

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 4 (30)

декабрь 2018



## Проектирование системы охлаждения гоночного болида класса Formula Student

С. 60

ВСМ-2 Москва – Казань:  
инновации в проектировании  
и строительстве

Комплексный проект  
рефрижераторного  
склада

Развитие систем  
бортовой диагностики  
локомотивов





## Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА



Основана 26 июня 1991 года, насчитывает более 680 действительных членов, среди которых доктора и кандидаты технических наук, доктора транспорта.

Располагает девятью региональными и двумя функциональными отделениями, имеет большой опыт работы в области транспортного планирования и развития транспортных систем регионального и муниципального уровня.

Проведение научно-исследовательских и научно-технических работ является приоритетной задачей Российской академии транспорта.

Реализованные государственные контракты на выполнение научно-исследовательских работ за последнее время по темам:

- «Концепция развития мультимодальных пассажирских перевозок в городе Перми»
- «Разработка макета информационно-аналитической системы выбора поставщиков и транспортных схем доставки нерудных строительных материалов при выполнении проектов капитального строительства»
- «Разработка предложений по концепции развития транспортного комплекса г. Красноярск в 2016-2025 гг.»
- «Проведение обследования процессов дистрибуции авиакомпанией «Аэрофлот» пакетированных туристических услуг с моделированием базовых функций, а также подготовка технических требований по автоматизации бизнес-процессов»

Все реализованные контракты представлены на сайте Российской академии транспорта: <http://rosacademtrans.ru/proektyi-akademii/>

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Центральное отделение:  
107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34, блок 1  
Тел.: +7 (499) 399-98-72  
Сайт: [www.rosacademtrans.ru](http://www.rosacademtrans.ru)

Уральское межрегиональное отделение:  
620034 г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, УрГУПС  
Тел.: 8-922-205-95-92, факс: (343) 221-24-67  
E-mail: [Anna-Volinskaya@mail.ru](mailto:Anna-Volinskaya@mail.ru)  
Сайт отделения: <http://www.uralakademia.ru>

### С НАМИ СОТРУДНИЧАЮТ:



Минтранс РФ



Министерство транспорта  
и дорожного хозяйства  
Волгоградской области



АЭРОФЛОТ

**СКОРОСТНЫЕ  
МАГИСТРАЛИ**



## Инновационный транспорт (Иннотранс)

Научно-публицистическое издание

№ 4 (30), 2018 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, каб. Б1-13. 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 «АЛЕКС ПРИНТ».

394007, г. Воронеж, Ленинский проспект, д. 94, кв. 52.

Тел.: (473) 290-45-17. E-mail: [alexey-print@mail.ru](mailto:alexey-print@mail.ru)

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге  
«Пресса России» — 85022. Цена 382,6 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X.

Подписано в печать 30.12.2018. Дата выхода в свет 20.03.2019.

Печать офсетная. Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–160). Заказ № 6998

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет  
путей сообщения», 2018

© Общероссийская общественная организация

«Российская академия транспорта», 2018

### 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).

**Маргарита 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

№ 4 (30), 2018

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 and publisher:** Office B1-13,  
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 382,6 rub.

Released for printing on 30.12.2018. Date of issue 20.03.2019. Offset printing.  
Circulation 500 copies.

© ФГБОУ ВО Урал State University of Railway Transport, 2018

© All-Russian Public Organisation “Russian Academy of Transport”, 2018

### 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

Журавская М. А., Цяо Цун. О модернизации инструментария для комплексной оценки эффективности и устойчивости развития транспортно-логистических систем территорий макрорегионального уровня .....	3
Левшунов В. П., Бушуев С. В. Высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань (ВСМ-2): инновации в проектировании и строительстве. ....	9
Самуйлов В. М., Неволин Д. Г., Парышев Д. Н., Каргапольцева Т. А. Повышение пропускной способности двухполосных федеральных автомобильных дорог для транспортного коридора экономического пояса Шелкового пути ..	19
Покровская О. Д., Регер Е. А. Комплексный проект рефрижераторного склада .....	24

## Организация производства (транспорт)

Грязнов А. О., Тарасян В. С. Методы построения нечетких регуляторов для управления движением на регулируемом перекрестке .....	28
Скутин Д. А. Оценка влияния шага интегрирования в программном комплексе «Универсальный механизм» на оперативную память ПК .....	32
Писаренко В. В. Универсальная математическая модель для расчета износа поверхности гребня колесной пары при прохождении кривого участка пути .....	35
Тарасовский Т. С. Тиристорно-реакторное устройство регулирования напряжения под нагрузкой РПН преобразовательного трансформатора ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 с пофазным регулированием напряжения .....	39

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Худояров Д. Л., Тюшев И. А. Развитие систем бортовой диагностики локомотивов .....	43
Баева И. А. Особенности расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока при движении двух одиночных грузовых поездов с межпоездным интервалом и одного соединенного поезда .....	49

## Эксплуатация автомобильного транспорта

Цариков А. А., Бачинина А. В., Коньков А. А., Полуяхтова Е. А. Опыт организации ночных маршрутов общественного транспорта в городах Европы и постсоветского пространства .....	52
Неволин Д. Г., Котельников А. П., Зорин М. Д. Проектирование системы охлаждения гоночного болида класса Formula Student. ....	60
Цариков А. А., Мокерова А. А., Бадиева А. А. Исследование закономерностей функционирования парковок торговых центров в городе Екатеринбурге .....	66

# CONTENTS

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

Marina A. Zhuravskaya, Qiao Cong. On modernization of instruments for complex evaluation of efficiency and stability of development of transport and logistical systems of macro-regional level territories. ....	3
Vitaly P. Levshunov, Sergey V. Bushuev. Highspeed railway mainline Moscow – Kazan (HSM-2): innovations in designing and construction .....	9
Valery M. Samuilov, Dmitry G. Nevolin, Dmitriy N. Paryshev, Tatiana A. Kargapoltseva. Increase of highway capacity of two-way federal roads for transport corridor of Silk Road economic belt. ....	19
Oksana D. Pokrovskaya, Yegor A. Reger. Complex project of refrigerator warehouse .....	24

## The organization of production (transport)

Alexey O. Gryaznov, Vladimir S. Tarasyan. Methods of construction of equivocal regulators for movement control at the signaled crossing. ....	28
Dmitry A. Skutin. Evaluation of influence of an integrating step in the programmed complex "Universal mechanism" on PC random access memory .....	32
Vadim V. Pisarenko. Universal mathematical model for calculation of wheel-set ridge surface wear on a curved track section .....	35
Timofey S. Tarasovskiy. Thyristor-reactor device for voltage regulation under РПН load of ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 rectifier transformer with single phase voltage regulation .....	39

## Rolling stock, hauling operation and electrification

Dmitry L. Khudoyarov, Igor A. Tushev. Development of locomotive on-board diagnostics systems. ....	43
Irina A. Baeva. Peculiarities of calculation of DC traction power supply system under movement of two single freight units with a running interval and one multiplied train .....	49

## Operation of motor transport

Aleksey A. Tsarikov, Alena V. Bachinina, Alexander A. Konkov, Elena A. Poluyakhtova. Experience of organization of public transport night-time routes in cities of Europe and post-Soviet states .....	52
Dmitry G. Nevolin, Andrey P. Kotelnikov, Maxim D. Zorin. Formula Student class racing car cooling system designing. ....	60
Aleksey A. Tsarikov, Anastasia A. Mokerova, Angelika A. Badiyeva. Studies of regularities in functioning of parking lots of trade centres in the city of Ekaterinburg .....	66





**Марина Аркадьевна  
Журавская**  
Marina A. Zhuravskaya



**Цяо Цун**  
Qiao Cong

## О модернизации инструментария для комплексной оценки эффективности и устойчивости развития транспортно-логистических систем территорий макрорегионального уровня

### On modernization of instruments for complex evaluation of efficiency and stability of development of transport and logistical systems of macro-regional level territories

#### Аннотация

Статья посвящена вопросам оценки транспортно-логистических систем макротерриторий на основе целостного подхода и с учетом перехода общества на принципы устойчивого развития. Работа написана по результатам научных исследований авторов на тему зеленых цепей поставок, а также на основе материалов международных конференций по логистике, прошедших в Германии, Польше, Китае и других странах, в которых авторы приняли непосредственное участие. В статье проведен анализ зарубежных методов оценки эффективности развития территорий, превосходящих региональный аспект, и предложен алгоритм модернизации инструментария для комплексной оценки эффективности и устойчивости развития макрологистических систем.

**Ключевые слова:** транспортно-логистическая система, территория макрорегионального уровня, комплексная оценка эффективности, устойчивое развитие, «зеленые» цепи поставок.

#### Annotation

The article focuses on issues of evaluation of transport and logistical systems of macro-territories based on multi-faceted approach and considering the society transition to principles of stable development. The work is written by the results of scientific studies of the authors on green chain supplies as well as on materials of international conferences on logistics, which had been held in Germany, Poland, China and other countries, where the authors took the direct participation. The article presents the analysis of foreign techniques of efficiency of development of territories exceeding the regional aspect and proposes the algorithm of modernization of instruments for complex evaluation of efficiency and stability of development of macro-logistical systems.

**Keywords:** transport and logistical system, territory of macro-regional level, complex evaluation of efficiency, stable development, green chain supplies.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-3-8

#### Авторы Authors

**Марина Аркадьевна Журавская**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия | **Цяо Цун**, научный сотрудник центра инноваций и технологий Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Marina Arkadievna Zhuravskaya**, Candidate of technical science, Associate Professor, World Economics and Logistics Chair, Ural state University of railway transport (USURT), Ekaterinburg, Russia | **Qiao Cong**, Researcher, Center for Innovation and Technology, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg

Термин «устойчивое развитие» стал характерной чертой последних десятилетий, он приобрел огромную популярность не только в научных кругах, но и в других сферах человеческой жизни. Ранее при наличии устойчивого экономического роста проблема «устойчивого развития» связывалась, в первую очередь, с необходимостью снижения экологической нагрузки. Однако устойчивое развитие не может рассматриваться только с точки зрения экологии, оно также должно рассматриваться и с позиции экономики, технологического прогресса и социальной сферы, т.е. с точки зрения системного подхода устойчивое развитие должно определяться с учетом многих критериев. Ключевая гипотеза состоит в том, что транспортно-логистическая инфраструктура может быть отнесена к классу систем, развитие которых оказывает максимальное воздействие на развитие производительных сил и социальной сферы территорий как по степени интегрированности и универсальности своих услуг, так и в качестве источника массового спроса на фондообразующую продукцию и подрядные работы. С целью устойчивого развития территорий, на которых располагаются различные административно-территориальные образования, транспортно-логистическое пространство, соотносимое с ними, должно быть интегрированным и единым, «сшивая» территории [1], а это означает необходимость управления развитием и функционированием транспортно-логистической инфраструктуры как макрорегиональной транспортно-логистической системы, охватывающей смежные регионы страны. Однако сегодня мы наблюдаем разные режимы обслуживания территорий даже у регионов-сосе-

дей: нет сопряжения документов регионов по управлению развитием систем, что препятствует оптимизации размещения объектов и выбору их рациональных параметров, а также обоснованию проектов и программ развития таких систем в РФ [2].

Опыт зарубежных стран, в частности Германии, где разница в развитии территорий ее западной и восточной частей была значительна, показал, что логистика является важным экономическим фактором развития территорий макрорегионального уровня. На конференции [3] отмечалось, что с целью снижения неравномерности в развитии территорий государство ежегодно вкладывает в транспортную отрасль страны огромные средства, только в 2013 году было инвестировано 34 млрд евро. И несмотря на то, что Восточная Германия сильно преобразилась, разрыв между западом и востоком остается, и разница составляет почти 20 %. Поэтому основной упор в Германии делается на развитие транспортных коридоров, большой потенциал в инновациях и интернационализации, а также на сотрудничество с ЕС. На эти цели правительство планирует выделить на 5 млрд евро больше, чем раньше.

Как показали исследования, транспортная логистика вносит большой вклад в сближение и выравнивание Восточной и Западной Германии. Ученые [4] отмечают, что эта сфера должна развиваться комплексно: прежде всего необходима хорошая инфраструктура, а также развитые промышленные территории. Сегодня логистика в Германии относится к одной из пяти приоритетных областей, на ее долю выпадает 7 % общего национального дохода ФРГ.

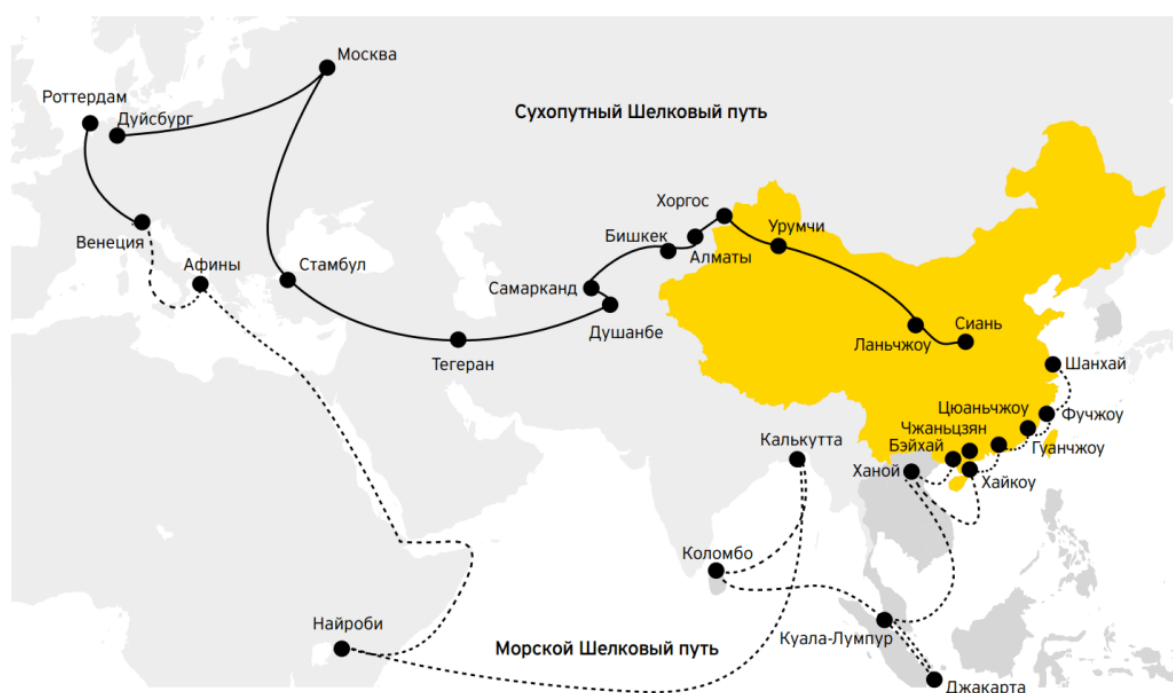


Рис. 1. Экономический пояс Шелкового пути

Китай, который имеет значительно большую, по сравнению с Германией, площадь государства и где территории различных частей страны также развиваются неравномерно, задачу повышения эффективности и устойчивости развития территорий макрорегионального уровня решает комплексно: с одной стороны, КНР активно развивает сеть ВСМ [5–6], а с другой, внедряет проект «один путь — один пояс» (рис. 1) [7].

Для измерения эффективности развития территорий в условиях внедрения ВСМ в Китае предложена относительная оценка. На примере участка Ухань — Гуанчжоу изучен ВВП территорий до и после запуска ВСМ, при этом ВВП 2004 года принят за единицу (рис. 2) [8]. Высокоскоростной маршрут Ухань — Гуанчжоу был запущен в эксплуатацию в 2009 году.

Из графика видно, что темп роста экономик территорий, где проходит ВСМ, выше, хотя до запуска ВСМ ВВП регионов, где сейчас проходят ВСМ и не проходят, росли почти одинаково. Таким образом, ВСМ как значимый элемент транспортно-логистических систем способствует развитию территорий, через которые она проходит, и дает новые стимулы и мотивации для ее развития.

Стоит отметить, что ВСМ способствует развитию сектора обслуживания (третий сектор экономики). Влияние эксплуатации ВСМ на туризм можно оценить за счет анализа тенденции общей доли туристической отрасли в ВВП. После эксплуатации скоростной железной дороги доступность регионов улучшилась и уровень развития туризма в этих регионах значительно вырос. До эксплуатации маршрута ВСМ Ухань — Гуанчжоу общий доход от туризма в этих регионах составлял около 8 % от ВВП этих регионов и был стабилен. После начала эксплуатации ВСМ на этом участке туристический доход начал динамично расти, соответственно, растет и его доля в ВВП. В 2014 году общая доля дохода от туризма составляла 14,5 % от общего ВВП данных регионов, увеличившись на 80 % (рис. 3) [9].

Взаимоотношение между ВСМ и проектом «один путь — один пояс» служит национальной геополитической стратегией КНР, направленной на повышение устойчивости развития территорий макроуровня.

Итак, зарубежный опыт показал, что подходы к оценке ТЛС территорий в разных странах опираются на относительные экономические показатели. Целью нашего исследования стало обогащение подходов, методов и инструментов для оценки транспортно-логистической системы в качестве важнейшей инфраструктуры жизнедеятельности на территориях. В условиях ограниченных ресурсов и нестабильного экономического роста необходимо обеспечить устойчивое развитие инфраструктурных систем и их оптимизацию в качестве одной из предпосылок перехода российской экономики к следующему циклу долгосрочного развития на базе новой индустриализации и научно-технического прогресса.

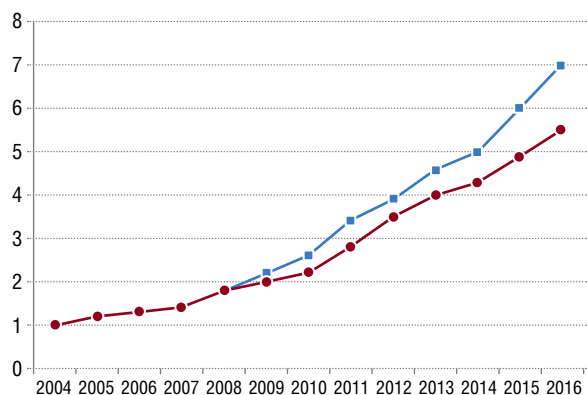


Рис. 2. Относительная оценка ВВП до и после эксплуатации ВСМ в регионах КНР по маршруту Ухань — Гуанчжоу:  
—■— ВСП проходит; —●— ВСП не проходит

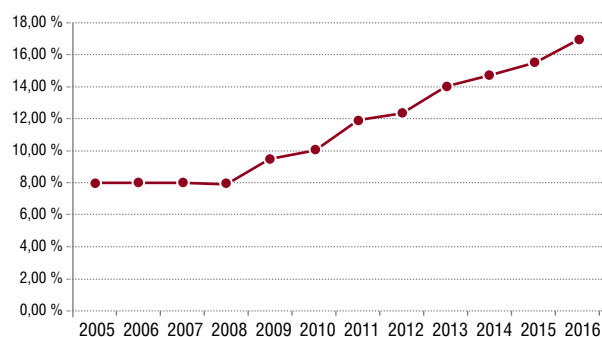


Рис. 3. Динамика роста доли ВВП от дохода в туристическом секторе

Для достижения поставленной цели авторами проведен анализ развития рыночных концепций управления, применены подходы для описания оценки эффективности транспортно-логистических систем на разных этапах.

Экоэффективность, согласно теории устойчивого развития, является лишь частью эффективности на транспорте и служит индикатором его деятельности. Понятие «эффективность логистических систем» подробно рассмотрено в статьях [10–11], где отмечено, что для определения эффективности существует самая общая и универсальная формула расчета: эффективность ( $\varepsilon$ ) равна отношению полезных конечных результатов ( $R$ ) к затраченным ресурсам (затратам —  $Z$ ):

$$\varepsilon = \frac{R}{Z}. \quad (1)$$

Определим эффективность как ценность (Value), которую клиент готов заплатить за конкретную транспортно-логистическую услугу и которая порождает восприятие преимуществ (perception of benefits), последние клиент получает при покупке конкретной услуги. Значение может быть определено по формуле [12]:

$$\text{Value} = \frac{\text{perception of benefits}}{\text{costs of ownership}}.$$

Экономическая эффективность или ценность требует управления затратами (costs of ownership) с акцентом на логистические затраты. Основой управления затратами является оптимальное планирование, управление и мониторинг расходов. Величина затрат зависит от влияния различных факторов, таких как цена покупки, оптимизация логистических процессов и потребления сырья, энергии, амортизация транспортно-логистического оборудования, а также использование рабочего времени — основного элемента бизнес-процессов.

Доля логистических издержек в общей стоимости готовой продукции в США составляет 60 %, в Западной Европе — до 54 %, в Китае — 48 %, в России — до 30 % [13–15]. Этот показатель меняется в зависимости от индивидуальных отраслей экономики. Кроме того, логистические затраты изменяются в зависимости от этапа развития общества. В их состав могут входить расходы на приобретение, транспортные расходы, внутренние затраты на логистику, затраты на хранение и материальные запасы, расходы на сбыт, расходы на послепродажный сервис, прочие расходы по проведению логистической деятельности.

Для определения эффективности (ценности) транспортно-логистических систем авторами проведен анализ эволюции развития современного общества, который позволил проследить организационно-технологиче-

ские связи при формировании цепочек взаимодействия в бизнес-среде (табл. 1) и вывести формулу для расчета эффективности транспортно-логистической системы (ТЛС) территорий макрорегионального уровня [16].

Рассмотрим подробнее формулы определения эффективности (2)–(5) из табл. 1.

$$V = \frac{P}{C}, \quad (2)$$

где  $V$  (от англ. value) — ценность услуги в условиях ненасыщенного рынка;  $P$  — продукт (product) или услуга, отнесенный к затратам  $C$  (costs) на его/ее производство.

По мере насыщения рынка определяется не просто ценность, а потребительская ценность  $CV$  (customer value):

$$CV = \frac{Q}{C}, \quad (3)$$

где оптимальным образом сочетаются цена  $C$  (costs) и качество  $Q$  (quality) товара или услуги.

В условиях насыщенного рынка важную роль начинают играть время  $t$  обслуживания клиентов и предоставляемый им сервис  $s$  (service). Формула (3) приобретает вид

$$CV = \frac{Q \cdot s}{C \cdot t}. \quad (4)$$

Таблица 1

	Рыночная среда			Устойчивое развитие
Концепция управления	Менеджмент	Маркетинг	Логистика	Экологистика
Цепочки взаимодействий	Производственные цепочки	Сбытовые цепочки	Логистические цепи поставок	«Зеленые» цепи поставок
Характеристика				
Экономика	Повышение производительности труда	Повышение качества услуг	Повышение качества труда	Повышение качества жизни
Общество	Улучшение условий труда	Усиление мотивации внешних и внутренних клиентов	Улучшение сервиса транспортно-логистического обслуживания	Обеспечение равных возможностей для интеграции различных регионов и участников ЦП в ТЛП
Окружающая среда	Дотации у природы	Принцип разумной достаточности	Принцип справедливости	Принцип трансформации (шанс справиться с неопределенностью)
Определение эффективности				
Ценность	$V = \frac{P}{C} \quad (2)$	$CV = \frac{Q}{C} \quad (3)$	$CV = \frac{Q \cdot s}{C \cdot t} \quad (4)$	$CV = \frac{QL}{C \cdot t \cdot e} \quad (5)$





Рис. 4. Трансформация критериев результативности обычных цепей поставок в «зеленые» цепи поставок

Сначала (на этапе логистики) качество рассматривается как функциональное предложение. Функция обеспечения качества охватывает весь спектр логистического бизнеса. Обеспечение качества в логистической системе представляет собой комплекс мер, направленных на достижение всех требований и ожиданий потребителей, владельцев и впоследствии требований по охране окружающей среды.

Компании — участники ТЛС с социально ответственным поведением добиваются не только хорошего воздействия на общество и окружающую среду, но и на собственный бизнес: повышается их репутация в обществе, привлекается и удерживается мотивированный персонал, снижаются эксплуатационные расходы, ставятся глобальные бизнес-цели, поддерживаются маркетинговые цели, развивается стратегическое партнерство участников «зеленых» цепей поставок.

Потребитель же трансформируется в социально ответственного гражданина, ценностью ( $CV$  – civic value) которого становится не просто качество отдельного товара или услуги, а качество всей жизни ( $QL$  – the quality of life) в целом:

$$CV = \frac{QL}{C \cdot t \cdot e}, \quad (5)$$

где  $e$  — факторы экологически неблагоприятного воздействия транспортно-логистического бизнеса на окружающую среду.

Итак, ценность или эффективность ( $\varepsilon$ ) — важный критерий результативности транспортно-логистических систем любого уровня, и особенно макроуровня. На схеме (рис. 4) представлены и другие критерии результативности классической цепочки поставок и их трансформация в критерии результативности «зеленой» цепи поставок (ЗЦП): экологическая безопасность, величина, обратная рискам, ( $1/R$ ) и качество трудовой жизни ( $Q$ ).

Реализация эффекта ценностей «зеленых» цепей поставок или транспортно-логистических систем в условиях устойчивого развития проявляется в высокой степени удовлетворения клиентов и минимизации всех ресурсов и ведет к главной цели — повышению качества жизни.

Для оценки качества жизни в США разработан опросник SF-36 health status survey, состоящий из 11 разделов. Результаты в опроснике представляются в виде оценок в баллах по восьми шкалам, составленным таким образом, что более высокая оценка указывает на лучшее качество жизни [17].

С определенным приближением в качестве показателя качества жизни можно использовать и индекс человеческого развития ООН. Он строится по следующим направлениям: уровень дохода в стране или регионе, продолжительность жизни, доступ к знаниям и др. [18].

Измерителем качества жизни в различных странах служат различные индексы качества жизни, среди которых следует выделить Better Life Index, рассчитываемый Организацией экономического сотрудничества и развития [19].

Субъективную оценку качества жизни можно также измерить при помощи социологических опросов. Для этого используется широкий набор социологических инструментов [20]. Наиболее весомым интегральным показателем, характеризующим субъективную оценку качества жизни, является удовлетворенность человека своей жизнью [21]. То есть на сегодняшний день в мировом научном и бизнес-пространстве нет общепринятой оценки качества жизни.

В Российской Федерации также разработана «Методика комплексной оценки качества жизни населения в регионах России» [22]. В результирующем сводном (интегральном) индексе качества жизни населения объединены семь функциональных блоков, включающие 19 частных (базовых) репрезентативных показателей. К числу ключевых компонентов качества жизни населения в регионах и важнейших направлений его комплексной оценки

отнесены: уровень доходов населения, уровень развития потребительского рынка, обеспеченность населения жильем и качество жилищных условий, обеспеченность населения основными материальными благами, уровень развития здравоохранения и образования, состояние окружающей природной среды, состояние рынка труда и миграционная привлекательность.

Но в России до конца еще не выработано единого подхода не только к методике оценки качества жизни, но и к определению самой категории «качество жизни». Это предстоит сделать в самом ближайшем времени, а пока отсутствие такого подхода мешает и развитию идеологии экологизации общества, и в частности «зеленых» транспортно-логистических систем.

Таким образом, одним из важных этапов повышения эффективности транспортно-логистических систем территорий сегодня следует считать переход от традиционного анализа на заданном отрезке времени  $t$  отраслевого валового продукта к его уточненному понятию с учетом неопределенности и рисков возникновения неблагоприятных событий. А оценка эффективности и устойчивости развития транспортно-логистических систем территорий различного уровня должна строиться на основе комплексного подхода и теории устойчивого развития. **ИТ**

*Работа проводилась при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты № 18-07-00604, 16-06-00464.*

## Список литературы

1. Zhuravskaya M., Tarasyan V. Forming of the regional core transport network taking into account the allocation of alternative energy sources based on artificial intelligence methods // *Transport Problems*. — 2014. — Т. 9, № 4. — С. 121–130.
2. Журавская М. А., Тарасян В. С. Искусственный интеллект в некоторых задачах моделирования и планирования логистических систем // *Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар*. — 2012. — № 3. — С. 89–96.
3. Markus Kopp. Vorstand der Mitteldeutschen Flughafen AG. DCW-Region Mitteldeutschland [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.dcw-ev.de/de/dcw-regionen/mitteldeutschland.html>
4. Herbert Sonntag (Hrsg.) *European Corridor Projects — Trends, Strategies and Practices in freight transport and logistics* [Электронный ресурс]. — URL: [https://www.th-wildau.de/files/Forschungsgruppen/Verkehrslogistik/ Downloads/Schriftenreihe-Logistik\\_Bd7.pdf](https://www.th-wildau.de/files/Forschungsgruppen/Verkehrslogistik/Downloads/Schriftenreihe-Logistik_Bd7.pdf)
5. Журавская М. А. IV Международный симпозиум ассоциации железнодорожных университетов и организаций Европы и Азии // *Инновационный транспорт*. — 2011. — № 1 (1). — С. 43–47. — ISSN 2311–164X.
6. 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.
7. 11-й симпозиум транспортных вузов в Тихоокеанском регионе. Портал провинции Хэнань, КНР [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.zzrvtc.edu.cn/s/22/t/2/ae/dc/info44764.htm>
8. Bai Yunfeng. *Research on the Impact of High-speed Railway on Regional Social and Economic Development* [D]. — Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010.
9. Wang Yixian, Lin Chenhui. *The Impact of High-speed Railway on Urban Spatial Evolution: An Analysis Based on Chinese Characteristics* [J]. *International Urban Planning*, 2011(1) : 16–23.
10. Сураева М. О. Методические подходы к оценке эффективности инновационных процессов на железнодорожном транспорте / М. О. Сураева // *Вопросы экономики и права*. — 2011. — № 3. — С. 189–192.
11. Колински А., Журавская М. А. Метод оценки эффективности транспортных процессов в цепях поставок // *Инновационный транспорт*. — 2015. — № 4 (18). — С. 25–30. — ISSN 2311–164X.
12. Мифтяхетдинов И. Эффективность функционирования международных логистических систем / И. Мифтяхетдинов // *Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция*. — 2010. — № 1. — С. 38–42.
13. Цена и Стоимость. От ценовых решений: учебное пособие [Электронный ресурс]. — URL: [http:// www.knowthis.com/pricingdecisions/price-vs-value](http://www.knowthis.com/pricingdecisions/price-vs-value).
14. Лукинский В. С., Лукинский В. В., Плетнева Н. Г. *Логистика и управление цепями поставок : учебник*. — М. : Изд-во Юрайт, 2016. — 359 с.
15. Доля логистических издержек в себестоимости товаров. Портал логистической промышленности КНР. [Электронный ресурс]. — URL: [http:// www.xd56b.com/zhuzhan/news20140922001/20151231/37136.html](http://www.xd56b.com/zhuzhan/news20140922001/20151231/37136.html).
16. Цяо Ц. Формирование «зеленых» цепей поставок в условиях неопределенности (на примере направления Чунцин — Екатеринбург) : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ур. гос. ун-т путей сообщ. — Екатеринбург, 2016.
17. Малышев А. И. *Логистическая индустрия в Северной Америке* / А. И. Малышев // *Склад и техника*. — М. — № 5. — 2005. — С. 14–16.
18. SF-36 Health Status Survey [Электронный ресурс]. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SF-36>.
19. Методика оценки качества жизни (SF-36 health status survey) / Первый медицинский портал. — URL: [https:// 5psy.ru/testi/metodika-ocenki-kachestva-jizni.html](https://5psy.ru/testi/metodika-ocenki-kachestva-jizni.html).
20. Индексы качества жизни. Эффективные политики для улучшения качества жизни. [Электронный ресурс]. — URL: [http:// www.oecd.org/statistics/datalab/bli.htm](http://www.oecd.org/statistics/datalab/bli.htm).
21. Социологические инструменты для измерения оценки качества жизни. Портал благополучие, 2015. — URL: [http:// www.gallup.com/topic/category\\_wellbeing.aspx?ref=logo](http://www.gallup.com/topic/category_wellbeing.aspx?ref=logo).
22. Наиболее весомый интегральный показатель для оценки качества жизни. Оценка перспектив экономического роста в России. — URL: [http:// www.fa.ru/chair/priklsoc/Documents/Economics\\_mood\\_2014\\_08.pdf](http://www.fa.ru/chair/priklsoc/Documents/Economics_mood_2014_08.pdf).

Объем статьи: 0,67 авторских листа



**Виталий Петрович  
Левшунов**

**Vitaly P. Levshunov**



**Сергей Валентинович  
Бушуев**

**Sergey V. Bushuev**

## **Высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань (ВСМ-2): инновации в проектировании и строительстве**

### **Highspeed railway mainline Moscow – Kazan (HSM-2): innovations in designing and construction**

#### **Аннотация**

В статье приведены основные технико-экономические аспекты ВСМ-2, объемные показатели строительства, основные технические решения, заложенные в проектную документацию по земляному полотну и верхнему строению пути, по искусственным сооружениям и контактной сети. Рассмотрены инновационные подходы к организации строительства и проектирования, в том числе с применением BIM-технологий (Building Information Modeling).

