вт энергии, руб.	Стоимость АКБ, руб.
	24В	72	LI-ion	30	3000 /16	54	1296	106,25	137700

Таблица 7

### Характеристики АКБ FB (Furukawa Battery) 130F51 Specialist

	Напряжение	Емкость по C20, А·ч	Технология	Вес, кг	Срок службы, цикл/лет	Емкость, А·ч при 75 %	Общая энергия, Вт	Стоимость 1 Вт энергии, руб.	Стоимость АКБ, руб.
	12В	130	Кальциевая	14,2	700 /3	97,5	1170	11,3	13250

Таблица 8

### Характеристики АКБ-40 DT 1240

	Напряжение	Емкость по C20, А·ч	Технология	Вес, кг	Срок службы, цикл/лет	Емкость, А·ч при 75 %	Общая энергия, Вт	Стоимость 1 Вт энергии, руб.	Стоимость АКБ, руб.
	12В	40	LI-ion	13	900 /5	30	360	21,8	7700

Таблица 9

Характеристики АКБ 40ан (LTO) 66160H


	Напряжение	Емкость по C20, А·ч	Технология	Вес, кг	Срок службы, цикл/лет	Емкость, А·ч при 75 %	Общая энергия, Вт	Стоимость 1 Вт энергии, руб.	Стоимость АКБ, руб.
	2,3В	40	Титанат лития	1,22	25000/25	30	69	25	23,6 \$ (по курсу 73,21 руб/\$ — 1727,7 руб.)

Таблица 10

Характеристики АКБ LT-LYP200 (LT-LFP 200P)

	Напряжение	Емкость по C20, А·ч	Технология	Вес, кг	Срок службы, цикл/лет	Емкость, А·ч при 75 %	Общая энергия, Вт	Стоимость 1 Вт энергии, руб.	Стоимость АКБ, руб.
	3,2В	200	Литий-железо-фосфатная	9,95	3000/16	150	480	25	12 000

Поэтому для расчета возьмем батарею RDrive 6-DZF-22 (следующая по цене за 1 Вт энергии) и батарею 40ан (LTO) 66160H из-за большого срока службы. Также рассмотрим применение LT-LYP200, так как батареи этой серии используются на существующих локомотивах.

## Расчет необходимого количества батарей

Исходя из целей исследования необходимо обозначить следующие критерии для расчета:

1) время работы локомотива ТЭМ10 с бустерной секцией будет приведено ко времени работы локомотива ТЭМ14;

2) бустерная секция будет работать до 5-й позиции контроллера машиниста включительно, в соответствии с раскладкой работы локомотива ТЭМ14, далее в работу включатся дизельные двигатели;

3) начиная с 6-й позиции локомотив работает всего около 2 % от суточного времени, поэтому дизельные двигатели на ТЭМ10 будут дополнять работу батарей.

## Расчет необходимой энергии батарей для работы до 5-й позиции контроллера

Сложим всю энергию, потребляемую ТЭД, до 5-й позиции включительно и общий расход топлива за сутки:

$$\begin{aligned} \Sigma E &= 100,5784 + 142,6452 + 851,7964 + \\ &+ 1464,903 + 1154,052 = 4512,5823 \text{ кВт·ч.} \end{aligned}$$

Далее в работу начнут включаться дизельные двигатели и помогать добирать необходимую мощность. На ТЭМ10 максимальная мощность 856 кВт, разница в мощности с ТЭМ14 составляет 906 кВт. Исходя из этой разницы будем подбирать режим работы генератора и вычислим, сколько батарея при этом будет отдавать энергии:

- для 6-й позиции необходимо:

$$(1096-906) \div 1096 \cdot 295,03 = 51,19 \text{ кВт·ч,}$$

при этом батарея возьмет на себя:

$$295,3 - 51,19 = 244,1075 \text{ кВт·ч;}$$

- для 7-й позиции:

$$(1338-906) \div 1338 \cdot 81,8576 = 26,4293 \text{ кВт·ч,}$$

при этом батарея возьмет на себя:

$$81,8576 - 26,7293 = 55,1283 \text{ кВт·ч;}$$

- для 8-й позиции:

$$(1500-906) \div 1500 \cdot 46,2 = 18,2952 \text{ кВт·ч,}$$

при этом батарея возьмет на себя:

$$46,2 - 18,2952 = 27,9048 \text{ кВт·ч;}$$

- для 9-й позиции:

$$(1764-906) \div 1764 \cdot 54,3312 = 26,4264 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

