

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 1 (43)

март 2022

**Влияние неровностей пути в плане  
на интенсивность износа рельсов**

С. 31



Перспективы и этапы  
строительства автодороги  
М-12 Москва – Тюмень

Определение  
жизненного цикла тележки  
электропоезда ЭС2Г

Государственная система  
«Платон»: итоги первых  
пяти лет работы





ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

# РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

**ДАТА ОСНОВАНИЯ** — 1991 год

**ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ** — объединение ученых, специалистов и руководителей

**ПРИОРИТЕТНАЯ ЗАДАЧА** — проведение исследовательских и научно-технических работ

БОЛЕЕ **660** УЧЕНЫХ

**540** ДОКТОРОВ НАУК

БОЛЕЕ **120** КАНДИДАТОВ НАУК

**400** ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ

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

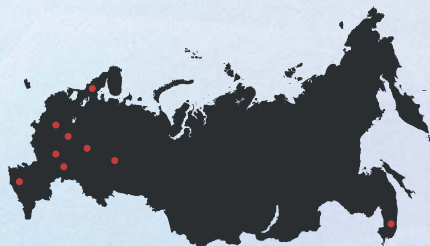
## НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ:

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

## КТО МОЖЕТ СТАТЬ ЧЛЕНОМ АКАДЕМИИ?

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

- доктора транспорта
- кандидата наук
- доктора наук



**2** ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
ОТДЕЛЕНИЯ

**8** РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ОТДЕЛЕНИЙ

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

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

## Инновационный транспорт (Иннотранс)

Научно-публицистическое издание

№ 1 (43), 2022 г.

Издается с ноября 2011 г.

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

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

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

**Редактирование и корректура** — Елена Владимировна Чагина

**Верстка и дизайн** — Андрей Викторович Трубин

**Адрес редакции и издателя:** 620034, г. Екатеринбург,

ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.

Веб-сайт: www.usurt.ru, e-mail: innotrans@mail.ru

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

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.

Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков  
и знаков обслуживания РФ 14.09.2016 г.

Изготовлено в ИБК УрГУПС,

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66.

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге

«Пресса России» — 85022. Цена 495,52 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X

Подписано в печать 30.03.2022. Дата выхода в свет 06.04.2022

Печать офсетная. Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–70). Заказ № 16

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет  
путей сообщения», 2022

© Общероссийская общественная организация

«Российская академия транспорта», 2022

### МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

## Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 1 (43), 2022

Published since November 2011

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

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

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

**Editing and proofreading** — Elena V. Chagina

**Layout and design** — Andrey V. Trubin

**Address of the editorial office:**

66 Kolmogorova Str., Ekaterinburg, 620034.

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

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

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

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

Released for printing on 30.03.2022. Date of issue 06.04.2022. Offset printing.  
Circulation 500 copies

© FGBOU VO Ural State University of Railway Transport, 2022

© All-Russian Public Organisation “Russian Academy of Transport”, 2022

### INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

### EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

**Elena N. Timukhina**, Doctor of Technical Sciences, professor, member of Russian Academy of Transport, Head of “Field operation management” department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, (Russia).

# СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>Богусевич С. А., Самуйлов В. М., Неволин Д. Г., Леушин В. А.</i> Скоростная автомобильная дорога М-12 Москва – Тюмень: перспективы и этапы строительства . . . . .	3
<i>Юницкий А. Э., Верзбалович Д. И., Мацкевич А. Н., Артошевский С. В.</i> Роль и место автоматизированной подсистемы электронных паспортов в единой интеллектуальной системе управления транспортно-инфраструктурного комплекса uST . . . . .	8

## Организация производства (транспорт)

<i>Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Наумов В. В.</i> Актуальные вопросы проектирования и расчетов армогрунтовых сооружений в учебном процессе специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути» . . . . .	16
<i>Лобанова Г. С.</i> Инженерный метод расчета восстановления несущей способности свай, погруженных с оттаиванием в многолетнемерзлый грунт . . . . .	24

## Управление процессами перевозок

<i>Жужгова Ю. Е., Жужгов А. Е.</i> К вопросу о контроле сохранности грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, с помощью цифровых систем . . . . .	27
--	----

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Лисицын А. И., Сидорова Е. А.</i> Влияние неровностей пути в плане на интенсивность износа рельсов . . . . .	31
<i>Сластенин А. Ю., Сидорова Е. А.</i> Механизм расчета колебаний на длинных неровностях . . . . .	38
<i>Дуванов Д. В., Смольянинов А. В., Колясов К. М.</i> К вопросу определения жизненного цикла пружин тележки электропоезда ЭС2Г . . . . .	43
<i>Бадретдинов Т. Н., Баянов И. Н.</i> Разработка мобильного устройства диагностирования разрегулировок опор контактной сети . . . . .	50
<i>Цихалевский И. С., Беляев И. С., Русаков А. Г.</i> Обзор мировых концепций по организации ремонта и обслуживания локомотивов. . . . .	56
<i>Емелина Н. В., Аккерман Г. Л.</i> Развитие тяжеловесного движения в России и мире: проблемы и перспективы . . . . .	59

## Эксплуатация автомобильного транспорта

<i>Басовский Д. А., Дегтярева И. Г.</i> Государственная система «Платон»: от неприятия к позитивному мультипликативному эффекту в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог . . . . .	64
--	----

# CONTENTS

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

<i>Sergey A. Bogushevich, Valeriy M. Samuylov, Dmitry G. Nevolin, Vasily A. Leushin.</i> High-speed highway M-12 Moscow – Tyumen: prospects and phases of construction . . . . .	3
<i>Anatoli E. Unitsky, Dzmitry I. Verzhbalovich, Artur N. Matskevich, Sergey V. Artyusheskiy.</i> The role and place of the automated subsystem of electronic passports in the unified intelligent management system of the uST transport and infrastructure complex. . . . .	8

## The organization of production (transport)

<i>Yury K. Frolovsky, Andrey A. Zaitsev, Vasily V. Naumov.</i> Current issues in designing and calculating of reinforced soil structures in the educational process of “Technical condition management of the railway track” specialization. . . . .	16
<i>Galina S. Lobanova.</i> Engineering method for calculating the restoration of bearing capacity of the piles immersed in permafrost soil with thawing . . . . .	24

## Management of transportation processes

<i>Yuliana E. Zhuzhgova, Andrey E. Zhuzhgov.</i> On the issue of safety control of cargo transported by railway transport using digital systems. . . . .	27
--	----

## Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Andrey I. Lisitsyn, Elena A. Sidorova.</i> Impact of track irregularities in plan on the intensity of rail wear. . . . .	31
<i>Alexander Y. Slastenin, Elena A. Sidorova.</i> The mechanism for calculating vibrations on long irregularities . . . . .	38
<i>Daniil V. Duvanov, Alexander V. Smolyaninov, Konstantin M. Kolyasov.</i> On the issue of estimating the life cycle of bogie springs of the ES2G electric train . . . . .	43
<i>Timur N. Badretdinov, Ildar N. Bayanov.</i> Development of a mobile device for diagnosing misalignments of the catenary poles . . . . .	50
<i>Igor S. Tsikhalevsky, Igor S. Belyaev, Anton G. Rusakov.</i> An overview of the world concepts for organization of repair and maintenance of locomotives. . . . .	56
<i>Nadezhda V. Emelina, Gennady L. Akkerman.</i> Development of heavyweight railway traffic in Russia and the world: challenges and prospects . . . . .	59

## Operation of motor transport

<i>Dmitry A. Basovsky, Irina G. Degtyareva.</i> The «Plato» state-initiated system: from rejection to a positive multiplier effect in the construction and operation of highways . . . . .	64
--	----





**Сергей Александрович  
Богушевич**

Sergey A. Bogushevich



**Валерий Михайлович  
Самуйлов**

Valeriy M. Samuylov



**Дмитрий Германович  
Неволин**

Dmitry G. Nevolin



**Василий Александрович  
Леушин**

Vasily A. Leushin

## Скоростная автомобильная дорога М-12 Москва – Тюмень: перспективы и этапы строительства

### High-speed highway M-12 Moscow – Tyumen: prospects and phases of construction

#### Аннотация

В статье рассматриваются основные сведения и хронология разработки проекта строительства платной скоростной автомобильной магистрали М-12 Москва – Тюмень. Описываются этапы строительства первого участка дороги от Москвы до Казани. Сделан вывод о необходимости строительства перспективных направлений для дальнейшего развития трассы М-12. Проанализирован экономический эффект от реализации проекта.

**Ключевые слова:** скоростная автомобильная дорога, М-12, автомагистраль, платная автомобильная дорога Москва — Тюмень, международный транспортный маршрут «Европа — Западный Китай».

#### Abstract

The article discusses the basic information and chronology of development of the project for construction of the M-12 Moscow – Tyumen toll highway. The phases of construction of the first section of the road from Moscow to Kazan are given a consideration. The conclusion is drawn upon the necessity to build promising routes for further development of the M-12 highway. The economic effect from the project implementation is analyzed.

**Keywords:** high-speed highway, M-12, motorway, Moscow – Tyumen toll road, «Europe – Western China» international transport route.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-3-7

#### Авторы | Authors

**Сергей Александрович Богушевич**, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Bogushevich96@mail.ru | **Валерий Михайлович Самуйлов**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: samuilov-sv@convex.ru | **Дмитрий Германович Неволин**, д-р техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: innotrans@mail.ru | **Василий Александрович Леушин**, магистрант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), индивидуальный предприниматель, Екатеринбург

**Sergey A. Bogushevich**, post-graduate student of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: Bogushevich96@mail.ru | **Valeriy M. Samuylov**, DSc in Engineering, Full Member of the RAT, Professor, World Economy and Logistics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: samuilov-sv@convex.ru | **Dmitry G. Nevolin**, Doctor of Technical Science, Full member of the Russian Academy of Transport, Professor of the Chair «Design and Operation of Automobiles» of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru | **Vasily A. Leushin**, Master's Degree student of the Ural State University of Railway Transport (USURT), private entrepreneur, Yekaterinburg



Рис. 1. Проект строительства автодороги М-12 Москва — Казань

Скоростная автомобильная дорога М-12 — это строящаяся автомобильная магистраль, которая в перспективе станет частью международного транспортного маршрута «Европа — Западный Китай», позволит связать прямым маршрутом около 20 региональных центров и пройдет через Московскую, Владимирскую, Нижегородскую области, республики Чувашия, Татарстан, Башкортостан, а также Свердловскую и Тюменскую области.

Строительство автомобильной дороги М-12 Москва – Тюмень включено в национальный проект «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года».

Автомагистраль относится к категории IA–IB и будет иметь от 4 до 6 полос для движения, с шириной каждой полосы 3,75 м. Скорость движения на автомобильной магистрали составит 120–130 км/ч, благодаря чему время поездки от Москвы до Казани и от Казани до Екатеринбурга сократится практически в два раза, с 12 до 6,5 и с 14 до 7 часов соответственно. В связи с этим значительно ускорятся транзитные перевозки, улучшится взаимосвязь между регионами страны. Автомагистраль М-12 будет способствовать развитию и созданию новых рабочих мест по маршруту следования автодороги, росту потока туристов, увеличит мобильность населения страны между крупнейшими культурными центрами, обеспечит высокий уровень комфорта пользователей автодороги.

Первоначально трасса М-12 планировалась как дублер трассы М-7 «Волга» (Москва – Владимир – Нижний Новгород – Казань – Уфа), но в отличие от нее она будет проходить через Арзамас, а не через Нижний Новгород (рис. 1).

## Хронология разработки проекта

7 мая 2018 г. вышел Указ Президента России № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», в котором дано поручение правительству утвердить комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры, предусматривающий обеспечение в 2024 г. развития транспортных коридоров «Запад – Восток» и «Север – Юг» для перевозки грузов, в том числе и за счет строительства и модернизации российских участков автомобильных дорог, относящихся к международному транспортному маршруту «Европа — Западный Китай» [1].

В сентябре 2018 г. президиум Совета по стратегическому развитию и национальным проектам под председательством премьер-министра РФ Д. А. Медведева одобрил план развития национальной транспортной инфраструктуры, который включал в себя строительство скоростной автодороги М-12 Москва – Казань [2].

В ноябре 2019 г. вице-премьер М. А. Акимов заявил о том, что полная готовность трассы М-12 Москва – Казань будет обеспечена к 2027 г. [3].

В июле 2020 г. глава правительства М. В. Мишустин на совещании по вопросам строительства автодороги «Европа – Западный Китай» в Елабуге сообщил, что трасса М-12 имеет особое значение для всего евразийского пространства, поэтому правительство ставит задачу ввести ее в эксплуатацию уже в 2024 г. [4].

В послании Федеральному Собранию в апреле 2021 г. Президент России В. В. Путин заявил, что «нужно форсировать уже идущее строительство скоростной автомагистрали Москва – Казань и, более того, продлить ее до Екатеринбурга, завершить этот проект за три года. Таким образом, в 2024 году с учетом действующей трассы Москва – Санкт-Петербург и Центральной кольцевой автодороги будет обеспечено безопасное скоростное движение автотранспорта через всю европейскую часть от Балтики до Урала» [5].