**Ключевые слова:** высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань, объемные показатели строительства ВСМ-2, проектные решения, земляное полотно, искусственные сооружения, электроснабжение, BIM-технологии.

#### **Annotation**

The article shows essential HSM-2 technical and economic aspects, volumetric data of construction, basic technical decisions, included into project documentation on the roadbed and permanent way, engineering structures and catenary system. Innovational approaches towards organization of construction and designing, including application of BIM-technologies (Building Information Modeling) are looked upon.

**Keywords:** high speed railway mainline Moscow-Kazan, volumetric data of HSM-2 construction, project decisions, roadbed, permanent way, engineering structures, power supply, BIM-technologies.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-9-18

#### **Авторы Authors**

**Виталий Петрович Левшунов**, главный инженер АО «Мосгипротранс», Москва | **Сергей Валентинович Бушуев**, канд. техн. наук, доцент, проректор по научной работе Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Vitaly Petrovich Levshunov**, Chief Engineer, JSC "Mosgiprotrans", Moscow | **Sergey Valentinovich Bushuev**, Candidate of technical science, Associate Professor, Deputy Rector in research work, Ural state University of railway transport (USURT), Ekaterinburg



Участок Москва — Казань является первым сегментом трансконтинентальной ВСКМ, которая соединит единым транспортным коридором высокоскоростные сети железных дорог Европы и Китая. Трудно переоценить экономическое влияние проекта на развитие территорий, по которым будет проходить трасса [1, 2]. Рассматривалось несколько вариантов трассировки: через Казахстан, через Сибирь и через Алтай. На сегодняшний день экспертами в качестве приоритетного выбран вариант через Казахстан, который предполагает протяженность по территории России 2366 км (рис. 1).

Проектная документация по титулу «Москва — Казань» разработана консорциумом российских институтов «Мосгипротранс», «Нижегородметропроект», а также Китайской инженерной железнодорожной корпорацией «ЭР ЮАНЬ». Лучший российский опыт транспортного строительства в союзе с колоссальным опытом проектирования и строительства ВСКМ в Китайской Народной Республике позволил подготовить к реализации уникальный для российских железных дорог проект, который за 3,5 часа объединяет 38 муниципальных образований в семи областях и республиках, это 30 млн человек (20 % населения России).

Трасса проходит по густонаселенной Европейской равнине с довольно сложными гидрографическими и геологическими условиями: 790 км пути, 120 больших, малых рек и озер, 95 пересекаемых автомобильных дорог, 220 км участков со слабыми основаниями. Если к этому прибавить большие сезонные температурные колебания, то становится понятно, почему высокоскоростная магистраль потребовала разработки большого количества уникальных инноваций и научного сопровождения проектирования и строительства [3].

Во-первых, на каждом из шести крупных участков строительства выделен комплекс работ по подготовке территории строительства. Данный подход к организации строительства также можно считать инновационным для сложных инфраструктурных проектов.

Основные работы подготовительных этапов строительства (нечетных) включают в себя:

- выкуп территории строительства;
- вынос полосы отвода на местность;
- рубку просеки и расчистку территории строительства — 3736 га;
- вынос и переустройство линий связи, электроснабжения, газоснабжения и других сетей и коммуникаций;
- снос строений, попадающих в зону строительства (2072237 м<sup>3</sup>) — 2372 шт.;
- установку временных шумозащитных экранов;
- вынос и переустройство инженерных коммуникаций — 1807 шт.

Особое внимание уделено защите населения [4] от шума строительной техники. На этапе строительства

предусмотрено сооружение 269 км шумозащитных экранов. Для организации строительства вдоль проектируемой трассы предусматривается использование девяти существующих и пяти вновь проектируемых грузовых дворов.

Во-вторых, на участке Нижний Новгород — Казань трасса ВСКМ-2 почти на всем протяжении проходит на значительном удалении от существующей железной дороги, что затрудняет доставку строительных материалов. В то же время на этом участке трасса ВСКМ-2 проходит в бассейнах рек Волги и Суры на расстоянии от 4 до 20 км, в связи с чем для доставки грунтовых строительных материалов, а именно песка, гравия и песчано-гравийной смеси, в транспортную схему включен речной транспорт. С этой целью предусмотрены временные перегрузочные пункты на десяти речных причалах и в двух портах (Чебоксарах и Казани).

Для изготовления и хранения унифицированных пролетных строений при строительстве искусственных сооружений предусматривается организация 14 мостовых полигонов.

Строительство высокоскоростной магистрали требует выполнения беспрецедентного объема работ как строительной, так и промышленной отрасли экономики России. Вот только некоторые из них:

1. Земляные работы. Профильный объем 158,6 млн м<sup>3</sup>:
  - насыпь — 78,5 млн м<sup>3</sup>;
  - выемка — 80,1 млн м<sup>3</sup>.
2. Укладка путей и строительство ИССО. Развернутая длина 1770 км:
  - безбалластный путь — 1410 км;
  - путь на балласте — 360 км;
  - строительство ИССО — 683 шт.
3. Устройство систем электроснабжения:
  - монтаж контактной сети — 2140 км;
  - монтаж опор контактной сети — 42860 шт.
4. Строительство:
  - вокзальные комплексы ВСКМ — 16 шт.;
  - депо ВСКМ — 3 шт.;
  - тяговые подстанции — 14 шт.;
  - ВЛ 220 кВ внешнего электроснабжения — 540 км;
  - устройство систем ЖАТ и электросвязи. Двухпутная АБ — 1770 км;
  - узлы связи DWDM, SDH, IP — 546 ед.

Для реализации работ основных технологических этапов потребуются колоссальные объемы строительных материалов. Краткий перечень наиболее объемных материалов и изделий:

- грунты для отсыпки насыпи — 78 млн м<sup>3</sup>;
- щебень — 6 млн м<sup>3</sup>;
- железобетон — 24 млн м<sup>3</sup>;
- металлоконструкции и металлопрокат — 1,2 млн т;
- кирпич — 24 млн шт.;
- стрелочные переводы — 787 комплектов.



Рис. 1. Приоритетный вариант трассировки трансконтинентальной ВСМ

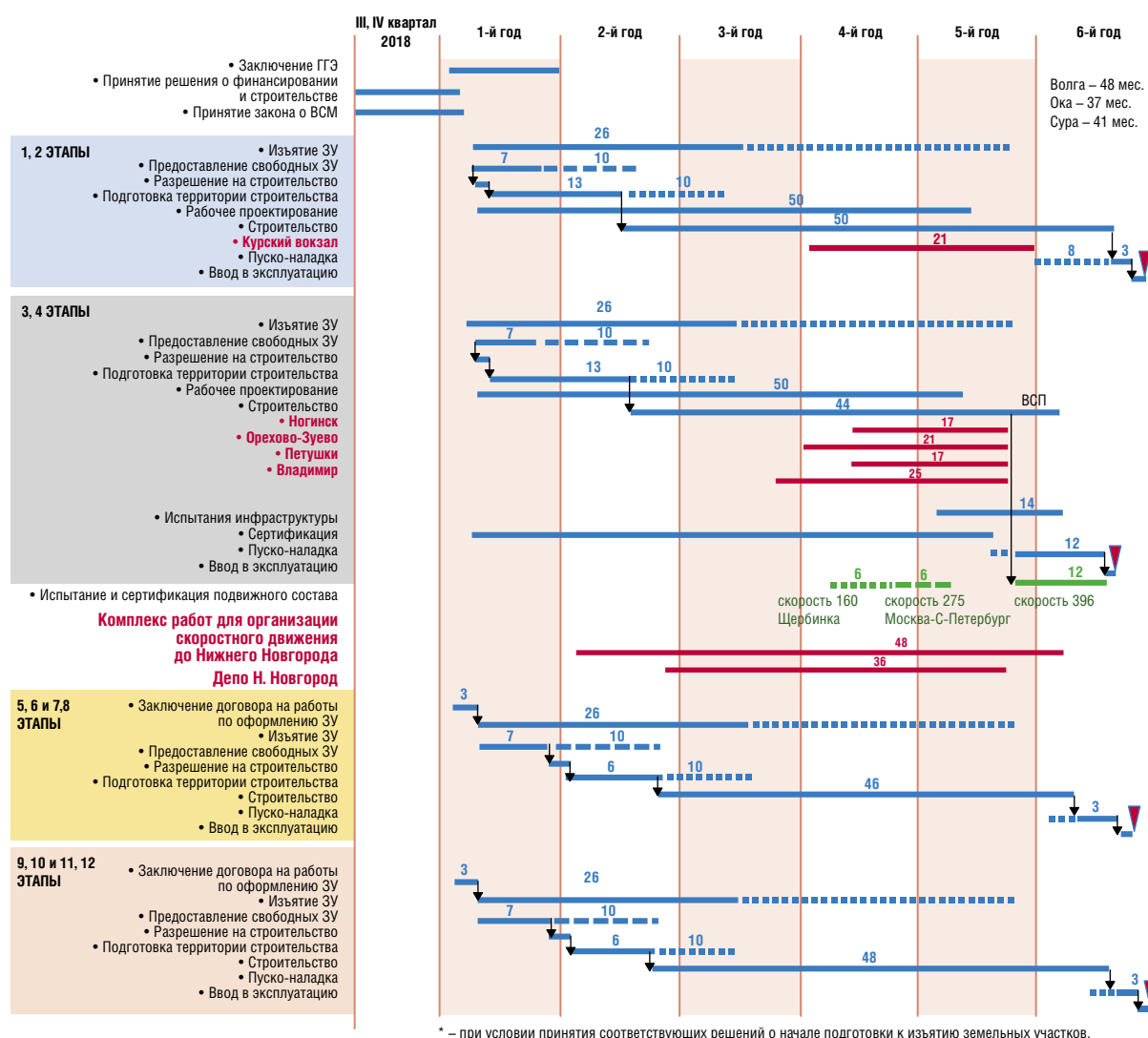


Рис. 2. График строительства ВСМ-2

С целью сокращения сроков рабочей график строительства (рис. 2) предусматривает выполнение работ широким фронтом в течение шести лет. Как видно, старт многих этапов происходит одновременно. Работы максимально распараллелены для достижения лучшей эффективности строительства.

Остановимся более подробно на некоторых технических инновациях строительства.

Инфраструктура высокоскоростного железнодорожного движения требует повышенного внимания к безупречной точности строительства и эксплуатации. Например, укладка плит безбалластного верхнего строения пути уникальна и производится в строгом соответствии со схемой раскладки плит. Каждая плита изготавливается для конкретного места укладки и специальным образом маркируется. Движение высокоскоростных поездов осуществляется в плане по сложной геометрической кривой с переходными участками. Точность укладки пути с расчетным возвышением внешнего рельса в кривой для заданных скоростей движения имеет погрешность 5 мм. Для этих целей в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 20 апреля 2012 г. № 802р при проектировании, строительстве и последующей эксплуатации ВСМ-2 предусмотрено использование высокоточной системы координат (ВКС).

Основными назначениями ВКС являются:

- высокоточное определение местоположения и параметров объектов инфраструктуры железнодорожного комплекса;
- определение местоположения подвижного состава в едином координатном пространстве на направлениях и участках высокоскоростного и скоростного пассажирского движения.

Для выполнения строительных работ помимо локальной железнодорожной системы координат была разработана специальная система координат проекта, обеспечивающая единое координатное пространство на весь проект с минимальными искажениями. Все топографо-геодезические материалы выпущены в данной системе координат.

Всего вдоль трассы ВСМ-2 использовано 16 действующих базовых станций международной сети и создано 34 пункта высокоточной каркасной сети.

Район строительства ВСМ-2 характеризуется сложными природными условиями. В зоне прохождения трассы встречаются участки, требующие проведения большого объема работ по подготовке основания земляного полотна. Это участки со слабыми основаниями, участки с озерно-болотными образованиями, карстоопасные участки.

Для более детального изучения опасных геологических процессов в проекте применялись инновационные геофизические исследования методом электротомографии (рис. 3).

Земляное полотно ВСМ представляет собой уникальное инновационное многослойное сооружение [5, 6, 7]. Технология производства и подбор материалов позволяют добиться недостижимых ранее 15 мм остаточной деформации земляного полотна на всем жизненном цикле насыпи. Участки ВСМ со слабыми грунтами имеют протяженность 220 км, и при строительстве на этих участках земляное полотно будет усилено свайным основанием (рис. 4). Кроме того, на участках с опасными геологическими процессами предусмотрено строительство 45 защитных сооружений.

На участках слабых и недостаточно прочных оснований для соблюдения требований по максимальной осадке (15 мм) в проекте предусмотрено укрепление грунтов оснований буроналивными сваями типа CFG с устройством гибкого ростверка из георешетки. Технология CFG предусматривает бурение полым шнеком с подачей бетона класса В15 в скважину без устройства арматурного каркаса. Диаметр свай — 0,6 м. Расчетное расстояние между сваями от 1,2 до 1,8 м. Сваи CFG отличаются высокой несущей способностью, простотой устройства и высоким темпом строительства, а также более низкой стоимостью реализации по сравнению с другими технологиями (забивные сваи, инъекционные микросваи, струйная цементация и др.).

Основной инновационной характеристикой земляного полотна при высокоскоростном движении является значительное послойное уплотнение защитных слоев, которое для достижения минимальной осадки на всем жизненном цикле насыпи составляет 1.

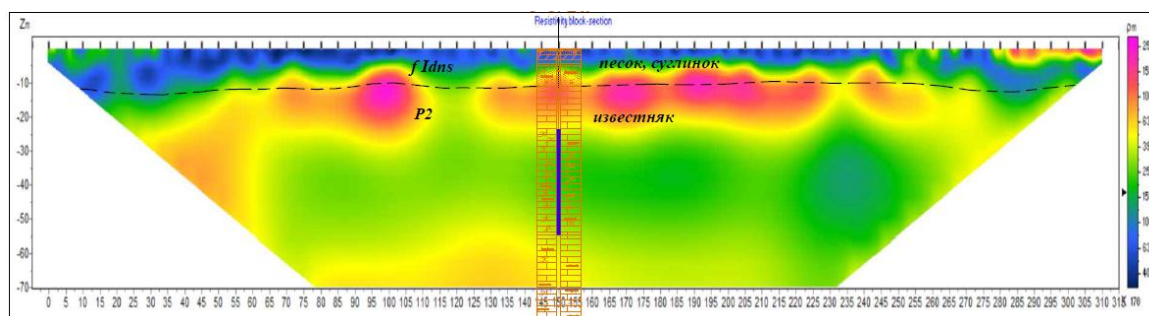


Рис. 3. Пример геоэлектрических разрезов по двум взаимно перпендикулярным профилям на карстоопасном участке трассы ПК 2690+00



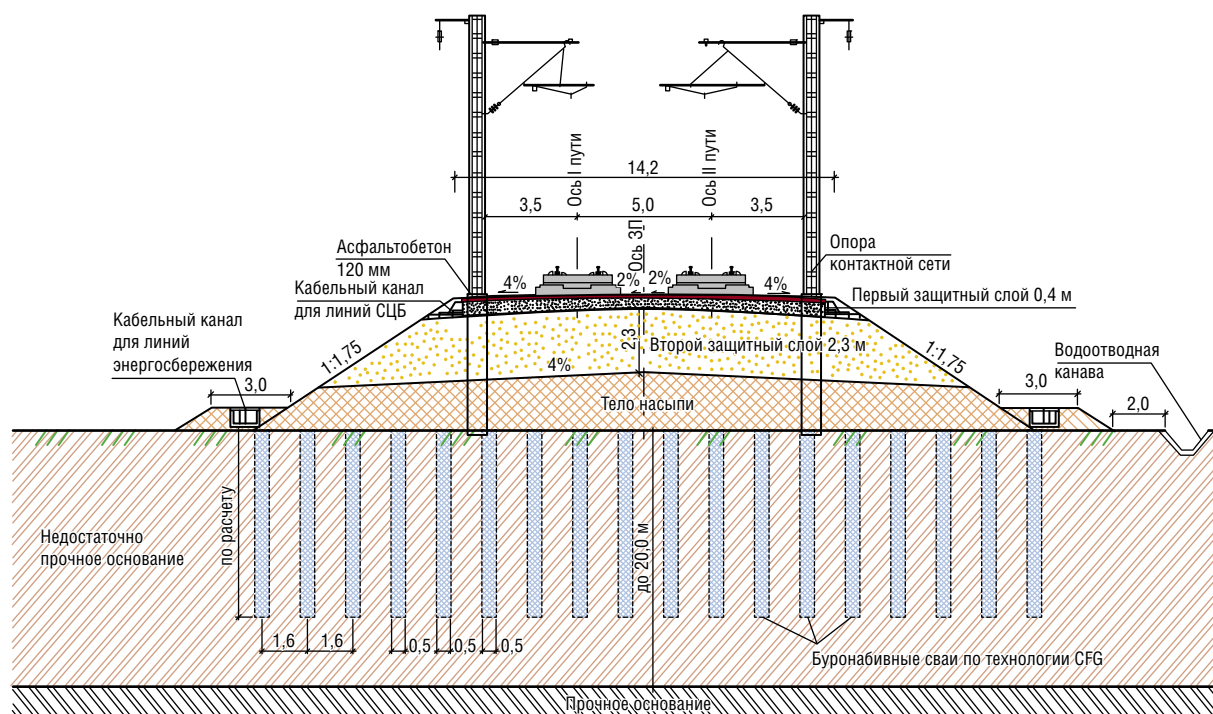


Рис. 4. Пример усиления земляного полотна свайным основанием

Основные характеристики земляного полотна под БВСП:

- максимальная остаточная деформация — не более 15 мм;
- ширина основной площадки — 14,2 м;
- междупутье — 5,0 м;
- заложение откосов насыпей — 1:1,75 при высоте до 6 м, 1:2 при высоте насыпей более 6 м;
- заложение откосов выемок — 1:1,5, 1:1,75, 1:2,0 и др., в зависимости от геологических условий;
- толщина второго защитного слоя (ПГС) 2,3 м;
- толщина первого защитного слоя (ЩПГС) 0,4 м, в том числе асфальтобетон 0,12 м;
- отсыпка тела земляного полотна из дренирующих грунтов;
- устройство водоотводных лотков, дренажей и нагорных канав в выемках;
- укрепление откосов геоматами (биоматами);
- свайные укрепления основания из забивных свай и свай CFG.

Для распределения динамической нагрузки от подвижного состава на тело земляного полотна используется инновационная конструкция безбалластного [8] верхнего строения пути (рис. 5).

Данная конструкция специально разработана на нашу колею 1520 и оптимизирована под наши суровые климатические условия. Расчетная долговечность конструкции составляет не менее 60 лет. Основными элементами БВСП является собственно CRTS III RUS — специальная железобетонная плита заводского изготовле-

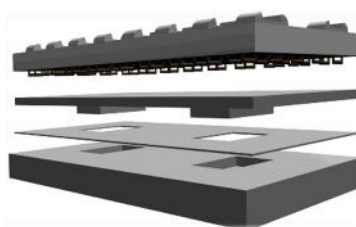
ния и WJ-8 RUS — система рельсового скрепления. Для гидроизоляции земляного полотна под БВСП предусмотрен слой асфальтобетона толщиной 12 см.

Инновационными элементами ВСМ являются технологии строительства искусственных сооружений [9]. В целях обеспечения конструктивного единообразия разработаны технические решения унифицированных двухпутных пролетных строений. Суммарное количество искусственных сооружений составляет 683 единицы общей протяженностью 162 км. Инновационные решения включают конструкции для участка ВСМ с реализацией скоростей от 200 км/час и до 350 км/час.

Для выполнения технологического цикла строительства, а также сокращения сроков строительства предусматривается использование сборных пролетных строений (рис. 6), а также методов навесного бетонирования. По предложению строительной отрасли в альбом унифицированных пролетных строений включена так называемая «итальянская балка» (сборно-моноклитная конструкция).

Контактная сеть КС-400 разработана на основе математического моделирования динамического взаимодействия с токоприемниками подвижного состава. Для расчета электротехнических параметров КС-400 были построены специальные электродинамические модели тяговой сети, модели токораспределения, растекания тока в земляном полотне, а также модели нагрева проводов с учетом обтекания ветром. Расчет тяговой сети выполнен на основе метода конечных элементов в неуравновешенном режиме, когда падения напряжений по длине проводов нелинейны (рис. 7).

CRTS III RUS



1. Подрельсовая опора со скреплениями WJ-8 RUS (76 мм)
2. Рельсовая плита из преднапряженного железобетона B55 (220 мм)
3. Слой самоуплотняющегося бетона B50 (100 мм)
4. Изоляционный слой (2 мм)
5. Плита железобетонного основания B40 (302 мм)

WJ-8 RUS

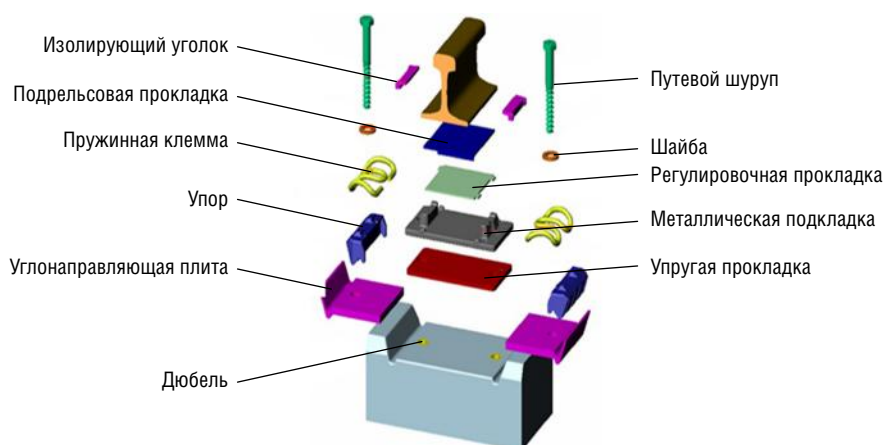


Рис. 5. Конструкция безбалластного верхнего строения пути ВСМ-2

В контактной сети КС-400 используется целый ряд инновационных для России технических решений в части узлов и конструкций (рис. 8):

- контактные провода из сверхпрочных сплавов «медь-магний», «медь-ниобий» или «медь-хром-цирконий»;
- фундаменты в виде буронабивных свай;
- опорные и поддерживающие конструкции повышенной жесткости;
- барабанные компенсаторы с подшипниками скольжения;
- пятипролетные сопряжения анкерных участков с узлами для реализации схем плавки гололеда;
- воздушные стрелки без пересечения проводов с дополнительной (третьей) подвеской;
- стационарные системы мониторинга и диагностики и многое другое.

Реализация высоких скоростей движения накладывает жесткие требования к качеству монтажа и точности регулировки контактной под-

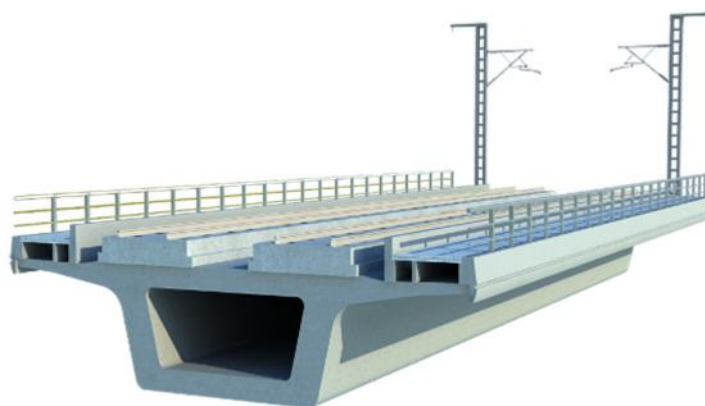


Рис. 6. Сборное пролетное строение

вески. Выполнение этих требований возможно только при строгом соблюдении специализированной технологии строительно-монтажных работ. В соответствии с мировым опытом современная технология подразумевает применение монтажных комплексов (рис. 9) с раскаткой проводов под заданным натяжением, использование специальных монтажных приспособлений и измерительных средств, а также информационное сопровождение процесса монтажа контактной сети.

При реализации проекта ВСМ для отдельных участков и элементов проектирования применена передовая технология информационного моделирования объектов инфраструктуры — BIM, формирующая основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта. В основе BIM лежит трехмерная информационная модель, на базе которой организована работа проектировщика и может быть организована деятельность инвестора, заказчика, подрядчика и эксплуатирующей организации.

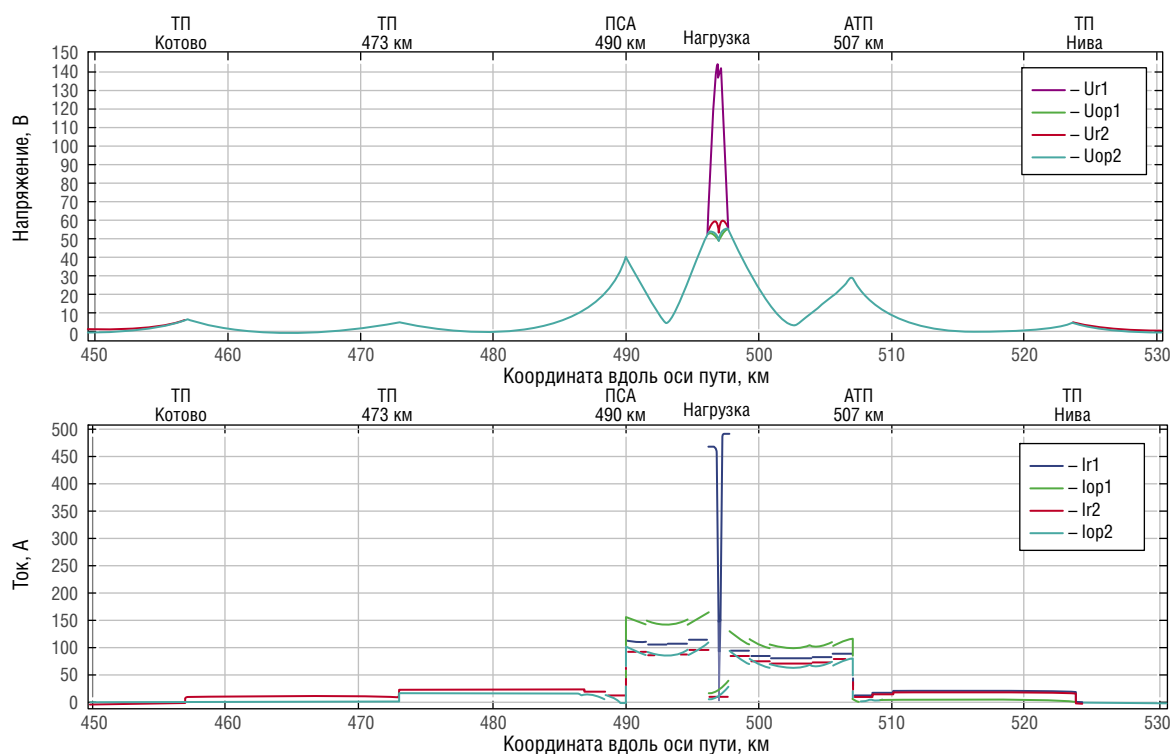


Рис. 7. Напряжения и токи обратной тяговой сети:

— рельсы первый путь; — обратный провод первый путь;  
— рельсы второй путь; — обратный провод второй путь

Компенсаторы — барабанного типа с пониженным коэффициентом трения



Рис. 8. Инновационные технические решения в части узлов и конструкций КС-400



Рис. 9. Схема монтажного комплекса контактной сети КС-400:

А — автомотрисы АДМ для монтажа и регулировки контактной подвески; Т — автомотрисы АДМс для монтажа контактной подвески; М — автомотриса АДМ с позиционером типа МАСТ; Р — раскаточный модуль



Технологии информационного моделирования (BIM) включают:

- улучшение качества проектной / рабочей документации;
- организацию информационного взаимодействия участников проекта;
- наличие актуальной информации у участников проекта;
- сокращение сроков согласования проектных решений;
- повышение качества планирования и выполнения строительно-монтажных работ;
- снижение незапланированных расходов;
- создание средств оперативного контроля за ходом выполнения проектных и строительно-монтажных работ (план/факт);
- снижение рисков срыва сроков реализации проекта.

В рамках технологии BIM при проектировании построена цифровая модель местности на основании данных, полученных при помощи лазерного сканиро-

вания. На основе построенной цифровой модели за-проектирована трасса ВСМ, и произведена увязка ее элементов.

Проекты зданий и сооружений выполнены в виде трехмерных моделей с использованием коллективной работы специалистов различных специальностей (рис. 10).

Затем все модели сводятся в единую сводную модель (рис. 11).

Все модели будут насыщены данными и детальными спецификациями при разработке рабочей документации и должны быть использованы на стадиях строительства и эксплуатации. Для этого необходимо продолжать работу в этом направлении.

Вокзалы ВСМ являются уникальной архитектурой XXI века. Это и общий принципиальный подход к функциональности зданий, и мелкие архитектурные детали и формы. Высокая технологичность проектируемых объектов соответствует новому для России виду транспорту — высокоскоростной железнодорожной магистрали.

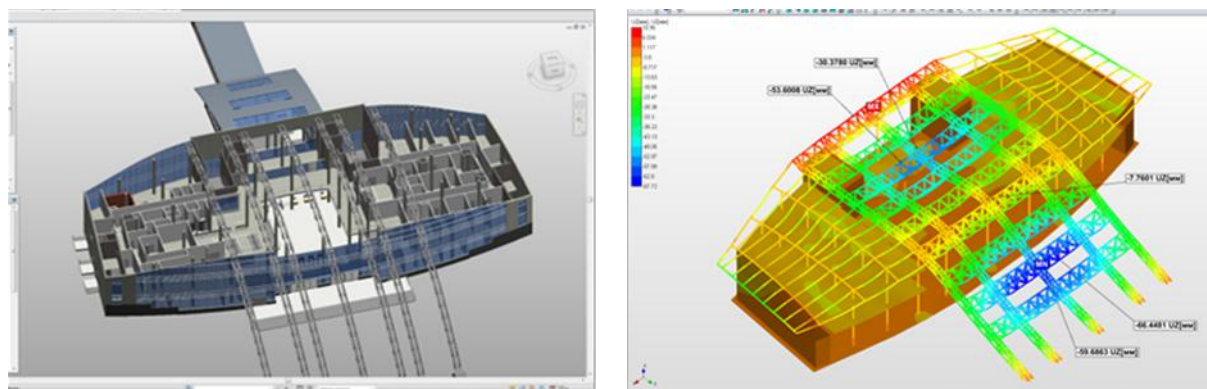


Рис. 10. Цифровые модели одного из вариантов здания вокзала ст. Владимир

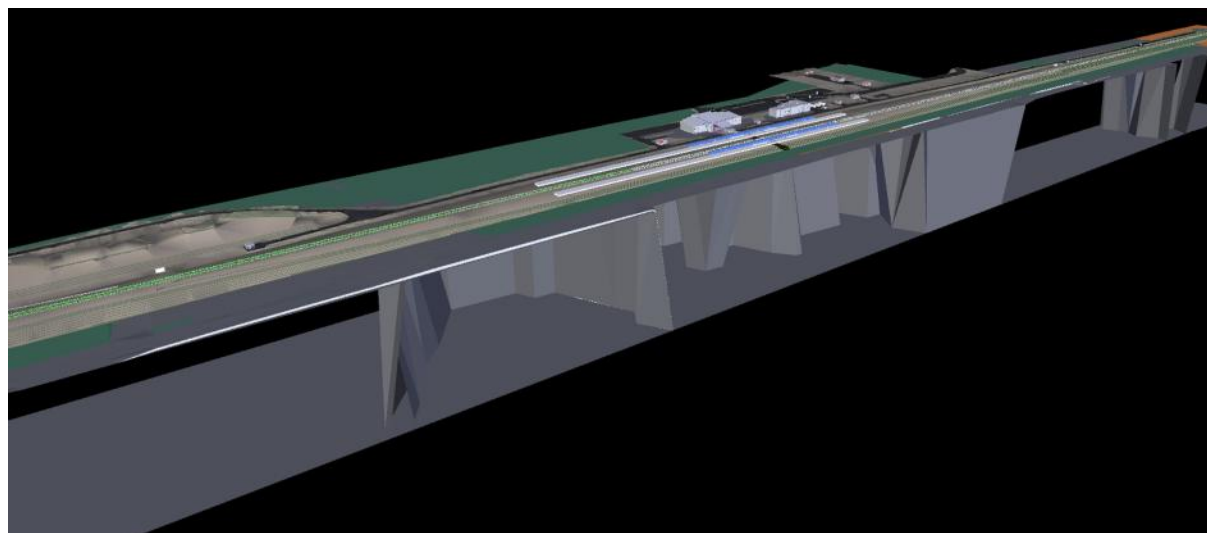


Рис. 11. Сводная модель участка ВСМ

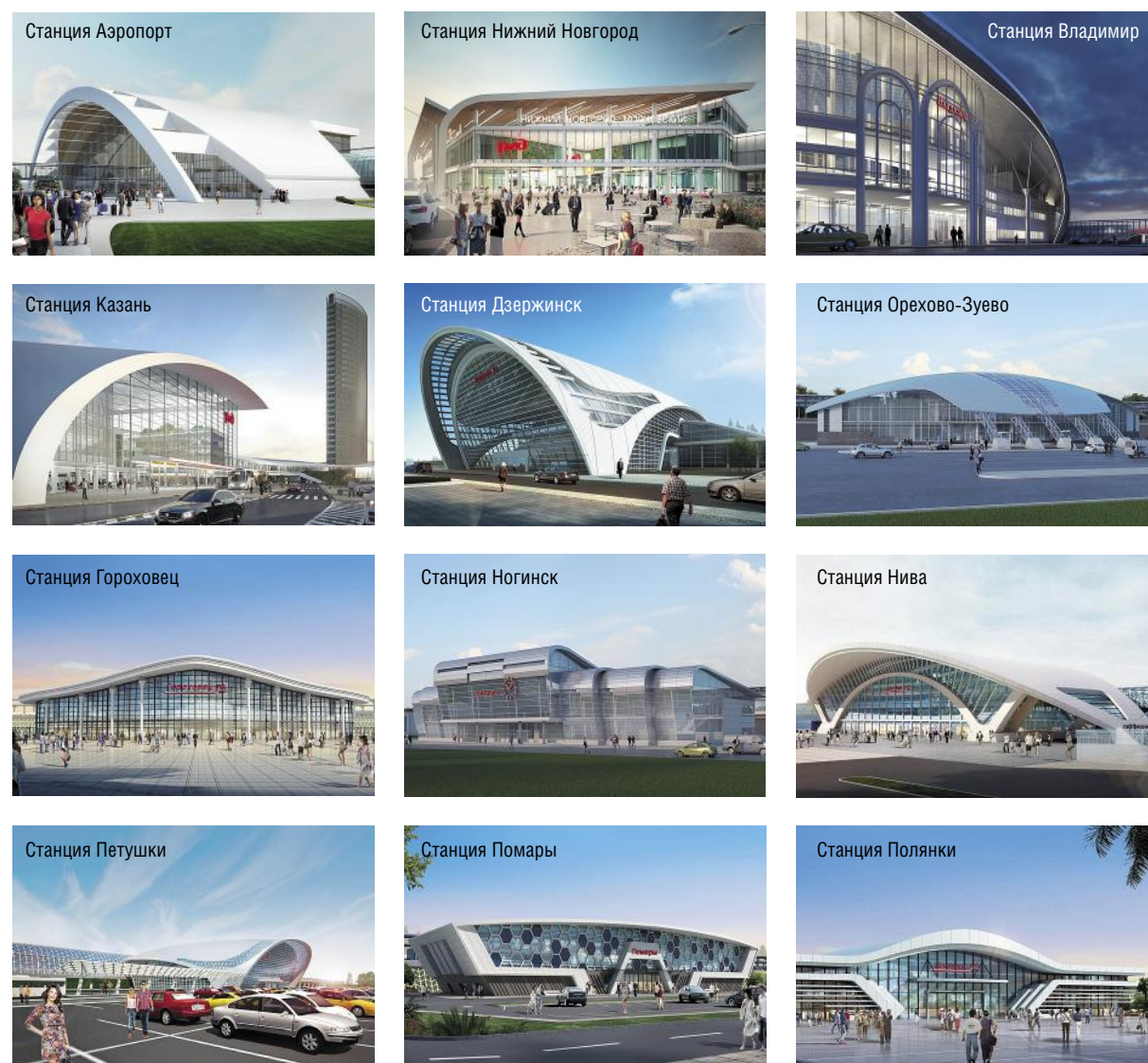


Рис. 12. Вокзалы ВСМ

Пассажирские здания (рис. 12) на каждой станции имеют индивидуально неповторимый, но при этом общий стиль: большепролетные пассажирские залы с гибкой планировкой и фронтальным остеклением.