при этом батарея возьмет на себя:

$$54,3312 - 26,4264 = 27,9048 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Во время работы локомотив может тормозить тяговыми двигателями, при этом вырабатывается энергия, которую не используют. В данном случае можно использовать эту энергию для подзарядки батарей. Рассчитаем энергию при торможении:

$$W = m \cdot V_{\text{ср}}^2 \div 2,$$

где  $M$  — масса тепловоза с секцией  $\approx 270$  т;  $V_{\text{ср}}$  — средняя скорость  $\approx 15$  км/ч = 4,16 м/с.

$$W = 270 \cdot 10^3 \cdot 4,16^2 \div 2 = 2336,256 \text{ кВт}\cdot\text{с} = 0,65 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

В среднем тепловоз делает 800 торможений в сутки, при этом выделится энергии:  $0,65 \cdot 800 = 520$  кВт·ч.

Сложим общую энергию, отдаваемую батареями за 22 часа работы, с учетом выделяемой энергии при торможении:

$$\begin{aligned} \Sigma E &= 4512,5823 + 244,1075 + 55,1283 + \\ &+ 27,9048 + 27,9048 - 520 = 4347,6277 \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \end{aligned}$$

Из расчета того, что локомотив работает на бустерной секции 22 ч на батареях, то раз в двое суток их необходимо заряжать. Расчет стоимости зарядки будет исходить из 2,2 руб. за кВт энергии:

$$2,2 \cdot 4347,6277 = 9564,78 \text{ руб.}$$

Расчет стоимости затрат на зарядку батарей за 40 лет эксплуатации локомотива составит:

$$365 \div 2 \cdot 40 \cdot 9564,78 = 69\,822\,894 \text{ руб.}$$

## Расчет необходимого количества батарей и их стоимости и затрат на зарядку

### 1. Батарея RDrive 6-DZF-22

Рассчитаем необходимое количество батарей исходя из энергии, которую необходимо им отдать. Для простоты будущего проектирования бустерной секции блок батарей будет взят номиналом 510 вольт — максимальное потребление ТЭД.

Необходимое количество последовательно соединенных батарей для достижения 510 В:  $510 \div 12 \approx 43$  шт.

При этом их общая энергия равна:

$$510 \cdot 30 \div 1000 = 15,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Необходимое количество таких блоков:

$$4347,6277 \div 15,3 \approx 284 \text{ шт.}$$

Общее количество батарей в блоке:

$$284 \cdot 43 = 12212 \text{ шт.}$$

Рассчитаем стоимость секции батарей:

$$12212 \cdot 5500 = 67\,166\,000 \text{ руб.}$$

Срок службы данных батарей 5 лет, исходя из срока службы тепловоза 40 лет их необходимо поменять 8 раз. Поэтому общая стоимость эксплуатации данной секции:

$$67\,166\,000 \cdot 9 = 604\,494\,000 \text{ руб.}$$

Так как на один тепловоз необходимо две таких секции, то общая сумма расходов составит:

$$604\,494\,000 \cdot 2 + 69\,822\,894 \cdot 2 = 1\,348\,633\,788 \text{ руб.}$$

### 2. Батарея 40ан (LTO) 66160H

Необходимое количество последовательно соединенных батарей для достижения 510 В:

$$510 \div 2,3 \approx 222 \text{ шт.}$$

При этом их общая энергия равна:

$$510 \cdot 30 \div 1000 = 15,3 \text{ кВт}.$$

Необходимое количество таких блоков:

$$4347,6277 \div 15,3 \approx 284.$$

Общее количество батарей в блоке:

$$284 \cdot 222 = 63048 \text{ шт.}$$

Рассчитаем стоимость секции батарей:

$$63048 \cdot 1727,7 = 108\,928\,029,6 \text{ руб.}$$

Срок службы данных батарей 25 лет, исходя из срока службы тепловоза 40 лет их необходимо поменять 1 раз. Поэтому общая стоимость эксплуатации данной секции:

$$108\,928\,029,6 \cdot 2 = 217\,856\,059,2 \text{ руб.}$$



Так как на один тепловоз необходимо две таких секции, то общая сумма расходов составит:

$$217\,856\,059,2 \cdot 2 + 69\,822\,894 \cdot 2 = 575\,357\,906,4 \text{ руб.}$$