8 июля 2021 г. вице-премьер М. Ш. Хуснуллин, принявший участие в церемонии запуска Центральной кольцевой автодороги, заверил, что первые участки трассы будут открыты уже в 2022 г., основная часть — в 2023 г., а к 2024 г. трасса дойдет до Екатеринбурга [6].

## Этапы строительства трассы М-12 Москва — Казань

Строительство автодороги от Москвы до Казани разбили на девять этапов, включая нулевой (рис. 2) [7].

### Нулевой этап — Московская область

Будущая трасса М-12 пойдет от Центральной кольцевой автодороги, для выхода на трассу будет предусмотрен обход подмосковных городов Ногинска и Балашихи. Протяженность этого участка 65 км. Работы на данном этапе строительства ведутся с конца 2020 г. С марта 2021 г. началось проектирование первого этапа строительства.

На участке от транспортной развязки с ЦКАД до Орехово-Зуево идет подготовка территории под строительство, перенос коммуникаций и обустройство технологических дорог. Договор на проектирование нулевого этапа заключили в ноябре 2020 г. с компанией «Транстроймеханизация».

### Первый этап — Московская и Владимирская области

На первом этапе участок автодороги протяженностью 80 км пройдет через Московскую и Владимирскую области от пересечения с автодорогой федерального значения А-108 «Московское большое кольцо» до пересечения с автомобильной дорогой М-7 «Волга». Подрядчиком выступает АО «Стройтрансгаз».

### Второй этап — Владимирская область

Второй этап включает участок протяженностью 36 км (с 80-го по 116-й км), который пройдет по территории Владимирской области. На участке построят транспортную развязку на пересечении М-12 с региональной дорогой 17К-2 «Муром» и М-7 «Волга». Подрядчик — ООО «РСК».

### Третий этап — Владимирская область

Третий этап строительства охватывает участок дороги протяженностью 108 км, который пройдет по территории Владимирской области от трассы Р-132 до города Муром. Строительством займется АО «ВАД».

### Четвертый этап — Владимирская и Нижегородская области

Трасса пойдет от Мурома до автодороги Р-158 в районе Арзамаса. Четвертый этап строительства охватывает 123 км будущей автотрассы. Около 40 км дороги М-12 пройдут по поймам рек Оки и Суры. На Оке будет возведен вантовый мост, в настоящее время здесь действует паромная переправа. А на 300-м километре трассы М-12 в Нижегородской области будет построена большая транспортная развязка. Подрядчиком выступит АО «ДСК» Автобан».

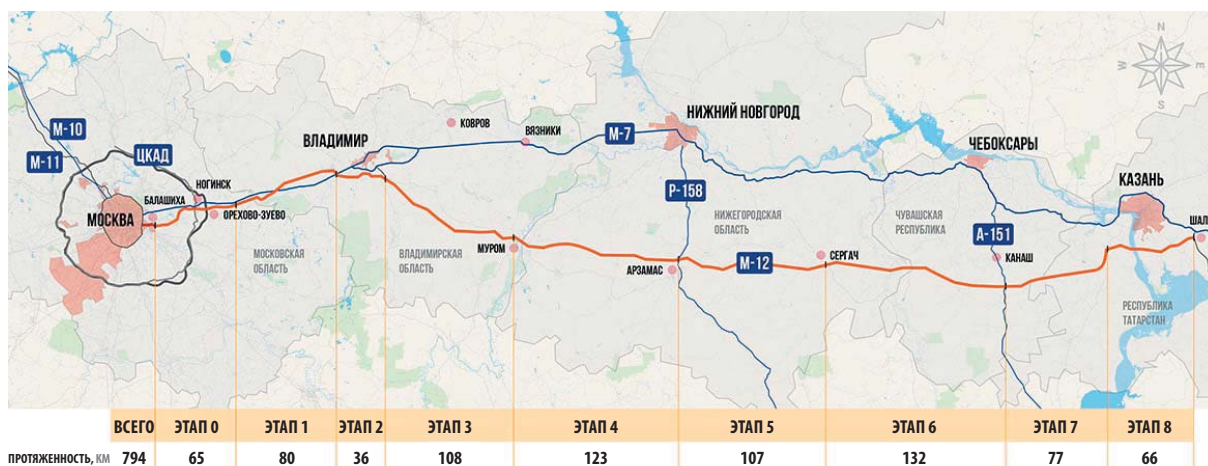


Рис. 2. Протяженность участков и этапы строительства автомобильной дороги М-12 Москва — Казань [8]



## Пятый этап — Нижегородская область

Пятый этап строительства охватывает 107 км будущей автомагистрали М-12 «Москва – Казань». На этом участке необходимо пересечь реку Пьяну в Нижегородской области. На пересечении М-12 с трассой Р-158 Нижний Новгород – Арзамас – Саранск – Исса – Пенза – Саратов построят транспортную развязку. Подрядчик — китайская корпорация CRCC в лице ООО «СиАрСиСи рус».

## Шестой этап — Нижегородская область и Республика Чувашия

Шестой этап строительства включает участок протяженностью 132 км. На этом участке построят монолитный мост через реку Сура. Подрядчик — АО «ДСК «Автобан».

## Седьмой этап — Республики Чувашия и Татарстан

Седьмой этап строительства будущей автодороги охватывает участок протяженностью 77 км в Чувашии и Татарстане. На этом участке будет построен новый шести-пролетный мост через реку Свягу. Всего на седьмом этапе планируется возвести около 35 искусственных сооружений — мосты через реки, ручьи, овраги, путепроводы через региональные и областные дороги. На пересечении М-12 с автодорогой А-151 Цивильск – Ульяновск будет построена транспортная развязка. Дополнительную развязку также построят в Татарстане на пересечении М-12 с автодорогой 16К-0925 Большие Кайбицы — Камылово. Конкурс на строительство был отменен, на данный момент подрядчик не выбран.

## Восьмой этап — Республика Татарстан

Восьмой этап строительства включает участок протяженностью 66 км по Республике Татарстан. На этом участке планируется построить уникальный мост через Волгу длиной более 3 км. Подрядчик — ООО «Трансстроймеханизация».

## Перспективы развития автодороги М-12 Москва — Казань

Важным фактором в развитии автодороги М-12 является ее продление до Екатеринбурга и Тюмени. В рамках строительства планируется частично использовать существующую сеть дорог, принадлежащих Росавтодору. Так, трасса М-7 от Казани до Набережных Челнов

в 2018 г. уже расширена до четырех полос. Обход Набережных Челнов с мостом через Каму у села Соколка (89 км) уже начал строиться и будет платным. Участок трассы М-7 от Набережных Челнов до границы с Башкортостаном будет капитально отремонтирован. Будет построен обход села Верхняяркеево от границы с Татарстаном до города Дюртюли. Участок трассы Дюртюли – Ачит протяженностью 288 км будет построен с нуля. А дорогу от Ачита до Екатеринбурга ожидает капитальный ремонт.

3 сентября 2021 г. председатель правления ГК «Российские автомобильные дороги» Вячеслав Петушенко заявил о том, что работы над дорогой от Казани до Екатеринбурга ведутся совместно с Федеральным дорожным агентством. На данный момент идет работа над проектированием, в планах — до конца 2021 г. начать строительство и подготовку территории.

Стоимость всего участка автодороги от Казани до Екатеринбурга по предварительным расчетам может достичь 500 млрд рублей [9].

## Ожидаемый эффект от реализации проекта строительства скоростной автомобильной дороги М-12 Москва — Тюмень

Стоимость строительства автодороги от Москвы до Казани составит 650 млрд рублей, до 75 % суммы потребуется от государства, а часть — в размере 150 млрд рублей — будет получена из Фонда национального благосостояния и должна будет вернуться за счет увеличения мобильности жителей регионов и увеличения скорости и объемов доставки грузов, а также платы за пользование автодорогой.

В июле 2020 г. М. В. Мишустин на совещании по вопросам строительства автодороги «Европа — Западный Китай» отметил, что «автотрасса обеспечит безостановочное скоростное автомобильное сообщение между четырьмя из восьми крупнейших агломераций России — Московской, Самарско-Тольяттинской, Нижегородской и Казанской. Проект дает регионам импульс к ускоренному развитию. Суммарный прирост внутреннего регионального продукта на этих территориях составит более 500 млрд рублей к 2050 году» [4].

В зоне влияния автомагистрали окажется 60 % населения и большинство производственных отраслей страны [10]: 70 % автомобильной промышленности, 50 % аэрокосмической и оборонной промышленности, 40 % металлургии, 30 % машиностроения и приборостроения, 25 % переработка нефти, химии, нефтехимии и газохимии, производства минеральных удобрений, 20 % производства продуктов и сельского хозяйства.



В пути следования по автодороге М-12 будут располагаться развязки с различными уровнями для предотвращения пересечений автодорог, подземные и наземные пешеходные переходы, автозаправки, автосервисы, отели, магазины, предприятия общественного питания, выезды на бесплатные автодороги-дублеры.

Проект автомобильной дороги от Набережных Челнов до Екатеринбурга в перспективе позволит замкнуть транспортный маршрут «Европа — Западный Китай» и обеспечит по нему бесперебойный транзит товаров и грузов.

В непосредственной близости от места строительства будущей автомобильной магистрали М-12 проживает более 45 млн человек, а с учетом всех территорий, входящих в зону тяготения, численность может возрасти до 62 млн. По предварительным расчетам покупательной способности, это регионы со средним и высоким доходом (валовой региональный продукт на душу населения составляет в данных регионах от 15 до 25 тысяч долларов), что обеспечивает высокий потенциал для будущего спроса на услуги данной скоростной автомагистрали.

Автомагистраль М-12 после ее открытия станет платной автомобильной дорогой. Стоимость движения по трассе будет зависеть от типа автомобиля и варьироваться от 2,5 до 4 рублей за один пройденный километр.

Транспортно-экономические исследования предварительно показывают, что маршрут движения из Москвы до Тюмени привлечет с момента ввода в эксплуатацию к 2025 г. 70 млн т внутреннего грузопотока.

Ожидаемый общий эффект на валовой региональный продукт субъектов в зоне прохождения автомобильной дороги М-12 к 2045 г. должен составить около 2,4 трлн рублей, при этом прямой бюджетный эффект, представляющий собой доход от налогов и сборов, со-

ставляет порядка 600 млрд рублей. Источником дополнительного инвестиционного ресурса для существующих промышленных компаний будет экономия на транспортно-логистических услугах.

Участок трассы М-12 от Москвы до Казани с дальнейшим ответвлением на Екатеринбург станет новой планировочной осью важнейших субъектов Российской Федерации, объединит сложившиеся крупнейшие агломерации с новыми точками экономического роста.

## Влияние автомобильной дороги М-12 на безопасность движения

Строительство и ввод в эксплуатацию платной автомобильной дороги М-12 по одному из самых загруженных направлений в стране — из центральной части на Урал — приведет к оттоку автомобильного трафика с федеральных трасс М-7 «Волга» и М-5 «Урал» и позволит обеспечить исполнение Указа Президента РФ № 204 в части снижения смертности в результате дорожно-транспортных происшествий в 3,5 раза.

Для примера можно привести автомобильную трассу М-11 «Нева». Благодаря вводу в эксплуатацию новой платной автодороги было зафиксировано снижение показателей смертности в коридоре между Санкт-Петербургом и Москвой в два раза.

Таким образом, строительство платной автомобильной дороги М-12 произведет не только положительный экономический эффект, но и будет способствовать повышению безопасности дорожного движения, уменьшению времени транспортировки грузов и обеспечению комфорта передвижения по дорогам РФ. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // Официальный сайт «Президент России». — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>.
2. Заседание президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам // Официальный сайт «Правительство России». — URL: <http://government.ru/news/34072>.
3. Акимов подтвердил планы построить новую трассу из Москвы в Казань к 2027 году // Ведомости. — URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2019/11/01/815299-akimov>.
4. О строительстве автодороги «Европа — Западный Китай» // Официальный сайт «Правительство России». — URL: <http://government.ru/news/40002>.
5. Послание Президента Федеральному Собранию // Официальный сайт «Президент России». — URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/65418>.
6. Путин предложил продлить трассу Москва — Казань до Челябинска // 74.ru. — URL: <https://74.ru/text/transport/2021/07/08/70015454>.
7. Как будут строить трассу М-12 Москва — Казань. — URL: <https://rg.ru/2021/08/08/kak-budut-stroit-trassu-m-12-moskva-kazan.html>.
8. М-12 Москва — Нижний Новгород — Казань // Официальный сайт государственной компании «Автодор». — URL: [https://russianhighways.ru/for\\_investor/m-12](https://russianhighways.ru/for_investor/m-12).
9. Строительство трассы Казань — Екатеринбург начнется не раньше 2022 года. — URL: <https://ekb.rbc.ru/ekb/freenews/6135eb929a79471b363411cf>.
10. Подробности о трассах М-12 и «Европа — Западный Китай»: протяженность, маршрут и стоимость // Сетевое издание «Снег». — URL: <https://sntat.ru/news/podrobnosti-o-trassah-m12-i-evropa-zapadnyy-kitay-protyazhennost-marshrut-i-stoimost-5756321>.