Инновационная составляющая вокзальных комплексов заключается в уникальности принятых проектных решений, для которых были разработаны специальные технические условия. На всех проектируемых вокзалах при-

менены современные системы транспортной безопасности и обслуживания пассажиров.

Проектируемые вокзалы своей уникальной архитектурой создают образы современных многофункциональных центров, входящих в состав транспортно-пересадочных узлов, формирующих безопасную среду, обеспечивающую комфортное, быстрое и эффективное перемещение пассажирских потоков между различными видами транспорта. ИТ

## Список литературы

1. Филимонова З. В., Кокорев А. О. Проект «ВСМ-2 «Москва — Казань» как фактор развития экономики регионов // Актуальные проблемы управления экономикой и финансами транспортных компаний : сборник трудов Национальной научно-практической конференции. — М. : Арт-Бизнес-Центр, 2016. — С. 290–292.
2. Галкин А. Г., Бушуев С. В., Неволин Д. Г., Брусянин Д. А. ВСМ-2 как мультипликативный фактор развития Уральского региона // Инновационный транспорт. — 2014. — № 2 (12). — С. 22–24. — ISSN 2311–164X.
3. Покусаев О. Н. Проект ВСМ «Москва — Казань»: управление инновационными решениями МГУПС (МИИТ) // Транспорт Российской Федерации. — 2017. — № 1 (68). — С. 8–11.
4. Титова Т. С., Тинус А. М. Охрана окружающей среды при строительстве ВСМ «Москва — Казань» // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2017) : сборник трудов. — СПб., 2018. — С. 207–214.
5. Володин В. В. Земляное полотно высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва — Казань — Екатеринбург» (ВСМ-2), участок Москва — Казань: современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути // Труды XIV Международной научно-технической конференции. Чтения, посвященные памяти профессора Г. М. Шахунянца. — М. : Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2017. — С. 30–32.
6. Булычев Д. Г., Уланов И. С. Особенности проектирования плана и продольного профиля ВСМ Москва — Казань // Транспортное строительство. — М. : Научно-техническая ассоциация ученых и специалистов транспортного строительства, 2017. — № 7. — С. 6–10.
7. Балабанов Г. Н., Кашкин Н. В. Земляное полотно ВСМ Москва — Казань // Путь и путевое хозяйство. — М. : Российские железные дороги, 2017. — № 3. — С. 13–18.
8. Балабанов Г. Н., Кашкин Н. В. Безбалластное верхнее строение пути для участка Москва — Казань ВСМ 2 // Транспортное строительство. — М. : Научно-техническая ассоциация ученых и специалистов транспортного строительства, 2018. — № 4. — С. 4–8.
9. Бенин А. В., Дьяченко Л. К., Смирнов В. Н. Особенности проектирования и строительства мостов высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва — Казань» // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2015. — № 4 (45). — С. 15–20.

Объем статьи: 1,0 авторских листа



УДК 625.724



**Валерий Михайлович  
Самуйлов**

**Valery M. Samuilov**



**Дмитрий Германович  
Неволин**

**Dmitry G. Nevolin**



**Дмитрий Николаевич  
Парышев**

**Dmitriy N. Paryshev**



**Татьяна Александровна  
Каргапольцева**

**Tatiana A. Kargapoltseva**

## Повышение пропускной способности двухполосных федеральных автомобильных дорог для транспортного коридора экономического пояса Шелкового пути

### Increase of highway capacity of two-way federal roads for transport corridor of Silk Road economic belt

#### Аннотация

На федеральных трассах России нередко возникают автомобильные пробки, что резко снижает эксплуатационную эффективность автомобилей всех категорий. Причина подобного явления состоит в двухполосности большинства дорог. Увеличение количества полос движения даже до трех на федеральных трассах в ближайшие десятилетия в силу экономических причин маловероятно. Это является главным сдерживающим фактором при использовании федеральных дорог на территории Сибири для коридора экономического пояса. Однако существует сравнительно недорогой путь повышения пропускной способности двухполосных трасс за счет местных расширений.

**Ключевые слова:** дороги, пропускная способность, расширение, фундаментальная диаграмма, свободный поток, синхронизированный поток, заторы, фаза.

#### Annotation

Road jams do often happen on Russian federal motorways, this abruptly reducing service efficiency of all kinds of motor vehicles. They are caused by two-way arrangement of most roads. The increase of movement ways even up to three ones on federal motorways in nearest future is hardly possible due to economic reasons. This happens to be the main restricting factor in using federal roads on territories of Siberia for economic belt corridor. Nevertheless, there exists a relatively inexpensive way to increase capacity of two-way motorways at the expense of local widenings.

**Keywords:** roads, capacity, widening, fundamental diagram, free stream, synchronized stream, hold-ups, phase.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-19-23

#### Авторы Authors

**Валерий Михайлович Самуйлов**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VSamuilov@mail.ru | **Дмитрий Германович Неволин**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: nevolin@usurt.ru | **Дмитрий Николаевич Парышев**, действительный член РАТ, генеральный директор ЗАО «Курганстальмост», Курган; e-mail: contact@kurganstalmost.ru | **Татьяна Александровна Каргапольцева**, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), e-mail: tanyafeliz@mail.ru

**Dmitry Germanovich Nevolin**, full member of the Russian Academy of Transport, Dr. of Tech. Sciences, Professor, Head of the Department "Designing and Exploitation of Automobiles" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia | **Valery Mikhaylovich Samuilov**, doctor of technical science, professor of chair for "World Economy & Logistics", Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg, Russia, e-mail: vsamuilov@convex.ru | **Dmitry Nikolayevich Paryshev**, RAT full-fledged member, Director General, ZAO "Kurganstal", Kurgan; e-mail: contact@kurganstalmost.ru | **Tatiana Alexandrovna Kargapoltseva**, post graduate student, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: tanyafeliz@mail.ru

Среди стратегических вопросов повестки 14-го саммита ШОС Президент В. В. Путин отметил создание общей транспортной системы евразийских государств, в том числе использование транзитного потенциала Транссиба [1] и БАМа [2], сопряженных с планами Шелкового пути Китая [3]. Интересы Китая в амбициозном проекте экономического пояса Шелкового пути (ЭПШП) крайне многообразны. Среди них: новые транспортные коридоры [4, 5], завоевание новых рынков, выход китайских железнодорожных и строительных компаний за пределы своих границ и т. д.

В свою очередь, у России свои интересы:

1. Для России крайне важно довести до регулярно функционирования панъевропейский транспортный коридор № 2 «Запад — Восток». Еще в 2012 году академики Уральского отделения Российской академии транспорта подсчитали, что эффективность реализации данного проекта для российской экономики оценивается в 28 млрд долларов [6]. Поэтапное создание Евразийского высокоскоростного транспортного коридора «Москва — Пекин» [7, 8] укрепит нашу страну как крупного международного транзитера.

2. Участие России в проекте ЭПШП через территорию ее азиатской части позволит резко увеличить окупаемость вложений в транспортную инфраструктуру, активно развивать отсталые восточные регионы, сделать их привлекательными для проживания и инвестиций.

3. Без расширения трансграничных связей с восточной частью Китая невозможно полноценное развитие Сибири (включая УрФО) и Дальнего Востока.

В быстрой и относительно дешевой версии реализации эти пункты должны опираться, наряду с Транссибом, на транзитные возможности существующих федеральных автомобильных трасс в Сибири и на Дальнем Востоке. В то же время, по мнению экспертов Торгово-промышленной палаты РФ, Россия обладает значительным транзитным потенциалом, но он используется не более чем на 1 % транзитных возможностей. И одна из причин такого низкого значения транзитных возможностей в том, что на федеральных трассах России нередко возникают автомобильные пробки, которые резко снижают эксплуатационную эффективность автомобилей всех категорий. Причина подобного явления заключается в двухполосности большинства дорог. Увеличение количества полос движения даже до трех на федеральных трассах в ближайшее десятилетие в силу экономических причин маловероятно. Это является главным сдерживающим фактором при использовании федеральных дорог на территории Сибири для коридора экономического пояса. Однако существует сравнительно недорогой путь повышения пропускной способности двухполосных трасс за счет местных расширений, расположение и длина которых по каждой полосе движения рассчитываются с использованием фундаментальной диаграммы (ФД). Эффективность местного расширения

(дополнительной короткой полосы движения) проявляется в том, что автомобильные пробки исключаются как на основной полосе движения, так и в зоне стока (бутылочного горла) транспортного потока с полосы расширения на основную полосу автомагистрали.

Для экономического прорыва России объективной необходимостью является совершенствование национальной транспортной системы, в том числе сети федеральных автомобильных дорог. На данный момент протяженность федеральных трасс превышает 50 тыс. км. Но существуют следующие проблемы:

1) большинство федеральных автодорог построены в 70–90-е годы XX века и имеют двухполосное движение (только 8 % федеральных дорог имеют многополосную проезжую часть);

2) низкое качество дорожного покрытия;

3) увеличение автомобильного парка России;

4) в себестоимости продукции доля транспортных расходов, которые влияют на низкую пропускную способность и безопасность движения, в России составляет 20 %, а в развитых странах не более 8 %;

5) в Европе средняя скорость перемещения грузов составляет 1000 км в сутки, в России — 200–300 км в сутки.

Для решения данных проблем в сложившейся ситуации необходимо, чтобы федеральные трассы соответствовали нормативным транспортным требованиям. Кроме того, требуется значительная реконструкция существующих автомобильных трасс; строительство новых дорог с многополосным движением и повышение качества строительства; сокращение транспортной составляющей в производстве продукции.

Особое значение пропускная способность магистральных федеральных дорог приобретает в азиатской части России, что связано с возможностью реализации экономического пояса Шелкового пути по территории РФ. Так, например, использование географического положения г. Кургана совместно с транзитным потенциалом Транссиба для транспортного коридора ЭПШП позволит обеспечить подъем экономики не только Кургана, но и УрФО в целом [9].

К тому же, учитывая, что трассы Р-254 «Иртыш» (Челябинск — Курган — Омск — Новосибирск), Р-255 «Сибирь» (Новосибирск — Кемерово — Красноярск — Иркутск), Р-258 «Байкал» (Иркутск — Улан-Удэ — Чита) идут вдоль Транссиба, это может существенно увеличить суммарную пропускную способность транспортного коридора для ЭПШП. При этом высокая пропускная способность комбинации «Транссиб + автомобильные магистрали» обеспечит ее дополнительную и существенную привлекательность при выборе конкретного варианта транспортного коридора ЭПШП по азиатской части России. Однако все эти магистрали имеют ширину проезжей части 7–8 метров, то есть движение транспортного потока по ним двухполосное, что резко снижает пропускную способность этих дорог.

Задачу повышения пропускной способности, безопасности движения, снижения транспортных издержек необходимо решать поэтапно. Первый этап заключается в расширении небольшой части дорог, а последний — создание многополосных автомобильных дорог (за счет реконструкции и строительства новых).

На данный момент первый этап является самым важным, и его задача состоит в математическом моделировании и экспериментальных исследованиях транспортного потока по двухполосной дороге. Нужно определить длину каждого расширения и расстояние между ними. Это должно способствовать ликвидации пробок и повышению скорости движения потока.

На рис. 1 приведены возможные расширения на двухполосной дороге.



Рис. 1. Расширение за счет дополнительных полос движения: а — симметричное расширение, б — несимметричное

При проведении исследования главную роль приобретает математическое моделирование. Существует три классических подхода к решению данной задачи:

1) микроскопические модели основываются на механике Ньютона и рассчитываются дифференциальными уравнениями, которые показывают воздействие предыдущего автомобиля на следующий;

2) макроскопические модели основаны на уравнениях газовой динамики;

3) мезоскопические модели являются промежуточным звеном между микро- и макроскопическими моделями. Их действия базируются на кинетических моделях бальмановского типа.

В нашей задаче необходимо применять макроскопические модели, где транспортный поток рассматривается как сжимаемая жидкость с мотивацией (зависимость скорости потока от плотности).

Одной из таких макроскопических моделей однополосного транспортного потока является модель Лайтхилла — Уизема — Ричардса (LWR), появившаяся в 50-х годах XX столетия. В ней существует взаимно-однозначная зависимость между скоростью  $V(t, x)$  и погонной плотностью  $\rho(t, x)$  потока при сохранении количества автомобилей (закон сохранения массы). Здесь транспортный поток рассматривается как поток одномерно сжимаемой жидкости [12].

Для первого варианта должно выполняться условие:

$$V(t, x) = V(\rho(t, x)).$$

При этом функция  $V(\rho)$  должна подчиняться условию:

$$V'(\rho) < 0.$$

Данное выражение  $q(\rho) = \rho V(\rho)$  называется фундаментальной диаграммой (ФД). В нем  $q(\rho)$  — интенсивность транспортного потока (автомобили/час),  $\rho$  — плотность (погонная) потока (автомобили/км).

Второй вариант выражается законом сохранения:

$$\int_b^a \rho(t + \Delta, x) dx - \int_a^b \rho(t, x) dx = \\ = \int_t^{t+\Delta} q(\rho(t, a)) d\tau - \int_t^{t+\Delta} q(\rho(t, b)) d\tau.$$

Фундаментальная диаграмма транспортного потока описывает зависимость плотности потока от его интенсивности на конкретном отрезке дороги. Можно предположить, что при малых и высоких скоростях существует корреляция между потоком и плотностью. Но в данной диаграмме при возникновении промежуточных плотностей образуется область неопределенности из-за зависимости от специфики дорожной сети (рис. 2).

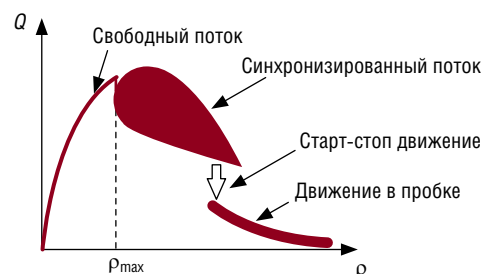


Рис. 2. Модернизированная фундаментальная диаграмма с фазами транспортного потока

Фундаментальная диаграмма занимает значительное место в теории транспортных потоков. Она является камнем преткновения всей теории транспортных потоков. Это объясняется тем, что в модели LWR ФД (функция  $q = f(\rho)$ ) взята дифференцируемой. При построении ее, по экспериментальным данным, образуется «облако» в области средних значений плоскости. Получается, что реально в принятой макромодеи LWR зависимости  $q = f(\rho)$  не существует.

Исходя из вышенаписанного, нам представляется возможным учитывать влияние на решение ФД геометрии дороги «расширение — сужение», т.е. когда одна полоса движения вначале расширяется до двух, а затем сужается до одной.

При снижении пропускной способности дороги, чтобы не образовались пробки в потоке, можно выделить следующие сценарии возникновения заторов:

1. В свободном потоке при постепенном увеличении величины потока не образуются движущие заторы. Возникает вероятность образования пробки при фазовом переходе от свободного потока к синхронизированному (рис. 2).



2. При небольшой величине транспортного потока, если скорость автомобиля высока (выше по движению транспортного потока), движущиеся пробки не образуются. Но если начальная величина потока велика и скорость автомобилей низкая, то в синхронном потоке образуются пробки.

3. При низкой скорости движения в синхронизированном потоке возникают пробки. То есть частота появления движущихся пробок увеличивается до максимального значения входного потока. Если поток с большой плотностью и низкой скоростью перемещения, в синхронизированном потоке пробки не возникают.

Рассмотрим классификацию фаз потока по В. Керер [10]:

1. Свободный поток. Пока дорога не загружена, водители придерживаются постоянной скорости, свободно переходя (при наличии) на соседние полосы. На этой стадии автомобили сопоставимы с потоком свободных частиц.

2. Синхронизированный поток. Дорога становится переполненной, водители теряют возможность свободно маневрировать и вынуждены согласовывать свою скорость со скоростью потока. Эта стадия подобна потоку жидкости.

3. Старт-стоп-движение. При большом скоплении автомобилей движение потока приобретает прерывистый характер. На этой стадии транспортный поток можно сравнить с кристаллизацией воды, автомобили становятся на какой-то промежуток времени как бы «приклеенными» к данной точке дороги.

4. Широкие перемещающиеся пробки. В этой фазе автомобили (группы автомобилей — кластеры) подобны кусочкам льда, движущимся в потоке жидкости. Все четыре фазы представлены на рис. 2.

Первый вариант задачи решается при условии  $\rho \leq \rho_{\max}$  (рис. 2). При выполнении данного условия в свободном потоке маловероятно возникновение пробок, а скорость автомобилей будет ограничена правилами дорожного движения и качеством дороги.

При  $\rho > \rho_{\max}$  при переходе из фазы свободного потока в синхронизированный на участках дороги возникают

пробки. Для устранения заторов необходимо расширение дороги до двух полос в одном направлении (рис. 1).

Длина дополнительной полосы движения должна удовлетворять соотношению  $\rho = k \cdot \rho_{\max}$  ( $k < 1$ ). Значение  $k$  определяется для каждого конкретного участка дороги.

Возникает проблема «бутылочного горла» в конце дополнительной полосы движения, где дорога сужается. Это самый сложный участок дороги (сток).

Для эффективности дополнительной полосы движения на стоке транспортный поток необходимо отсортировать и сделать более однородным. Для этого можно использовать соответствующие дорожные знаки и новейшие средства контроля за движением каждого автомобиля (например, систему «Платон»). Кроме того, следует пустить все медленно движущиеся транспортные средства, а также автомобили категории  $N_3$  по дополнительной полосе движения.

Таким образом, эффективность дополнительной полосы движения будет достигнута только в том случае, если в стоке («бутылочное горло») не образуется синхронизированный суммарный поток. Пока не ясно, при каких интенсивностях потока  $q_1(\rho)$ ,  $q_2(\rho)$  (на основной и дополнительной полосе движения соответственно), а также при какой длине дополнительной полосы в стоке гарантированно не образуется затор (это предмет дальнейших исследований). Только при этих условиях по всей длине неограниченной трассы транспортный поток с большой вероятностью будет свободным.

Проводимые исследования по реконструкции двухполосных дорог могут повлиять на увеличение пропускной способности магистральных дорог Р-254, Р-255, Р-258, используемых как дополнительный (к Транссибу) коридор ЭПШП.

Эффект от повышения пропускной способности существующих федеральных автомобильных трасс в азиатской части России будет способствовать созданию новых экономических кластеров, в том числе в Курганском регионе и УрФО, повышению конкурентоспособности российских товаров и развитию единой евразийской транспортной системы. **ИТ**

## Список литературы

1. Самуйлов В. М., Галкин А. Г., Бушуев С. В., Неволлин А. Д. Транссибирская железнодорожная магистраль (Транссиб) — мост между Европой и Азией // Инновационный транспорт. — 2015. — № 1 (15). — С. 45–48. — ISSN 2311–164X.
2. Неволлин А. Д., Самуйлов В. М. Развитие и модернизация железнодорожной инфраструктуры Транссиба и БАМа // Инновационный транспорт. — 2015. — № 2 (16). — С. 27–30. — ISSN 2311–164X.
3. Самуйлов В. М., Покровская О. Д., Цяо Цун. Концепция «Новый шелковый путь» (Китай, Россия, Германия) // Инновационный транспорт. — 2017. — № 4 (26). — С. 26–28. — ISSN 2311–164X.
4. Самуйлов В. М., Чернова Н. В. Перспектива образования транспортного коридора с Китаем и его экономическая оценка // Инновационный транспорт. — 2018. — № 1 (27). — С. 8–11. — ISSN 2311–164X.
5. Самуйлов В. М., Дружинина Д. Н., Цяо Цун, Каргапольцева Т. А. Основные тенденции и перспективы развития российско-китайских торгово-экономических отношений // Инновационный транспорт. — 2018. — № 2 (28). — С. 18–22. — ISSN 2311–164X.

6. Самуйлов В. М., Галкин А. Г., Кошкарров В. Е., Киселев С. А. Развитие международного автотранспортного коридора на территории Свердловской области в системе модернизации транспортной инфраструктуры Урала // Инновационный транспорт. — 2012. — № 2 (3). — С. 23–34. — ISSN 2311–164X.
7. Развитие теории и практики инновационной деятельности на транспорте и в дорожном хозяйстве : монография / В. М. Самуйлов и др. — Екатеринбург : УрГУПС. — 2017. — 205 с.
8. Самуйлов В. М., Неволин Д. Г., Кошкарров В. Е. Инновационный метод проектирования и строительства ВСМ с использованием нежестких типов конструкций // Инновационный транспорт. — 2016. — № 2 (20). — С. 31–37. — ISSN 2311–164X.
9. Самуйлов В. М., Парышев Д. Н., Ильяков А. В., Харин В. В. Перспективы реализации проекта «Экономический пояс Шелкового пути» для Курганского региона // Инновационный транспорт. — 2016. — № 4 (22). — С. 15–18. — ISSN 2311–164X.
10. Kerner B. S. Introduction to modern traffic flow theory and control. The long road to three-phase traffic theory. — Springer, 2009.
11. Смирнов Н. Н., Киселев А. Б., Никитин В. Ф., Юмашев М. В. Математическое моделирование автомобильных потоков на магистралях // Вестник Московского университета. Математика. Механика. — 2000. — № 94. — С. 39–44.
12. Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Т. 2. Модернизация в технологии транспортных процессов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 г. Пермь, 26–28 апреля 2012 г. — URL: <http://pstu.ru>

Объем статьи: 0,43 авторских листа



**Оксана Дмитриевна  
Покровская**  
Oksana D. Pokrovskaya



**Егор Андреевич  
Регер**  
Yegor A. Reger

## Комплексный проект рефрижераторного склада

## Complex project of refrigerator warehouse

### Аннотация

Работа посвящена комплексному проектированию рефрижераторного склада как ключевого звена холодильной логистической системы доставки скоропортящихся грузов. В проекте были определены эксплуатационные затраты, а также затраты на строительство объекта и ввод его в эксплуатацию. Были исследованы варианты совершенствования работы склада.

**Ключевые слова:** рефрижераторный склад, холодильная логистическая система доставки.

### Annotation

The work focuses on complex designing of a refrigerator warehouse as a chain of refrigerating logistical system of perishable goods delivery. Service expenses were defined as well as expenses on construction of the object and its start-up. Some variants of improvement of operation of the warehouse were studied.

**Keywords:** refrigerator warehouse, refrigerating logistic system of delivery.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-24-27

### Авторы Authors

**Оксана Дмитриевна Покровская**, д-р техн. наук, доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск; e-mail: insight1986@inbox.ru | **Егор Андреевич Регер**, студент 5-го курса Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск

**Oksana Dmitriyevna Pokrovskaya**, Doctor of technical science, Associate Professor, Logistics, Commercial Work and Rolling Stock Chair, Siberian state University of railway transport, Novosibirsk; e-mail: insight1986@inbox.ru | **Yegor Andreyevich Reger**, 5-year student of Siberian state university of railway transport, Novosibirsk



В настоящее время в холодильной логистической системе доставки скоропортящихся товаров терминальные объекты рефрижераторного типа являются неотъемлемой и ключевой частью. Это связано с их накопительно-распределительной ролью, а также с обеспечивающей температурный режим хранения функцией в подобных специфических логистических цепях [1].

Вместе с тем включение в логистическую цепь таких элементов, как рефрижераторные склады (РС), требует комплексной и всесторонней системы их проектирования, включая тщательную методическую проработку таких вопросов, как подбор рациональной транспортно-грузовой системы, внутрискладского оборудования, тары и расчет ключевых параметров складской зоны [2, 3]. И только в этом случае организация доставки грузов через их инфраструктуру будет максимально эффективной.

Комплексность нашего проекта заключается в разработке планировки складских зон РС, нового способа выгрузки паллетизированного груза из автопоезда типа «еврофура», новой конструкции паллеты для скоропортящегося груза, а также в выборе рационального грузового оборудования, расчете ключевых технико-экономических показателей работы РС по нескольким вариантам, оптимизации расходов РС на энергопотребление.

Цель работы заключается в разработке комплексного проекта РС.

Под рефрижераторным складом понимается холодильный склад, представляющий собой сооружение, оборудованное техникой для сохранения внешнего вида и вкусовых качеств скоропортящихся или предварительно замороженных продуктов, а также теплоизоляционными дверями и грузовыми рампами, с внутренним пространством, зонированным на отдельные холодильные камеры и вспомогательные помещения.

В проекте разработан РС класса В с техническими характеристиками: высота складского помещения 5,8–9 м; герметизация и вентиляция при температуре от +5 до –24 °С; хранение без глубокой заморозки с регулируемым температурным режимом.

В процессе проектирования были поставлены и решены задачи:

1. Расчет инвестиций РС.
2. Разработка рационального варианта механизации грузовых работ; технологическое зонирование площади РС.
3. Разработка рационального варианта оптимизации энергопотребления.
4. Расчет эксплуатационных расходов по нескольким сценариям.
5. Расчет прибыли склада по нескольким сценариям.
6. Проведение эксперимента выполнения выгрузки по новому способу.
7. Разработка расчетной модели в MS Excel.

Особенности проекта:

1) одновременное применение расчетных методик О. Б. Маликова [1–3], В. В. Дыбской [4], Т. А. Прокофьевой [5], Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко [6], О. Д. Покровской [7–14] при расчете параметров склада, пакета услуг, зон и эксплуатационных затрат склада;

2) вариативность сценариев развития хозяйства;

3) предложение по оптимизации грузовых работ = новой конструкции паллеты;

4) предложение по оптимизации энергопотребления склада;

5) разработка компьютерной модели расчета «под ключ».

Кроме того, в работе учитывались концептуальные принципы построения структуры управления РС как логистической системы с учетом работ [15–17] и [18–21].

Актуальность проекта:

1. Предлагаемый проект склада более удобен в эксплуатации и экономичен в части затрат на электроэнергию, расходного материала (паллеты и упаковочной ленты) и рабочего штата.

2. Проект необходим для формирования наилучших вариантов работы с клиентами и расширения клиентской базы в целом.

3. Проект может быть использован немедленно (при детальном бизнес-планировании) [7].

Ключевыми проблемами, на решение которых направлен проект, являются высокий уровень энергозатрат и высокая продолжительность грузовых операций на складе. Основные вопросы исследования: как привлечь клиентуру на собственный РС, как найти свою нишу на рынке холодильных терминальных услуг, как рационализировать логистическую деятельность РС.

Установлено, что для работы в холодильных помещениях целесообразно использовать электропогрузчики, обладающие следующими характеристиками: усовершенствованной гидроизоляции, АКБ увеличенной мощности (от 500 до 725 Ач). Для работы на большой высоте и в узких проходах между стеллажами подходит ричтрак HUMANIC производства Rocla. Грузоподъемность 1,6–2,5 т. Высота подъема 7–12 м [2]. Была разработана конструкция паллеты, состоящей из гофрированного пола, металлических стенок и воздухозаборников.

Принципиальная компоновка технологических площадей склада показана на рис. 1.

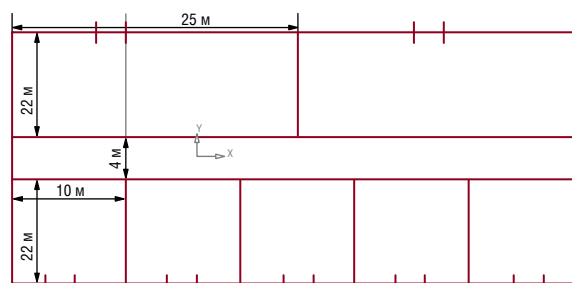


Рис. 1. Компоновка технологических зон РС

Способ выгрузки данной паллеты из подвижного состава (автопоезд Scania R 420 + полуприцеп-еврофулон) был опробован в реальных условиях. Эксперимент показал применимость способа. Был предложен типовой пакет услуг, который может реализовать РС: холодильный склад (+5 ... –24 °С); погрузка/выгрузка груза; пакетирование, в том числе в паллету новой конструкции; ветеринарное свидетельство и сертификат качества; взвешивание; перевозка грузов собственным железнодорожным и автотранспортом по договоренности с клиентом [8].

С использованием компьютерной программы (математическая модель в MS Excel) были получены следующие результаты:

- энергопотребление (по тарифу на кВт 3,16 руб.) — 4 641 408 руб./год;
- амортизация и капремонт оборудования — 3,7 млн руб./год;
- текущие ремонты оборудования — 2,5 млн руб./год;
- силовая электроэнергия/электропогрузчики — 0,2 млн руб./год;
- освещение склада — 0,4 млн руб./год;
- отопление склада — 0,3 млн руб./год;
- штат работников — 23 чел.;
- заработная плата, налогообложение — 1,8 млн руб./год;
- прочие расходы — 0,9 млн руб./год (10 %);
- производственные расходы — 9,5 млн руб./год;
- всего эксплуатационные расходы — 19,1 млн руб./год.

Повысить доходность складской деятельности возможно альтернативным получением электроснабжения — солнечные батареи на гибридной основе, которые позволяют использовать и основное электроснабжение, и солнечное. Расчеты показали окупаемость солнечной батареи (2 модуля) за 0,3 лет.

Расчет стоимости строительства выполнялся онлайн, с использованием интернет-ресурса [22]. Примерный

расчет затрат по типовому промышленному холодильнику емкостью 500 т представлен на рис. 2.