### 3. Батарея LT-LYP200

Необходимое количество последовательно соединенных батарей для достижения 510 В:

$$510 \div 3,2 \approx 159 \text{ шт.}$$

При этом их общая энергия равна:

$$510 \cdot 150 \div 1000 = 76,5 \text{ кВт.}$$

Необходимое количество таких блоков:

$$4347,6277 \div 76,5 \approx 57 \text{ шт.}$$

Общее количество батарей в блоке:

$$57 \cdot 159 = 9063 \text{ шт.}$$

Рассчитаем стоимость секции батарей:

$$9063 \cdot 12000 = 108\,756\,000 \text{ руб.}$$

Срок службы данных батарей 16 лет, исходя из срока службы тепловоза 40 лет их необходимо менять 3 раза. Поэтому общая стоимость эксплуатации данной секции:

$$108\,756\,000 \cdot 4 = 435\,024\,000 \text{ руб.}$$

Так как на один тепловоз необходимо две таких секции, то общая сумма расходов составит:

$$442\,656\,000 \cdot 2 + 69\,822\,894 \cdot 2 = 1\,009\,693\,788 \text{ руб.}$$

### Расчет расхода топлива

Стоимость топлива возьмем на сайте «ЛУКОЙЛ», на сегодняшний день его цена составляет 49,15 руб. В раскладке указан расход в килограммах, для перевода расхода в литры используем плотность летнего дизельного топлива — 0,86.

1. Стоимость расхода дизельного топлива за за год для ТЭМ14:

$$1134,334 \cdot 0,86 \cdot 49,15 \cdot 365 = 23\,662\,405,08 \text{ руб.}$$

Стоимость топлива за 40 лет эксплуатации локомотива составит:

$$23\,662\,405,08 \cdot 40 = 946\,496\,203,2 \text{ руб.}$$

2. Стоимость расхода топлива ТЭМ10 с бустерной секцией.

Для расчета необходимо вычислить дополнительную мощность, вырабатываемую дизелями:

- для 6-й позиции необходимо:

$$1096 - 906 = 190 \text{ кВт.ч;}$$

- для 7-й позиции:

$$1338 - 906 = 432 \text{ кВт.ч;}$$

- для 8-й позиции:

$$1500 - 906 = 594 \text{ кВт.ч;}$$

- для 9-й позиции:

$$1764 - 906 = 856 \text{ кВт.ч.}$$

Для расчета суточного расхода топлива необходимо сопоставить время работы ТЭМ14 на каждой позиции с расходом топлива дизелей ТЭМ10 на каждой позиции вырабатываемой мощности. Для простоты расчета будем брать ближайшую мощность из раскладки ТЭМ10:

- для 6-й позиции (190 кВт):

$$35,64 \cdot (22 \cdot 1,22 \div 100) = 9,5 \text{ кг;}$$

- для 7-й позиции (432 кВт):

$$94,56 \cdot (22 \cdot 0,28 \div 100) = 5,8 \text{ кг;}$$

- для 8-й позиции (594 кВт):

$$118,8 \cdot (22 \cdot 0,14 \div 100) = 3,6 \text{ кг;}$$

- для 9-й позиции (856 кВт):

$$178,048 \cdot (22 \cdot 0,14 \div 100) = 5,5 \text{ кг.}$$

Сумма расхода топлива в литрах для ТЭМ10 за год составит:

$$(9,5 + 5,8 + 3,6 + 5,5) \div 0,86 \cdot 49,15 \cdot 365 = 508\,988,25 \text{ руб.}$$

Стоимость топлива за 40 лет эксплуатации локомотива составит:

$$508\,988,25 \cdot 40 = 20\,359\,530,23 \text{ руб.}$$

## Расчет стоимости обслуживания

### 1. Стоимость обслуживания ТЭМ14

Из полученных данных стоимость обслуживания ТЭМ14 составляет 215 025 330 руб. без учета расхода топлива.