Объем статьи: 0,51 авторских листа



**Анатолий Эдуардович Юницкий**

Anatoli E. Unitsky



**Дмитрий Игоревич Вержбалович**

Dmistry I. Verzhbalovich



**Артур Николаевич Мацкевич**

Artur N. Matskevich



**Сергей Владимирович Артюшевский**

Sergey V. Artyushevskiy

## Роль и место автоматизированной подсистемы электронных паспортов в единой интеллектуальной системе управления транспортно-инфраструктурного комплекса uST

### The role and place of the automated subsystem of electronic passports in the unified intelligent management system of the uST transport and infrastructure complex

#### Аннотация

В статье изложены концептуальные основы построения автоматизированной подсистемы электронных паспортов транспортных средств и объектов инфраструктуры транспортного комплекса Юницкого, показана важность и необходимость данной подсистемы для эффективного и безопасного управления перспективным видом транспорта — струнным транспортом Юницкого.

**Ключевые слова:** струнный транспортный комплекс, интеллектуальная система управления, электронный паспорт, блокчейн, кибернетическая модель.

#### Abstract

The article outlines the conceptual foundations for the construction of the automated subsystem of electronic passports of vehicles and infrastructure facilities of the Yunitskiy transport complex, illustrates the importance and necessity of this subsystem for the efficient and secure management of a high-potential mode of transport – Yunitskiy string transport.

**Keywords:** string transport complex, intelligent management system, electronic passport, blockchain, cybernetic model.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-8-15

#### Авторы Authors

*Анатолий Эдуардович Юницкий, генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: a@unitsky.com | Дмитрий Игоревич Вержбалович, канд. техн. наук, начальник отдела разработки и внедрения информационных систем ОАО «ЦНИИТУ», Минск; e-mail: 3964698@tut.by | Артур Николаевич Мацкевич, канд. техн. наук, ведущий системный аналитик ОАО «ЦНИИТУ», Минск; e-mail: arturma@mail.ru | Сергей Владимирович Артюшевский, заместитель генерального конструктора по науке ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: s.artushevskiy@unitsky.com*

*Anatoli E. Unitsky, General Designer, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: a@unitsky.com | Dmistry I. Verzhbalovich, candidate of technical sciences, Head of Department for Development and Implementation of Information Systems, PC «ЦНИИТУ», Minsk; e-mail: 3964698@tut.by | Artur N. Matskevich, candidate of technical sciences, Lead Systems Analyst, PC «ЦНИИТУ», Minsk; e-mail: arturma@mail.ru | Sergey V. Artyushevskiy, Deputy General Designer for Science, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: s.artushevskiy@unitsky.com*

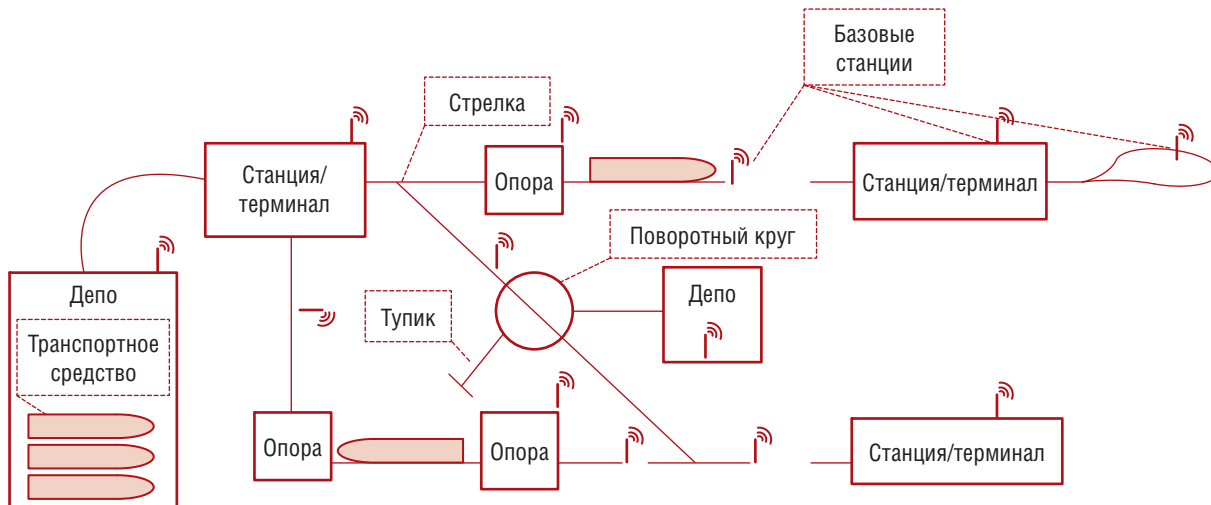


Рис. 1. Вариант структуры транспортного комплекса uST

Unitky String Technologies — международная инженерная компания, занимающаяся разработкой и внедрением инновационных, экологически чистых, безопасных революционных транспортных систем второго уровня. Базовой единицей таких систем является струнный транспортный комплекс uST (ТК).

Струнный транспортный комплекс uST представляет собой сложную систему с практически бесконечным жизненным циклом. В его состав в зависимости от внешних и внутренних условий, решаемых задач и других факторов входит большое количество компонентов, таких как транспортные средства (ТС) различных типов, путевая структура эстакадного типа, системы безопасности, многоцелевая инфраструктура (транспортная, информационная, энергетическая) и ряд других.

Вариант структуры транспортного комплекса uST представлен на рис. 1.

При этом транспортный комплекс должен функционировать в высоконагруженном интенсивном режиме, обслуживать значительные пассажиро- и грузопотоки, работать в самых разных климатических зонах и широком диапазоне условий внешней среды.

В процессе функционирования (даже в течение дня) транспортный комплекс может достаточно динамично менять свой состав и конфигурацию. Его структура и состав могут непрерывно оптимизироваться. Компоненты по различным причинам могут исключаться из состава комплекса, заменяться на новые, менять свой функционал и режимы работы [1].

Управление такой системой является сложной и достаточно нетривиальной задачей.

Для эффективного и безопасного управления транспортным комплексом в его состав планируется включить интеллектуальную систему управления (ИСУ). В зависимости от структуры ТК, его параметров, характеристик и назначений, состав ИСУ и решаемые ею задачи

также могут различаться. В рассматриваемом варианте ИСУ имеет иерархическую структуру (рис. 2) и включает в себя:

- центральную интеллектуальную систему управления (ЦИСУ) — систему управления процессами в транспортном комплексе в целом;
- интеллектуальную систему управления депо (ИСУ-Д) — систему управления процессами в депо;
- интеллектуальную систему управления станции (ИСУ-С) — систему управления процессами пассажироперевозок в зонах ответственности станций;
- интеллектуальную систему управления терминалом — систему управления процессами грузоперевозок в зонах ответственности погрузочно-разгрузочных терминалов;
- компоненты системы управления, расположенные на путевой инфраструктуре (ПИ);
- интеллектуальную систему управления транспортного средства, которая, в свою очередь, состоит из бортовой интеллектуальной системы управления (БИСУ) и бортовой системы управления (БСУ).

Информационное взаимодействие транспортных средств с другими компонентами транспортного комплекса предлагается реализовать по высокоскоростной беспроводной связи, которая обеспечивается системой базовых станций, размещаемых на компонентах ТК.

ИСУ ТК должна обеспечивать решение следующих задач:

- осуществлять оперативный сбор и обработку информации о текущем состоянии транспортного комплекса;
- автоматически просчитывать логистические схемы доставки грузов и пассажиров, разрабатывать и корректировать маршруты ТС, оптимизировать транспортные потоки;



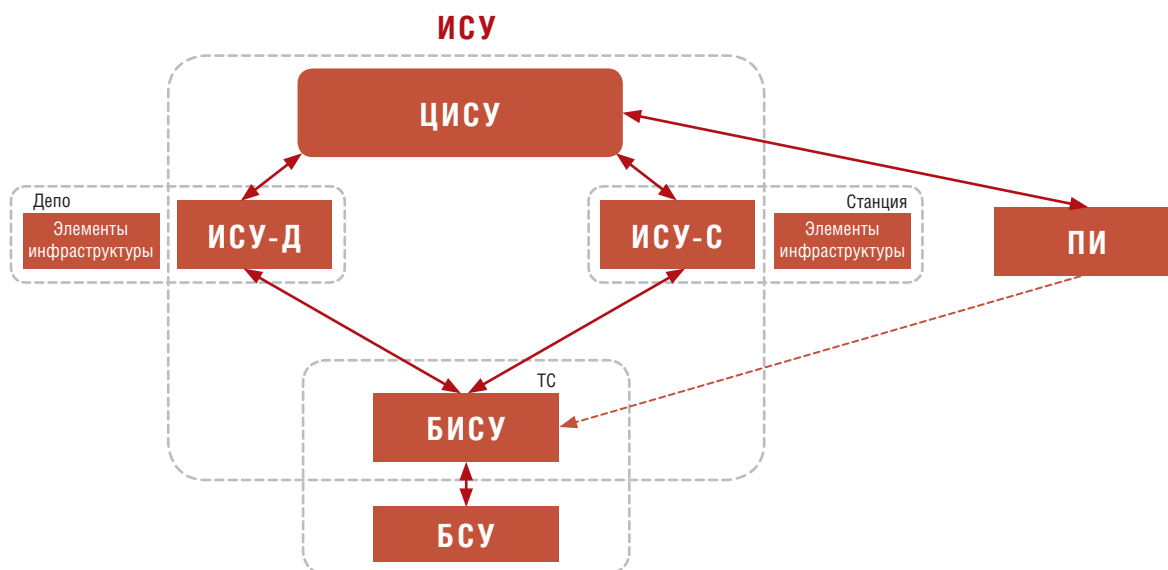


Рис. 2. Структура систем управления в транспортном комплексе uST (вариант):

ИСУ — интеллектуальная система управления; ЦИСУ — центральная ИСУ; ИСУ-Д — ИСУ депо; ИСУ-С — ИСУ станции; БИСУ — бортовая ИСУ транспортного средства; БСУ — бортовая система управления; ПИ — путевая инфраструктура; ТС — транспортное средство

- прогнозировать возможное изменение параметров транспортных потоков и выбирать оптимальные решения по режимам работы ТК;
- корректировать движение транспорта в зависимости от ситуации на транспортной сети и пассажиропотока ТК;
- на основе собранной и обработанной информации прогнозировать возможные проблемы и внедрять корректирующие мероприятия для их недопущения или устранения;
- информировать соответствующие службы при возникновении аварийных и природных чрезвычайных ситуаций.

Для решения вышеперечисленных задач система управления должна обладать достаточной, точной и актуальной информацией о состоянии всех компонентов комплекса — обладать характеристиками и функциональными возможностями (кибернетическими моделями) реальных объектов.

В рассматриваемом варианте реализации ИСУ ТК в качестве информационной базы данных предлагается использовать электронные паспорта как часть кибернетических моделей реальных объектов.

Паспорт — важнейший компонент эксплуатационной документации технического устройства. Это документ, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и свойств изделия, а также сведения о сертификации и утилизации изделия (ГОСТ 2.601–2006). В сфере транспорта применяются такие документы, как ПТС (паспорт транспортного средства), ПШТС (паспорт шасси транспортного средства) и ряд других — в зависимости от вида транспортной техники.

Существующие бумажные версии паспортов имеют целый ряд существенных недостатков:

- для их изготовления требуются специализированные бланки строгой отчетности, специальные процедуры по работе с ними, специальный персонал и т.д.;
- с течением времени они подвергаются износу, утере, что требует процедуры по их замене/восстановлению/перевыпуску;
- ограниченная емкость — бумажные паспорта хранят мало информации о транспортном средстве, изменение этих сведений является непостоянной процедурой;
- сложные процедуры обмена паспортной информацией между заинтересованными участниками;
- криминальный аспект — документы могут быть сфальсифицированы, они могут иметь дубликаты, быть выпущены на транспортную технику, которая не соответствует требованиям и сертификатам и т.д.

Перечисленные недостатки снижают показатели надежности, безопасности и экономическую эффективность системы при эксплуатации.

Этих проблем можно избежать, поместив паспортную информацию в единое информационное пространство, создав электронные документы и систему работы с ними.

Переход от бумажных документов к электронным — процесс естественный. В транспортной сфере эта тенденция позволяет решать вышеуказанные недостатки и имеет ряд дополнительных преимуществ. Наличие электронного паспорта транспортного средства (ЭПТС) позволяет оперативно получать самую разнообразную информацию по любому конкретному транспортному

средству. ЭПТС в отличие от бумажного ПТС практически не имеет ограничений по объему хранимой информации, поэтому он может фиксировать многократно большее количество данных, параметров и характеристик.