Проект предусматривает комбинированную конструкцию склада. С одной стороны находятся пять холодильных камер для хранения и заморозки груза (мороженое мясо, рыба, охлажденные товары), оснащенные докшелтерами и доквеллерами. С другой стороны находятся две холодильные камеры с температурным режимом +5 ... –5 °С для хранения овощей, фруктов. На мансарде предусмотрены помещения для офисов, гардеробные, уборные комнаты и др., что сэкономит площадь для последующего расширения.

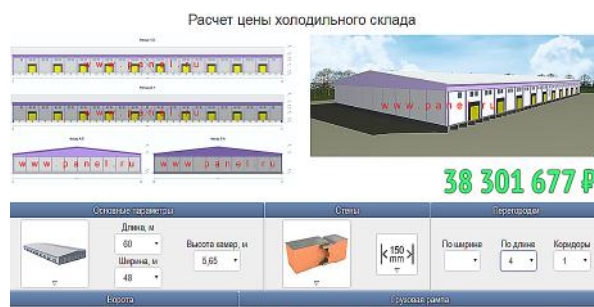


Рис. 2. Скриншот рабочего окна онлайн-расчета параметров РС

Прибыль от основной услуги по хранению груза на складе составит 18,3 млн руб./год при 100 %-ном использовании склада (оптимистический сценарий, освоение инвестиций в одну порцию); и при 50 %-ном — 9,15 млн руб./год. Формулирование и анализ альтернативных сценариев развития РС осуществлялись согласно работам [12] и [15].

Таким образом, в работе предложен проект РС. В дальнейшем планируется расширить число альтернативных вариантов поэтапного освоения инвестиций, разработать ряд дополнительных услуг на базе РС, а также произвести детальные расчеты для пессимистического, оптимистического и нейтрального сценариев развития РС в реальных условиях работы холодильной цепи. **ИТ**

## Список литературы

1. Маликов О. Б. Склады и грузовые терминалы. — СПб. : Бизнес-Пресса, 2005. — 648 с.
2. Покровская О. Д. Концепция «Идеальный терминал» / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Инновационный транспорт. — 2018. — № 3 (29). — С. 10–17.
3. Маликов О. Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок : монография / О. Б. Маликов. — М. : ФБГОУ «УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте», 2014. — 324 с.
4. Дыбская В. В. Управление складированием в цепях поставок / В. В. Дыбская. — М. : Альфа-Пресс, 2009. — 720 с.
5. Прокофьева Т. А. Логистические центры в транспортной системе России : учеб. пособие / Т. А. Прокофьева, В. И. Сергеев. — М. : Экономическая газета, 2012. — 522 с.
6. Правдин Н. В. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Н. В. Правдин, С. П. Вакуленко, А. К. Головинич и др.; под ред. Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко. — М. : ФБГОУ «УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте», 2012. — 1086 с. — ISBN 978-5-89035-619-2.
7. Экономика России: прошлое, настоящее, будущее : монография / под общ. ред. Н. А. Адамова. — М. : ИТКОР, 2014. — 248 с. — С. 116–143. — ISBN 978-5-00082-006-3.
8. Инновационный потенциал национальной экономики: приоритетные направления реализации : монография / М. М. Брутян, Е. Э. Головачанская и др.; под общ.

- ред. С. С. Чернова. — Новосибирск : Изд. ЦРНС, 2015. — С. 129–162. — ISBN 978-5-00068-447-4.
9. Покровская О. Д. Терминалистика: общие вопросы : монография / О. Д. Покровская. — Казань : Изд-во «Бук», 2016. — 142 с. — ISBN 978-5-906873-28-6.
  10. Покровская О. Д. Роль Новосибирского мультимодального транспортного узла в транспортно-логистическом кластере России / О. Д. Покровская, М. А. Зачешигрина // Известия ПГУПС. — 2015. — № 3 (44). — С. 85–103.
  11. Покровская О. Д. Содержательное описание логистического центра и его роли в системе МТК / О. Д. Покровская, Е. К. Коровяковский // Известия ПГУПС. — 2014. — № 3 (40). — С. 22–28.
  12. Комаров К. Л. Логистическая интеграция и координация сибирских регионов в контексте стратегии-2030 / К. Л. Комаров, Т. П. Воскресенская, Г. Ф. Пахомова, К. А. Пахомов, О. Д. Покровская // Железнодорожный транспорт. — 2010. — № 3. — С. 57–60. — ISSN 0044-4448.
  13. Покровская О. Д. Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики / О. Д. Покровская // Вестник транспорта Поволжья. — 2016. — № 5 (59). — С. 77–86.
  14. Покровская О. Д. Классификация объектов железнодорожной терминально-складской инфраструктуры / О. Д. Покровская // Вестник УрГУПС. — 2017. — № 1 (33). — С. 70–83.
  15. Покровская О. Д. Выбор наилучшего варианта терминальной сети и проверка его устойчивости / О. Д. Покровская // Транспорт Урала. — 2012. — № 2 (33). — С. 70–74.
  16. Покровская О. Д. Формирование терминальной сети региона для организации перевозок грузов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Покровская Оксана Дмитриевна. — Екатеринбург, 2011. — 235 с. : ил. РГБ ОД, 61 12-5/363
  17. Покровская О. Д., Воскресенская Т. П. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе / О. Д. Покровская, Т. П. Воскресенская // Вестник УрГУПС. — 2010. — № 3 (7). — С. 74–84.
  18. Мохонько В. П., Исаков В. С., Куренков П. В. Проблемы создания ситуационно-аналитической системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / В. П. Мохонько, В. С. Исаков, П. В. Куренков // Бюллетень транспортной информации. — 2004. — № 9. — С. 22.
  19. Куренков П. В., Андреев А. В. Повышение эффективности работы пригородного комплекса железнодорожного транспорта / П. В. Куренков, А. В. Андреев // Вестник транспорта. — 2008. — № 12. — С. 31–35.
  20. Бельницкий Д. С., Котляренко А. Ф., Куренков П. В., Калатинская А. Б. Классификация операторских компаний // Бюллетень транспортной информации. — 2007. — № 9 (147). — С. 014–019.
  21. Полянский Ю. А., Куренков П. В. Дорожный центр ситуационного управления: проблемы создания и функционирования / Ю. А. Полянский, П. В. Куренков // Экономика железных дорог. — 2003. — № 1. — С. 51–65.
  22. Типовой промышленный холодильник: расчет цены холодильного склада [Электронный ресурс]. — URL: <http://panel.ru/prices/refrigerators/500/> (дата обращения: 18.12.2018).

Объем статьи: 0,33 авторских листа





Алексей Олегович  
Грязнов

Alexey O. Gryaznov



Владимир Сергеевич  
Тарасян

Vladimir S. Tarasyan

## Методы построения нечетких регуляторов для управления движением на регулируемом перекрестке

## Methods of construction of equivocal regulators for movement control at the signaled crossing

### Аннотация

В рамках статьи был проведен анализ концепций построения нечетких регуляторов для управления перекрестком. В работе рассматриваются три метода регулирования и способы их построения на базе нечетких алгоритмов. Первый метод — «предварительного расчета» — предполагает расчет длительности фаз перед началом основного цикла регулирования. Второй метод — «текущего расчета» — заключается в определении целесообразности продолжения текущей фазы регулирования. Третий метод — «комбинированный» — по результатам сравнительного анализа является наиболее подходящим для реализации.

**Ключевые слова:** управление движением на перекрестке, светофорная сигнализация, нечеткий регулятор, генетические алгоритмы.

### Annotation

The article analyzes concepts of construction of equivocal regulators to control the crossing. The work looks upon three methods of regulating and ways to construct them on the basis of equivocal algorithms. The first method – “Preliminary estimation” – assumes calculation of duration of phases before the beginning of the basic cycle of regulating. The second method – “current estimation” – determines expedience of continuation of the current phase of regulating. The third method – “combined” – is the most suitable for realization by the results of comparative analysis.

**Keywords:** movement control at the crossing, color-light signaling, equivocal regulator, genetic algorithms.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-28-31

### Авторы Authors

Алексей Олегович Грязнов, аспирант кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Владимир Сергеевич Тарасян, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VTarasyan@gmail.com

Alexey Olegovich Gryaznov, post graduate student, Mechatronics Chair, Ural state University of railway transport (USURT), Ekaterinburg | Vladimir Sergeevich Tarasyan, PhD, Associate Professor of the Department “Mechatronics” of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Russia; e-mail: VTarasyan@gmail.com

## Введение

На сегодняшний день проблема оптимизации дорожного движения является актуальной для многих больших городов. Способом решения данной проблемы может быть организация интеллектуальных систем управления транспортными потоками. При этом структурными элементами любой улично-дорожной сети (УДС) являются перекрестки с действующими на них светофорами. Одним из простейших способов решения задачи регулирования может быть введение адаптивного управления на перекрестке. Известно, что перекрестки и состоящие из них УДС являются системами с большим количеством параметров, многие из которых не могут быть определены в явном виде. Для таких систем затруднительно применять традиционные алгоритмы управления, которые оперируют четко заданными входными и выходными параметрами. Более подходящим алгоритмом для таких систем является нечеткая логика [1–4], не требующая четко заданных входных параметров и оперирующая с лингвистическими переменными и базами правил. В связи с этим цель данной работы — определить методы построения нечетких регуляторов для перекрестков.

## Описание объекта регулирования и постановка задачи

Объектом управления является пересечение двух дорог, состоящее из  $N$  направлений движения и регулируемое с помощью светофорного цикла, состоящего из  $M$  фаз. На рис. 1 представлен пример схемы организации движения в четыре фазы для перекрестка, состоящего из двенадцати направлений. Движение по каждому возможному направлению моделируемого перекрестка организовано по отдельной полосе. Модель перекрестка данного типа будет использоваться для апробации полученных интеллектуальных алгоритмов [5].

Очевидно, что эффективность светофорного регулирования зависит от распределения продолжительности фаз разрешающих сигналов. Таким образом, перед интеллектуальной системой управления движением ставится задача — организовать оптимальное распределение времени длительности фаз для минимизации количества автомобилей, ожидающих проезда перекрестка, и среднего времени задержки транспортного средства при проезде через перекресток [6].

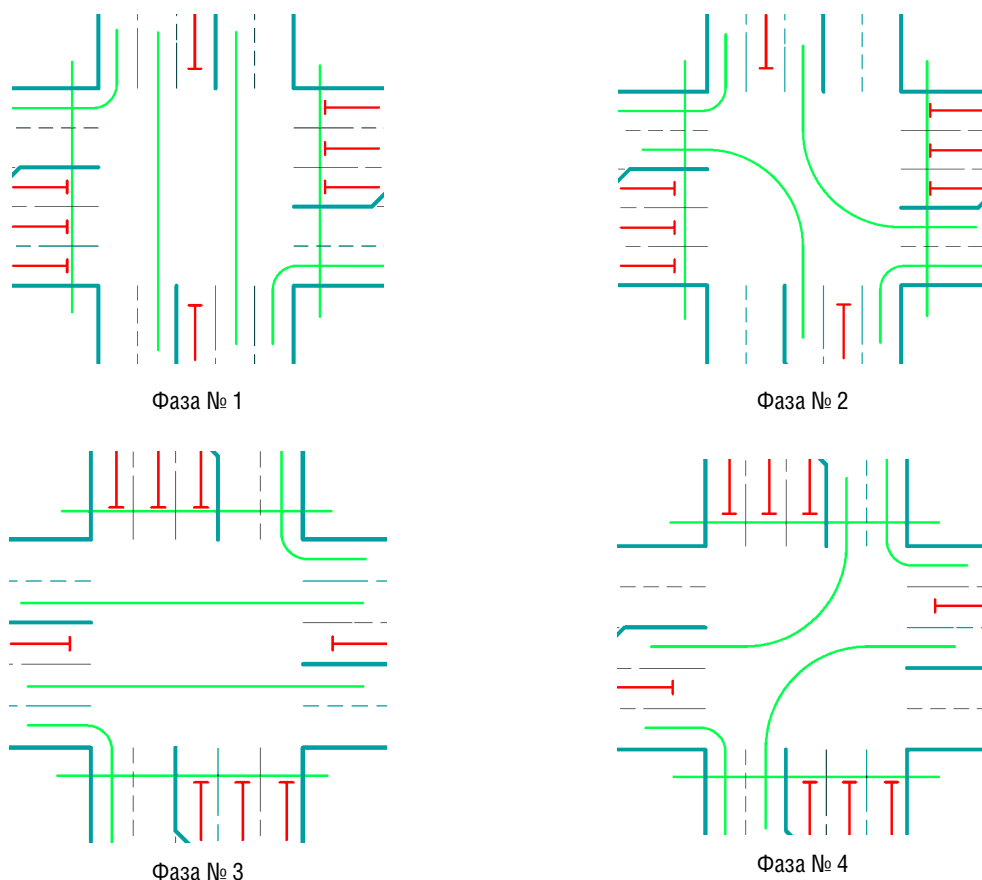


Рис. 1. Схема движения на моделируемом перекрестке

## Анализ концепций построения нечетких регуляторов для перекрестков

В данной работе для оценки сложности настройки регулятора сравнивается количество возможных вариаций правил. Для нечетких регуляторов, входные и выходные переменные которых имеют одинаковое количество термов, справедлива формула

$$P = T_{in}^N \cdot T_{out}^M, \quad (1)$$

где  $P$  — количество вариаций правил,  $T_{in}$  и  $T_{out}$  — количество термов во входных и выходных лингвистических переменных,  $N$  и  $M$  — количество входных и выходных лингвистических переменных.

## Метод предварительного расчета

Метод заключается в расчете длительности фазы непосредственно перед ее началом. Для каждого регулируемого направления и для каждой фазы регулирования создается отдельная нечеткая переменная. Блок-схема нечеткого регулятора для данного метода представлена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема нечеткого регулятора для метода предварительного расчета

Согласно формуле (1), при условии, что в каждой нечеткой переменной по три терма, общее количество вариаций нечетких правил составит порядка  $3^N \cdot 3^M$ . Таким образом, для случая перекрестка с четырьмя регулируемыми группами направлений и четырьмя фазами имеем  $3^4 \cdot 3^4 = 6561$  вариант правил.

Отладку полученного регулятора целесообразно выполнять с помощью генетических алгоритмов [7–9], поскольку количество правил излишне велико для непосредственного составления.

К преимуществам данного метода можно отнести взаимосвязь между длительностями фаз, так как они рассчитываются в одной системе и осуществляется проверка всех возможных решений и способов регулирования в процессе отладки. Минусы: большое количество правил, более медленная реакция на текущее состояние.

## Метод текущего расчета

Данный метод заключается в определении целесообразности продолжения текущей фазы регулирования. Входными данными для регулятора выступают количество автомобилей, для которых горит разрешающий сигнал светофора, но они еще не пересекли перекресток, и количество ожидающих проезда автомобилей на других направлениях, для которых горит запрещающий сигнал светофора. Таким образом, принимается решение о продлении фазы или о прекращении и переходе на следующую фазу. Блок-схема нечеткого регулятора для данного метода представлена на рис. 3.

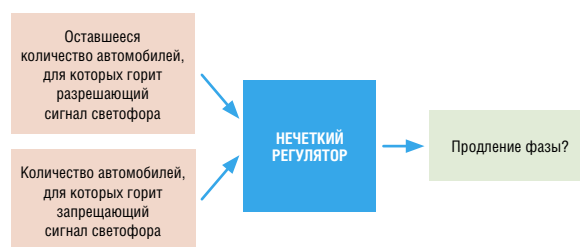


Рис. 3. Блок-схема нечеткого регулятора для метода текущего расчета

Определяющим в данном типе регулятора является нахождение условия, при котором осуществляется переключение. Для более точной настройки этого целесообразно использовать входные переменные с четырьмя и более термами. В данном случае имеется возможность адаптации регулятора посредством изменения базы правил без изменения формы изначально заданных термов.

По формуле (1) получим, что количество вариаций нечетких правил для случая входных переменных с четырьмя термами составит порядка шестнадцати. Подбор параметров для каждого из направлений может быть выполнен вручную, что является преимуществом этого метода. При этом для каждой фазы регулирования должен быть создан отдельный нечеткий регулятор. Таким образом, общее количество вариантов правил для случая регулирования в четыре фазы будет равно 64. Однако в данном способе регулирования нет связи между отдельными регуляторами. Добиться взаимосвязи между ними можно путем одновременной отладки четырех регуляторов с помощью генетических алгоритмов.

Преимущества метода заключаются в относительно небольшой исходной базе правил, оперативной реакции на дорожную ситуацию. Недостатками являются малая связанность регуляторов отдельных фаз и тот факт, что могут быть учтены не все решения системы. В связи с этим могут достигаться только локальные максимумы или минимумы функции эффективности регулирования.



## Комбинированный метод

Большинство других методов могут быть получены как производные от методов предварительного и текущего расчета. Наиболее применимым для программной реализации авторы считают метод, в котором расчет выполняется непосредственно перед началом следующей фазы и определяется ее длительность. В качестве первой входной переменной в таком регуляторе используется количество автомобилей, которые начнут движение в предстоящую фазу. Вторая переменная — это количество транспортных средств, пропуск которых будет осуществлен в последующей фазе, и так далее.

Количество вариаций, в соответствии с формулой (1), для данного метода составит 243. Для подбора параметров в данном случае целесообразно использовать генетические алгоритмы, при этом потребуются существенно менее производительные вычисления, чем в случае первого метода. Блок-схема комбинированного метода представлена на рис. 4.

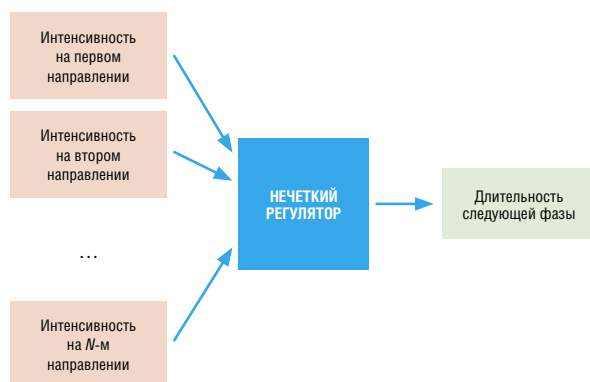


Рис. 4. Блок-схема нечеткого регулирования комбинированным методом

Таким образом, комбинированный метод дает возможность оперативно влиять на дорожную ситуацию и учитывать интенсивность движения на всех потоках. Это позволит при корректной настройке уменьшать длительность фаз ненагруженных направлений и продлевать фазы, во время которых перекресток проезжают автомобили,двигающиеся по полосам с высокой интенсивностью движения.

## Выводы

В данной работе описан объект регулирования, в качестве которого был принят сложный перекресток. Проведен анализ концепций построения нечетких регуляторов для управления перекрестком. Рассматриваются три метода регулирования.

Метод предварительного расчета предполагает расчет длительности фазы непосредственно перед ее началом. Данная концепция обеспечивает наиболее полное решение задачи регулирования, но требует длительного обучения и не реагирует на быстро изменяющуюся дорожную ситуацию.

Метод текущего расчета, заключающийся в определении целесообразности продолжения текущей фазы регулирования, является более простым с точки зрения отладки и имеет малое время отклика. Однако решение задачи регулирования будет неполным, так как не будет учтено взаимное воздействие интенсивности движения по направлениям на продолжительность фаз регулирования.

Третья концепция является комбинацией двух предыдущих. Она заключается в определении длительности следующей фазы относительно интенсивности движения по направлениям, позволяет оперативно влиять на дорожную ситуацию и учитывает интенсивность движения на всех потоках. **ИТ**

## Список литературы

- Куликова И. В., Тарасян В. С. Влияние структуры термножеств лингвистических переменных на точность работы нечеткого регулятора // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. — 2013. — № 1. — С. 53.
- Мезенцев И. С., Охохонин Г. К., Тарасян В. С. Применение методов искусственного интеллекта в управлении дорожными светофорными объектами // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. — 2013. — № 3. — С. 81.
- Тарасян В. С., Марков С. В. Концепция интеллектуальной системы локального управления дорожным движением // Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования. Материалы IX Международной научно-практической конференции. — 2017. — С. 199–205.
- Favilla J., Machion A., Gomide F. Fuzzy traffic control: adaptive strategies // Fuzzy Systems-1993. — Second IEEE International Conference on. — IEEE, 1993. — С. 506–511.
- Soh A. C., Rhung L. G., Sarkan H. M. MATLAB simulation of fuzzy traffic controller for multilane isolated intersection // International Journal on Computer Science and Engineering. — 2010. — Т. 2. — № 4. — С. 924–933.
- Власов А. А., Орлов Н. А., Чушкина К. А. Методика расчета режимов работы светофорных объектов в условиях насыщенного движения // Наукоедение: интернет-журнал. — 2014. — № 2 (21). — URL: <https://naukovedenie.ru>.
- Cordon O., Herrera F., Hoffman F., Magdalena L. Genetic Fuzzy Systems: evolutionary tuning and learning of fuzzy knowledge bases, 2001.
- Buckley J. J., Hayashi Y. Fuzzy genetic algorithm and applications // Fuzzy sets and systems. — 1994. — Т. 61. — № 2. — С. 129–136.
- Kim J. W., Kim B. M., Kim J. Y. Genetic algorithm simulation approach to determine membership functions of fuzzy traffic controller // Electronics Letters. — 1998. — Т. 34. — № 20. — С. 1982–1983.

Объем статьи: 0,35 авторских листа



Дмитрий Александрович  
Скутин

Dmitry A. Skutin

## Оценка влияния шага интегрирования в программном комплексе «Универсальный механизм» на оперативную память ПК

### Evaluation of influence of an integrating step in the programmed complex “Universal mechanism” on PC random access memory

#### Аннотация

При движении поезда по криволинейным участкам железнодорожного пути возникают дополнительные силы на контакте «колесо — рельс». Выбор оптимального шага интегрирования является одной из наиболее важных задач при выполнении численного моделирования движения подвижного состава, так как он влияет на время моделирования и обработки результатов.

**Ключевые слова:** криволинейные участки, моделирование, поперечные силы, железнодорожный путь, время интегрирования, объем оперативной памяти.

#### Annotation

Additional forces on the contact “Wheel-rail” emerge when a train moves on curvilinear railway sections. The choice of an integrating optimal step is one of the most important tasks in computational simulation, it affecting the time of simulation and processing of results.

**Keywords:** curvilinear sections, simulation, transverse forces, railway track, integrating time, random access memory volume.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-32-34

#### Авторы Authors

Дмитрий Александрович Скутин, старший преподаватель кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Dmitry Alexandrovich Skutin, Senior Teacher, Track and Railway Construction Chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg

При движении поезда по криволинейным участкам железнодорожного пути возникают дополнительные силы на контакте «колесо — рельс». В исследовании [1] проводилось определение значений максимальных поперечных сил на контакте «колесо — рельс», которые возникают при движении подвижного состава по криволинейным участкам пути с различными радиусами круговых кривых и скоростями движения, а также определение места возникновения этих сил (входная переходная кривая, круговая кривая, выходная переходная кривая). Моделирование выполнялось в программном комплексе «Универсальный механизм» (УМ). Данный расчетный аппарат основан на системах дифференциальных уравнений, которые создаются автоматически и описывают взаимодействие подвижного состава и конструкции железнодорожного пути.

В ходе данного исследования выполнено моделирование движения состава с разным шагом интегрирования по временной шкале. Моделирование движения подвижного состава при определении максимальных сил в программном комплексе «УМ» выполняется по временной шкале. Программный комплекс «УМ» позволяет задавать различный шаг интегрирования во временном интервале. Определение оптимального шага интегрирования оказывает большое влияние на результаты интегрирования. Это связано с колебанием значения суммарной поперечной силы на контакте «колесо — рельс» в боковом направлении.

На начальном этапе был выбран шаг, соответствующий расстоянию интегрирования 0,44 м вдоль оси пути. Однако данный шаг интегрирования не позволяет определить места возникновения максимумов колебания суммарной поперечной силы на контакте «колесо — рельс». Для подбора оптимального шага интегрирования были определены значения частоты колебания суммарной поперечной силы на контакте «коле-

со — рельс»: для скорости движения 80 км/ч — 2,12 Гц; 100 км/ч — 2,35 Гц; 120 км/ч — 2,67 Гц.

Для регистрации значений суммарной поперечной силы на контакте «колесо — рельс» в местах максимумов колебаний моделирование производилось с шагом интегрирования, соответствующим расстоянию 0,01 м вдоль оси пути. Использование меньшего шага интегрирования повысило бы объем получае-

мых данных более чем в 40 раз, что влечет за собой значительное увеличение времени обработки и нагрузки на оперативную память компьютера при обработке результатов моделирования (рис. 1, табл. 1, 2), однако время проведения моделирования увеличивается незначительно (рис. 3, табл. 2). Обработка данных, полученных в результате моделирования, производилась в программе MS Excel. **ИТ**

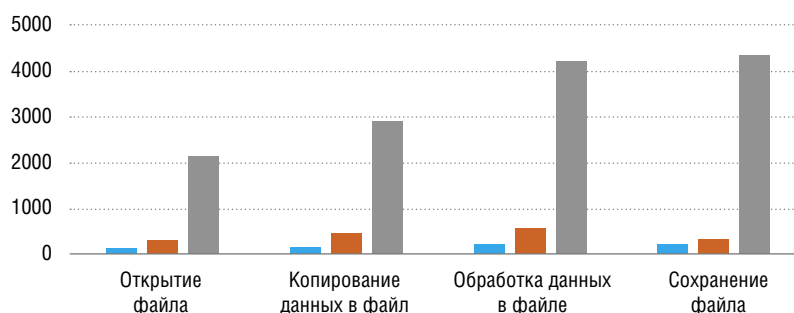


Рис. 1. Объем используемой оперативной памяти при обработке данных моделирования:

■ — 0,44 м; ■ — 0,1 м; ■ — 0,01 м

Таблица 1

Объем используемой оперативной памяти при обработке данных моделирования

Выполняемые операции	Шаг интегрирования, м		
	0,44	0,1	0,01
Открытие файла, Мб	148	321	2147
Копирование данных в файл, Мб	175	455	2904
Обработка данных в файле, Мб	225	572	4203
Сохранение файла, Мб	214	350	4340

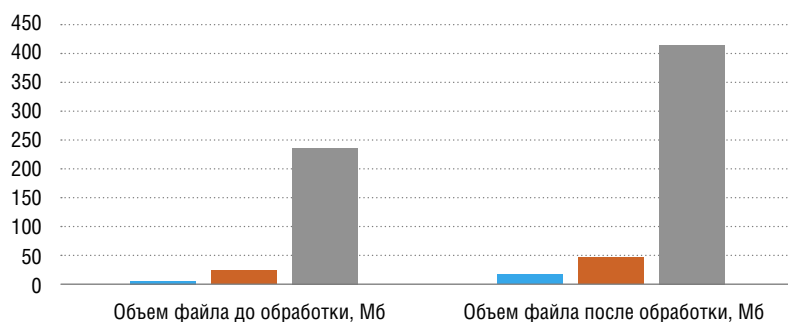


Рис. 2. Размер файла с данными, получаемыми по результатам моделирования:

■ — 0,44 м; ■ — 0,1 м; ■ — 0,01 м

Таблица 2

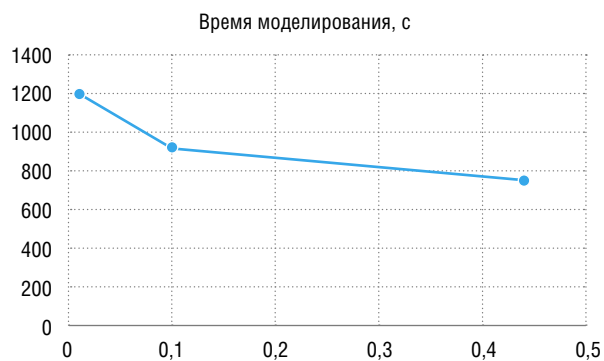


Рис. 3. Время моделирования при различных значениях шага интегрирования

Время проведения моделирования и размер файлов с результатами моделирования

Выполняемые операции	Шаг интегрирования, м		
	0,44	0,1	0,01
Время моделирования, с	757	924	1206
Объем файла до обработки, Мб	5,33	23,6	236
Объем файла после обработки, Мб	15,3	47,5	413

## Список литературы

1. Скутин Д. А. Анализ поперечных сил на контакте «колесо — рельс» // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС. 2016. — Вып. 4. — С. 8–17. — ISBN 978-5-262-00789-9.

Объем статьи: 0,18 авторских листа





Вадим Валерьевич  
Писаренко

Vadim V. Pisarenko

## Универсальная математическая модель для расчета износа поверхности гребня колесной пары при прохождении кривого участка пути

### Universal mathematical model for calculation of wheel-set ridge surface wear on a curved track section

#### Аннотация

Математическое моделирование на данный момент является самым распространенным методом исследования различных физических процессов. Чем точнее математическая модель, тем меньше затрат несет производитель при изготовлении опытных образцов на натурные испытания. На данном этапе создано немало программных комплексов для упрощения процесса создания новых конструкций: ПК «Универсальный механизм», ПК «ADAMS». Данные программные комплексы являются хорошими инструментами, но при этом достаточно дорогими. Как показывает практика, для моделирования физических процессов достаточно электронных таблиц MS Excel. В статье рассмотрена математическая модель износа поверхности гребня колесной пары, реализуемая в электронных таблицах MS Excel.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, динамика, износ гребня, наибольший перекося рамы.

#### Annotation

At present mathematical simulation is the most widespread technique for investigation of different physical processes. The more precise a mathematical model is, the less expenses a producer experiences while making prototypes for natural tests. At that stage quite a lot of programmed complexes for simplification of construction of new structures have been made: PC "Universal mechanism", PC "ADAMS". These programmed complexes are good instruments, but rather expensive. As the practice shows, MS Excel electronic spreadsheets are good enough for simulation of physical processes. The article looks upon a mathematical model of wheel-set ridge surface wear, being realized in MS Excel electronic spreadsheets.

**Keywords:** mathematical simulation, dynamics, ridge wear, greatest frame skewing.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-35-38

#### Авторы | Authors

**Вадим Валерьевич Писаренко**, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (МИИТ); главный специалист-эксперт отдела по работе с пользователями услуг железнодорожного транспорта Управления инфраструктуры и перевозок Федерального агентства железнодорожного транспорта (Росжельдор), Москва; e-mail: vadimbasket@mail.ru

**Vadim Valerievich Pisarenko**, post graduate student, "Railway cars and Rolling Stock" Chair, Russia's University of Transport (MIIT); chief specialist-expert, Department of work with users of railway services, Federal agency of railway transport, Administration of infrastructure and traffic (Roszheldor), Moscow; vadimbasket@mail.ru

Математическое моделирование на данный момент является самым распространенным методом исследования различных физических процессов. Чем точнее математическая модель, тем меньше затрат несет производитель при изготовлении опытных образцов для натурных испытаний. На данном этапе создано немало программных комплексов для упрощения процесса создания новых конструкций: ПК «Универсальный механизм», ПК «ADAMS». Данные программные комплексы являются хорошими инструментами, но при этом достаточно дорогими. Как показывает практика, для моделирования физических процессов достаточно электронных таблиц MS Excel. Для начинающего конструктора необходимо понять суть всех процессов, происходящих в конструкции при движении. Для этого в данной статье рассмотрена математическая модель износа гребня колесной пары, реализуемая в электронных таблицах MS Excel.

Износ колесной пары является одной из популярнейших задач современных конструкторов. Создается множество профилей катания колесной пары для уменьшения износа. В данной статье мы построим универсальную математическую модель для расчета износа гребня колеса грузового вагона на тележках 18-100, учитывая геометрические характеристики рельса и колеса. Для этого построим схему действия сил со стороны набегающего колеса на рельс (рис. 1).

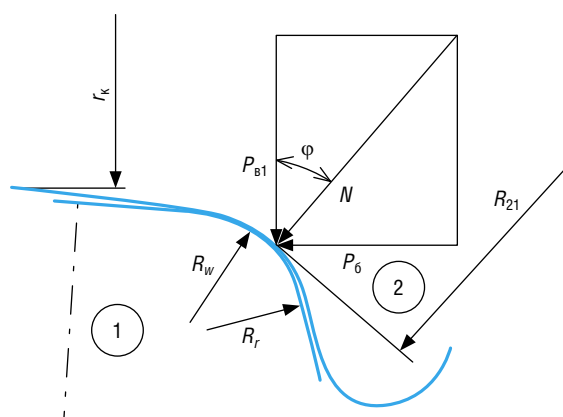


Рис. 1. Схема действия сил со стороны набегающего колеса

Согласно приведенной схеме, при набегаании гребня колеса на рельс происходит скольжение поверхности гребня по боковой грани головки рельса, в результате чего возникает износ. Износ поверхности гребня можно определить как фактор износа, умноженный на поправочный коэффициент. Фактор износа представляет собой работу силы трения на промежутке скольжения колеса по рельсу [3]:

$$A = \int_0^S \frac{N(a; b) \cdot \mu}{\sin \varphi} \cdot dS. \quad (1)$$

При контакте гребня колесной пары и рельса образуется площадка контакта.

$$N(a; b) = \frac{N}{S} = \frac{N}{\pi \cdot a \cdot b}, \quad (2)$$

$$N = \sqrt{P_{в1}^2 + Y^2}, \quad (3)$$

$$P_{в1} = 2 \cdot Q_{ш} \cdot \left[ \frac{b - a_1}{L} \cdot (1 - \bar{K}_{ДБ}) + \frac{b}{L} \cdot K_{ДБГ} \right] + H_p \cdot \frac{r}{L} + q_{кп} \cdot \frac{b - a_1}{L}, \quad (4)$$

где  $a, b$  — большая и малая полуоси эллипса;  $P_{в1}$  — вертикальные силы, действующие со стороны набегающего колеса;  $Q_{ш}$  — нагрузка, приходящаяся на одну шейку оси;  $q_{кп}$  — вес колесной пары;  $L = 1,555$  м;  $a_1 = 0,264$  м;  $a_2 = 0,217$  м;  $\bar{K}_{ДБ}$  — среднее значение коэффициента вертикальной динамики;  $K_{ДБГ}$  — среднее значение коэффициента горизонтальной динамики;  $H_p$  — среднее значение рамной силы;  $\beta$  — угол наклона образующей конусообразной поверхности гребня.