### 2. Стоимость обслуживания ТЭМ10

Из полученных данных за 25000 (3 года) моточасов без учета расхода топлива стоимость обслуживания составляет 1 983 583,78 руб. Но с применением бустерной секции работа дизеля в моточасах в сутки составит:

$$22 \cdot (1,22 + 0,28 + 0,14 + 0,14) \div 100 = 0,39 \text{ ч.}$$

Поэтому 25000 часов при таком режиме работы он использует за:

$$25000 \div 0,39 \div 365 = 175 \text{ лет.}$$

То есть этого обслуживания дизелю хватит на весь срок службы. Поэтому расходы на содержание можно привести к 1 983 583,78 руб.

Поскольку на данный момент данных по стоимости обслуживания по ТЭМ10 нет, то примем ее за 50 % от стоимости содержания дизельных двигателей. Итого общая стоимость обслуживания локомотива с бустерной секцией составит:

$$1\,983\,583,78 + 1\,983\,583,78 \cdot 0,5 = 2\,975\,375,67 \text{ руб.}$$

## Концепция тепловоза с бустерной секцией

Общая стоимость эксплуатации батарей 40ан (LTO) 66160H выходит дешевле, чем RDrive 6-DZF-22 и LT-LYP200, поэтому разрабатывать концепцию бустерной секции будем на основе литий-титанатных батарей.

### 1. Размещение батарей в кузове секции

В габаритах локомотива разместим ячейку батарей. За основу возьмем габариты кузова локомотива 2ТЭ35А (рис. 1).

При этом такую ячейку необходимо сделать модульной и выдвинутой, для простоты дальнейшего обслуживания. Такая ячейка разместит 338 батарей. При необходимом количестве 63 048 шт. потребуется 187 таких ячеек.

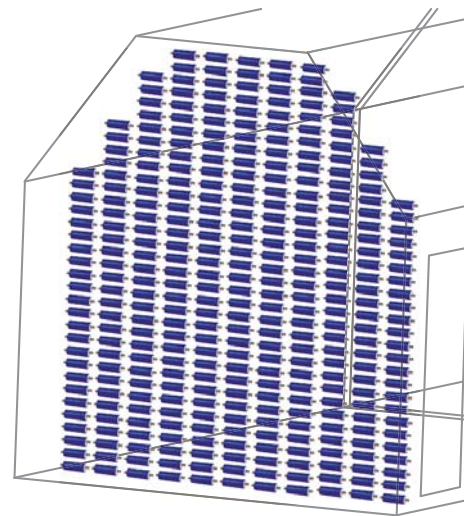


Рис. 1. Батарейная ячейка

При расстоянии между ячейками в 90 мм они займут место в 16 830 мм (рис. 2).

Блок батарей размещается на раме с двумя четырехосными тележками с двигателями. При такой компоновке остается достаточно места для размещения различного оборудования.

Блок батарей необходимо выполнить съёмным, для размещения на зарядной станции. Это исключит простой самой платформы с двигателями.



Рис. 2. Площадь, занимаемая ячейками

### 2. Потенциал бустерной секции с аккумуляторными батареями

В концепции бустерной секции можно предусмотреть модульную конструкцию: в основе будут лежать тележки и рама, а все остальное оборудование размещается в модулях, которые устанавливаются по желанию заказчика. Сама же основа может иметь привод как на каждую ось, так и тележку без двигателей, в зависимости от желаемой тяги. Такой принцип можно сравнить с автомобильным бизнесом — есть одна единая платформа для нескольких моделей автомобилей, каждый автомобиль может иметь дополнительные опции по желанию заказчика.

Общие расходы на эксплуатацию локомотивов

Позиция затрат	ТЭМ14	ТЭМ10 с бустерной секцией
Расход топлива, руб.	946 496 203,2	20 359 530,23
Стоимость обслуживания, руб.	215 025 330	2 975 375,67
Общая стоимость батарей и их зарядки, руб.	—	575 357 906,4
Общие расходы, руб.	1 161 521 533,2	598 692 812,3

В современном мире большое развитие получают системы беспилотного управления транспортом. Данная секция имеет собственные тяговые двигатели и источник питания. Поэтому, имея управляющее оборудование и программу алгоритма работы, она может работать полностью автономно.