Очевидно, что рассматривать электронный паспорт как аналог бумажного документа — слишком узко. Электронный паспорт воплощает в себе целый ряд современных тенденций и перспективных направлений автоматизации и интеллектуализации управления:

- однократный ввод данных в систему для обеспечения выполнения различных задач и функций;
- возрастание роли и степени подробности цифровых моделей реальных управляемых объектов. Качество этих моделей непосредственно влияет на качество принимаемых управленческих решений;
- включение в единые системы мелкосерийных и уникальных объектов;
- наиболее полная автоматизация систем технического обслуживания и ремонта (ТОИР) и др.

Привязанные к ЭПТС данные логирования позволяют автоматически собирать статистическую информацию по учету времени наработки, расходования ресурсов, планирования различных видов технического обслуживания, сервисных операций и ремонта, прогнозировать ожидаемое состояние транспортного средства и его элементов, ряд других задач, поэтому ЭПТС имеет высокую степень актуальности.

Недостатком всех электронных документов и баз данных является потенциальная уязвимость перед киберпреступниками. В решении этой проблемы достаточно перспективным выглядит путь использования распределенных баз данных, базирующихся, например, на технологии блокчейн. Централизованное/распределенное изготовление и хранение ЭПТС решает собственно проблему хранения и доступности документа, а также их физическую деградацию со временем.

Таким образом, электронные паспорта при определенных условиях можно рассматривать в качестве статистическо-аналитической информационной базы данных, входящей в состав кибернетической модели реальных объектов. Для работы с электронными паспортами потребуются создание специализированной автоматизированной системы (АСЭП) как одной из подсистем ИСУ.

Актуальность перехода на электронные паспорта подтверждает и международный опыт. Так, в Евразийском экономическом союзе создается единая межгосударственная автоматизированная система по работе с ЭПТС. Планировалось, что с 1 ноября 2021 г. вся вновь изготавливаемая транспортная техника будет выпускаться с ЭПТС [2], от ПТС предполагалось полностью отказаться.

В США действуют системы Carfax и AutoCheck, функционал которых близок к АСЭП. Аналогичные системы с несколько отличающимися алгоритмами действий и доступа к информации существуют в Европейском союзе, Японии, Корее, Китае и ряде других стран.

Важным является тот факт, что АСЭП существенно снижает криминальную угрозу. Такая система не позволит выпускать фальшивые паспорта, дубликаты, паспорта на технику, не соответствующую требованиям безопасности и регламентам. Любая операция с электронными паспортами будет исполняться после полной проверки лица, осуществляющего действие, его прав доступа, полномочий, фиксироваться и подписываться электронной подписью.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что задача внедрения электронных паспортов и создания АСЭП как подсистемы ИСУ является актуальной, соответствует общемировым тенденциям, относится к классу инновационных. Создание такой подсистемы для струнного транспорта Юницкого обоснованно и целесообразно, поскольку в настоящее время компания uST готова перейти от этапа проектирования и тестирования к стадии серийного производства и открытых коммерческих продаж на международном рынке [3].

При работе с электронными паспортами любых изделий (компонентов ТК) на основных этапах жизненного цикла (рис. 3) должны быть выполнены следующие требования:

1) сохранность (неизменность) электронных записей в базе электронных паспортов, защита от подделок (обеспечивается, как правило, применением функций хэширования, расчетом контрольных сумм, другими процедурами, применение которых зафиксировано в нормативной базе);

2) идентифицируемость любой операции с электронными паспортами, возможность определить происхождение каждой операции и каждой записи, хранение истории изменений (обеспечивается применением процедур аутентификации и идентификации, использованием электронных цифровых подписей и электронных кодов (паролей) лиц, имеющих соответствующие полномочия, процедурами логирования и архивирования);

3) защита от несанкционированного доступа к базе электронных паспортов (обеспечивается, как правило, применением совокупности программных и технических средств, таких как «электронные ключи», средства биометрической аутентификации, система паролей и средства криптографической защиты информации).

Электронный паспорт практически не имеет ограничений по объему, может хранить гораздо больше разнообразных сведений о реальном состоянии технического средства. Это позволяет создать многофункциональную систему сопровождения технического средства в течение всего жизненного цикла. Электронный паспорт в состоянии фиксировать текущее состояние объекта, а не заводское, что позволяет управлять объектами с большей эффективностью.

Практика показывает, что для серийного транспортного комплекса, особенно в высоконагруженном режиме, на первый план выходят такие параметры, как:

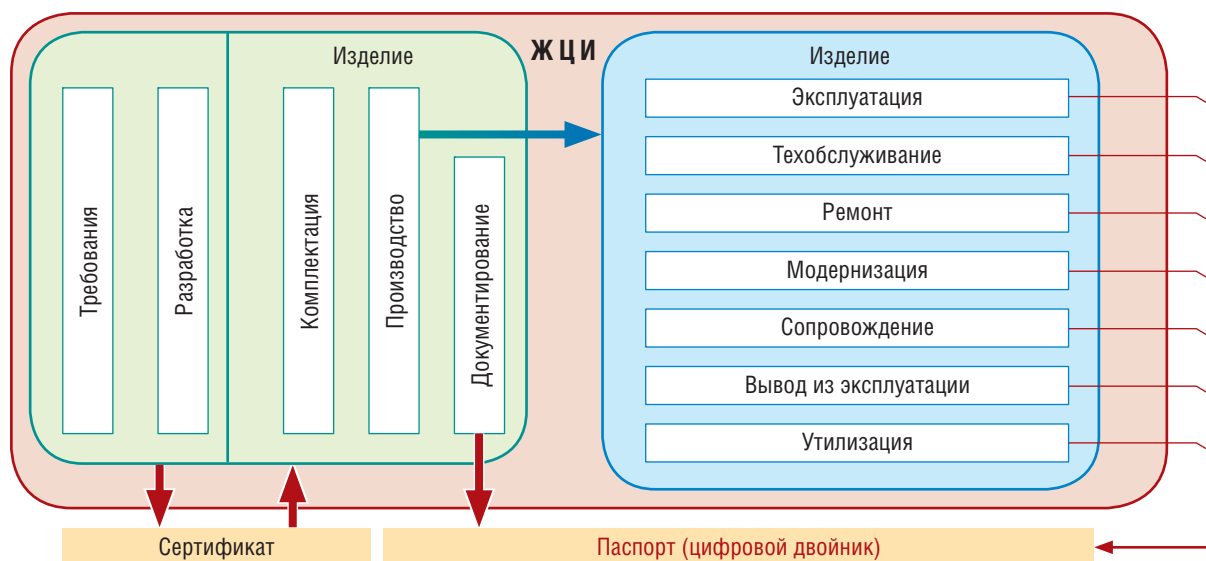


Рис. 3. Жизненный цикл изделия в составе транспортного комплекса uST (вариант)

- скорость реакции транспорта на команды управления;
- время выполнения задачи исполнительными механизмами инфраструктуры;
- инерционность исполнительных устройств и систем;
- степень износа определенных элементов и ресурсов.

Не менее важную роль при этом играет и адекватная оценка реального состояния объектов инфраструктуры. Наличие в составе ИСУ кибернетических моделей реальных объектов позволяет решать стоящие перед ней задачи более эффективно и безопасно.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что электронный паспорт — это обобщающий документ, объединяющий технические и эксплуатационные данные об изделии на протяжении его жизненного цикла и предназначенный для:

- учета текущей комплектности и состояния изделия;
- учета наработки изделия и его составных частей;
- учета данных о ресурсах и сроках службы изделия и его составных частей (гарантийных, назначенных и межремонтных ресурсов);
- информирования о необходимости проведения работ по техническому обслуживанию, сервисным процедурам, ремонту изделия;
- учета выполнения технического обслуживания изделий, сервисных процедур, ремонтов;
- других задач в интересах разработчика, изготовителя, эксплуатирующих и ремонтных организаций.

Создание АСЭП как подсистемы ИСУ потенциально предоставляет очень широкий функционал. Такая система должна информационно обеспечивать большое количество процессов:

- формирование в реальном масштабе времени (дискретно) информационной базы данных для каждого конкретного транспортного средства;
- выработку индивидуально направленных рекомендательных сервисных работ для каждого конкретного транспортного средства;
- формирование плана поездки и маршрутного задания с учетом запаса ресурсов;
- функцию отслеживания местоположения ТС в определенный момент времени;
- мониторинг степени работоспособности компонентов;
- планирование ремонта;
- подбор требуемых расходных материалов и запасных частей;
- планирование техобслуживания;
- фиксацию нештатных ситуаций и учет их последствий;
- отслеживание истории ТС;
- синхронизацию характеристик ТС при формировании виртуальных сцепок;
- формирование виртуальных зон безопасности и т.д.

Использование электронных паспортов не должно ограничиваться только транспортными средствами. Область их применения — весь транспортный комплекс. Любой компонент uST может быть отнесен к сложному техническому средству, а значит, требует ведения паспорта или аналогичного документа. При нагруженных режимах работы комплекса uST каждый его компонент должен работать слаженно и согласованно.

Для управления такими объектами ИСУ также должна обладать их кибернетическими моделями. По аналогии с электронными паспортами транспортных средств такими моделями могут стать электронные паспорта этих объектов.





Рис. 4. Место АСЭП в uST (вариант)

В итоге в составе АСЭП появляется возможность ведения электронных паспортов не только транспортных средств, но и объектов инфраструктуры и, как следствие, транспортного комплекса в целом.

Для реализации указанной подсистемы и ее успешной интеграции в состав ИСУ на первом этапе необходимо изучить информационные потребности других подсистем, сформировать предварительный состав и структуру электронных паспортов для различных компонентов, проработать концепцию АСЭП и включить ее в состав интеллектуальной системы управления uST.

Концепция (или иной концептуальный документ) АСЭП должна:

- описывать принципы организации, архитектуру, концептуальные основы построения АСЭП, ее роль и место в ИСУ;
- нормативно обеспечивать и фиксировать единые образные процессы разработки подсистем, взаимодействующих с АСЭП;
- определять структуру АСЭП и взаимосвязи между АСЭП и другими подсистемами ИСУ;
- обеспечивать единый терминологический и понятийный базис при разработке компонентов, элементов и подсистем АСЭП;
- определять процессы информационного обеспечения транспортного комплекса и его составляющих на всех этапах жизненного цикла.

Концепция предназначена для формирования единой политики создания и внедрения АСЭП, создания условий для системной комплексной разработки стандартов предприятия, программ и планов создания АСЭП и ее компонентов, создания условий для разработки и внедрения АСЭП.

Разработка и последующая реализация концепции приведет к оптимизации широкого ряда бизнес-процессов, связанных с созданием, вводом в эксплуатацию, поддержкой, обеспечением, обслуживанием, сертификацией. Стратегической целью концепции АСЭП следует считать существенное повышение комфортности пользования продукцией uST для всех потребителей на всех этапах жизненного цикла, поддержание имиджа фирмы как передовой, инновационной, клиентоориентированной.

Потенциально применение АСЭП позволит решать целый ряд задач. Например, организовывать централизованное планирование изготовления и поставок расходных материалов и запчастей к моменту их ожидаемого потребления, формирование актуального графика техобслуживания при эксплуатации, информировать о состоянии компонентов ТК на ближайшую перспективу и т.д.

Информационное взаимодействие АСЭП с другими компонентами uST представлено на рис. 4.

При разработке АСЭП uST следует придерживаться следующего жизненного цикла:

1) разработчик анализирует требования заказчика АСЭП, типичных потребителей услуг ТК, условий функционирования ТК;

2) на основе этих требований разрабатывает архитектуру, структуру и состав АСЭП;

3) ТК присваивается уникальный идентификатор, и формируется специальная база данных — электронный паспорт транспортного комплекса (далее — ЭПТК);

4) по окончании изготовления каждого инфраструктурного компонента он также получает уникальный идентификационный номер и ЭП, формат которого зависит от типа объекта, но унифицирован по типовому признаку в организации. При этом каждый ЭП содержит состав устройства; через соответствующие поля подключаются другие записи, характеризующие составные части;

5) каждый подключенный (построенный) объект инфраструктуры регистрируется в составе ТК в электронном паспорте данного ТК. При этом ЭП компонента подключается как ветвь к ЭПТК;

6) в результате формируется древовидная (ветвящаяся) структура данных от ТК в целом до определенных агрегатов и элементов.

Транспортные средства в процессе своего производства также получают электронные паспорта, разветвленные до требуемой степени агрегирования. При поставке требуемого количества ТС для ТК их электрон-

ные паспорта регистрируются в составе ЭПТК. Таким образом завершается этап первоначального формирования ЭПТК. Можно считать, что сформированный ЭПТК представляет собой актуальную информационную модель реального ТК, а каждый нижестоящий ЭП — информационную модель компонента, агрегата, элемента соответственно.