Для того чтобы сделать нашу модель универсальной, учтем перекося рамы тележки грузового вагона.

Согласно приведенной схеме (рис. 2, а) составим уравнение моментов всех сил относительно точки С и приравняем к нулю. Выразим направляющую силу и примем силу трения равной  $F = P_{в1} \cdot \tan(\varphi)$ .

$$Y = \frac{H_0 \cdot a_{\max} + 2F \cdot (r_1 + r_2)}{\frac{p}{2} + a_{\max}}, \quad (5)$$

$$H_0 = 0,0407 \cdot G + 25 \cdot F_{бок} + S \frac{2k}{R}, \quad (6)$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{1}{4}(s^2 + p^2) + a_{\max} \cdot (p + a_{\max})}, \quad (7)$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{1}{4}(s^2 + p^2) + a_{\max} \cdot (a_{\max} - p)}, \quad (8)$$

$$a_{\max} = \frac{eR}{p}, \quad (9)$$

где  $Y$  — направляющая сила колеса;  $p$  — база тележки;  $a_{\max}$  — наибольший перекося рамы тележки в плане;  $R$  — радиус кривой;  $r_{1,2}$  — расстояние от центра тяжести тележки до точки контакта колеса и рельса;  $F$  — сила трения в контакте колеса и рельса;  $k$  — база вагона;  $F_{бок}$  — боковая площадь кузова вагона;  $S$  — продольная сила поезда, действующая на вагон в кривом участке пути;  $G$  — вес вагона брутто;  $e$  — суммарный зазор между гребнем колесной пары и рельсов.

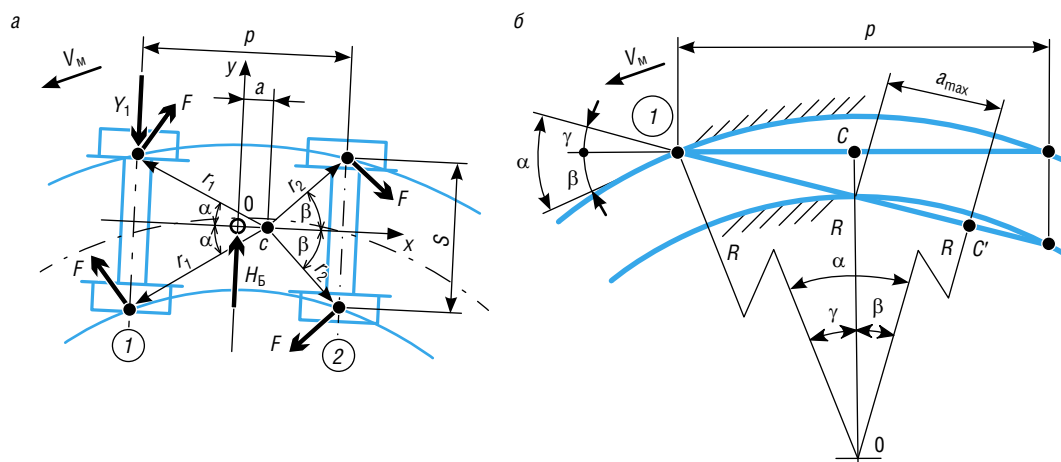


Рис. 2. Схема действия сил на тележку при прохождении кривого участка пути (а); кинематическая схема прохождения тележкой кривого участка пути (б)

Для определения размеров полуосей эллипса контакта  $a$  и  $b$  используем модель Герца. С учетом допущений, что угол между плоскостями поверхностей колеса и рельса, содержащими главные радиусы кривизны, равен нулю и  $R_{11} = \infty$ , уравнения примут вид [2]:

$$a = m \sqrt[3]{\frac{3\pi N(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}, \quad (10)$$

$$b = n \sqrt[3]{\frac{3\pi N(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}, \quad (11)$$

$$A+B = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{22}} \right], \quad (12)$$

$$B-A = \frac{1}{2} \left[ -\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{21}} - \frac{1}{R_{22}} \right], \quad (13)$$

где  $k_1 + k_2 = 0,67(1 - \mu^2)/E$ ;  $E$  — модуль упругости материалов колеса и рельса;  $N$  — нормальная сила в контакт-

те; коэффициенты  $m$  и  $n$  определяются по табл. 1 в зависимости от угла  $\theta$ .

Для вычисленного значения  $\cos \theta = 0,952$  получаем  $m = 4,282$ ,  $n = 0,392$ . Приняв  $N = 65$  кН, получаем длину большой полуоси эллипса контакта равной 9,33 мм и длину малой полуоси — 0,85 мм.

Подставив все полученные данные, находим износ гребня колесной пары в мм (табл. 2). Согласно нормам, минимальная толщина гребня в эксплуатации составляет 25 мм, то есть максимальный износ может быть 8 мм.

Как видно из приведенных расчетов, износ гребня составляет 1 мм на 10 тыс. км, что соответствует статистическим данным.

Для построения 3D-модели пятна контакта воспользуемся формулой

$$z = N \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2 - \left(\frac{y}{b}\right)^2}.$$

где  $z$  — давление на площадке контакта, МПа.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $m$  и  $n$

$\cos \theta$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$m$	1	1,07	1,15	1,25	1,36	1,46	1,66	1,89
$n$	1	0,931	0,871	0,821	0,760	0,721	0,666	0,610

$\cos \theta$	0,8	0,85	0,9	0,95	0,97	0,99	0,997	1,0
$m$	2,29	2,60	3,09	4,08	5,09	7,83	12,21	—
$n$	0,539	0,506	0,461	0,396	0,356	0,290	0,224	—

Таблица 2

Значения износа гребня колеса

Износ гребня колеса, мм	7,87	7,99	8,10	7,90	8,01	8,13	7,92	8,03	8,15
Пройденный путь при непрерывном контакте гребня и колеса, км	70	71	72	70	71	72	70	71	72
Радиус кривой, м	300	300	300	600	600	600	900	900	900

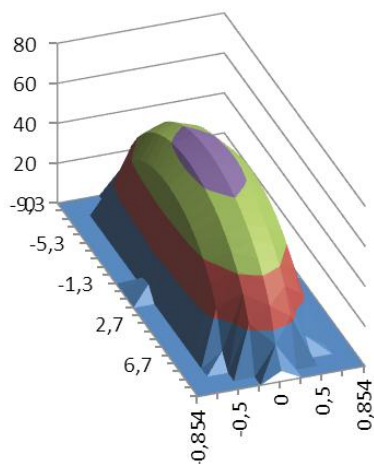


Рис. 3. 3D-модель площадки контакта на гребне колеса:  
 ■ — 60–80; ■ — 40–60; ■ — 20–40; ■ — 0–20

Из рис. 3 и 4 видно, что форма контактной площадки полностью совпадает. Данная методика показывает достаточно точные данные износа гребня колеса. Также стоит отметить, что износ поверхности катания и износ поверхности гребня никак не коррелируются и должны рассчитываться отдельно друг от друга.

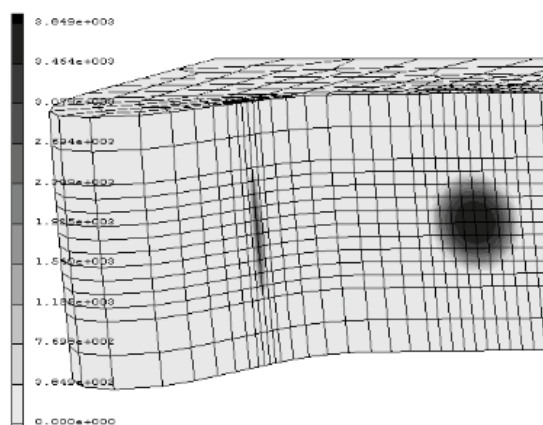


Рис. 4. Распределение контактных узловых сил в программном комплексе MSC.MARC при двухточечном контакте

Данная методика дает возможность изучить износ гребня колеса, не используя при этом коммерческие программные комплексы. Модель учитывает не только геометрические характеристики рельса и колеса ( $R_{12}$ ,  $R_{22}$ ,  $R_{21}$ ), но и значения перекаса рамы тележки. [ИТ](#)

## Список литературы

1. Вершинский С. В., Хусидов В. Д. Динамика вагона : учебник / под. ред. С. В. Вершинского. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1991. — С. 53–57.
2. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости / пер. с англ. — М. : Физматгиз, 1957. — С. 560.
3. Максимов И. Н. Разработка профиля колес для скоростных поездов и прогнозирование его эволюции в процессе взаимодействия подвижного состава и пути : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2014. — С. 47–49.

Объем статьи: 0,31 авторских листа





Тимофей Сергеевич  
Тарасовский

Timofey S. Tarasovskiy

## Тиристорно-реакторное устройство регулирования напряжения под нагрузкой РПН преобразовательного трансформатора ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 с пофазным регулированием напряжения

### Thyristor-reactor device for voltage regulation under РПН load of ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 rectifier transformer with single phase voltage regulation

#### Аннотация

Приведены достоинства и недостатки используемых в тяговом электроснабжении устройств регулирования напряжения преобразовательных трансформаторов под нагрузкой РПН: РНТ-13, РНТА и реакторных устройств системы БАРН.

В статье представлена схема тиристорно-реакторного переключающего устройства (ТРПУ), подключенного к отводам первичной обмотки преобразовательного трансформатора ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 с пофазным регулированием напряжения под нагрузкой. Приводится методика расчета фазных напряжений первичной обмотки преобразовательного трансформатора с ТРПУ при пофазном регулировании напряжения.

**Ключевые слова:** тяговое электроснабжение, регулирование напряжения под нагрузкой, тиристорно-реакторное переключающее устройство, пофазное регулирование, несимметричные режимы, фазные напряжения первичной обмотки.

#### Annotation

Advantages and drawbacks of voltage regulation rectifier transformers under РПН load: РНТ-13, РНТА and BARN system reactor devices used in traction power supply equipment are given.

The article presents the circuit of a thyristor-reactor switching device (TRSD) connected to primary winding leads of a ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 rectifier transformer with single-phase voltage regulation under load. The methods of calculation of a rectifier transformer with TRSD primary winding phase voltage in single-phase voltage regulation are shown.

**Keywords:** traction power supply, regulation of voltage under load, thyristor-reactor switching device, single-phase regulation, asymmetrical modes, primary winding phase voltage.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-39-42

#### Авторы Authors

Тимофей Сергеевич Тарасовский, аспирант, ассистент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: tar-tima@yandex.ru

Timofey Sergeyevich Tarasovsky, post graduate student, Assistant, Transport Power Supply Chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: tar-tima@yandex.ru

Для регулирования напряжения под нагрузкой преобразовательных агрегатов в электроснабжении железных дорог широко используются ступенчатый [1] и бесконтактный реакторный способы регулирования напряжения под нагрузкой преобразовательных трансформаторов (ПТ). В ступенчатых устройствах в качестве регулирующего органа применяются механические переключатели с токоограничивающими реакторами типа РНТ-13. Однако при эксплуатации этих переключателей были выявлены следующие недостатки: ступенчатое регулирование напряжения, необходимость периодической замены контактов ввиду их быстрого износа в результате горения дуги при коммутации и структурное изменение масла.

В ПТ широко применяются быстродействующие переключающие устройства типа РНТА 35/1000 ВУ2. Гашение дуги происходит в вакуумных дугогасящих камерах (ВДК), в связи с чем отсутствует необходимость в замене масла и исключается возможность появления открытой дуги. Такие устройства обладают высокой коммутационной способностью и малыми габаритами.

Бесконтактный реакторный способ регулирования напряжения ПТ, как показали исследования [1], удовлетворяет требованиям электрической тяги. При бесконтактном реакторном способе регулирование выпрямленного напряжения происходит плавно, за счет подмагничивания и размагничивания управляемых реакторов, включаемых в регулировочные отводы трансформатора [2].

С целью увеличения технико-энергетических характеристик устройств РПН ПТ предлагается схема тиристорно-реакторного переключающего устройства. Использование тиристорных и реакторных элементов, по сравнению с бесконтактным реакторным способом регулирования, позволяет увеличивать коэффициент мощности ПТ, снижать потери электроэнергии и массогабаритные показатели устройства РПН, а также одновременно обеспечивает возможность плавного регулирования напряжения [2].

## Принцип работы схемы

Принципиальные электрические схемы одной фазы первичной обмотки ПТ ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 с устройством переключения отводов трансформатора без возбуждения (устройство ПБВ) и с ТРПУ представлены на рис. 1, а и рис. 1, б соответственно. Устройство ПБВ позволяет регулировать напряжение преобразовательного трансформатора в диапазоне  $\pm 2,5\%$  от номинального напряжения. При номинальном напряжении питающей сети  $U_{1н} = 10,5$  кВ переключкой соединяются отводы 3 и 4; при длительном повышении напряжения до  $U_{1н} + 5\% \cdot U_{1н} = 11,025$  кВ соединяются отводы 1 и 2, при понижении напряжения до  $U_{1н} - 5\% \cdot U_{1н} = 9,925$  кВ соединяются отводы 5 и 6 [2].

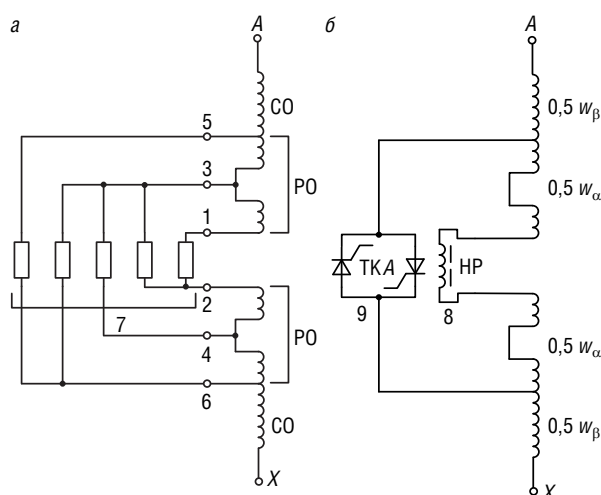


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема одной фазы первичной обмотки ПТ ТРСЗП-12500-10 ЖУ1:

а — с ПБВ; б — с ТРПУ; 1-6 — отводы обмоток трансформатора; 7 — переключки; 8 — неуправляемый реактор; 9 — тиристорный ключ

Первичная обмотка трансформатора разделена на две части, каждая из которых включает в себя сетевую обмотку (СО) с числом витков  $0,5 w_\beta$  и регулировочную обмотку (РО) с числом витков  $0,5 w_\alpha$  ( $w_\beta$  и  $w_\alpha$  — полное число витков СО и РО соответственно). В первой части начало СО подсоединено к питающей сети, а ее конец через тиристорный ключ (ТК) соединен с началом СО второй части, конец которой при схеме соединения первичной обмотки «звезда» образует нейтраль с другими фазами трансформатора [2]. Между концом РО первой части и началом РО второй части включен неуправляемый реактор (НР).

Уменьшения напряжения ступени регулирования при неизменном количестве ответвлений можно добиться, используя способ пофазного регулирования напряжения, что позволяет снизить напряжение ступени в 3 раза [1].

При пофазном регулировании напряжения ПТ к двум симметричным режимам работы ТРПУ [3] добавляются два несимметричных: открыт тиристорный ключ ТК в одной фазе (любой), или открыты одновременно два тиристорных ключа ТК в двух фазах (любых). Принципиальные электрические схемы соединений первичной обмотки ПТ с ТРПУ в несимметричных режимах показаны на рис. 2.

Далее рассмотрен несимметричный режим, когда открыт один тиристорный ключ, например, в фазе А, а в фазах В и С ключи закрыты.

Степень неравенства числа витков в фазах СО характеризует коэффициент несимметрии:  $k = w_\beta/w_1$ , где  $w_1$  — базовое число витков двух фаз с равными числами витков [1].

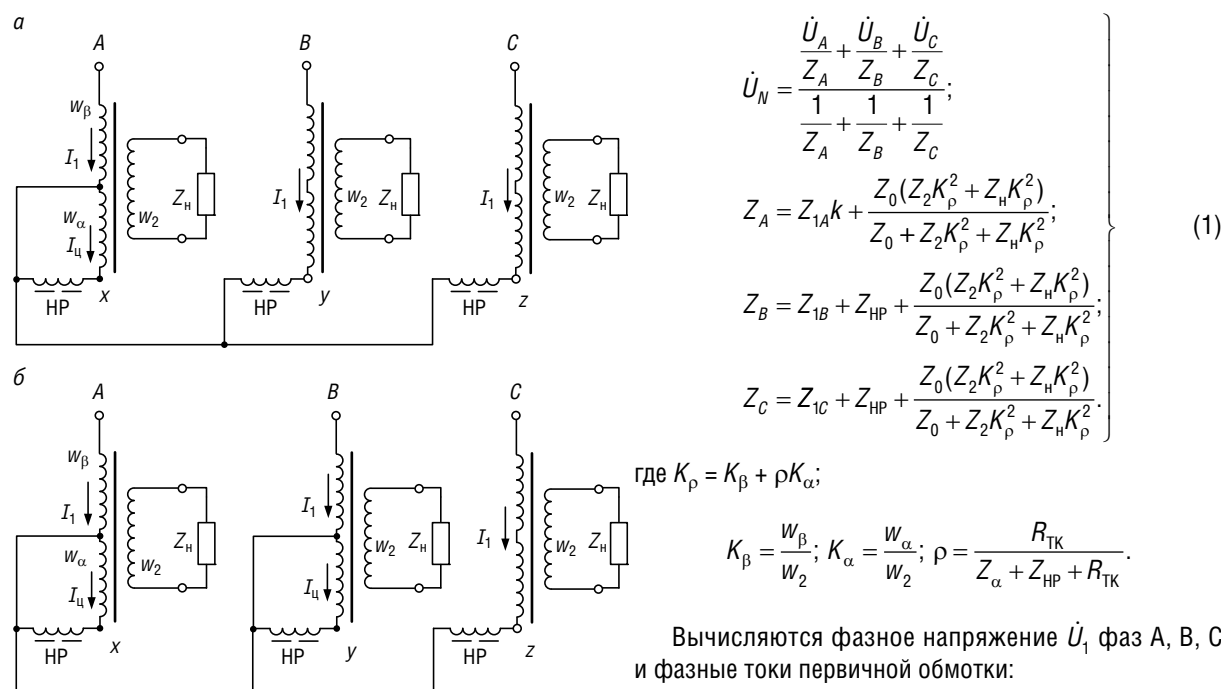


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема соединений первичной обмотки ПТ с ТРПУ в несимметричных режимах: а — при одном открытом тиристорном ключе (открыт ТКА); б — при двух открытых тиристорных ключах (открыт ТКА и ТКВ)

Для проведения дальнейших расчетов вводятся следующие обозначения:

$U_A, U_B, U_C$  — напряжения питающей сети фаз А, В, С;  
 $U_1$  — фазное напряжение, приложенное к виткам обмоток  $w_\alpha + w_\beta$  и НР;

$U_{w_\alpha + w_\beta}$  — фазное напряжение, приложенное к виткам обмоток  $w_\alpha + w_\beta$ ;

$U_{w_\alpha + w_\beta}$  — фазное напряжение, приложенное к виткам обмоток  $w_\alpha + w_\beta$  с учетом несимметрии полных сопротивлений первичных обмоток фаз трансформатора;

$I_1$  — фазный ток, протекающий в первичной обмотке трансформатора;

$Z_0$  — полное сопротивление холостого хода трансформатора;

$Z_{HP}$  — полное сопротивление НР;

$Z_1, Z_2$  — полные сопротивления первичной и вторичной обмоток трансформатора;

$Z_A, Z_B, Z_C$  — полные эквивалентные сопротивления фаз А, В, С преобразовательного агрегата с ТРПУ;

$Z_\alpha, Z_\beta$  — полные сопротивления РО и СО;

$Z_H$  — полное сопротивление нагрузки.

Далее представлена методика расчета фазных напряжений  $U_{w_\alpha + w_\beta}$  на примере режима с одним открытым тиристорным ключом (открыт ТКА).

1. Используя метод двух узлов для расчета трехфазной цепи со схемой соединения «звезда», вычисляются фазные напряжения  $U_1$  и фазные токи  $I_1$ :

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{1A} &= \dot{U}_A - \dot{U}_N; \dot{i}_{1A} = \frac{\dot{U}_{1A}}{Z_A}; \\ \dot{U}_{1B} &= \dot{U}_B - \dot{U}_N; \dot{i}_{1B} = \frac{\dot{U}_{1B}}{Z_B}; \\ \dot{U}_{1C} &= \dot{U}_C - \dot{U}_N; \dot{i}_{1C} = \frac{\dot{U}_{1C}}{Z_C}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

2. Вычисляются фазные напряжения  $U_{w_\alpha + w_\beta}$  с учетом несимметрии полных сопротивлений первичных обмоток фаз трансформатора  $Z_A, Z_B, Z_C$ :

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{w_\alpha + w_\beta A} &= \dot{U}_{1A} - \dot{i}_{1A}Z_{1A}k; \\ \dot{U}_{w_\alpha + w_\beta B} &= \dot{U}_{1B} - \dot{i}_{1B}Z_{1B} - \dot{i}_{1B}Z_{HP}; \\ \dot{U}_{w_\alpha + w_\beta C} &= \dot{U}_{1C} - \dot{i}_{1C}Z_{1C} - \dot{i}_{1C}Z_{HP}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3. Фазные напряжения  $U_{w_\alpha + w_\beta}$  с учетом несимметрии полных эквивалентных сопротивлений  $Z_A, Z_B, Z_C$  и степени неравенства числа витков фаз трансформатора, используя теорему косинусов, будут равны:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{w1A} &= \frac{\sqrt{3}k(\dot{U}_{1A} - \dot{i}_{1A}Z_{1A}k^2)}{n}; \\ \dot{U}_{w1B} &= \frac{(\dot{U}_{1B} - \dot{i}_{1B}Z_{1B} - \dot{i}_{1B}Z_{HP})r}{n}; \\ \dot{U}_{w1C} &= \frac{(\dot{U}_{1C} - \dot{i}_{1C}Z_{1C} - \dot{i}_{1C}Z_{HP})r}{n}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $r = \sqrt{k^2 + k + 1}$ ;  $n = 1 + 2k$ .

### Выводы

1. Проведен обзор устройств регулирования напряжения под нагрузкой РПН ПТ, используемых в тяговом электроснабжении.

2. Рассмотрена схема тиристорно-реакторного устройства РПН, подключенного к первичной обмотке ПТ ТРСЗП-12500/10 ЖУ1.

3. Разработана методика для расчета фазных напряжений первичной обмотки ПТ с ТРПУ с пофазным регулированием напряжения. **ИТ**

### Список литературы

1. Фишлер Я. Л. Трансформаторное оборудование для преобразовательных установок [Текст] / Я. Л. Фишлер, Р. Н. Урманов, Л. М. Пестряева. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 320 с. : ил. — (Трансформаторы; вып. 41). — ISBN 5-283-00533-X.
2. Тарасовский Т. С. Тиристорно-реакторное устройство регулирования напряжения под нагрузкой РПН преобразовательного трансформатора ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 // Транспорт Урала. — 2017. — № 3 (54). — С. 87–91. — ISSN 1815–9400.
3. Аржанников Б. А. Устройства регулирования напряжения преобразовательных трансформаторов под нагрузкой : учеб. пособие / Б. А. Аржанников. — Екатеринбург : УрГУПС, 2017. — 101, [1] с. — ISBN 978-5-94614-409-4.

Объем статьи: 0,24 авторских листа





Дмитрий Леонидович  
Худояров

Dmitry L. Khudoyarov



Игорь Андреевич  
Тюшев

Igor A. Tushev

## Развитие систем бортовой диагностики локомотивов

### Development of locomotive on-board diagnostics systems

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы развития систем бортовой диагностики, основные задачи и перспективы развития бортовой диагностики электровозов. Диагностирование локомотивов в процессе эксплуатации является актуальной задачей. В статье приведены основные преимущества рассматриваемых систем, перспективы развития. Отмечены основные результаты, достигнутые отечественными компаниями в области бортовой диагностики.

**Ключевые слова:** система бортовой диагностики, подвижной состав, локомотив, диагностическая информация, мониторинг, сервисное обслуживание, ремонт.

#### Annotation

The article looks upon issues of development of on-board diagnostics systems, main tasks and prospects of electric locomotive on-board development. Diagnostics of locomotives in the process of servicing is a critical task. The main advantages of the systems under study, development prospects are given. The essential results achieved by domestic companies in on-board diagnostics are emphasized.

**Keywords:** on-board diagnostics system, rolling stock, locomotive, diagnostics information, monitoring, maintenance service, repairs.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-43-48

#### Авторы Authors

*Дмитрий Леонидович Худояров, канд. техн. наук, начальник центра мониторинга технического состояния локомотивов новых серий ОАО «СТМ-Сервис», Екатеринбург; e-mail: Khudojarovd@mail.ru | Игорь Андреевич Тюшев, студент Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, e-mail: Boyka95box59@mail.ru*

*Dmitry Leonidovich Khudoyarov, Candidate of technical science, chief of monitoring of technical state of new series locomotives, JSC "STM-Service", Ekaterinburg; e-mail: Khudojarovd@mail.ru | Igor Andreyevich Tushev, student, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg, e-mail: Boyka95box59@mail.ru*

Современный локомотив представляет собой сложную электромеханическую систему, работающую при больших динамических нагрузках, высоких скоростях, значительных затратах на эксплуатацию и ремонт. В свою очередь, рациональный подход к эксплуатации и ремонту локомотива обеспечивает его бесперебойную, безопасную и надежную работу. Но не всегда получается найти этот подход по причине разных, как внешних, так и внутренних, факторов. Невозможно предугадать, когда и как может произойти отказ какого-либо узла локомотива. Это зачастую приводит к неблагоприятным последствиям, таким как увеличение простоя локомотивов в ремонте, увеличение эксплуатационных расходов на ремонт, увеличение трудоемкости и т.д. Решение указанных проблем возможно благодаря совершенствованию, повышению эффективности и автоматизации технического диагностирования в процессе эксплуатации локомотива, а также переходу от планово-предупредительного обслуживания и ремонта к ремонту с учетом действительного технического состояния.

Использование этой тактики обслуживания и ремонта подвижного состава требует специальных средств и методов автоматизированного контроля и диагностирования.

Применение современных бортовых систем диагностирования позволяет оптимизировать расходы на проведение технического обслуживания и текущих видов ремонта, поскольку какой-либо вид обслуживания или ремонта будет требоваться только тогда, когда система выявит вероятность отказа и покажет необходимость проведения технического обслуживания и ремонта.

Задача построения математических моделей и методик прогноза неисправности на начальной стадии является наиболее актуальной в рассматриваемой области. Решение данной задачи в перспективе позволит вывести качество технического обслуживания и ремонта подвижного состава железных дорог нашей страны на международный уровень и занять лидерскую позицию по обеспечению различных видов грузоперевозок, а также будет способствовать популяризации отечественного современного оборудования бортовой диагностики.

С целью накопления и применения диагностической информации на российских железных дорогах назрела потребность формирования центров комплексного диагностирования подвижного состава. Главной задачей таких центров является формирование системы мониторинга технического состояния подвижного состава, что позволит в режиме реального времени оценивать техническое состояние и прогнозировать изменение каких-либо параметров подвижного состава.

В результате анализа систем автоматизированного контроля и диагностирования подвижного состава выявлено, что единых подходов и требований к системе бортовой диагностики не создано. Отдельные разработки в этом направлении решают локальные проблемы и не предусматривают комплексного подхода к созданию

систем бортовой диагностики. Поэтому развитие бортовой диагностики подвижного состава в нашей стране требует повышенного внимания со стороны научно-технического прогресса.

Система бортовой диагностики — это сложная иерархическая структура, включающая в себя системы и средства диагностирования параметров работоспособности и надежности подвижного состава. В настоящее время у большинства современных локомотивов она позволяет осуществлять:

- автоматический контроль технического состояния основного оборудования локомотива и предоставления локомотивной бригаде информации с помощью дисплея, установленного в кабине локомотива;
- непрерывный контроль критических значений параметров основных агрегатов и систем индикации, выхода их за допустимые пределы и аварийное автоматическое отключение (с учетом обеспечения безопасности движения) или изменение режима работы локомотива;
- регистрацию, хранение и передачу диагностической информации и значений контрольных параметров с целью дальнейшего анализа и разработок по минимизации их появления;
- целенаправленное информирование локомотивной бригады об ошибках или ограничениях локомотива с возможностью получения причин и мер по их устранению и улучшению условий труда;
- информирование ремонтного персонала о повреждениях тягового подвижного состава, тем самым оптимизируя составление плана производственных работ;
- создание системы мониторинга технического состояния, которая позволяет в масштабе реального времени оценивать состояние подвижного состава и прогнозировать его изменения, предугадывая чрезвычайные происшествия;
- создание единой базы диагностической информации, которая будет давать экономический анализ затрат и минимизации ремонтов за какой-либо период времени с целью дальнейшего планирования экономической эффективности и разработок по усовершенствованию данной системы.

Как показывает мировой опыт, одним из лидеров использования рассматриваемых систем является американская компания General Electric. GE Rail разрабатывает систему дистанционного контроля и диагностики. С использованием спутниковой связи, автоматических устройств диагностики ремонтные компании могут в режиме реального времени проводить мониторинг систем подвижного состава. Службы ремонта предоставляют услуги по капитальным ремонтам, обновлению, устранению неисправностей, переоборудованию кабины машиниста и вспомогательного оборудования [1].

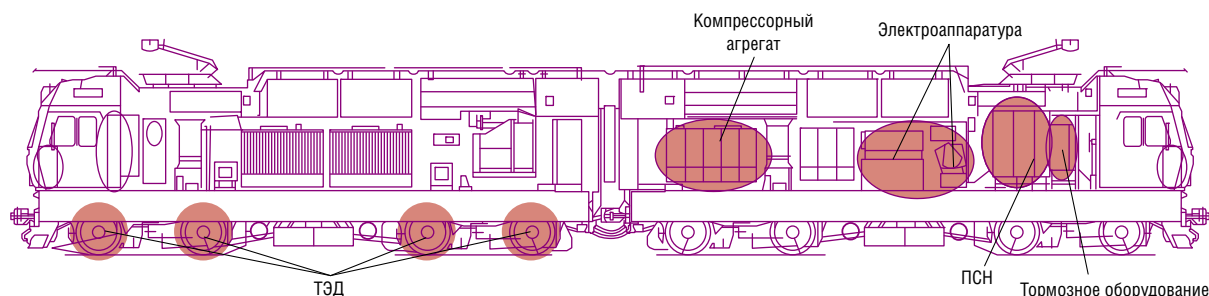


Рис. 1. Принципиальная схема размещения контрольно-измерительной аппаратуры на электровозе

В настоящее время наша страна имеет высокий уровень развития систем диагностирования подвижного состава и стремится к мировым лидерам в области бортовой диагностики, таким как Германия, Италия, Япония, США и другие страны. Так, например, ОАО «РЖД» в настоящее время активно развивает проект «Умный локомотив» [4]. Его ключевой функционал состоит в следующем: информация, получаемая от локомотивов, оборудованных микропроцессорными системами управления, позволяет принимать решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации локомотива. Система учитывает не только существующую базу данных, но предназначена для постоянного совершенствования процессов технического диагностирования и восстановления подвижного состава с применением так называемой платформы интеллектуального анализа.

Современные локомотивы, эксплуатируемые на Свердловской железной дороге, имеют в своем составе микропроцессорную систему управления и диагностики (МПСУИД), разработанную ООО «НПО САУТ» [5]. Помимо основных функций управления локомотивом, система контролирует такие узлы, как тяговые двигатели, тормозное оборудование, компрессорный агрегат, преобразователь собственных нужд, силовую аппаратуру и пр. (рис. 1) [4].