Для применения бустерной секции на магистральных локомотивах можно оснастить секцию пантографом и оборудованием для питания электродвигателей от контактной сети. Поскольку контактную сеть имеют далеко не все пути, то при переходе на неэлектрифицированный участок локомотив продолжит движение от энергии батарей. Таким образом локомотив получит возможность двигаться по любым путям, не меняя при этом секцию более суток работы.

## Выводы

1. Были рассмотрены несколько видов батарей, их характеристики и стоимость.

2. Рассмотрена концепция энергетической бустерной секции. Предложенный вариант модульной конструкции с общей восьмислойной платформой имеет большой потенциал. В частности, заказчику можно предложить множество вариантов компоновки такого модуля в зависимости от целей и выполняемых задач.

Для исключения простоев локомотива и бустерной секции с двигателями предложен вариант съемного блока батарей для установки на зарядку. Когда батареи выработали свой потенциал, локомотив движется на станцию зарядки, где разряженный блок заменяется на полностью готовый к работе.

Для магистральных локомотивов предложен вариант оснащения секции пантографом и оборудованием для питания ТЭД от сети. При движении на электрифицированных путях локомотив получает энергию от сети, при этом есть возможность зарядить батареи. При переходе на пути, не имеющие контактной сети, локомотив продолжит движение, используя энергию батарей бустерной секции.

3. Произведен расчет необходимого количества батарей, их стоимости и затрат на обслуживание за 40 лет

эксплуатации. При этом учтена непрерывная работа локомотива, путем оснащения одного локомотива двумя бустерными секциями. Вычислено время работы дизелей на локомотиве ТЭМ10 в паре с бустерной секцией.

Все показатели затрат на эксплуатацию ТЭМ14 и ТЭМ10 с бустерной секцией за 40 лет в одинаковом режиме работы приведены в табл. 11.

Общая выгода от использования ТЭМ10 с бустерной секцией взамен ТЭМ14 за 40 лет эксплуатации составит 562 828 720,9 руб. (14 070 718,02 руб. в год).

## Заключение

Развитие в области источников питания не стоит на месте, внедряются новые технологии, используются новые материалы. Так, например, в 2004 г. был создан материал — графен, обладающий высокой прочностью и тепло-электропроводностью. Применение такого материала в аккумуляторе увеличит срок его службы и способность мгновенно принимать и отдавать заряд. Батарея емкостью 55 А·ч сможет зарядиться всего за 8–10 мин., а за счет большой прочности материала количество циклов заряда может увеличиться со стандартных 500–700 циклов до 10000 и выше. Так, итальянская компания Graphene вкладывает в развитие технологии графена огромные средства, и, по их заявлению, очень скоро они анонсируют батарею емкостью 10000 А·ч. С использованием более дешевых материалов взамен лития они будут стоить дешевле, чем те же литий-ионные батареи.

В данном исследовании мы рассмотрели батарею с использованием графена. Но из-за того, что технология пока достаточно новая и плохо изучена, использование таких источников питания остается менее выгодным в содержании, чем использование двигателей внутреннего сгорания.

Концепции отдельной энергетической секции, предложенной в данном проекте, сейчас на рынке не существует. Разработка такой секции позволит занять лидирующие позиции в производстве гибридных локомотивов, не требующих времени простоя для заряда аккумуляторных батарей. **ИТ**

**Подписка на 2020 год.**

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.

Периодичность — 4 номера в год.

ф. СП-1



**АБОНЕМЕНТ**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Количество комплектов:

на 2020 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)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

ПВ	место	литер

Стоимость	подписки	руб. ___ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	руб. ___ коп.		

на 2020 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 7.1-2003, 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 подпisi 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.**



## Научно-исследовательская лаборатория «Компьютерные системы автоматики» ФГБОУ ВО УрГУПС



### 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](mailto:info@nilksa.ru). Веб-сайт: [www.nilksa.ru](http://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. Б3-03.  
Тел./факс: (343) 221-25-27.

E-mail: [saprks@mail.ru](mailto:saprks@mail.ru). Веб-сайт: [www.sapr-ks.usurt.ru](http://www.sapr-ks.usurt.ru)