В процессе эксплуатации фиксируется множество параметров. Например, для ТС к таким относятся: пройденное расстояние, время работы, график выполнения маршрутного задания, основные параметры ТС с привязкой ко времени, сбои функционирования ТС и т.д. Указанные параметры должны фиксироваться системой. Некоторые параметры должны подключаться к соответствующим полям ЭПТС. Например, учитывается пробег ТС, время наработки, фиксируется время основных событий и т.д. Перечень параметров, учитываемых в АСЭП, и форматы предоставляемых данных будут проработаны в ходе дальнейшей работы. Вариант интерфейса АСЭП и ST представлен на рис. 5.

Имея полную информационную осведомленность о состоянии всех компонентов транспортного комплекса, ИСУ будет с большей эффективностью принимать организационно-управленческие решения, планировать различные виды обслуживания и ремонта компонентов ТК, собирать и анализировать различные статистические данные.

Карточка транспортного средства

Внесите данные, заполнив поля карточки! Данная форма относится к одному конкретному транспортному средству.

Отменить Сохранить

Общие параметры Технические характеристики Дополнительные данные

✓ Параметры группы 1

- Модель ТС: Транспорт ССС
- Исполнение: Транспорт ССС

✓ Параметры группы 2

- Комплектация: Транспорт ССС
- Модификация: Транспорт ССС

✓ Цвет

- Название и RAL цвета ТС: Серебристый SF-001

✓ Параметры группы 4

- Название 4.1: Введите данные...
- Название 4.2: Введите данные...

✓ Параметры группы 5

- Название 5.1: Введите данные...
- Название 5.2: Введите данные...

Климатическое исполнение

Климатическая зона	Категория размещения	Рабочие температуры, С°		Предельные температуры, С°		Относительная влажность	
		(-)	(+)	Min.	Max.	Среднегодовая	Max. граница
0 - общеклиматический кл...	3, 4 и 5	-45	+45	-55	+55	75% при 15 С	100% при 25 С
0 - общеклиматический кл...	3, 4 и 5	-45	+45	-55	+55	75% при 15 С	100% при 25 С
УХЛ - умеренной и холодн...	3	-100	+150	-120	+180	60% при 5 С	98% при 15 С

Данные формы: Название транспорта: Юнбус U4-362; Идентификационный номер (VIN): U4-362.023.456; Категория транспорта: Автобус; Тип подвижного состава: Двухдвигельный; Дата изготовления: 10.08.2016; Комплекс (нахождения): Москва Г.

Рис. 5. Вариант интерфейса АСЭП uST

Выводы:

1. Переход к электронным паспортам — насущная необходимость современных транспортных систем.

2. Функция электронного паспорта существенно шире бумажного аналога: его можно и следует рассматривать в качестве цифрового двойника (кибернетической модели) реального объекта.

3. Использование в системах управления актуальных подробных кибернетических моделей реальных объектов позволит принимать гораздо более эффективные орга-

низационно-управленческие решения, оптимизировать большое количество протекающих в системе процессов на всех этапах ее жизненного цикла.

4. Реализация АСЭП как подсистемы ИСУ позволит выполнять целый ряд дополнительных функций, таких как организация централизованных поставок расходных материалов и запчастей к моменту их ожидаемого потребления, интерактивные инструкции по ремонту и т.д., что существенно повысит безопасность функционирования транспортного комплекса. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. — 3-е изд., доп. — Силакрог: ПНБ принт, 2019. — 576 с. — ISBN 978-985-90498-1-1.
2. Коллегия ЕЭК продлила возможность оформления бумажных ПТС до 1 ноября 2020 года // Евразийская экономическая комиссия. — URL: <http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Pages/14-10-2019-3.aspx>.
3. Unitsky String Technologies, Inc. Has Changed the Transport Market. — URL: <https://unitsky.com/news/unitsky-string-technologies-has-changed-the-transport-market>.

Объем статьи: 0,8 авторских листа





**Юрий  
Кириллович  
Фроловский**  
Yury K.  
Frolovsky



**Андрей  
Александрович  
Зайцев**  
Andrey A.  
Zaytsev



**Василий  
Викторович  
Наумов**  
Vasily V.  
Naumov

### Актуальные вопросы проектирования и расчетов армогрунтовых сооружений в учебном процессе специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути»

### Current issues in designing and calculating of reinforced soil structures in the educational process of “Technical condition management of the railway track” specialization

#### Аннотация

Статья посвящается памяти профессоров Т. Г. Яковлевой и В. В. Виноградова, которые внесли большой вклад в решение вопросов проектирования, расчетов и моделирования армогрунтовых сооружений. На основе их исследований впервые в СССР и России были разработаны и успешно применены методики проектирования и расчетов армогрунтовых сооружений для усиления земляного полотна железных дорог. Продолжением этого процесса стало внедрение материалов в учебный процесс РУТ (МИИТ) по дисциплинам «Железнодорожный путь», «Земляное полотно в сложных условиях» и «Программное обеспечение расчетов конструкций железнодорожного пути». Разработаны лабораторные работы по проектированию и расчетам усиления земляного полотна с использованием армогрунтовых конструкций. Дальнейшим развитием стало изучение взаимодействия современных геосинтетических материалов с грунтом в армогрунтовых сооружениях.

**Ключевые слова:** армогрунтовые сооружения, взаимодействие геосинтетических материалов и грунта, современные геосинтетические материалы, научная школа Т. Г. Яковлевой и В. В. Виноградова, учебные дисциплины, РУТ (МИИТ).

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-16-23

#### Авторы Authors

*Юрий Кириллович Фроловский, канд. техн. наук, доцент, Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Москва | Андрей Александрович Зайцев, канд. техн. наук, доцент, Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Москва | Василий Викторович Наумов, канд. техн. наук, доцент, Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Москва*

*Yury K. Frolovsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, the Russian University of Transport (RUT (MIIT)), Moscow | Andrey A. Zaytsev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, the Russian University of Transport (RUT (MIIT)), Moscow | Vasily V. Naumov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, the Russian University of Transport (RUT (MIIT)), Moscow*

Принципы и методы проектирования, расчетов и моделирования армогрунтовых сооружений, разработанные Т. Г. Яковлевой и В. В. Виноградовым, широко применяются в отечественной практике при усилении и реконструкции земляного полотна железных дорог и нашли отражение в различных нормативно-технических документах: в технических указаниях по усилению и стабилизации насыпей на прочном основании армогрунтовыми поддерживающими сооружениями [1]; технических указаниях по усилению насыпей с нестабильными балластными шлейфами армогрунтовыми удерживающими сооружениями [2]; стандартных проектных решениях и технологиях усиления земляного полотна при подготовке полигонов сети для введения скоростного движения пассажирских поездов [3], технических указаниях по применению габионов для усиления земляного полотна [4], альбоме чертежей конструкций групповых технических решений для усиления деформирующихся насыпей [5], технических указаниях и альбоме типовых конструкций и технологий по защите габионными структурами земляного полотна от размывов [6], специальных технических условиях на проектирование земляного полотна, укрепительных и защитных сооружений с применением армогрунтовых и сетчатых конструкций по титулу «Совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-сервис» [7], инструкции по применению армогрунтовых конструкций для стабилизации и усиления земляного полотна железнодорожного пути [8], а также в учебниках «Железнодорожный путь» [9, 10], методических указаниях [11] и учебном пособии [12].

Проект реконструкции насыпи с устройством армогрунтовой подпорной стены, разработанный группой земляного полотна (МИИТ) под руководством В. В. Виноградова, впервые в отечественной практике реализован в СССР на Юго-Западной железной дороге в 1988 г. Этот проект предусматривал возведение армогрунтовой стены с облицовкой из железобетонных блоков толщиной 0,3 м, к которым крепились армирующие металлические сетки в горизонтальной плоскости с послышной засыпкой дренирующим грунтом. В качестве облицовочных элементов использовались железобетонные блоки  $2,36 \times 0,58 \times 0,30$  м, установленные на ленточный фундамент (рис. 1).

В качестве армирующих элементов применялась металлическая сетка  $100 \times 100$  мм с размером ячеек  $4 \times 4$  мм из стали, покрытая расплавом битума. Протяженность стены составила 70 м, ширина 4 м, высота стенки 4 м, длина сеток 4,5 м. Расход сеток: две сетки шириной 0,5 м на каждый облицовочный блок.

В первых армогрунтовых конструкциях с облицовочной стенкой из железобетонных блоков и комбинированной (с габионами) также применялись армирующие элементы из металлических сеток, а трубки из геотекстиля типа «Дорнит» использовались в качестве дре-

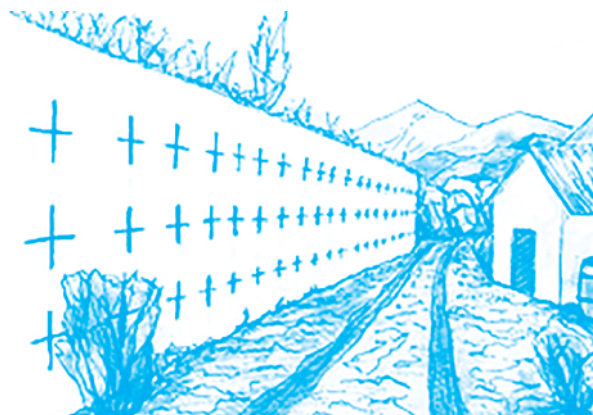


Рис. 1. Подпорная армогрунтовая стена с облицовкой из железобетонных блоков (рис. Павла Мачерета)

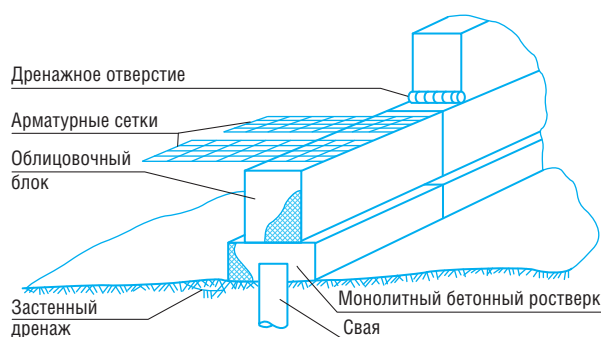


Рис. 2. Армогрунтовая стена на свайном основании

нажных труб в конструкции стены. Позже для армирования подпорных стен стали использовать металлические сетки двойного кручения.

На основании опыта проектирования и строительства армогрунтовых конструкций в 1995 г. разработаны методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Расчет и проектирование армогрунтовых поддерживающих стен» [11].

Еще один объект был запроектирован на участке Ометьево — Дербышки (25 км) на территории Казани, где была построена армогрунтовая стена на свайном основании (рис. 2).

Ученые МИИТа разработали техническое решение по усилению насыпи армогрунтовыми сооружениями на Горьковской железной дороге (рис. 3).

Положительный опыт использования армогрунтовых сооружений на железных дорогах позволил применять их и на автодорогах (рис. 4).

В учебном процессе РУТ (МИИТ) вопросы проектирования и расчетов земляного полотна с использованием армогрунтовых сооружений подробно рассматриваются в дисциплинах «Железнодорожный путь», «Земляное полотно в сложных условиях» и «Программное обеспечение расчетов конструкций железнодорожного пути». Разработаны лабораторные работы, при выполнении которых студенты решают задачи проектирования

и расчетов усиления насыпей поддерживающими и удерживающими конструкциями с применением расчетных модулей программного комплекса GEO5 [13], которые позволяют выполнять комплексные расчеты для разных этапов проектирования (рис. 5).

При подготовке к расчетам можно задавать коэффициенты взаимодействия элементов армирования и грунта путем выбора из встроенной базы GEO пяти значений коэффициентов взаимодействия для ряда геоматериалов (рис. 6) [13], также можно задавать эти значения самостоятельно (рис. 7).

При проектировании и расчетах армогрунтовых сооружений необходимо правильно учитывать взаимодействие армирующего геосинтетического или другого материала и грунтовой среды. Но показатели тако-

го взаимодействия недостаточно отражены в нормативных документах и расчетных геотехнических программных комплексах.

Максимальное выдергивающее усилие  $T_{bi}$  определяется по формуле [4]

$$T_{bi} = c_s \cdot \sigma_{vj} \cdot L_{ri} \quad (1)$$

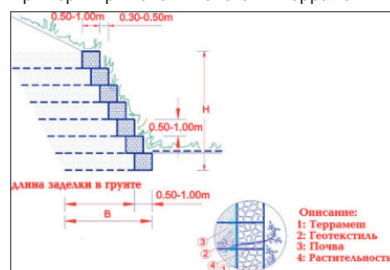
где  $c_s$  — коэффициент взаимодействия грунта и армирующего элемента;  $\sigma_{vj}$  — вертикальное геостатическое напряжение;  $L_{ri}$  — длина армирующего элемента в зоне сопротивления выдергиванию, м.

Взаимодействие между грунтом и армирующим элементом из сетки из стальной проволоки двойного кручения учитывается коэффициентом  $c_s = 0,91$ .



Рис. 3. Армогрунтовые сооружения на Горьковской железной дороге: а — 1994 г.; б — 1996 г.