Завод «Уральские локомотивы» — крупное предприятие железнодорожного машиностроения. Созданное группой «Синара» и концерном Siemens AG, предприятие выпускает современные высокотехнологичные грузовые магистральные электровозы с коллекторным и асинхронным тяговым приводом (2ЭС6, 2ЭС7, 2ЭС10), а также скоростные электропоезда «Ласточка», оборудованные современными системами безопасности и микропроцессорной системой управления и диагностики (МПСУИД) [2].

Развитие МПСУИД и внедрение этой системы на подвижной состав стало толчком к открытию в конце 2016 года центров мониторинга технического состояния электровозов на базе двух сервисных локомотивных депо: «Свердловск» и «Южный Урал» в Челябинске, руководящей организацией которых является компания «СТМ-Сервис», входящая в холдинг «Сина-

ра — Транспортные Машины». Направления деятельности компании: локомотивостроение, инжиниринг, производство дизельных двигателей и путевой техники, предоставление полного спектра услуг по сервисному обслуживанию железнодорожной техники (ремонт различной степени сложности, модернизация, обучение и технический консалтинг). Современное оборудование центра позволяет выполнять расшифровку диагностической информации системы управления и диагностики подвижного состава, полученной на серверы по спутниковой и интернет-связи от систем диагностики современных локомотивов посредством использования системы взаимодействия с локомотивом (СВЛ ТР) [3, 5].

Благодаря открытию данных центров мониторинга, «СТМ-Сервис» может осуществлять следующие виды деятельности:

- организацию работы по анализу частых диагностических сообщений, полученных с бортов подвижного состава;
- контроль технического состояния подвижного состава, находящегося как в пути следования, так и в сервисном локомотивном депо, формирование 304 параметров по 2ЭС6 и 349 параметров по 2ЭС10;
- планирование объемов работ по текущему состоянию локомотивов;
- повышение эффективности и работоспособности всего локомотивного парка ОАО «РЖД».

Специалисты «СТМ-Сервис» в режиме реального времени могут получать информацию о возникших отказах и неисправностях подвижного состава, находящегося в работе, посредством специального программного обеспечения «Табло коллективного пользования» (рис. 2). Указанное программное обеспечение показывает не только состояние локомотива, но и его дислокацию, вес поезда и пробеги до плановых видов ремонта. Таким образом, при изменении технического состояния локомотива сотрудники сервисных предприятий уже предупреждены о возможной технической неисправности локомотива и могут подготовиться заранее к проведению дополнительных операций [3].

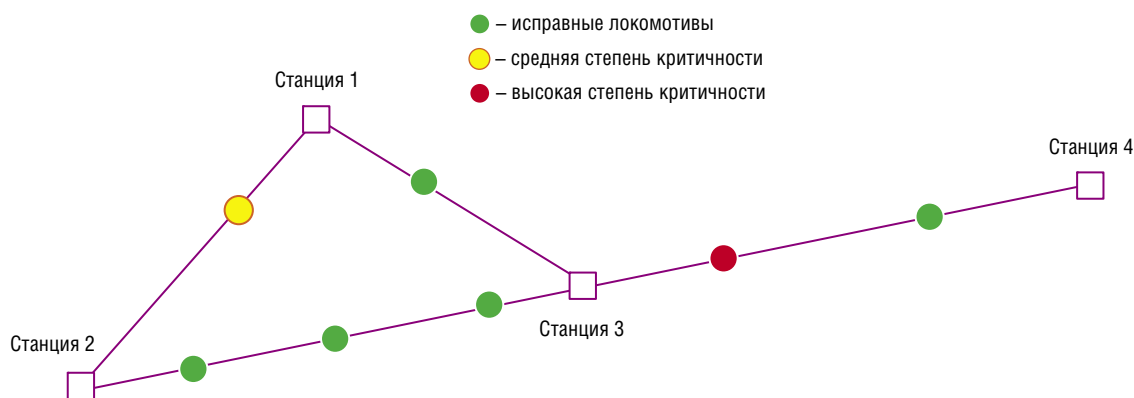


Рис. 2. «Табло коллективного пользования»

Как видно из диаграммы (рис. 3), около 30 % неисправностей, обнаруженных бортовой системой контроля и диагностики, устраняются при нахождении локомотива без вывода его из так называемого «эксплуатируемого парка», т.е. в процессе проведения технического обслуживания в объеме ТО-2 или экипировки. Имеют место и неточности диагностирования (менее 20 %). Несмотря на определенные неточности диагностики, повторяющиеся сообщения после выхода из ремонта составляют всего 1 %, что свидетельствует о высоком проценте устранения замечаний, предъявленных бортовой системой диагностики.

Вся полученная информация о диагностировании локомотивов тщательно анализируется на предмет корректности определения неисправности. Ведется работа и по определению состояния локомотива, предшествующего отказу. Разработан алгоритм работы центра мониторинга СЛД «Свердловск» (рис. 4), в соответствии с которым ведется постоянное совершенствование процессов диагностирования оборудования электровозов 2ЭС6, 2ЭС10 в процессе эксплуатации.



Рис. 3. Эффективность работы центра мониторинга (статистика за 6 месяцев 2018 года; ТЧЭ Свердловск-Сортировочный)

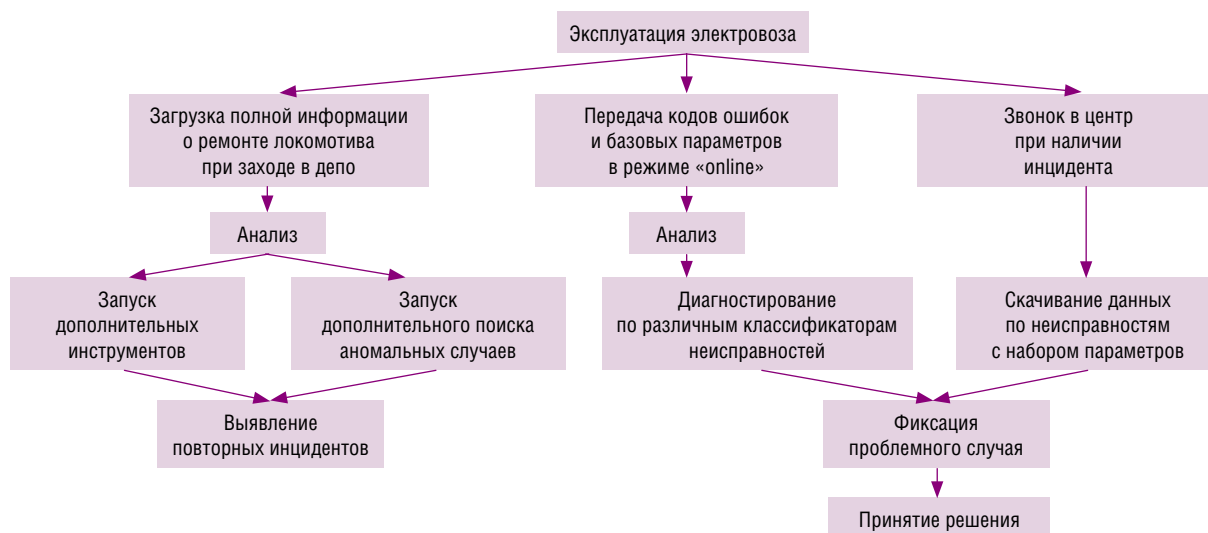


Рис. 4. Алгоритм работы центра мониторинга локомотивов новых серий СЛД «Свердловск»



Наиболее частыми являются диагностические сообщения о возможной технической неисправности мотор-компрессоров, о пониженном сопротивлении изоляции, а также о появлении срабатывания аппаратов защиты электрооборудования (рис. 5). Все сообщения формируются в соответствии с заложенными алгоритмами. По сформированным сообщениям можно сделать вполне конкретные выводы о техническом состоянии агрегата. Так, например, в случае с линейными контакторами будет известен номер аппарата, что облегчает ведение восстановительных работ при проведении сервисного обслуживания.

Расчет вероятности появления отказа локомотива при каждом конкретном сообщении показал, что не вся информация, передаваемая с бортовых систем контроля и диагностики, коррелируется с безотказной работой локомотива. Высоким коэффициентом корреляции ( $R_k$ ) отличается пониженное сопротивление изоляции, что уже подтверждалось массой работ в области изучения надежности работы электрооборудования (рис. 6, табл. 1).

Как видно из расчетных значений вероятностей отказа оборудования, не все сообщения могут иметь высокий коэффициент корреляции. Однако присутствующая 50 %-ная вероятность отказа локомотива является весомой причиной для назначения дополнительных работ при проведении сервисного обслуживания локомотива.

Несмотря на огромное количество весомых преимуществ систем бортовой диагностики, также присутствует и ряд недостатков:

1) сложность технологического производства единой системы, включающей в себя ряд подсистем, отве-

чающих за каждый технический параметр работоспособности локомотива;

2) увеличение стоимости оборудования бортовой диагностики и подвижного состава в целом;

3) высокие требования к обслуживающему персоналу.

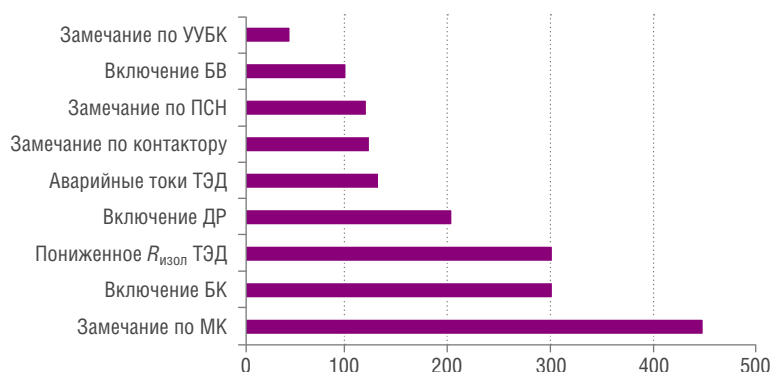


Рис. 5. Распределение наиболее частых диагностических сообщений: УУБК — устройство управления быстродействующим контактором; БВ — быстродействующий выключатель; ПСН — преобразователь собственных нужд; ДР — дифференциальное реле; БК — быстродействующий контактор; МК — мотор-компрессор

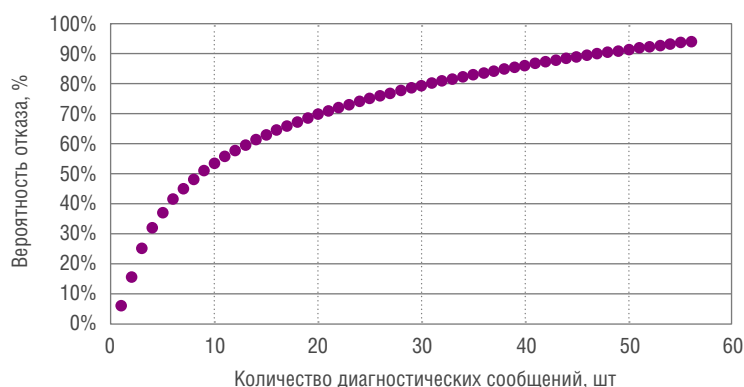


Рис. 6. Вероятность появления отказа локомотива при наличии диагностических сообщений о пониженном сопротивлении изоляции

Таблица 1

**Зависимость вероятности отказа локомотива от количества диагностических сообщений**

Диагностическое сообщение	Математическое уравнение	$R_k$
Пониженное сопротивление изоляции (ниже 1,2 МОм)	$y = 0,2354 \cdot \ln(x) - 0,0074$	0,837
Включение быстродействующего контактора	$y = 0,217 \cdot \ln(x) - 0,0699$	0,556
Включение дифференциального реле	$y = 0,0082 \cdot x^2 - 0,0336x + 0,5139$	0,457
Аварийные токи	$y = 0,0349 \cdot x^2 - 0,3192 \cdot x + 0,7648$	0,505

В перспективах развития систем бортовой диагностики подвижного состава лежит огромный потенциал стремительно развивающихся современных информационных технологий. Ведутся разработки программ искусственного интеллекта, и можно представить, что будущий подвижной состав будет оснащен достаточно развитыми техническими устройствами самодиагностики и самоустранения неисправностей, постоянно контролирующими техническое состояние локомотива.

Учитывая общую потребность в развитии систем бортовой диагностики, логично ожидать появления единой системы бортовой диагностики, охватывающей весь подвижной состав нашей страны. Создание центра комплексного диагностирования подвижного состава и обработки диагностической информации, который будет взаимодействовать с системами бортовой диагностики всего парка в режиме реального времени, позволит оптимизировать процесс производства. **ИТ**

### Список литературы

1. General Electric : [сайт]. — URL: <http://www.ge.com/ru/> (дата обращения: 11.11.2018).
2. Уральские локомотивы : [сайт]. — URL: <http://www.ulkm.ru> (дата обращения: 13.11.2018).
3. Новости железнодорожного транспорта, автомобильного, авиационного, водного транспорта, машиностроения и логистики : [сайт]. — URL: <http://www.gudok.ru> (дата обращения: 13.11.2018).
4. САУТ [сайт]. — URL: <http://www.saut.ru/> (дата обращения 12.11.2018).
5. НПО «ТранИнфоПроект» [сайт]. — URL: <http://www.transip.ru/> (дата обращения 20.11.2018).

Объем статьи: 0,54 авторских листа



Ирина Анатольевна  
Баева

Irina A. Baeva

## Особенности расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока при движении двух одиночных грузовых поездов с межпоездным интервалом и одного соединенного поезда

### Peculiarities of calculation of DC traction power supply system under movement of two single freight units with a running interval and one multiplied train

#### Аннотация

В статье показана особенность аналитического расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ при движении двух одиночных грузовых поездов с межпоездным интервалом и одного соединенного грузового поезда. Расчет приведен для однопутного участка с двухсторонним питанием с равенством напряжения на шинах тяговых подстанций

**Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, график движения, потери и расход электрической энергии, постоянный ток, регулирование напряжения.

#### Annotation

The article presents peculiarity of analytical calculation of 3,0 kV DC traction power supply system under movement of two single freight units with a running interval and one multiplied freight train. The calculation is made for a single track section with bilateral feeding with equal voltage on traction substation buses.

**Keywords:** traction power supply system, traffic schedule, losses and consumption of electrical energy.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-49-51

#### Авторы Authors

*Ирина Анатольевна Баева, ассистент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС); Екатеринбург; e-mail: IBaeva@usurt.ru*

*Irina Anatolievna Baeva, Assistant, Transport Power Supply Chair, Ural state university of railway transport (USURT); Ekaterinburg; e-mail: IBaeva@usurt.ru*

В работах [1–3] рассмотрены особенности и методы расчета системы тягового электроснабжения (СТЭ), направленные на определение технико-энергетических показателей системы.

При одинаковых массах грузовых поездов, скоростях движения на участке без устройств регулирования напряжения или с устройствами регулирования (повышения) напряжения расход электрической энергии (ЭЭ) по счетчикам электроподвижного состава (ЭПС)  $A_{\text{ЭПС}}$  должен остаться постоянным и равным [4]

$$A_{\text{ЭПС}} = U_3 \cdot I_3 \cdot t, \quad (1)$$

где  $U_3$  — напряжение на токоприемнике электроваза;  $I_3$  — ток электроваза;  $t$  — время хода электроваза.

Выразим скорость движения через время хода, получим

$$t = \frac{S}{V}, \quad (2)$$

где  $S$  — пройденное расстояние ЭПС;  $V$  — скорость движения ЭПС.

Расход ЭЭ  $A_{\text{ЭПС}}$  с учетом формулы (2) примет вид

$$A_{\text{ЭПС}} = U_3 \cdot I_3 \cdot \frac{S}{V}. \quad (3)$$

При введении устройств регулирования напряжения необходимо введение токоограничивающих поправочных коэффициентов  $K_{\text{ГСТ}}$ . Методика, приведенная в [4], основана на «методе итерации» [5], последовательного приближения расчетного расхода ЭЭ на тягу электроваза  $A_{\text{ЭПС}}$  к базовому  $A_{\text{ЭПС,б}}$  с погрешностью расчета не более 1 %. В результате формула (3) примет вид

$$A_{\text{ЭПС}} = U_3 \cdot K_{\text{ГСТ}} \cdot I_3 \cdot \frac{S}{V}. \quad (4)$$

Расход ЭЭ на тягу тяговой подстанции  $A_{\text{ТП}}$  определяется

$$A_{\text{ТП}} = A_{\text{ЭПС}} + \Delta A_{\text{ТС}} + \Delta A_{\text{ТР}}, \quad (5)$$

где  $\Delta A_{\text{ТС}}$  — потери электрической энергии в тяговой сети;  $\Delta A_{\text{ТР}}$  — потери электрической энергии в трансформаторах (головном понижающем и преобразовательном).

Потери ЭЭ  $\Delta A_{\text{ТР}}$  складываются из нагрузочных потерь ЭЭ  $\Delta A_{\text{ТР,нагр}}$  и потерь ЭЭ холостого хода  $\Delta A_{\text{ТР,хх}}$ :

$$\Delta A_{\text{ТР}} = \Delta A_{\text{ТР,нагр}} + \Delta A_{\text{ТР,хх}}. \quad (6)$$

Потери электрической энергии в тяговой сети при двустороннем питании при введении системы бесконтактного автоматического регулирования напряжения

(БАРН) на тяговых подстанциях ТП А и ТП В стабилизированы на одинаковом уровне  $U_1 = U_2$ .

При определении  $\Delta A_{\text{ТС}}$  при нахождении в межподстанционной зоне (МПЗ) двух и более поездов возникает задача, связанная с тем, что «сумма квадратов величин меньше квадрата суммы величин». Подробный расчет представлен в [6].

Расчетная схема двухстороннего питания для однопутного участка с двумя одиночными грузовыми поездами (ОП) на МПЗ приведена на рис. 2, а одного соединенного грузового поезда (СП) на рис. 3.

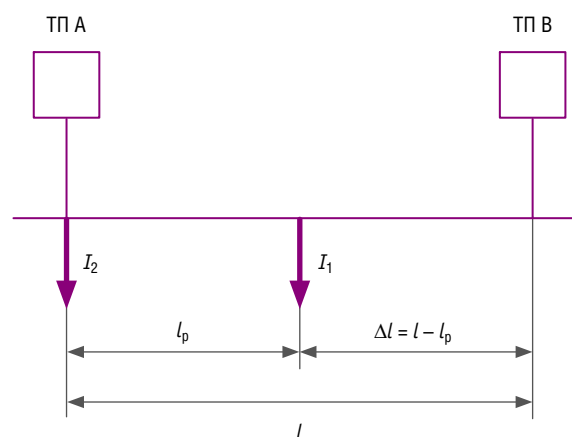


Рис. 2. Расчетная схема для двух одиночных поездов однопутного участка с двухсторонним питанием

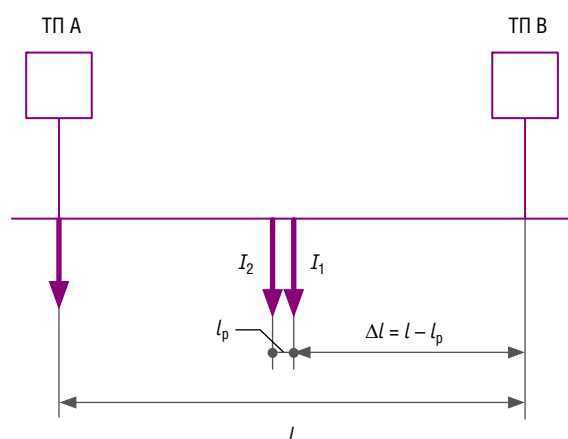


Рис. 3. Расчетная схема для соединенного поезда однопутного участка с двухсторонним питанием

На рис. 2 и 3 обозначено:  $l$  — длина МПЗ;  $l_p$  — расстояние между первым и вторым поездами с токами  $I_1$  и  $I_2$ ;  $\Delta l = l - l_p$  — длина отрезка пути МПЗ за время движения поезда 1, на котором происходит совместное потребление тока двух поездов от тяговой подстанции.

По первому варианту расчета, когда учитывается «сумма квадрата токов» каждого поезда на всей фидерной зоне, рассматривается движение ОП (рис. 2).



$$\Delta A_{\text{тс.оп}} = r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{1i} \frac{l - (l_p + \Delta l_i)}{l} \right]^2 \cdot \left( l_p + \sum_{i=0}^m \Delta l_i \right) +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{1i} \frac{l_p + \Delta l_i}{l} \right)^2 \left[ l - (l_p + \Delta l_i) \right] +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{2i} \frac{l - \Delta l_i}{l} \right]^2 \Delta l_i + r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{2i} \frac{\Delta l_i}{l} \right)^2 (l - \Delta l_i),$$

где  $\Delta t_i$  — время прохождения поезда по отрезку пути  $\Delta l_i$ ;  $I_{1i}$  и  $I_{2i}$  — средние токи электровоза, определяемые по графикам мгновенных значений;  $r$  — сопротивление тяговой сети;  $m$  — количество отрезков пути  $\Delta l_i$  на участке  $\Delta l$ .

По второму варианту расчета, когда учитывается «квадрат суммы токов» двух грузовых поездов, движущихся по фидерной зоне, рассматривается движение СП (рис. 3)  $I_{\Sigma} = I_1 + I_2$ .

$$\Delta A_{\text{тс.сп}} = r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{1i} \frac{l - (l_p + \Delta l_i)}{l} + I_{2i} \frac{l - \Delta l_i}{l} \right]^2 \Delta l_i +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{1i} \frac{l - (l_p + \Delta l_i)}{l} \right)^2 l_p +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{1i} \frac{l_p + \Delta l_i}{l} + I_{2i} \frac{\Delta l_i}{l} \right]^2 \left[ l - (l_p + \Delta l_i) \right] +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{2i} \frac{\Delta l_i}{l} \right)^2 l_p.$$

Из формул (7) и (8) следует, что при нахождении на участке двух одиночных поездов с межпоездным интервалом потери электрической энергии  $\Delta A_{\text{тс.оп}}$  оказываются меньше, чем при нахождении на участке соединенного поезда  $\Delta A_{\text{тс.сп}}$ .

Суммарный ток двух электровозов СП вызывает повышение потерь  $\Delta A_{\text{тс.сп}}$ , и, соответственно, снижается напряжение на токоприемнике электровоза, снижается скорость движения  $V$  СП. При снижении  $V$  уменьшается сопротивление движению поезда, и, как следствие, снижается расход электрической энергии на тягу.

Для повышения скорости движения необходимо повысить силу тяги двигателей электровоза за счет увеличения тока якоря, тем самым увеличивается ток электровоза  $I_3$ .

Подставляя в (5) формулы (4), (6)–(8), расход ЭЭ на тягу тяговой подстанции  $A_{\text{ТП}}$  с учетом введения регулирования напряжения на тяговых подстанциях, а также организации движения двух ОП (9) и СП (10) поездов, получаем:

$$A_{\text{ТП}} = \left\{ U_3 \cdot K_{\text{Ист}} \cdot I_3 \cdot \frac{S}{V} \right\} +$$

$$+ \left\{ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{1i} \frac{l - (l_p + \Delta l_i)}{l} \right]^2 \cdot \left( l_p + \sum_{i=0}^m \Delta l_i \right) + \right.$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{1i} \frac{l_p + \Delta l_i}{l} \right)^2 \left[ l - (l_p + \Delta l_i) \right] +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{2i} \frac{l - \Delta l_i}{l} \right]^2 \Delta l_i +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{2i} \frac{\Delta l_i}{l} \right)^2 (l - \Delta l_i) \left. \right\} + \{ \Delta A_{\text{тр.нагр}} + \Delta A_{\text{тр.хх}} \};$$

$$A_{\text{ТП}} = \left\{ U_3 \cdot K_{\text{Ист}} \cdot I_3 \cdot \frac{S}{V} \right\} +$$

$$+ \left\{ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{1i} \frac{l - (l_p + \Delta l_i)}{l} + I_{2i} \frac{l - \Delta l_i}{l} \right]^2 \Delta l_i + \right.$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{1i} \frac{l - (l_p + \Delta l_i)}{l} \right)^2 l_p +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left[ I_{1i} \frac{l_p + \Delta l_i}{l} + I_{2i} \frac{\Delta l_i}{l} \right]^2 \left[ l - (l_p + \Delta l_i) \right] +$$

$$+ r \sum_{i=0}^m \Delta t_i \left( I_{2i} \frac{\Delta l_i}{l} \right)^2 l_p \left. \right\} + \{ \Delta A_{\text{тр.нагр}} + \Delta A_{\text{тр.хх}} \}.$$

Представленная методика аналитического расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ с равенством напряжения на шинах тяговых подстанций (с введением устройств повышения (стабилизации) напряжения системой БАРН) при организации маршрутов движения грузовых поездов повышенной массы и соединенных грузовых поездов позволяет провести оценку влияния организации движения поездов на технико-энергетические показатели системы с целью выбора рационального графика движения поездов. **ИТ**

## Список литературы

1. Марквардт К. Г. Энергоснабжение электрических железных дорог. — М.: Транспорт, 1982. — 528 с.
2. Марквардт Г. Г. Применение теории вероятностей и вычислительной техники в системе энергоснабжения. — М.: Транспорт, 1972. — 224 с.
3. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т. 1 / под ред. К. Г. Марквардта. — М.: Транспорт, 1980. — 256 с.
4. Аржанников Б. А., Баева И. А. Влияние регулирования напряжения напускную способность электрифицированных участков постоянного тока

- и на расход электрической энергии на тягу поездов // Транспорт Урала. — 2017. — № 4 (55). — С. 71–75.
5. Виленкин Н. Я. Метод последовательных приближений. — М., 1968. — 108 с.
6. Аржанников Б. А. Тяговое электроснабжение постоянного тока скоростного и тяжеловесного движения поездов: монография / Б. А. Аржанников. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2012. — 207 с. — ISBN 978-5-94614-235-9.

Объем статьи: 0,19 авторских листа

## Эксплуатация автомобильного транспорта

УДК 656.11



**Алексей Алексеевич Цариков**

**Aleksey A. Tsarikov**



**Алена Витальевна Бачинина**

**Alena V. Bachinina**



**Александр Андреевич Коньков**

**Alexander A. Konkov**



**Елена Александровна Полуяхтова**

**Elena A. Poluyakhtova**

## Опыт организации ночных маршрутов общественного транспорта в городах Европы и постсоветского пространства

### Experience of organization of public transport night-time routes in cities of Europe and post-Soviet states

#### Аннотация

В статье рассмотрен пример организации ночных маршрутов в городах Европы и постсоветского пространства. Приведены основные показатели развития ночной маршрутной сети и сравнение ее с дневной сетью городского пассажирского транспорта.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, городской общественный транспорт, транспортная сеть.

#### Annotation

The article focuses on organization of night-time routes in cities of Europe and post-Soviet states. Main indicators of night-time route network development are given and compared with urban passenger transport daytime network.

**Keywords:** passenger traffic, urban public transport, transport network.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-52-59

#### Авторы Authors

**Алексей Алексеевич Цариков**, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Алена Витальевна Бачинина**, магистр кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург | **Александр Андреевич Коньков**, студент 4 курса кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург | **Елена Александровна Полуяхтова**, студентка 4 курса кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург

**Alexey Alexeyevich Tsarikov**, Associate Professor, "Automobile Transport" Chair, Ural state forestry technical university (USFTU), Ekaterinburg; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Alena Vitalievna Bachinina**, Master, "Automobile Transport" Chair, Ural state forestry technical university (USFTU), Ekaterinburg | **Alexander Andreyevich Konkov**, 4th year student, "Automobile Transport" Chair, Ural state forestry technical university (USFTU), Ekaterinburg | **Elena Alexandrovna Poluyakhtova**, 4th year student, "Automobile Transport" Chair, Ural state forestry technical university (USFTU), Ekaterinburg

Вопросы развития общественного транспорта в городах России в последнее время довольно часто поднимаются учеными и специалистами на конференциях и семинарах по развитию транспортных систем. Одним из направлений повышения эффективности функционирования общественного транспорта необходимо считать оптимально спроектированную схему маршрутной сети пассажирского транспорта.

В большинстве российских городов время работы общественного транспорта ограничено временными рамками. Редко встречается ситуация, когда в городе общественный транспорт работает после 23:00 и до 5:00 утра. Но с наступлением ночного периода суток жизнь в любом крупном и крупнейшем городе не останавливается. Активность горожан, без сомнения, значительно снижается, но все же существует определенная группа населения, которая перемещается по городу в ночные периоды времени.

В первую очередь к данной группе относятся люди, начинающие или заканчивающие работу в периоды, когда общественный транспорт уже не работает. Также в ночных перемещениях по городу заинтересованы пассажиры, использующие внешние виды пассажирского транспорта (поезда, самолеты, в редких случаях меж-

дугородные автобусы). Использование личного автомобиля или такси не всегда экономически оправдывает ночные перемещения, что подталкивает к необходимости организовывать систему ночных маршрутов общественного транспорта в городах. Необходимо отметить, что отдельные ночные маршруты общественного транспорта организовывались еще в советские времена и были направлены в первую очередь на связь с аэропортами и железнодорожными вокзалами.

Большинство крупных и крупнейших городов Европы на сегодняшний день наряду с системой дневных маршрутов имеют также и ночную систему маршрутов общественного транспорта. Появлению системы ночных маршрутов в городах Европы поспособствовал рост количества туристов, посещающих ежегодно эти города. Туристы и жители города, работающие в сфере обслуживания туристов, в значительной мере увеличили спрос на объем перемещений по городу в ночной период времени, так что руководители городов всерьез задумались об организации ночных маршрутов. В связи с этим авторами статьи была предпринята попытка провести анализ маршрутной сети городов, в которых организованы ночные маршруты.

Таблица 1

## Основные показатели развития общественного транспорта городов Европы и постсоветского пространства

Город (система маршрутов)	Протяженность маршрутов, км	Количество маршрутов	Протяженность маршрутной сети, км	Маршрутный коэффициент $K_m$
Белград (дневные)	2390	98	369	3,24
Белград (ночные)	540,6	19	261	1,03
Эдинбург (дневные)	1233	37	222,8	2,76
Эдинбург (ночные)	513	12	147	1,74
Краков (дневные)	2543	105	372	3,41
Краков (ночные)	494,5	17	202	1,2
Прага (дневные)	3479	167	749	2,32
Прага (ночные)	955	23	354	1,35
Варшава (дневные)	8304	270	1163	3,57
Варшава (ночные)	1341	36	510	1,31
София (дневные)	3658	135	615	2,97
София (ночные)	174,64	4	81	1,07
Киев (дневные)	9857	383	762	6,4
Киев (ночные)	204,5	5	86,7	1,18
Львов (дневные)	1779	73	232	3,84
Львов (ночные)	236	7	64	1,82
Москва (дневные)	20945	1027	1501	6,98
Москва (ночные)	559	13	252	1,1

## Эксплуатация автомобильного транспорта

Стоит отметить, что основными показателями развития городского общественного транспорта считаются: общая протяженность маршрутов в двух направлениях, количество организованных маршрутов, протяженность маршрутной сети и маршрутный коэффициент ( $K_m$ ). Напомним, что протяженность маршрутной сети — это совокупность улиц и дорог, которая используется общественным транспортом города для движения по всем организованным маршрутам.

Наиболее важным показателем, оценивающим развитие общественного транспорта, является маршрутный коэффициент ( $K_m$ ). Маршрутный коэффициент оценивает среднее количество маршрутов на 1 км сети. Иными словами, маршрутный коэффициент — это отношение протяженности всех маршрутов к протяженности маршрутной сети, по которой они двигаются (см. формулу 1):

$$K_m = \frac{\sum L_m}{L_c}, \quad (1)$$

где  $K_m$  — маршрутный коэффициент;  $\sum L_m$  — общая протяженность всех маршрутов городского пассажирского транспорта, км;  $L_c$  — общая протяженность улиц и дорог, по которым проходят маршруты городского пассажирского транспорта, км.

Как видно из табл. 1, значение маршрутного коэффициента для дневной схемы движения общественного транспорта в европейских городах находится в пределах от 2,3 до 3,5. Стоит отметить, что в большинстве советских городов данный коэффициент в зависимости от размера и конфигурации города составлял от 1,5 до 4 [1] (у ряда авторов — от 2,5 до 3,5 [2]). В городах России и постсоветского пространства данный коэффициент значительно больше и составляет 6–7 единиц, а в ряде городов больше 8. Это говорит об излишней дублируемости маршрутов, а точнее, об избыточном количестве маршрутов общественного транспорта. Более подробно информация о маршрутной сети общественного транспорта городов России представлена в работах [3, 4].

Отдельно стоит рассмотреть маршрутный коэффициент для сети ночных маршрутов. Как видно из табл. 1, в городах Европы и постсоветского пространства коэффициент маршрутизации в ночной период не превышает значения 1,35. Это означает, что по одной улице зачастую организован один ночной маршрут, который не дублируется другими маршрутами практически на всем участке маршрутной сети. Исключение составляет центральная часть города, где все ночные маршруты пересекаются между собой.

Вместе с этим не стоит забывать, что города постсоветского пространства только недавно начали процесс организации ночных маршрутов общественного транспорта, поэтому даже в таком крупном мегаполисе, как Москва, организовано всего 13 ночных маршрутов. При

этом в Праге, с населением в десять раз меньше, чем в Москве, на данный момент действует 23 ночных маршрута. Не отличаются развитостью ночных маршрутов Киев и София, здесь организовано 5 и 4 маршрута соответственно. Это означает, что города России и Восточной Европы в будущем только ожидает процесс постепенного зарождения и роста системы ночных маршрутов.

Также данные табл. 1 указывают на то, что система общественного транспорта в городах Европы развита достаточно хорошо. При этом протяженность маршрутной сети общественного транспорта там практически в два раза больше, чем в российских городах, соизмеримых по численности населения. Для примера, протяженность маршрутной сети Праги практически в 2 раза больше, чем в любом российском городе с населением 1,2–1,5 млн жителей. Подробнее данное сравнение можно увидеть в работе [3, 4]. Если сравнить маршрутные сети Праги и Киева, то видно, что практически при двукратной разнице в количестве населения эти города имеют примерно равную протяженность маршрутной сети общественного транспорта.

Двукратная разница в протяженности маршрутной сети между городами постсоветского пространства и городами Европы в первую очередь указывает на разную структуру улично-дорожной сети (УДС). Улично-дорожная сеть европейских городов была сформирована к концу XIX века. В городах постсоветского пространства УДС начала формироваться ближе к 30-м годам XX века и основывалась на ином принципе. Это в большей мере сказалось на количестве полос и плотности улиц. Улицы европейских городов имеют несколько большую плотность на единицу площади, но при этом меньшее количество полос. Если рассматривать широкие проспекты, проходящие через Москву, Киев или Санкт-Петербург, то можно отметить, что улиц подобной ширины практически нет в городах Европы.

Как указывалось выше, сеть ночных маршрутов в городах постсоветского пространства только зарождается. В связи с этим интересно оценить разницу между дневной и ночной схемой маршрутов. На основе данных табл. 1 были проведены расчетные сравнения основных показателей маршрутной сети общественного транспорта: значения ночных показателей были разделены на значения тех же показателей, но для дневной сети. Полученные в результате сравнения данные представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, во многих европейских городах ночная маршрутная сеть общественного транспорта незначительно отличается от дневной. В таких городах, как Эдинбург и Прага, где ежегодный объем туристов превышает 5 млн, общая протяженность ночных маршрутов составляет 30–40 % от дневной сети. При этом движение общественного транспорта в ночной период организовано на 50–65 % протяженности дневной сети. Другими словами, примерно половина улиц,



Таблица 2

Отношение основных показателей маршрутной сети общественного транспорта ночной сети к показателям дневной сети

Город	Отношение показателей ночной маршрутной сети города к показателю дневной сети			
	Протяженность маршрутов	Количество маршрутов	Протяженность маршрутной сети	Маршрутный коэффициент $K_m$
Белград	22,6 %	18 %	71 %	32 %
Эдинбург	41 %	32 %	66 %	54 %
Краков	19,5 %	16 %	54 %	35 %
Прага	27 %	14 %	47 %	58 %
Варшава	16 %	13 %	43 %	37 %
София	5 %	3 %	13 %	36 %
Киев	2 %	1,3 %	11 %	18 %
Львов	13 %	9,6 %	28 %	47 %
Москва	2,6 %	1,25 %	17 %	16 %



Рис. 1. Схема дневной и ночной маршрутной сети общественного транспорта города Эдинбурга

на которых днем организовано движение общественного транспорта, также используется в ночное время. Сравнение дневной и ночной маршрутных сетей города Эдинбурга показано на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в ночной период времени маршрутная сеть общественного транспорта несколько упрощается: ряд улиц не обслуживается транспортом. В ре-

зультате снижается плотность сети, что увеличивает расстояние, которое должен пройти пассажир от дома к остановке и обратно.

Ночная маршрутная сеть городов постсоветского пространства по сравнению с Прагой и Эдинбургом кажется как минимум слабо развитой. В городах Москве и Киеве, которые ежегодно посещают миллионы туристов,

## Эксплуатация автомобильного транспорта

протяженность ночных маршрутов в 40–50 раз меньше, чем протяженность дневных маршрутов, да и само количество маршрутов ночью снижается в 80 раз по сравнению с дневными маршрутами.

Если рассматривать используемую ночью сеть общественного транспорта, то столицы России и Украины также отличаются от европейских городов. Как указывалось выше, ночная сеть общественного транспорта в городах Европы может использоваться наполовину, а в ряде случаев и более. Киев и Москва ночью используют только восьмую часть сети общественного транспорта. Это означает, что жителям спальных районов для того, чтобы достичь остановок общественного транспорта, необходимо пройти 2 км и более.

Важным аспектом является то, что в ночной период времени в крупных и крупнейших городах, даже если их ежегодно посещают миллионы туристов, пассажиропотоки снижаются в несколько раз по сравнению с дневными значениями. В связи с этим интересны принятые интервалы движения на ночных маршрутах общественного транспорта. Анализ информации по данному вопросу показал, что в европейских городах интервалы движения ночных маршрутов приняты в пределах от 30 до 90 минут (табл. 3). При этом меньшие интервалы движения приняты на наиболее важных направлениях и составляют 30 и в ряде случаев 20 минут.

Как видно из табл. 3, наименьшие интервалы движения ночных маршрутов установлены в Москве. Интервалы движения в размере 15 минут фактически приравнивают ночную систему маршрутов общественного транспорта к дневным маршрутам. Если рассматривать ночные маршруты Киева и Львова, то здесь приняты наибольшие интервалы движения транспорта, составляющие от 1 до 2 часов.

Отдельного внимания требует анализ используемых видов общественного транспорта на ночных маршрутах. Многие зарубежные и отечественные специалисты считают, что использование в ночной период времени метрополитена экономически нецелесообразно и технологически сложно. Необходимо понимать, что метрополитен — это сложный городской транспортный механизм, который требует постоянного технического обслуживания. Именно на период ночного технологического окна и приходится большинство внутренних работ, которые невозможно провести в другие часы, а проводить их необходимо. Поэтому в европейских городах метро не работает ночью. Исключения составляют отдельные дни — Новый год, день города и другие эпизодические мероприятия.

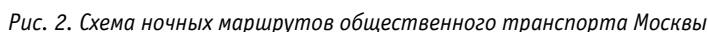
Наиболее распространенным видом общественного транспорта, используемым на ночных маршрутах, является автобус. В первую очередь это связано с гибкостью данного вида городского транспорта. Фактически автобусные маршруты можно организовать на любых магистральных улицах и дорогах на территории города и даже пригорода.

Гораздо реже на ночных маршрутах используется трамвай, поскольку он меньше распространен в городах Европы и привязан к рельсовым путям сообщения. Ночные маршруты трамвая можно организовать только по существующим линиям, что иногда бывает крайне неудобно для пассажиров. Исключением можно считать Прагу, где принята определенная концепция экологических ограничений, в связи с чем в центральной части города практически нет автобусных маршрутов. Поэтому без ночных трамвайных маршрутов организовать перевозку пассажиров в Праге практически невозможно.

Таблица 3

Интервалы движения на ночных маршрутах общественного транспорта

Город	Используемый вид транспорта	Типы используемых маршрутов	Интервал движения, мин
Белград	Автобус	Радиальные, диаметральные	30–90
Эдинбург	Автобус	Диаметральные, двурadiaльные	60
Краков	Трамвай, автобус	Диаметральные	30–60
Прага	Трамвай, автобус	Диаметральные, двурadiaльные, хордовые, радиальные	30–60
Варшава	Автобус	Радиальные	20–60
София	Автобус	Диаметральные	35–40
Киев	Автобус, троллейбус	Радиальные	50–120
Львов	Автобус	Радиальные, двурadiaльные	70–90
Москва	Автобус, троллейбус	Радиальные, кольцевые	15–30



Отдельный интерес вызывают принципы построения ночной маршрутной сети. В основные задачи ночной сети входит связь между собой спальных районов города с центральной (исторической) частью, а также с объек-

Для примера рассмотрим схемы ночной маршрутной сети города Москвы. Как видно из рис. 2, в Москве с помощью ночных маршрутов попытались повторить сеть метрополитена путем организации наземных маршрутов троллейбуса и автобуса. В этой связи были организованы два кольцевых маршрута по Садовому кольцу, имитирующие кольцевую линию метро. С помощью ночной сети удалось связать между собой аэропорты Шереметьево и Внуково, а также большую часть железнодорожных вокзалов.



## Эксплуатация автомобильного транспорта

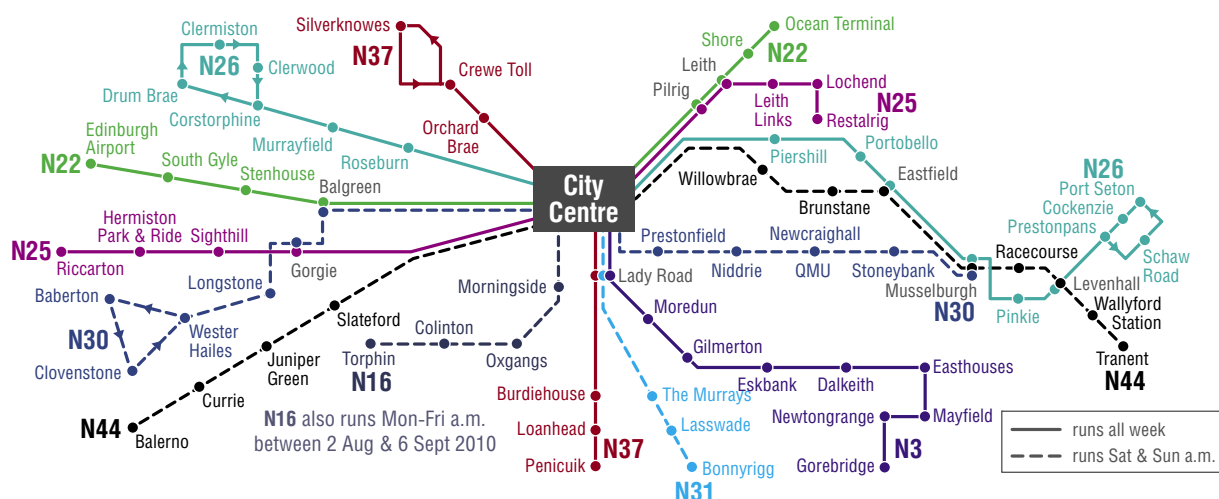


Рис. 3. Схема ночных маршрутов общественного транспорта города Эдинбурга

В задачи ночной маршрутной сети Москвы входила организация транспортного обслуживания населения и гостей города в ночной период времени с минимальными затратами. Из схемы видно, что для того, чтобы попасть из одного периферийного района в другой периферийный район, расположенный по соседству, необходимо ехать по непрямолинейной траектории. Другими словами, вначале нужно доехать до центра города, пересесть на другой автобус и двигаться параллельно в обратном направлении. На практике объем подобных перемещений в ночной период времени незначительный, поэтому организация хордовых маршрутов оказывается зачастую нецелесообразным и необоснованным мероприятием.

Стоит отметить, что ночные маршруты Москвы соединяют центр города с периферийными районами по радиальной траектории. Подобная схема с радиальными маршрутами организована в Белграде, Киеве, Варшаве.

Несколько иначе организованы ночные маршруты в Эдинбурге. Как видно из рис. 3, ночные маршруты общественного транспорта проходят из одного периферийного района в другой через центральную (историческую) часть города. Здесь организована схема с диаметрально-двурадialными маршрута-



Рис. 4. Транспортно-пересадочный узел у железнодорожного вокзала города Варшавы

ми. Аналогичным образом ночные маршруты организованы в Праге, Кракове и Софии.

Опыт организации ночных маршрутов показывает, что зачастую перемещение пассажиров происходит с пересадкой с одного маршрута на другой. В ночной период времени пересадка особенно затруднена, поскольку требует ориентирования на местности. Крайне неудобна пересадка, если вы путешествуете с тяжелыми чемоданами. В связи с этим в месте пересечения ночных маршрутов необходимо организовывать транспортно-пересадочные узлы.

На рис. 4 и 5 показаны фотографии транспортно-пересадочных узлов Варшавы и Москвы. В Варшаве транспортно-пересадочный узел, где находятся конечные остановки всех ночных маршрутов, находится рядом с центральным железнодорожным вокзалом. Как видно из рис. 4, место пересадки с одного ночного маршрута на другой в Варшаве организовано достаточно хорошо. Площадка, где останавливаются автобусы, имеет крытые платформы, а переходы от одной площадки до другой минимальны по расстоянию.





Рис. 5. Транспортно-пересадочный узел в центре Москвы

В Москве транспортно-пересадочный узел для ночных маршрутов организован рядом со станцией метро «Китай-город» (рис. 5). Посадочные площадки в Москве также организованы достаточно удобно: пешеходные тротуары оборудованы пандусами, а остановочные площадки имеют крытые павильоны.

В заключение необходимо отметить, что опыт организации ночных маршрутов будет полезен для крупных и крупнейших городов России. Проблема доставки пассажиров от

места проживания до объектов внешнего транспорта (аэропорты, железнодорожные вокзалы и автовокзалы) в ночной период времени присутствует во всех городах России. Использование услуг такси в ночные периоды времени, особенно если пассажир путешествует в одиночку, экономически не оправдано. Стоимость услуги такси в этом случае может быть соизмерима с ценой билета на поезд или самолет.

Организация ночных маршрутов общественного транспорта по

упрощенной маршрутной схеме, по сравнению с дневной схемой, позволит решить данную проблему. Как показал опыт Москвы и некоторых европейских городов, достаточно связать спальные районы с историческим центром, аэропортом и железнодорожным вокзалом путем организации радиальных или диаметральных маршрутов. При этом интервал движения транспорта на маршруте в первые периоды эксплуатации может составлять 60 минут. **ИТ**

## Список литературы

1. Страментов А. Е., Сосянц В. Г., Фишельсон М. С. Городской транспорт и организация движения : учебное пособие. — М. : Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1960. — С. 68–69.
2. Приказ Минавтотранса РСФСР от 31.12.81 № 200. — URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=3923#02330954263851368>.
3. Цариков А. А., Бачина А. В., Тапасева О. Ю. Анализ основных показателей развития сетей и маршрутов пассажирского транспорта городов России // Инновационный транспорт. — 2017. — № 2 (24). — С. 20–27.
4. Цариков А. А., Бачина А. В., Тапасева О. Ю., Пятанов М. С. Сравнительный анализ развития городского пассажирского транспорта Екатеринбурга и Праги // Инновационный транспорт. — 2017. — № 4 (26). — С. 20–27.

Объем статьи: 0,88 авторских листа



**Дмитрий  
Германович  
Неволин**

**Dmitry G.  
Nevolin**



**Андрей  
Петрович  
Котельников**

**Andrey P.  
Kotelnikov**



**Максим  
Дмитриевич  
Зорин**

**Maxim D.  
Zorin**

## Проектирование системы охлаждения гоночного болида класса Formula Student

### Formula Student class racing car cooling system designing

#### Аннотация

Статья посвящена вопросам проектирования и совершенствования систем охлаждения гоночных болидов класса Formula Student, разрабатываемых в лабораторно-производственных условиях УрГУПС. Практическая ценность заключается в применении обоснованного технического решения по использованию типа радиатора, вентилятора и их компоновочного решения.

**Ключевые слова:** болид, система охлаждения, понтон, радиатор, вентилятор.

#### Annotation

The article is devoted to issues of designing and improvement of Formula Student racing car cooling systems, which are worked out in USURT laboratory and production facilities. The practical value is in usage of the feasible technical decision concerning a radiator and ventilator type and their layout arrangement.

**Keywords:** racing car, cooling system, pontoon, radiator, ventilator.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-60-65

#### Авторы | Authors

**Дмитрий Германович Неволин**, действительный член Российской академии транспорта, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Андрей Петрович Котельников**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Максим Дмитриевич Зорин**, магистрант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Dmitry Germanovich Nevolin**, full member of the Russian Academy of Transport, Dr. of Tech. Sciences, Professor, Head of the Department "Designing and Exploitation of Automobiles" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Andrey Petrovich Kotelnikov**, PhD of Tech. Sciences, associate Professor of the Department "Designing and Exploitation of Automobiles" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Maxim Dmitrievich Zorin**, Student in the Master's programme, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg

Система охлаждения двигателя служит для охлаждения нагреваемых деталей и поддержания нормального температурного режима работы двигателя. С помощью системы охлаждения для всего диапазона нагрузочных и скоростных режимов работы двигателя поддерживается его стабильное тепловое состояние, при котором достигаются оптимальные экономические и энергетические показатели работы двигателя. Нарушение правильного отвода тепла вызывает ухудшение смазки трущихся поверхностей, выгорание масла и перегрев деталей двигателя. Последнее приводит к резкому падению прочности материала деталей и даже их обгоранию (например, выпускных клапанов). При сильном перегреве двигателя нормальные зазоры между его деталями нарушаются, что обычно приводит к повышенному износу, заеданию и даже поломке. Перегрев двигателя вреден еще и потому, что приводит к уменьшению коэффициента наполнения, детонации и самовоспламенению рабочей смеси [1–5].

Двигатель гоночного болида — наиболее сложный элемент всего болида, обладающий сравнительно большой мощностью для своего малого объема. Мощность двигателя испытуемого болида составляет 57 кВт (объем 599 см<sup>3</sup>) и достигается в основном за счет повышенного количества оборотов (до 14000 об/мин.). Это, в свою очередь, приводит к сильному нагреву двигателя.

Испытуемый болид класса Formula Student оснащен закрытой системой жидкостного охлаждения с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости. В качестве охлаждающей жидкости по техническому регламенту «Formula SAE» используется вода. За всю историю гоночных болидов в лаборатории УрГУПС было создано шесть автомобилей. Первый болид был спроектирован в 2013 г. На протяжении всего времени на болиды устанавливался один и тот же двигатель модели Honda CBR 600 с указанными выше характеристиками. При этом следует отметить, что максимальное значение мощности двигателя можно корректировать с помощью различных настроек, например настройками топливной карты.

Рассмотрим более подробно систему охлаждения данного мотора. При работе двигателя нагретая в блоке цилиндров жидкость подается через выпускной патрубок по шлангам в радиатор через термостат. При температуре охлаждающей жидкости, проходящей через термостат, ниже 70 °С клапан закрыт. Вследствие этого охлаждающая жидкость в радиатор не поступает, а циркулирует внутри рубашки охлаждения блока цилиндров. При повышении температуры охлаждающей жидкости клапан начинает приоткрываться, и постепенно охлаждающаяся жидкость начинает поступать в радиатор.

При достижении температуры 80–85 °С клапан полностью открывается, и охлаждающая жидкость проходит через радиатор. После достижения температуры охлаждающей жидкости до 85 °С включается в рабо-

ту вентилятор, расположенный за радиатором, создавая искусственный поток воздуха, который увеличивает теплоотдачу от трубок радиатора в окружающую среду. После радиатора охлажденная жидкость, всасываемая насосом, направляется в рубашку охлаждения (рис. 1).

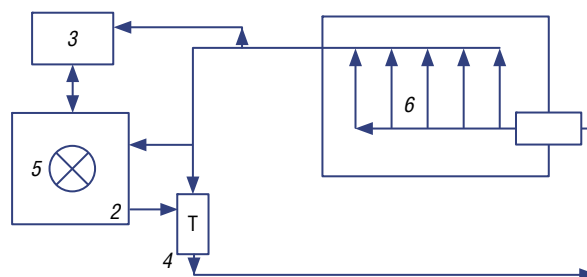


Рис. 1. Функциональная схема системы охлаждения двигателя гоночного болида:

1 — циркуляционный насос (водяная помпа) центробежного типа; 2 — радиатор трубчатого типа; 3 — расширительный бачок; 4 — термостат неразборный, с термословым элементом; 5 — вентилятор; 6 — рубашка охлаждения двигателя

С течением времени система охлаждения болидов претерпевала различные изменения: ставились разные радиаторы, вентиляторы, менялось их расположение на болиде. Изменения в системе охлаждения принимались на определенной стадии сборки болида без проводимого исследования и проектного решения. В отличие от серийных автомобилей, в которых используется антифриз, в болидах разрешено использовать только воду, что, в свою очередь, влечет за собой повышенные системные требования качества охлаждения. Пример гоночного болида, спроектированного в лаборатории УрГУПС, представлен на рис. 2.



Рис. 2. Гоночный болид класса Formula Student

С учетом анализа применяемых систем охлаждения гоночных болидов в настоящей статье предлагается обосновать эффективность предлагаемых технических решений. Для этого следует придерживаться системного подхода и принять к исследованию ряд следующих факторов:



- тип, размер радиатора;
- размер, мощность вентилятора;
- объем и форма дефлектора;
- компоновочные решения.

В качестве количественной оценки обоснования эффективности применения того или иного решения можно использовать время работы вентилятора в различных режимах работы двигателя, так как от продолжительности работы вентилятора зависит потеря мощности двигателя. При каждом включении вентилятора происходит снижение оборотов двигателя, для каждого скоростного режима имеется своя величина падения оборотов. Также в качестве оценочного параметра можно использовать изменение температуры охлаждающей жидкости с течением времени.

В естественных условиях оба используемых параметра могут иметь значения, отличающиеся от лабораторных, так как на них могут оказывать влияние различные факторы: встречный поток воздуха, температура окружающей среды, направление ветра, атмосферное давление и так далее. Кроме того, совершенствование системы охлаждения происходит в конструктивно ограниченных условиях: размеры радиатора ограничены понтоном, в который он установлен, расположение на болиде должно быть безопасным для пилота и в то же время оптимальным для охлаждения.

Однако исследуемое влияние предлагаемых технических решений в лабораторных условиях будет сохраняться и в естественных, поэтому с учетом технических возможностей лаборатории УрГУПС можно ограничиться применением предлагаемых оценочных параметров с достаточной практической ценностью.

Расчет необходимой площади радиатора и мощности вентилятора для системы охлаждения бензинового двигателя, применяемого на гоночном болиде, можно выполнить по методике, предложенной в работе [1]. Система охлаждения данного двигателя — жидкостная, замкнутая, с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости.

Исходной величиной для расчета системы охлаждения является количество теплоты, которое необходимо отвести от двигателя в окружающую среду. Расчет проводится для режима максимальной мощности  $N_{\max} = 57$  (кВт) двигателя.

Общее количество теплоты, отводимое в охлаждающую жидкость, определяется по формуле [1]:

$$Q_{\text{ж}} = \frac{1}{3,6} \cdot q_{\text{охл}} \cdot N_{\max}, \text{ Дж/с}, \quad (1)$$

где  $q_{\text{охл}}$  — удельное количество теплоты кДж/(кВт·ч);  $N_{\max}$  — мощность двигателя, кВт.

На основании данных испытаний двигателей жидкостного охлаждения различных типов удельное количество теплоты для бензиновых двигателей составляет  $q_{\text{охл}} = 2840 \dots 5700$  кДж/(кВт·ч).

Расчетное значение общего количества теплоты, отводимого в охлаждающую жидкость, составило  $Q_{\text{ж}} = 40233$  Дж/с.

Для расчета параметров радиатора необходимо определить его теплообменную поверхность  $F_{\rho}$ . Поверхность теплообмена радиатора рассчитывают по формуле [1]:

$$F_{\rho} = \frac{Q_{\text{ж}}}{k_{\rho} \cdot \Delta T_{\text{ж.в}}}, \quad (2)$$

где  $k_{\rho}$  — коэффициент теплопередачи через теплообменную поверхность радиатора (от жидкости к воздуху); для бензиновых двигателей  $k_{\rho} = 140 \dots 180$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); для дизелей  $k_{\rho} = 80 \dots 100$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\Delta T_{\text{ж.в}} = T_{\text{ж.ср}} - T_{\text{в.ср}}$  — разность средних температур охлаждающей жидкости и воздуха, проходящих через радиатор.

$T_{\text{ж.ср}} = T_{\text{ж.вых}} - 0,5 \cdot \Delta T_{\text{ж}} = 86 \dots 91^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T_{\text{ж}}$  — повышение температуры жидкости в радиаторе ( $7 \dots 9^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{ж.вых}}$  — температура жидкости на выходе из радиатора  $90 \dots 95^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{в.ср}} = 0,5 \cdot (T_{\text{в.вх}} + T_{\text{в.вых}})$  — средняя температура воздуха, проходящего через радиатор;  $T_{\text{в.вх}} = T_0 + \Delta T_{\text{в.вх}}$  — температура воздуха на входе в радиатор. Температура атмосферного воздуха  $T_0$  на входе в водяной радиатор за счет подогрева при проходе через жалюзи и масляный радиатор повышается на  $\Delta T_{\text{в.вх}} = 3 \dots 5^{\circ}\text{C}$ ; при отсутствии масляного радиатора можно принять  $T_{\text{в.вх}} = T_0$ ; при температуре окружающей среды  $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$  температура воздуха на входе в радиатор  $T_{\text{в.вх}} = 23 \dots 25^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{в.вых}} = T_{\text{в.вх}} + 0,5 \cdot \Delta T_{\text{в.вых}}$  — температура воздуха на выходе из водяного радиатора;  $\Delta T_{\text{в.вых}} = 20 \dots 30^{\circ}\text{C}$  — подогрев воздуха в решетке водяного радиатора; при температуре окружающей среды  $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$  температура воздуха на выходе из радиатора  $T_{\text{в.вых}} = 33 \dots 40^{\circ}\text{C}$ .

Рассчитанное по формуле (2) значение площади радиатора при естественной циркуляции воздуха составило 5,4 м<sup>2</sup>.

С учетом вентилятора и дефлектора, направляющего поток воздуха, эффективность охлаждения повышается на 20–30 %, поэтому более корректное значение расчетной площади поверхности теплообмена составляет 3,8 м<sup>2</sup>.

Объемный расход воздуха, подаваемый вентилятором, можно рассчитать по формуле [1]:

$$V_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{ж}} \cdot 0,5}{\rho_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3)$$

где  $c_{\text{в}}$  — теплоемкость воздуха, Дж/(кг·K);  $c_{\text{в}} = 1000$  Дж/(кг·K);  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воздуха при средней температуре в радиаторе, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{в}} = 1,05 \dots 1,12$  кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta T_{\text{в}}$  — температурный подогрев воздуха в решетке радиатора:

$$\Delta T_{\text{в}} = T_{\text{в.вых}} - T_{\text{в.вх}}; \Delta T_{\text{в}} = 20 \dots 30^{\circ}\text{C}.$$

Рассчитанное значение объемного расхода воздуха, подаваемого вентилятором, составило 0,87 м<sup>3</sup>/с.



Мощность, затрачиваемую на привод вентилятора, можно установить из расчета по формуле [1]:

$$N_B = \frac{V_B \cdot \Delta P_B}{\eta_B}, \text{ Вт}, \quad (4)$$

где  $\eta_B$  — КПД вентилятора;  $\eta_B = 0,32 \dots 0,4$  для клепаных вентиляторов;  $\eta_B = 0,55 \dots 0,65$  для литых;  $\Delta P_B$  — сопротивление воздушного тракта (аэродинамические потери);  $\Delta P_B = 600 \dots 1000$  Па.

Рассчитанное значение мощности, затрачиваемой на привод вентилятора, составляет 0,1 кВт.

С учетом расчетной мощности было принято решение использовать вентилятор DC DRUSHLESS model PFC 212DE (напряжение 12В, сила тока 6А, мощность 72Вт, максимальное число оборотов 5500 об/мин) (рис. 3).

В качестве испытуемых были рассмотрены три разных радиатора, различающихся по типу, форме, общей площади поверхности охлаждения, размеру остова радиатора. Рассмотрим более подробно каждый из них.

Радиатор 1-го типа имеет трубчато-ленточную конструкцию. Площадь поверхности охлаждения составляет 2,3 м<sup>2</sup>, радиатор имеет параболическую форму. Размер остова 0,36 × 0,23 м. Размер радиатора 0,43 × 0,25 м. Применяемый материал — алюминий. Вес 1360 г (рис. 4).

Радиатор 2-го типа имеет трубчато-ленточную конструкцию. Площадь поверхности охлаждения составляет 1,8 м<sup>2</sup>, радиатор имеет прямоугольную форму. Размер остова 30 × 23 см. Размер радиатора 0,40 × 0,24 м. Вес 1100 г (рис. 5).

Радиатор 3-го типа имеет трубчато-пластинчатую конструкцию. Площадь поверхности охлаждения составляет 3,5 м<sup>2</sup>, радиатор имеет прямоугольную форму. Размер остова 35 × 35 см. Размер радиатора 38 × 36 см. Применяемый материал — алюминий. Вес 1670 г (рис. 6).

Исходя из расчетной площади поверхности теплообмена радиатора, равной 3,8 м<sup>2</sup>, предлагаемый радиатор 3-го типа (модель ВА3 1111) является наиболее подходящим.

Высокая неравномерность потока воздуха по фронту радиатора, установленного на автомобиле, неизбежно ведет к увеличению его аэродинамического сопротивления, а значит, к снижению расхода воздуха, проходящего через него, поскольку доля радиатора в сопротивлении всего воздушного тракта на современном легковом автомобиле составляет 70 % [1]. На болидах, спроектированных и собранных в лаборатории УрГУПС, радиатор охлаждения находится сбоку, в одном из понтонов болида. Двигатель находится в задней части болида, за пилотом. Возможные варианты компоновочных схем систем охлаждения представлены на рис. 7.



Рис. 3. Вентилятор DC DRUSHLESS



Рис. 4. Радиатор 1-го типа, модель Honda CBR 600



Рис. 5. Радиатор 2-го типа, модель Honda CBR 400



Рис. 6. Радиатор 3-го типа, модель ВА3 1111

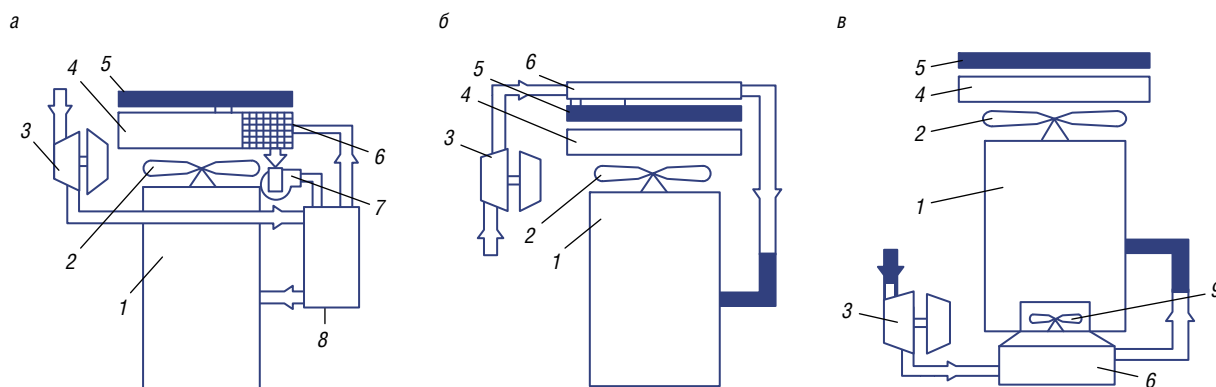


Рис. 7. Варианты схем систем охлаждения автомобильных двигателей:

1 — двигатель; 2 — основной вентилятор; 3 — агрегат наддува; 4 — водяной радиатор; 5 — масляный радиатор; 6 — секция водяного радиатора для охлаждения наддувочного воздуха; 7 — водяной насос; 8 — охладитель наддувочного воздуха; 9 — вспомогательный вентилятор

Рассмотрим три варианта расположения радиатора на гоночном болиде. В первом варианте радиатор расположен в левом понтоне болида. При движении болида воздух проходит через радиатор, охлаждая его. Такое расположение является безопасным для пилота, так как в случае пробоя радиатора все последствия примет на себя понтон. Но такое расположение создает определенное аэродинамическое сопротивление для болида.

Во втором варианте радиатор расположен в правом понтоне болида. Это безопасно для пилота, и аэродинамические характеристики идентичны с первым вариантом.

В третьем варианте радиатор охлаждения находится сзади за двигателем болида. Такое расположение радиатора улучшает аэродинамические характеристики болида, так как при движении потоки воздуха не проходят сквозь радиатор. Камни, грязь, пыль не смогут попасть в радиатор и повредить его, поскольку все воздушные потоки проходят мимо. С точки зрения безопасности этот вариант превосходит два предыдущих. Однако данное расположение создает определенные трудности для охлаждения радиатора. Для того чтобы двигатель не перегрелся, нужен мощный вентилятор и специальный кожух для направления потока воздуха вентилятора принудительного охлаждения.

В условиях лаборатории УрГУПС предложено исследовать эффективность выбранных типов радиаторов для существующих конструкций при боковом расположении на болиде, так как для наилучшего охлаждения радиатор должен располагаться на болиде в местах циркуляции воздушных потоков.

Экспериментальное исследование эффективности применения определенных типов радиаторов с использованием вентилятора принудительного охлаждения проводилось в следующем порядке:

1) запускался двигатель, и с этого момента выполнялась хронометрическая фиксация первого этапа ра-

боты системы охлаждения до момента включения вентилятора; при этом фиксировалась температура охлаждающей жидкости на момент включения вентилятора;

2) фиксировался момент выключения вентилятора;

3) фиксировался момент повторного включения.