Примеры применения системы Террамеш



Объекты строек к Олимпиаде в г. Сочи (с. Веселое)



Линия к аэропорту Шереметьево



Контрфорсы из габионов в системе удерживающих конструкций (ст. Владимир)



Рис. 4. Различные типы современных конструкций армогрунтовых стен



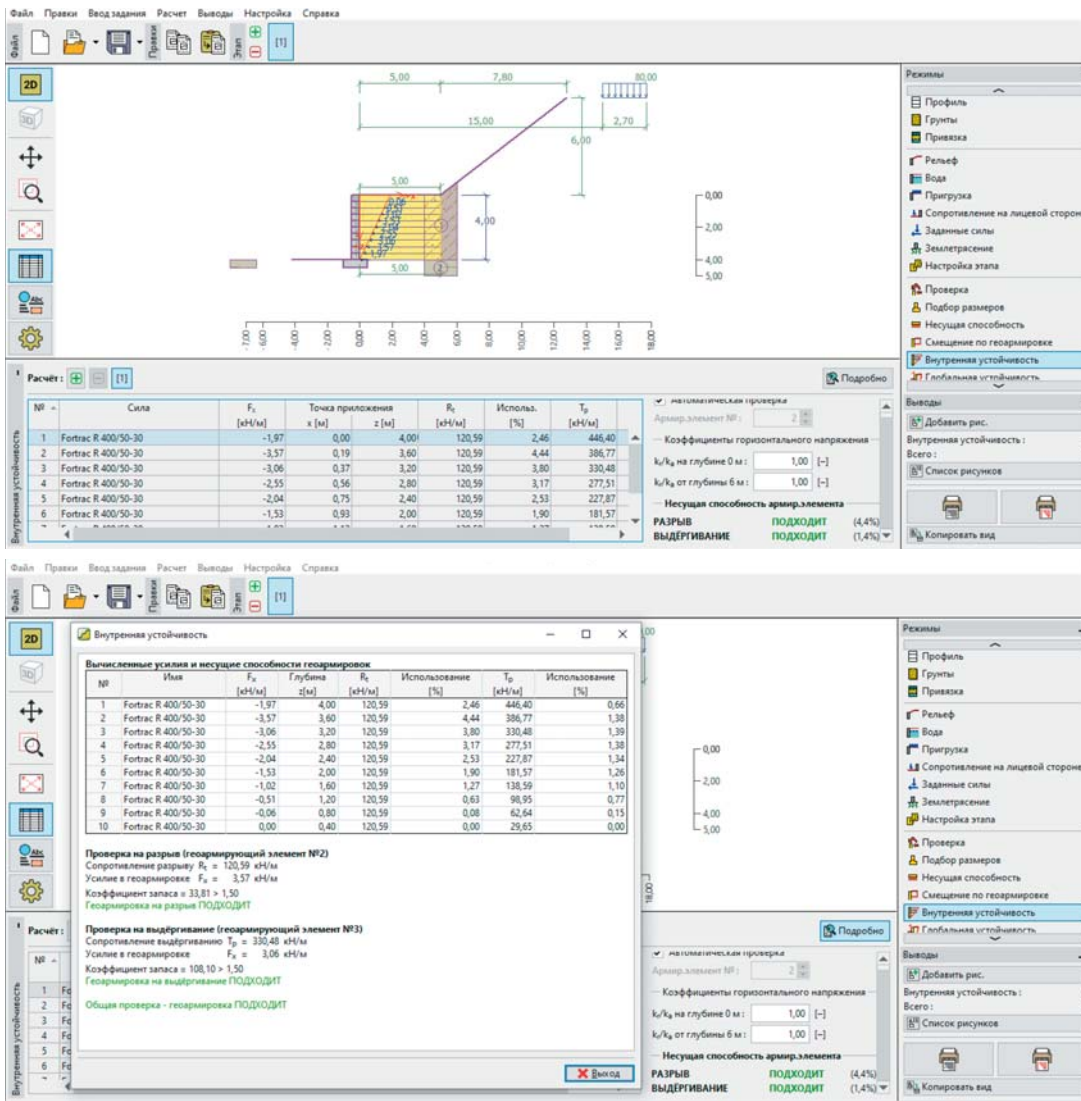


Рис. 5. Расчеты внутренней устойчивости армогрунтовой стены

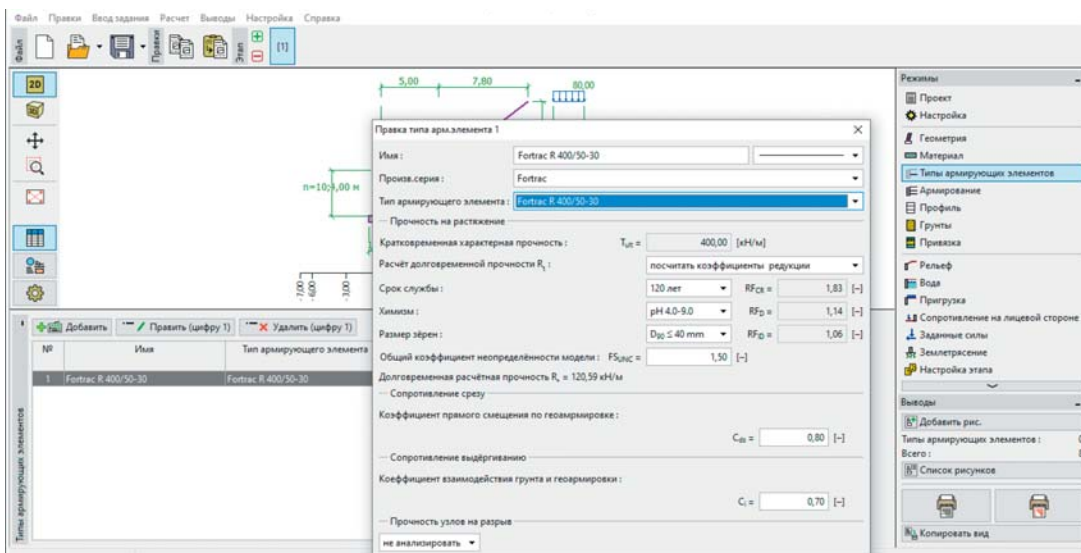


Рис. 6. Выбор типа армирующих элементов

Ю. К. Фроловский, А. А. Зайцев, В. В. Наумов | Актуальные вопросы проектирования и расчетов армогрунтовых сооружений в учебном процессе...

Создать тип арм.элемента

Имя : пользовательская

Произв.серия : пользовательская

Прочность на растяжение

Кратковременная хар.прочность :  $T_{ult} =$  [кН/м]

Расчёт долговременной прочности  $R_t$  : задать прочность

Долговременная расч.прочность :  $R_t =$  [кН/м]

Сопротивление срезу

Коэффициент прямого смещения по геоярмировке :  $C_{ds} =$  0,60 [-]

Сопротивление выдергиванию

Коэффициент взаимодействия грунта и геоярмировки :  $C_1 =$  0,70 [-]

Прочность узлов на разрыв

Проверить

Пользов.каталог

Добавь Отмена

Рис. 7. Форма для ввода коэффициентов взаимодействия грунта и элементов армирования



Рис. 8. Армогрунтовая стена без облицовочных блоков (облицовочные блоки устраиваются для исключения вандализма)



С учетом разнообразия материалов, которые могут использоваться для армирования грунта, в первую очередь геосинтетической продукции, значения коэффициентов взаимодействия грунта и элементов армирования могут существенно отличаться.

Армогрунтовые сооружения могут иметь разнообразные облицовочные формы, которые часто не являются несущими и выполняют чисто декоративные функции. Варианты конструкций армогрунтовых сооружений представлены на рис. 8, 9.

Разнообразие геосинтетических материалов (рис. 10) позволило расширить сезонность строительства армогрунтовых сооружений и широту (в географическом отношении) их применения.

Использование армирующих полуобойм из базальтволоконных георешеток для устройства откоса крутизной 1:1 позволяет вести работы при отрицательных температурах. Этот материал рекомендуется для применения в районах Крайнего Севера, где строительство ведется по первому принципу с сохранением многолетнемерзлых грунтов. Основные геосинтетические материалы для армогрунтовых сооружений (на примере компании ООО «НПК СЛАВРОС») представлены в табл. 1.

В настоящее время в железнодорожных нормативных документах нет рекомендаций и правил по выбору и назначению коэффициентов взаимодействия в зависимости от номенклатуры применяемых армирующих элементов для расчета армогрунтовых сооружений. Однако в СП 472.1325800.2019 «Армогрунтовые системы мостов и подпорных стен на автомобильных дорогах» предусмотрен учет взаимодействия грунта и вида геосинтетического материала: для тканого геотекстиля  $c_s = 0,7$ , для георешеток  $c_s = 0,9$ .

На кафедре «Путь и путевое хозяйство» РУТ (МИИТ) под руководством В. В. Виноградова выполнены экспериментальные исследования по изучению взаимодействия грунта и различных геосинтетических материалов (экструдированные одноосноориентированные георешетки, тканые двусноориентированные георешетки, тканый геотекстиль) (рис. 11).



Рис. 9. Армогрунтовая (из полуобойм из базальтволоконной георешетки) насыпь с крутизной откоса 1:1 (Мурманск)

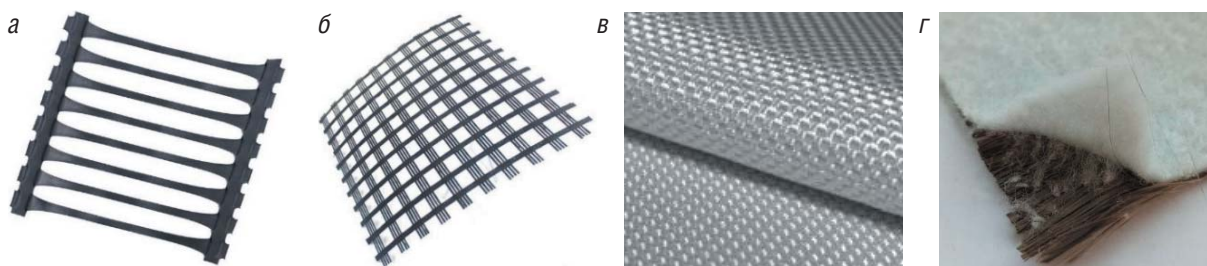


Рис. 10. Основные виды геосинтетических материалов для армогрунтовых сооружений: а — экструдированные одноосные георешетки; б — одноосные вязаные георешетки; в — тканый геотекстиль; г — геокомпозит из базальтоволокна и нетканого геотекстиля

Таблица 1

**Основные физико-механические характеристики геосинтетических материалов компании ООО «НПК СЛАВРОС»**

Характеристика	Ед. изм.	Виды геосинтетических материалов			
		экструдированные одноосные георешетки	одноосные вязаные георешетки	тканый геотекстиль	геокомпозит из базальтоволокна и нетканого геотекстиля
Прочность при растяжении	кН/м	До 180	Нет ограничений	Нет ограничений	Нет ограничений
Относительное удлинение	%	15	13	15	4–6
Условный модуль деформации при 2 %-м удлинении и прочности растяжения 180 кН/м	кН/м	1200	1384	1200	3000
Укладка при отрицательных температурах	Да/нет	Нет	Да	Да	Да
Дренаживание вдоль образца	Да/нет	Нет	Нет	Нет	Да
Коэффициент взаимодействия грунт — геосинтетик $c_s$	—	0,8	0,8	0,5	0,7

По результатам исследований установлено, что для различных грунтов и геосинтетических материалов коэффициент взаимодействия изменяется от 0,43 до 0,93. Расчеты по формуле (1) показывают, что при одинаковой вертикальной нагрузке и длине армирующего элемента при разных коэффициентах взаимодействия грунта и геосинтетического материала величина выдерживающего усилия может сильно изменяться (рис. 12).

Для оценки работы армогрунтовой насыпи из песка выполнены сравнительные расчеты с армированием насыпи нетканым геотекстилем и геокомпозитом из базальтоволокна «Славрос СБНП 200/50». Коэффициент взаимодействия грунта и геосинтетика: для тканого геотекстиля — 0,43; для геокомпозита — 0,7.

Результаты для одинаковых геометрических параметров насыпи и геосинтетика, но различных параметров взаимодействия грунта: для тканого геотекстиля величины смещения по геоармировке и выдергиванию составили 71,0 и 8,4 %, для геокомпозита из базальтоволокна «Славрос СБНП 200/50» величины смещения по гео-

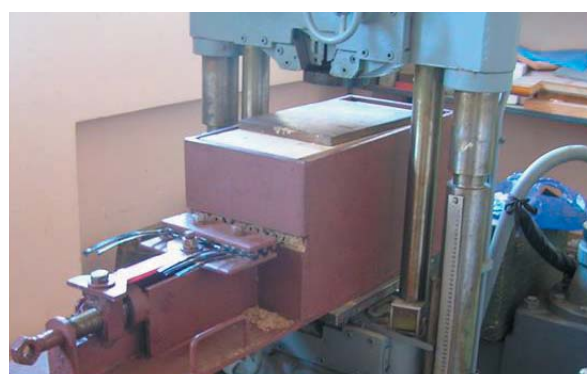


Рис. 11. Установка МИИТ для определения взаимодействия грунта и георешетки

армировке и выдергиванию составили 43,6 и 5,1 % соответственно.

Анализ результатов расчетов показал, что запас по смещению геоармировки для тканого геотекстиля ниже, чем у геокомпозита (ниже в процентном отношении).



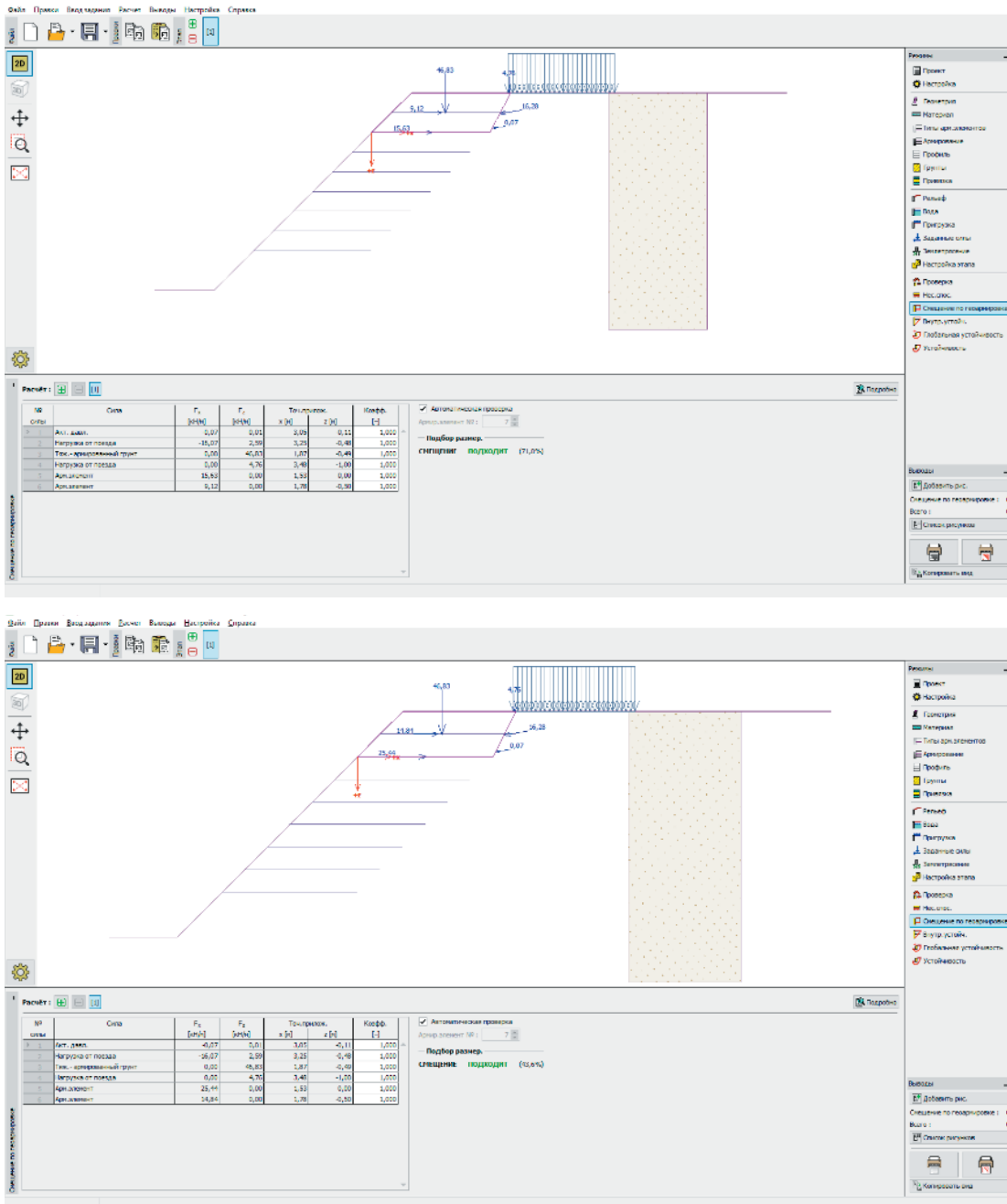


Рис. 12. Результаты расчетов армогрунтовой насыпи из тканого геотекстиля (а) и геокомпозита из базальтоволокна «Славрос СБНП 200/50» (б)

Поэтому целесообразно продолжать исследования по определению коэффициентов взаимодействия грунта и геосинтетических материалов для различных видов грунтов (песок средней крупности, песок гравелистый, песчано-гравийная смесь, щебень, глинистые грунты) и вида геосинтетического материала (экструдированные георешетки, вязанные георешетки, тканые геотекстили). Результаты таких исследований должны быть приведены в нормативных документах, учебных пособиях и справочной литературе.

Основы проектирования, расчетов и моделирования армогрунтовых сооружений, разработанные в научной школе кафедры «Путь и путевое хозяйство» РУТ (МИИТ) под руководством Т. Г. Яковлевой и В. В. Виноградова, эффективно применяются в учебном процессе специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути», позволяют выпускникам университета успешно решать задачи усиления земляного полотна железных дорог с использованием современных ресурсосберегающих технологий. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Технические указания по усилению и стабилизации насыпей на прочном основании армогрунтовыми поддерживающими сооружениями: утверждены ЦП № 34 глав. упр. пути МПС 13.12.91. — М. : Полиграфлес, 1991. — 72 с.
2. Технические указания по усилению насыпей с нестабильными балластными шлейфами армогрунтовыми удерживающими сооружениями / Главное управление пути МПС : утв. 23.12.92. — М., 1992. — 101 с.
3. Стандартные проектные решения и технологии усиления земляного полотна при подготовке полигонов сети для введения скоростного движения пассажирского поездов. Вып. 1: утверждены департаментом пути и сооружений МПС РФ. — М., 1997. — 172 с.
4. Технические указания по применению габионов для усиления земляного полотна: утверждены ЦПИ № 22/43 департаментом пути и сооружений МПС РФ. — М. : ПТКБ ЦП МПС, 1998. — 140 с.
5. Альбом чертежей конструкций групповых технических решений для усиления деформирующихся насыпей: утвержден ЦПИ № 22/30 департаментом пути и сооружений МПС Российской Федерации 28.12.2000. — М. : ООО «НТ», 2002. — 80 с.
6. Технические указания и альбом типовых конструкций и технологий по защите габионными структурами земляного полотна от размывов: утверждены ЦПИ № 22/32 департаментом пути и сооружений МПС Российской Федерации 28.12.2001. — М. : ИКЦ «Академ-книга», 2002. — 66 с.
7. Специальные технические условия на проектирование земляного полотна, укрепительных и защитных сооружений с применением армогрунтовых и сетчатых конструкций по титулу: «Совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-сервис» (языскательские и проектные работы, строительство)»: утверждены Минрегион России, МИИИТ-ООО «ФСК» МостГеоцентр» 19.02.2010. — М., 2010.
8. Инструкция по применению армогрунтовых конструкций для стабилизации и усиления земляного полотна железнодорожного пути: утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 4.10.2012 г. № 1975р. — М., 2012. — 91 с.
9. Яковлева Т. Г. Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева, Н. И. Карпущенко, С. И. Клинов, Н. Н. Путря, М. П. Смирнов [и др.]. — М. : Транспорт, 1999. — 405 с.
10. Ашпиз Е. С. Железнодорожный путь / Е. С. Ашпиз, А. И. Гасанов, Б. Э. Глюзберг. — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. — 544 с.
11. Виноградов В. В. Расчет и проектирование армогрунтовых поддерживающих стен : методические указания к курсовому и дипломному проектированию. — М. : МИИТ, 1995.
12. Виноградов В. В. Расчеты и проектирование железнодорожного пути : учебное пособие / под ред. В. В. Виноградова, А. М. Никонова. — М. : Маршрут, 2003. — 486 с. — ISBN 5-89035-112-5.
13. GEO5. Программы для геотехнических расчетов. — URL: <https://geo5.ru>.

Объем статьи: 0,82 авторских листа



Галина Степановна  
Лобанова  
Galina S. Lobanova

## Инженерный метод расчета восстановления несущей способности свай, погруженных с оттаиванием в многолетнемерзлый грунт

### Engineering method for calculating the restoration of bearing capacity of the piles immersed in permafrost soil with thawing

#### Аннотация

Рассмотрена актуальность вопроса об инженерных методах расчета восстановления несущей способности свай в условиях многолетнемерзлого грунта. Дана развернутая классификация свай, используемых для многолетнемерзлого грунта. Приведена формула расчета несущей способности основания вертикально нагруженной висячей сваи. Описан процесс теплового взаимодействия заполненной теплосодержащей средой скважины и окружающего мерзлого грунта. Дано обоснование использования инженерного метода расчета восстановления несущей способности многолетнемерзлого грунта в процессе вмерзания.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлый грунт, несущая способность сваи, паровая игла, транспортные магистрали, теплосодержащая среда, процесс вмерзания.

#### Abstract

The relevance of the issue of engineering methods for calculating the restoration of bearing capacity of piles in permafrost conditions is considered. A detailed classification of piles used for permafrost soils is provided. The formula for calculating the bearing capacity of the base of a vertically loaded hanging pile is given. The process of thermal interaction of a borehole filled with a heat-containing medium and the surrounding frozen soil is described. Substantiation for the use of the engineering method for calculating the restoration of bearing capacity of permafrost soil in a freezing-in process is presented.

**Keywords:** permafrost soil, bearing capacity of pile, steam needle, highways, heat-containing medium, freezing-in process.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-24-26

#### Авторы Authors

Галина Степановна Лобанова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Galina Stepanovna Lobanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of "Bridges and Transport Tunnels" Department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg



Вечная мерзлота занимает больше половины территории России. Строительство на многолетнемерзлых грунтах ведут согласно указаниям СП 25.13330.2012 [1] по двум основным принципам их использования в качестве основания.

Сущность первого заключается в поддержании мерзлого состояния грунта в течение всего периода эксплуатации сооружений, а по второму принципу грунты могут находиться в оттаивающем или оттаявшем состоянии. Многолетнемерзлые грунты делятся на пластично- и твердомерзлые. Строительство на твердомерзлых грунтах линейных сооружений — железных и автомобильных дорог, путепроводов, трубопроводов, а также объектов их инфраструктуры — основано на использовании первого принципа. При этом свайные фундаменты применяются повсеместно. Погружают сваи в твердомерзлые грунты главным образом двумя методами: в предварительно оттаянный паровой иглой грунт (опускной способ) или в предварительно пробуренные скважины, диаметр которых превышает наибольший размер поперечного сечения сваи (буроопускной способ).

По условиям применимости и способам погружения в многолетнемерзлый грунт сваи подразделяются на буроопускные (сваи сплошные и полые, свободно погружаемые в скважины, с заполнением свободного пространства раствором разного состава, согласно проекту), опускные (сваи сплошные и полые, свободно (или с пригрузом) погружаемые в оттаянный паровой иглой или паровым вибролидером грунт (в пульпу)).

Расчет несущей способности основания вертикально нагруженной висячей сваи  $F_u$ , кН выполняется по известной формуле:

$$F_u = \gamma_t \gamma_c + \left( RA + \sum_{i=1}^n R_{af,i} A_{af,i} \right),$$

где  $R$  — расчетное сопротивление мерзлого грунта под нижним концом сваи, кПа;  $R_{af,i}$  — расчетное сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах  $i$ -го слоя грунта, кПа, определяемые по [1].

Для расчета оснований сооружений II и III уровней ответственности, возводимых по первому принципу строительства, расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов  $R$  и  $R_{af,i}$  допускается принимать по таблицам в зависимости от температуры грунта в рабочей зоне (в основном на контакте «мерзлый грунт — боковая поверхность сваи»).

Процесс теплового взаимодействия заполненной теплосодержащей средой скважины и окружающего мерзлого грунта проходит следующие стадии:

- остывание грунтового раствора или пульпы, образование кольца талого грунта в окрестности скважины и постепенное продвижение фронта

оттаивания в мерзлый грунт до максимального значения;

- обратное продвижение фронта промерзания в сторону сваи и достижение ее боковой поверхности — рабочей зоны;
- дальнейшее понижение температуры грунта на контакте с боковой поверхностью сваи, определяющем динамику восстановления несущей способности сваи.

Нагружение сваи расчетной нагрузкой возможно только после полного восстановления ее несущей способности. Время, через которое свайный фундамент может быть загружен, теоретически зависит от большого числа факторов и, согласно наблюдениям, изменяется в диапазоне от нескольких суток до трех и более месяцев.