Эксперимент заканчивался, если вентилятор не выключался и температура охлаждающей жидкости принимала значение, близкое к максимальному.

Во время эксперимента проводился замер скорости и температуры воздуха перед и после радиатора охлаждения с помощью анемометра. Процесс и равномерность нагрева отслеживались с помощью тепловизора.

На рис. 8, 9, 10 показаны полученные экспериментально зависимости изменения температуры охлаждающей жидкости с течением времени. Результаты экспериментальных исследований по выбранным параметрам оценки эффективности применяемых типов радиаторов сведены в табл. 1.

В результате проведенных экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

1. В соответствии с выбранным оценочным параметром (продолжительность работы вентилятора) наиболее эффективным является радиатор ВАЗ 1111, то есть именно этот тип радиатора обеспечивает минимальное время работы вентилятора.

2. Наименьшее аэродинамическое сопротивление оказывает радиатор модели Honda CBR 400, однако он не обеспечивает оптимального температурного режима работы двигателя болида, то есть охлаждающая жидкость циркулирует при температурах, близких к закипанию (93 °C).

3. Оптимальный температурный режим на протяжении всего испытания обеспечивал радиатор 3-го типа модели ВАЗ 1111, согласно графику зависимости температуры охлаждающей жидкости от времени испытания. **ИТ**

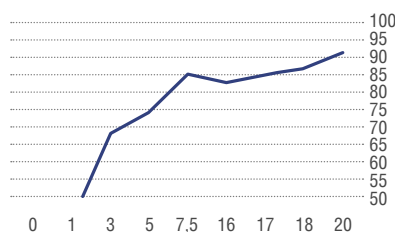


Рис. 8. Зависимость изменения температуры охлаждающей жидкости с течением времени при экспериментальном исследовании радиатора модели Honda CBR 600

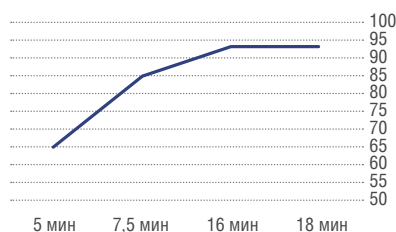


Рис. 9. Зависимость изменения температуры охлаждающей жидкости с течением времени при экспериментальном исследовании радиатора модели Honda CBR 400

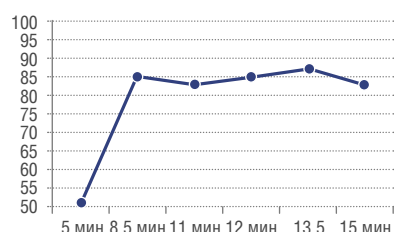


Рис. 10. Зависимость изменения температуры охлаждающей жидкости с течением времени при экспериментальном исследовании радиатора модели ВАЗ-1111

Таблица 1

## Данные экспериментальных исследований трех типов радиаторов

Радиатор	Время включения и выключения вентилятора	Температура ОЖ	Показания анемометра	Расчетная поверхность охлаждения
1. Honda CBR 600	453 с — включение 944 с — выключение 966 с — включение	85 °C 83 °C 85 °C	Скорость потока воздуха перед радиатором — 0,37 м/с Скорость потока воздуха после радиатора — 2,09 м/с Температура воздуха перед радиатором — 50,9 °C Температура воздуха после радиатора — 60,0 °C	2,3
2. Honda CBR 400	457 с — включение 958 с — окончание испытания в связи с перегревом	85 °C 93 °C	Скорость потока воздуха перед радиатором — 0,97 м/с Скорость потока воздуха после радиатора — 0,91 м/с Температура воздуха перед радиатором — 20,5 °C Температура воздуха после радиатора — 38,1 °C	1,8
3. ВАЗ 1111	507с — включение 697с — выключение 756 с — включение 939 с — выключение	85 °C 83 °C 85 °C 83 °C	Скорость потока воздуха перед радиатором — 0,41 м/с Скорость потока воздуха после радиатора — 1,93 м/с Температура воздуха перед радиатором — 49,6 °C Температура воздуха после радиатора — 57,2 °C	3,5

## Список литературы

1. Толстоногов А. П. Системы охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. — Самара, 2002. — 208 с.
2. Безюков О. К., Жуков В. А., Тимофеев В. Н. Охлаждение транспортных двигателей внутреннего сгорания. — СПб., 2015. — 130 с.
3. Ткаченко А. О., Жданов Н. А. Эффективность использования набегающего потока вентилятором системы охлаждения ДВС // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : сб. ст. по мат. LIX междунар. студ. науч.-практ. конф. (Россия, г. Новосибирск, 27 ноября 2017 г.). № 11(58). — URL: [https://sibac.info/archive/technic/11\(58\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/11(58).pdf).
4. Кувшинов А. Н. Обзор оборудования для комплексной диагностики системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвузовский сборник научных трудов. — Саранск, 2017. — 110 с.
5. Сеницын С. Н., Емельянов Е. А. Аэродинамический стенд для исследования системы охлаждения двигателя / Курганский государственный университет. — Курган, 2001. — С. 43–45.

Объем статьи: 0,61 авторских листа



**Алексей  
Алексеевич  
Цариков**  
**Aleksey A.  
Tsarikov**



**Анастасия  
Александровна  
Мокерова**  
**Anastasia A.  
Mokerova**



**Анжелика  
Алексеевна  
Бадиева**  
**Angelika A.  
Badieva**

## Исследование закономерностей функционирования парковок торговых центров в городе Екатеринбурге

## Studies of regularities in functioning of parking lots of trade centres in the city of Ekaterinburg

### Аннотация

В статье приведены данные использования парковок торговых центров, расположенных в городе Екатеринбурге. Приведен анализ основных показателей использования парковочного пространства, также проведено сравнение с закономерностями использования платных парковок в развитых странах.

**Ключевые слова:** парковка, торговый центр, анализ функционирования, продолжительность паркования.

### Annotation

The article presents data on usage of parking lots of shopping centres located in the city of Ekaterinburg. The analysis of main indicators of usage of parking area is given as well as comparison with regularities of usage of chargeable parking facilities in developed countries.

**Keywords:** parking facility, shopping centre, analysis of functioning, duration of parking.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-66-71

### Авторы Authors

**Алексей Алексеевич Цариков**, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Анастасия Александровна Мокерова**, студентка 4 курса кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург | **Анжелика Алексеевна Бадиева**, студентка 4 курса кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург

**Alexey Alexeyevich Tsarikov**, Associate Professor, "Automobile Transport" Chair, Ural state forestry technical university (USFTU), Ekaterinburg; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Anastasia Alexandrovna Mokerova**, 4th year student, "Automobile Transport" Chair, Ural state forestry and technical university (USFTU), Ekaterinburg | **Angelika Alexeyevna Badieva**, 4th year student, "Automobile Transport" Chair, Ural state forestry and technical university (USFTU), Ekaterinburg



Стремительный рост автомобилизации населения спровоцировал не только появление заторов на улично-дорожной сети города, но и проблему хранения и парковки автомобилей. Зачастую водители готовы поставить автомобили на тротуаре, газоне, пешеходном переходе, вторым рядом, на островках безопасности, а порой и просто поперек дороги. Вместе с тем рядом с крупными административными зданиями и торгово-развлекательными центрами появляются огромные автостоянки, которые используются для нужд автомобилизованного населения.

Необходимо отметить, что проблема организации стоянок временного и постоянного хранения недостаточно изучена на постсоветском пространстве. Развитые страны столкнулись с проблемой парковок гораздо раньше, чем в нашей стране. В связи с этим закономерности использования парковок гораздо глубже изучены в странах Западной Европы и США. На рис. 1 представлены данные о распределении времени нахождения автомобилей на платной парковке Вейберн-авеню, Лос-Анжелес, США.

Как видно из рис. 1, данные о времени нахождения автомобилей на парковке условно разделили на интервалы по 15 минут. 42 % автомобилей (наибольшая доля) проводят на парковке менее 15 минут. Учитывая, что это платная парковка, а нахождение на ней до 15 минут не оплачивается, логично, что большинство автомобилистов проводят на ней минимально необходимое время. В основном это связано с посадкой-высадкой пассажиров или погрузкой-выгрузкой грузов.

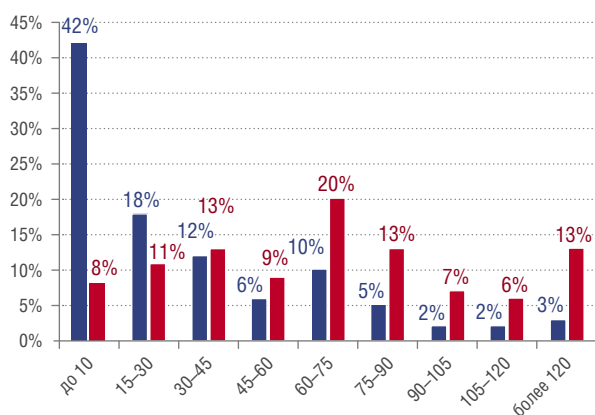


Рис. 1. Распределение времени нахождения автомобилей на парковке и продолжительность стоянки на Вейберн-авеню [1]:

■ — доля автомобилей; ■ — машино-часы на парковке

Следующий интервал времени нахождения автомобилей на парковке — от 15 до 30 минут. В этом диапазоне времени на парковке находится 18 % всех автомобилей. Стоит отметить, что чем больший по времени выбран диапазон, тем меньшая доля автомобилей находится на парковке. Так, на автомобили, находящиеся на парковке от 90 до 105 минут, приходится всего 2 %.

Время нахождения автомобилей на парковке не единственная величина, которая требует анализа. Для оценки процесса функционирования стоянки также важна величина общего времени, которое проводят автомобили на парковке.

Несмотря на то, что 42 % автомобилей находятся на парковке менее 15 минут, в общем объеме времени они составляют 8 % от общего объема машино-часов, проведенных всеми автомобилями на стоянке. Наибольший объем времени приходится на группу автомобилей, время стоянки которых составляет 2 часа и более, несмотря на то, что их объем в общем количестве паркующихся составляет всего 3 %. График на рис. 1 показывает, что для функционирования парковки более эффективно, чтобы водители проводили на стоянке наименьший промежуток времени. Это увеличивает общую пропускную способность парковки.

Учитывая вышесказанное, необходимо сделать вывод, что платные парковки позволяют регулировать время нахождения автомобилей на стоянке, чего не скажешь о бесплатных парковках, расположенных в центре города. На них процесс заполнения автомобилями начинается в утренние часы пик, и практически не остается места для тех, кто приехал в центр для решения краткосрочных задач. Фактически люди, работающие неподалеку от парковки, заполняют стоянку автомобилями на 10 и более часов, не оставляя места для других.

Несколько иная ситуация наблюдается на стоянках, организованных вблизи торговых центров. Владелец торгового центра экономически заинтересован в правильной схеме организации парковки, чтобы покупателей не отпугивали перспективы отсутствия мест для стоянки. В связи с этим авторами статьи были проведены исследования процесса функционирования парковок, расположенных вблизи торговых центров города Екатеринбурга.

Наиболее подробно были проведены обследования стоянки вблизи строительного гипермаркета «Леруа Мерлен». Стоит отметить, что это крупнейший строительный магазин в Свердловской области и его ежедневно посещает большое количество покупателей. Обследование проводилось в среду 17 октября 2018 года с 10:00 до 18:00.

Первое, что необходимо отметить в работе торгового центра «Леруа Мерлен», это большое количество покупателей даже в рабочий день. На рис. 2 показан график изменения интенсивности движения въезжающих на парковку и выезжающих автомобилей в течение рабочего дня.

Как видно из графика, интенсивность въезжающих автомобилей достигает в некоторые периоды времени 700–800 автомобилей в час. Такая интенсивность движения сравнима с движением транспорта на улицах Луначарского или Хохрякова. Заметно, что в обеденный период, с 13:00 до 14:00, интенсивность движения снижается практически вдвое по сравнению с первой половиной дня. После обеда объем посетителей, заезжающих



на парковку, резко увеличивается, но по мере приближения к концу рабочего дня постепенно снижается. Так, в 18:00 интенсивность движения въезжающих автомобилей снижается до значения 150 автомобилей в час, что в пять раз ниже, чем в пиковый период времени.

Отдельного внимания заслуживает процесс заполнения парковки автомобилями в течение дня. Как видно из рис. 3, процесс заполнения парковки идет постепенно и достигает максимального значения к 14:00. При этом количество транспортных средств, находящихся на парковке торгового центра, превышает 600 автомобилей. После обеденного времени количество припаркованных автомобилей на стоянке постепенно снижается и к 18:00 достигает 200 автомобилей.

Если рассматривать процесс заполнения парковки относительно максимального значения, то видно, что к 10:00 парковка заполняется на 30 % (рис. 4). С 10:00 до 12:15 процесс заполнения проходит по линейному закону, и к этому периоду парковка заполняется до 70 % от максимального значения. После этого количество автомобилей на парковке практически не меняется до 13:30. В период с 13:30 до 14:00 парковка опять начинает заполняться и достигает максимума к 14:00. После 14:15 количество автомобилей на стоянке постепенно уменьшается и к 18:00 достигает тех же 30 % от максимального значения, что и утром.

Как и в случае с платной парковкой на Вейберн-авеню, процесс функционирования парковки рядом с торговым центром «Леруа Мерлен» интересен с точки зрения распределения времени нахождения автомобилей на стоянке. Полученные в результате эксперимента данные авторы статьи раздели на интервалы времени по 15 минут. Как видно из рис. 5, менее 15 минут проводят на парковке только 16,4 % всех автомобилей. Если рассматривать данные платной парковки на Вейберн-авеню, то закономерности стоянки «Леруа Мерлен» несколько отличаются. В первую очередь, парковку по времени и платности здесь не ограничивают, поэтому никто из водителей особенно не торопится. Вместе с тем доля автомобилей, проводящих на парковке менее 15 минут, достаточно высокая. Скорее всего, на парковку заезжают водители, осуществляющие посадку-высадку пассажиров.

Наибольшее количество автомобилей находится на парковке от 15 до 30 минут. К этой категории относится 22,7 % всех паркующихся на стоянке. По мере роста продолжительности парковки снижается количество автомобилей в данном диапазоне распределения. На стоянке торгового центра в течение 120–135 минут находится только 1,9 % автомобилей. Это в восемь раз меньше, чем количество автомобилей, находящихся на парковке менее 15 минут.

Несмотря на то, что парковка у торгового центра бесплатная, продолжительное время на ней никто не проводит. Наоборот, большинство водителей решают свои вопросы в кратчайшее время и уезжают со стоянки.

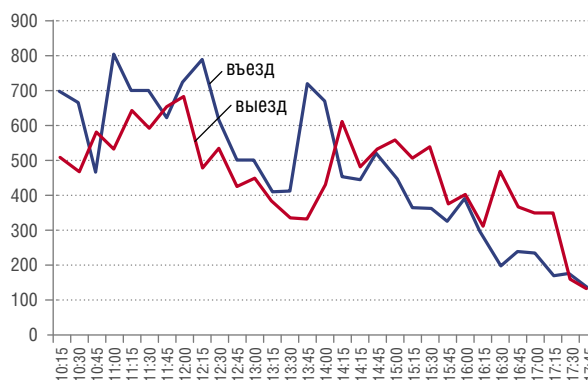


Рис. 2. Интенсивность движения автомобилей, въезжающих и выезжающих с парковки торгового центра «Леруа Мерлен» в течение дня

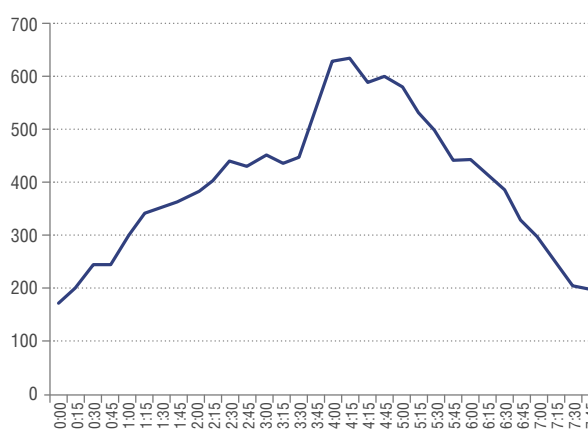


Рис. 3. Наполняемость парковки торгового центра «Леруа Мерлен» автомобилями в течение дня

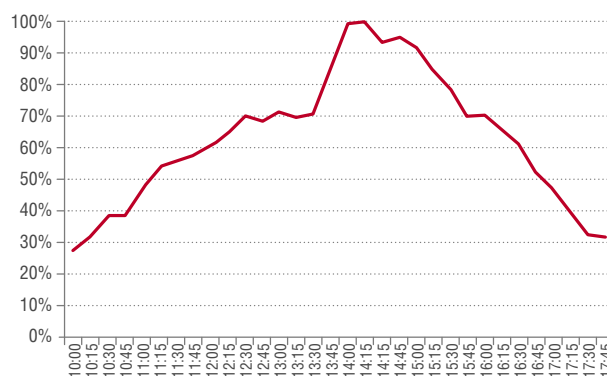


Рис. 4. Изменение наполняемости парковки торгового центра «Леруа Мерлен» автомобилями в течение дня относительно максимального значения

Очевидно, что снижение средней продолжительности стоянки увеличивает количество автомобилей, которые могут остановиться на данной парковке в течение дня. В связи с этим интересно рассмотреть число занятых машино-мест для разных по времени стоянки групп автомобилей.

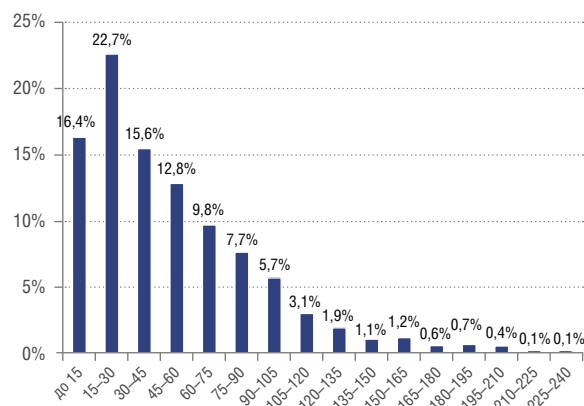


Рис. 5. Распределение времени нахождения автомобилей на парковке у торгового центра «Леруа Мерлен»

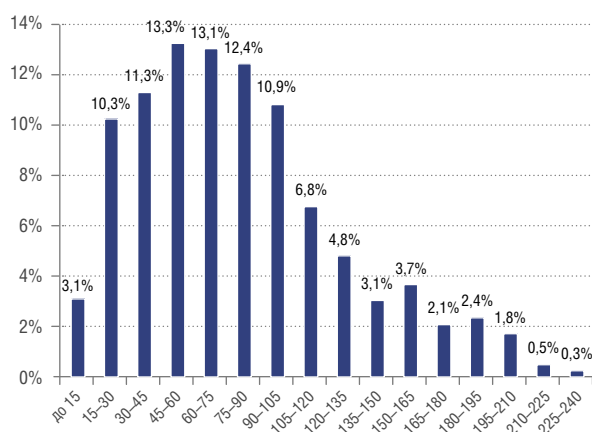


Рис. 6. График общего времени нахождения автомобилей на парковке торгового центра «Леруа Мерлен»

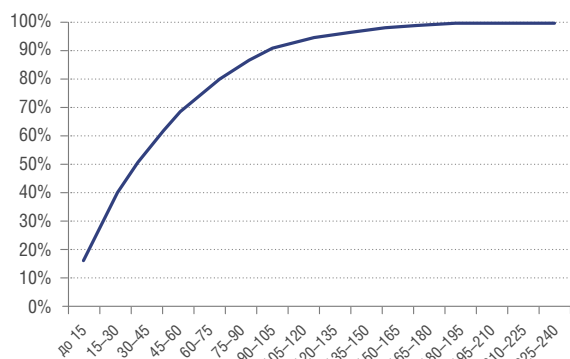


Рис. 7. График кумулятивной (накопительной) кривой времени нахождения автомобилей на парковке торгового центра «Леруа Мерлен»

Как видно из рис. 6, наибольшее количество автомобилей находится на стоянке от 15 до 30 минут (22,7 %), при этом они занимают всего 10,3 % всех машино-мест. Группа автомобилей, находящихся на парковке от 90 до 105 минут, составляет всего 5,7 %, при этом она занимает примерно те же 10,9 % всех машино-мест. Наибольшее

количество машино-мест занимает группа автомобилей, находящихся на парковке 45–60 минут.

Для характеристики времени нахождения автомобилей на стоянке также используется кумулятивная (накопительная) кривая. С ее помощью можно понять, какая доля автомобилей проводит на стоянке более одного или двух часов. На рис. 7 представлена кумулятивная кривая для автомобилей, припаркованных на стоянке торгового центра «Леруа Мерлен». Как видно из рисунка, 70 % автомобилей находятся на парковке не более одного часа. Если рассматривать двухчасовой период времени, то 94 % автомобилей проводят на парковке менее двух часов.

Данное распределение указывает на то, что водители, передвигающиеся по городу за покупками и в деловых целях, проводят на парковке гораздо меньше времени, чем водители, приезжающие на работу на личных автомобилях.

Вообще в Екатеринбурге и других крупнейших городах России складывается парадоксальная ситуация. В центральной части города, где объем парковок крайне ограничен, водители могут находиться на них по 8–10 часов бесплатно. При этом в торговых центрах, где созданы все условия хранения автомобилей, около 90 % автомобилей находятся менее 2 часов. В связи с этим объем оборачиваемости одного машино-места бесплатной парковки в центре города в 5–10 раз меньше, чем в торговом центре.

Для понимания ситуации с организацией стоянок в других торговых центрах авторами были проведены исследования других объектов: «КомсоМолл» (дублер Сибирского тракта, 2), «Яблоко» (ул. Восточная, 7ж), «Мегамаст» (Луначарского, 205), «Лента» (дублер Сибирского тракта, 19), «Райт» (Патриса Лумумбы, 4). Из всех перечисленных объектов только торговый центр «Мегамаст» имеет ограничение по времени бесплатной парковки в размере 2 часов, остальные объекты таких ограничений не имеют.

Рассмотрим график накопительной кривой времени нахождения автомобилей на стоянках. Как видно из рис. 8, менее двух часов на парковках торговых центров проводят от 94 до 98 % всех автомобилей, заезжающих на стоянку. При этом 94 % приходится на парковки крупных торговых центров, таких как «Леруа Мерлен» и «КомсоМолл». В торговых центрах меньших размеров — «Яблоко», «Мегамаст», «Лента» и «Райт» — автолюбители проводят меньшее время, поэтому в два часа укладываются 97–98 % всех посетителей.

В связи с этим ограничение по времени бесплатной парковки в торговых центрах «Гринвич», «Пассаж», «Алатырь» и «Мегамаст» выглядит логично. Практически все покупатели укладываются в бесплатный временной период. Этим ограничением владельцам торговых центров удастся отсеять автомобилистов, которые приезжают на работу на личном автомобиле и используют парковку по 9–10 часов.

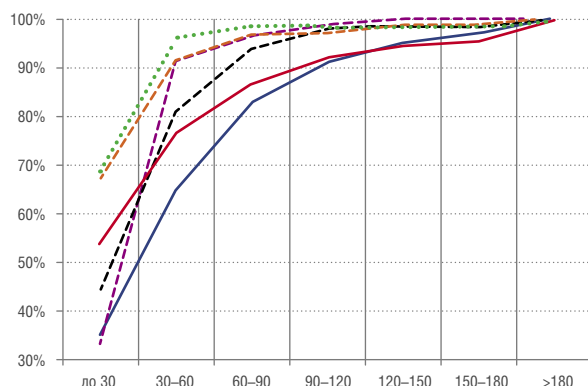


Рис. 8. График кумулятивной (накопительной) кривой времени нахождения автомобилей на парковках торговых центров Екатеринбурга:

— «Леруа Мерлен»; — «КомсоМолл»; ..... — «Яблоко»;  
--- — «Мегамарт»; - - - — «Лента»; - - - — «Райт»

Рассмотрим более детально распределение времени нахождения автомобилей на парковках торговых центров Екатеринбурга. В отличие от рис. 1 и 5, в этом случае мы приняли интервалы времени с шагом 30 минут, т.е. были рассмотрены временные промежутки времени до 30 минут, от 30 до 60 минут и т.д. Если не принимать во внимание торговый центр «Лента», то у всех объектов большая доля автомобилей находилась на парковках в период времени менее 30 минут. На парковках торговых центров «Райт» и «Яблоко» в 30 минут уложилось почти 70 % автолюбителей. В торговом центре «КомсоМолл» около половины автомобилей проводят на стоянке менее 30 минут.

Если рассматривать группу автолюбителей, проводящих на стоянках от 30 до 60 минут, то эта группа значительно меньше. Для торговых центров «Райт» и «Яблоко» эта группа в 2 раза меньше, для торговых центров «КомсоМолл», «Леруа Мерлен» и «Мегамарт» — в 1,5 раза (рис. 9).

Распределение времени нахождения автомобилей на парковках торговых центров Екатеринбурга примерно одинаково. Особенно это заметно в пределах времени от 120 минут и более. Конечно, на время парковки влияют размер, этажность и специфика работы торгового центра. Но если рассматривать ситуацию в целом, то схожие по ассортименту и размеру торговые центры имеют практически одинаковые закономерности функционирования парковок.

Отдельного рассмотрения требует показатель среднего времени нахождения на парковке. Так, среднее время нахождения автомобиля на парковке торгового центра «Леруа Мерлен» составляет 51 минуту (рис. 10). Это самый высокий показатель среди всех рассматриваемых нами торговых центров. Стоит отметить, что площадь торгового центра «Леруа Мерлен» и самой парковки наибольшая из всех исследуемых объектов. Оче-

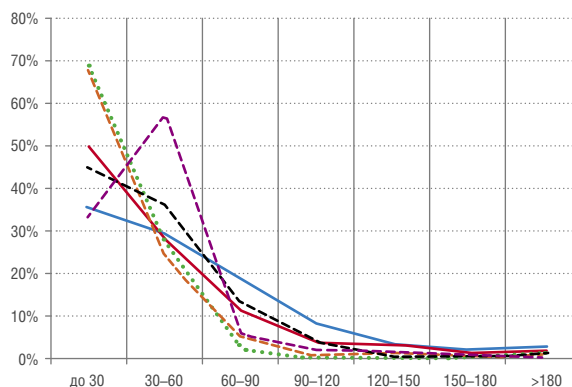


Рис. 9. Распределение времени нахождения автомобилей на парковке торговых центров Екатеринбурга:

— «Леруа Мерлен»; — «КомсоМолл»; ..... — «Яблоко»;  
--- — «Мегамарт»; - - - — «Лента»; - - - — «Райт»

видно, что среднестатистический посетитель проводит больше времени на территории парковки и в самом торговом центре.

Далее по среднему времени нахождения автомобиля на парковке следует торговый центр «КомсоМолл» (48 минут). Данный торговый центр имеет несколько уровней, в нем сосредоточены сферы услуг различного типа: как объекты торговли, так и объекты развлечения. «КомсоМолл» является торгово-развлекательным центром (ТРЦ), время нахождения в котором несколько больше, чем в продуктовых магазинах. Стоит отметить, что схожие данные по среднему времени парковки автомобилей у торговых центров получены в работе [2].

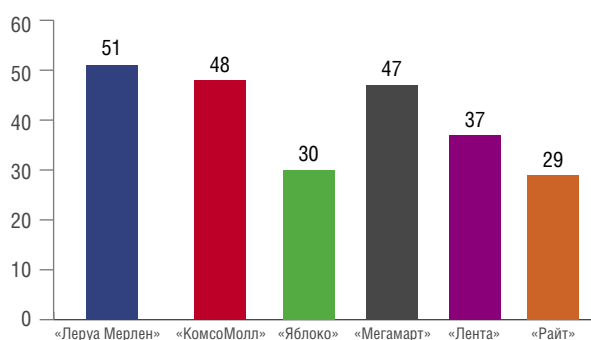


Рис. 10. Среднее время нахождения автомобилей на парковке торговых центров Екатеринбурга

Среднее время нахождения на парковке автомобиля в торговом центре «Мегамарт» составляет 47 минут, что сравнимо со значениями ТРЦ «КомсоМолл». Фактически «Мегамарт» — это продуктовый магазин, в котором также присутствуют товары хозяйственного назначения и другие сопутствующие услуги. Парковка данного торгового центра многоуровневая, что требует несколько большего времени на парковку автомобиля,

чем плоскостная стоянка. Кроме того, сам магазин построен в несколько уровней, поэтому посетитель затрачивает больше времени на покупки, чем в одноуровневых магазинах. Данные особенности объекта привели к тому, что среднее время стоянки автомобиля в «Мегамарте» сравнимо с крупными торгово-развлекательными центрами.

Гораздо меньший промежуток времени в среднем проводят автомобили на парковках торговых центров «Яблоко» и «Райт»: 30 и 29 минут соответственно. Торговый центр «Райт» имеет плоскую парковку, расположенную рядом с торговым павильоном. Парковка ТЦ «Яблоко» расположена рядом со зданием, имеется также парковка на крыше. В период, когда не хватает наземной парковки, водители используют парковку на крыше здания.

Среднее время нахождения автомобилей на парковке ТЦ «Лента» несколько выше, чем в торговых центрах «Райт» и «Яблоко», но ниже, чем в крупных торговых объектах, таких как «Леруа Мерлен», и составляет 37 минут. Данный торговый центр по специфике торговли и по схеме расположения стоянки близок к торговому центру «Райт», но среднее время нахождения автомобилей в нем на 27 % выше. Возможно, это связано с большим объемом торговых площадей,

а также со спецификой закупок. ТЦ «Лента» находится за чертой городской застройки, и добраться до него несколько сложнее и дольше, чем до любого другого продуктового центра в любом жилом районе. Покупатели используют данный торговый центр для отдельных крупных закупок гораздо реже. Это накладывает общий отпечаток на время нахождения автомобилей на парковке.

В заключение необходимо отметить, что другие торговые центры Екатеринбурга, а также платные и бесплатные парковки, расположенные в центре города, требуют аналогичных обследований. Точное понимание процесса работы вышеперечисленных объектов позволит выработать четкие и эффективные правила организации всего парковочного пространства города. Существующая ситуация с парковками в центре Екатеринбурга в некотором роде парадоксальна: на одной стороне улицы расположены платные парковки, а на противоположной стороне — бесплатные.

Разработки определенных правил требуют и парковочные пространства внутри дворовых территорий. В первую очередь это касается центральной части города. Введение платных парковок привело к тому, что автолюбители стали ставить свои автомобили на ближайших стоянках внутри жилых территорий. **ИТ**

### Список литературы

1. Шуп Д. Высокая стоимость бесплатной парковки / пер. с англ. под науч. ред. Мулеева Е. Ю. — М. : Изд-во ООО «Медиа Кар», 2014. — 784 с.
2. Блюдин А. А., Романкова А. А., Буркина В. А., Власов А. А. Моделирование работы парковок // Современная техника и технологии. — 2014. — № 12 [Электронный ресурс]. — URL: <http://technology.snauka.ru/2014/12/5097>

Объем статьи: 0,59 авторских листа

**Подписка на 2019 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 2019 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)

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

на 2019 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 Microsoft Office Word 2003, 2007.

## 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.

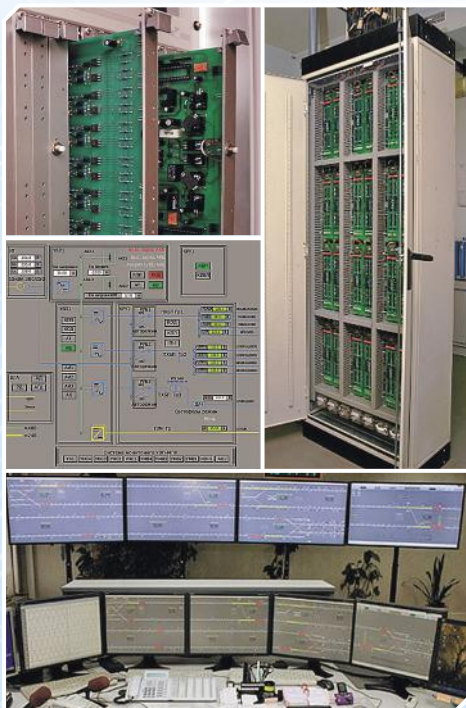
**6. Рисунки и таблицы.** Таблицы должны быть снабжены заголовками, а рисунки — подписями. Расположение заголовков: слово «Таблица» — в правый край таблицы; название таблицы располагается по центру над таблицей. В рисунках (диаграммах и графиках) слово «Рис.», номер и название рисунка располагаются по 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 подписи или в тексте статьи.

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

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

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

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



## РАЗРАБОТКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ВНЕДРЕНИЕ И СОПРОВОЖДЕНИЕ КОМПЛЕКСА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

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



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