Своевременная, обоснованная расчетом загрузка свай приводит к сокращению сроков и ускорению темпов строительства, предотвращает разрыв свай касательными силами морозного пучения вследствие незагруженности. Принятие решений о перспективном строительстве транспортных магистралей в арктических регионах связано с оценкой сроков строительства [2], ограниченностью их протяженности вследствие ряда объективных причин, одна из которых — бездорожье тундры в теплое время года.

Для традиционных (буроопускного и опускного) способов погружения свай в многолетнемерзлые грунты с оттаиванием предлагается инженерный метод расчета восстановления их несущей способности в процессе вмерзания [3]. Его использование на стадии проектирования производства работ позволит оптимально выбрать сезон и технологические параметры способа погружения, спрогнозировать сроки и темпы загрузки.

Теоретическое обоснование метода составили результаты исследования процесса восстановления несущей способности сваи на численной модели теплового взаимодействия заполненной теплосодержащей средой скважины и мерзлого грунта в общей постановке.

Статистический анализ результатов обработки предварительно спланированного численного эксперимента на этой модели позволил установить основные закономерности динамики искомой температуры, выявить значимые физические факторы и интегральные тепловые критерии, построить в традиционной аналитической форме регрессионные зависимости искомых тепловых процессов. В ходе исследования установлено, что в наибольшей степени темп восстановления несущей способности сваи определяется ее типом, сезоном производства работ, технологическими параметрами, а также начальной температурой и наиболее значимыми теплофизическими характеристиками грунта [4].

При исследовании выделены три сочетания типа сваи и сезона погружения:

- сваи железобетонные, погруженные буроопускным способом;

- железобетонные, погруженные опускным способом;
- полые трубчатые металлические, погруженные опускным способом.

С точки зрения сокращения сроков строительства рационален зимне-весенний сезон. Несущая способность свай, погруженных осенью, в основном формируется в нижних слоях основания, погруженных весной — преимущественно в верхних, в том числе активно за счет смерзания с деятельным слоем грунта. Для свай, погруженных с де-

кабря по апрель, учет вклада деятельного слоя в расчет несущей способности сокращает срок ее восстановления в 1,5–2,5 раза. Все исходные для теплового расчета параметры определяются с погрешностями, причем значительными. Использование математического аппарата теории вероятностей позволило разработать инженерные методы оценок доверительных интервалов расчетов по полученным регрессионным формулам в зависимости от величины погрешности исходных данных. Предлагаемые расчетные схемы допускают ручной счет. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Свод правил СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Soil bases and foundations on permafrost soils. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095519>.
2. Хазин М. А., Тарасов П. И., Голубев О. В., Дмитриев В. Т. Пустые породы и отходы производства горнообогатительных комбинатов — основа для строительства транспортных магистралей // Известия УГГУ. — 2017. — Вып. 4 (48). — С. 90–94. — ISSN 2307–2091.
3. Лобанова Г. С. Прогноз роста несущей способности свай, погруженных с оттаиванием в вечномерзлые грунты: автореф. ... дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — Пермь, 1997. — 20 с.
4. Лобанова Г. С., Оржеховский Ю. Р. Прогноз динамики температурного поля грунта в окрестности свай, погруженных в вечномерзлое основание // Труды VI Международн. конф. по проблемам свайного фундаментостроения. — М., 1998. — Т. 2. — С. 97–100.

Объем статьи: 0,2 авторских листа



Юлиана Евгеньевна  
Жужгова

Yuliana E. Zhuzhgora



Андрей Евгеньевич  
Жужгов

Andrey E. Zhuzhgov

## К вопросу о контроле сохранности грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, с помощью цифровых систем

### On the issue of safety control of cargo transported by railway transport using digital systems

#### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы обеспечения сохранности перевозимых грузов в условиях цифровизации железнодорожного транспорта. Даны предложения по внедрению цифровых систем контроля качества и повышения сохранности перевозимых грузов.

**Ключевые слова:** цифровизация перевозок грузов, дистанционные системы контроля качества, сохранность перевозимого груза, контроль качества скоропортящихся грузов, автоматизация процессов передачи данных.

#### Abstract

The article deals with the issues of ensuring safety of the transported cargo in the conditions of digitalization of railway transport. Proposals for the introduction of digital quality control systems and improving the safety of transported goods are presented.

**Keywords:** digitalization of cargo transportation, remote quality control systems, safety of transported cargo, quality control of perishable goods, automation of data transmission processes.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-27-30

#### Авторы Authors

*Юлиана Евгеньевна Жужгова*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: YuZhuzhgora@usurt.ru | *Андрей Евгеньевич Жужгов*, начальник Куйбышевской дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД»; e-mail: dm\_ZhuzhgovAE@kbsh.rzd.ru

*Yuliana E. Zhuzhgora*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of "Stations, Hubs and Cargo Work" Department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: YuZhuzhgora@usurt.ru | *Andrey E. Zhuzhgov*, Head of the Kuibyshev Directorate for Management of Terminal and Warehouse Complex of JSC "Russian Railways"; e-mail: dm\_ZhuzhgovAE@kbsh.rzd.ru



### Введение

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам глобальной цифровизации всех процессов, происходящих в различных отраслях экономики. Продолжается цифровизация в области железнодорожного транспорта, где в цифровой формат переведено большинство процессов взаимодействия структур транспорта между собой и непосредственно самого транспорта с клиентурой.

В данной статье рассматривается проблема контроля сохранности грузов с помощью цифровых систем.

Уровень цифровизации той или иной отрасли — вопрос не только повышения надежности и скорости передачи информации, но и повышения конкурентоспособности предлагаемых услуг и клиентоориентированности самой отрасли. Цифровизация грузовых перевозок затрагивает сферу интересов всех видов транспорта. Особенно интенсивно данный процесс проходит на автомобильном и железнодорожном транспорте, что объясняется наиболее массовыми перевозками грузов. Осуществляется достаточно интенсивный перевод в цифровой формат документации и основных процессов взаимодействия клиентов со всеми подразделениями отрасли.

Основной задачей транспорта является доставка грузов точно в срок и в качественном виде [1]. Что касается сроков доставки, то помощь цифровизации процессов видится в повышении скорости оформления документов, обеспечении надежности передачи информации и контроля правильности получения и использования данных. Возникает вопрос: как с помощью цифровизации можно обеспечить надлежащее качество доставляемых грузов? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть само понятие качества, применяемое при выполнении транспортных услуг, и его составляющие.

### Контроль сохранности груза

Сохранность груза в пути следования — комплексный параметр качества транспортировки грузов, который является одним из весомых критериев для клиента при выборе транспортной компании, особенно при организации транспортировки скоропортящихся грузов, перевозимых с контролем температурно-влажностного режима на всем протяжении перевозки, от грузоотправителя до грузополучателя.

Вопрос контроля сохранности груза с точки зрения доступа к грузу в пути следования в условиях цифровизации решается с помощью внедрения электронных запорно-пломбировочных устройств с RFID-метками [2].

RFID расшифровывается как Radio Frequency IDentification — радиочастотная идентификация. Первые RFID-метки были созданы в 40-е годы XX века, а запатентованы — в 80-е. Это технология, которая позволяет ав-

томатически идентифицировать объекты, в том числе те, что находятся на расстоянии, с помощью радиосигналов. RFID-метки способны идентифицировать физические объекты, а также отслеживать их перемещение. Отсюда еще одно название меток — транспондеры. Пример одного из предлагаемых на рынке RFID-ЗПУ представлен на рис. 1 и 2.



Рис. 1. RFID-ЗПУ



Рис. 2. Переносной мобильный считыватель RFID-ЗПУ

Функционал RFID-ЗПУ достаточно широк:

1. Запирание и пломбирование железнодорожных грузовых вагонов и контейнеров, подлежащих пломбированию в соответствии с Правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом, а также для контроля и предотвращения несанкционированного доступа к перевозимому грузу через запираемые и пломбируемые устройства дверей, люков, заливных горловин, сливных и дренажных отверстий вагонов и контейнеров.

2. Хранение записанных данных, начиная от ID сотрудника, осуществившего навешивание, и заканчивая информацией об отправке груза (номер вагона, станция отправления и назначения, время и место навешивания RFID-ЗПУ, серийный номер RFID-ЗПУ и т.д.).

3. Фиксация факта несанкционированного вскрытия без видимых следов повреждения и повторного навешивания RFID-ЗПУ.

Кроме того, система RFID-ЗПУ позволяет эффективно внедрять в технологический процесс работы станций автоматизированные комплексы контроля отправления

подвижного состава и сохранности груза с наличием функционального блока дистанционного считывания информации с RFID-пломб, установленных на подвижных единицах.

### Контроль температурно-влажностного режима

Контроль температурно-влажностного режима при транспортировке скоропортящихся грузов до настоящего времени осуществлялся с помощью аппаратуры, встроенной в рефрижераторные установки подвижного состава.

Цифровые системы контроля температурно-влажностного режима сегодня довольно успешно применяются на автомобильном транспорте. Для контроля холодильной системы на автотранспорте используют два способа: офлайн-контроль и онлайн-контроль состояния груза.

При офлайн-контроле внутри кузова автомобиля-рефрижератора устанавливают автономные датчики температуры и влажности, информацию с которых считывают по прибытии в пункт назначения. Способ позволяет узнать температуру в рефрижераторе при перевозке и допущенных нарушениях только после окончания рейса.

Онлайн-контроль позволяет получать информацию о состоянии груза с использованием систем GSM и GPS/Глонасс-мониторинга [3, 4], передавать ее в режиме реального времени и отправлять на сервер, что дает возможность постоянного контроля за одним из наиболее важных параметров сохранности перевозимого груза. На рис. 3 представлена одна из возможных схем системы онлайн-контроля температур автомобильного рефрижератора.

При транспортировке скоропортящихся грузов на железнодорож-



Рис. 3. Схема системы контроля температур автомобильного рефрижератора

ном транспорте подобные датчики используются достаточно редко либо не используются вообще в отличие от автомобильного транспорта [5, 6]. На рынке цифровых устройств достаточно широко представлены автономные регистраторы (логгеры) температурно-влажностного режима [7–9]. Анализ технических характеристик представленных на рынке логгеров позволил сделать вывод, что их использование при организации перевозок скоропортящихся грузов на железнодорожном транспорте может быть достаточно эффективным.

Например, одна из предлагаемых на рынке систем контроля и мониторинга — логгер Fresh BlueTag [10] позволяет наблюдать в онлайн-режиме за изменением температурно-влажностного режима внутри каждой единицы рефрижераторного подвижного состава, управлять включением-выключением двигателя холодильной машины, контролировать местонахождение груза. При этом есть возможность оперативного получения информации по всем заявленным параметрам из любой точки проследования груза, составления графиков перепада температур и обнаружения нарушений влажностного режима на всем пути следования скоропортящегося груза. В случае обна-

ружения таких инцидентов датчик автоматически передает уведомление с помощью программного обеспечения на пункт контроля. Данные уведомления содержат полную информацию о нарушении температурно-влажностного режима с указанием времени и привязкой к месту фактического нахождения груза.

Рассмотренная система контроля качества скоропортящегося груза в процессе его транспортировки железнодорожным транспортом может оказать существенное влияние на снижение экономических потерь, связанных с качеством перевозимых температурных грузов.

### Заключение

В дальнейших исследованиях авторами будут рассмотрены вопросы эффективности применения логгеров при транспортировке скоропортящихся грузов совместно с существующими системами в рамках цифровизации грузовых перевозок, а также проблемы внедрения таких систем в цифровую модель терминально-складской деятельности с использованием современных разработок, программно-технических комплексов и программного обеспечения. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Рефрижераторные перевозки. Управление рисками в цепочке поставок температурных грузов, Through Transport Mutual Services (UK) Ltd, 2020. — URL: [https://www.panditrans.com/wp-content/uploads/2021/04/TTCIub\\_StopLoss20\\_RefCargoes\\_RUS.pdf](https://www.panditrans.com/wp-content/uploads/2021/04/TTCIub_StopLoss20_RefCargoes_RUS.pdf) (дата обращения: 14.02.2022).
2. Системы интеллектуального контроля // Концерн «Национальные телематические системы». — URL: <https://telematika.com/ru/> (дата обращения: 14.02.2022).
3. Соблюдение температурного режима при грузоперевозках // ООО «ТрекДжиПиЭс». — URL: <https://trackgps.ru/spravochnik/soblyudenie-temperaturnogo-rezhima-pri-gruzoperevozkah.html>.
4. Эксперт АО «ГЛОНАСС» рассказал перевозчикам о преимуществах сквозного контроля транспортировки скоропортящихся грузов // АО «ГЛОНАСС». — URL: <https://aoglonass.ru/novosti/novosti-ao/ekspert-ao-glonass-rasskazal-perevozchikam-o-preimuwestvah-skvoznogo-kontrolya-transportirovki-skoroportyawihsya-gruzov>.
5. Перевозка температурных грузов транспортными компаниями // ООО «Либротех». — URL: <https://librotech.ru/info/articles/perevozka-temperaturnykh-gruzov-transportnymi-kompaniyami>.
6. Применение регистраторов iButton при контроле транспортировки своим транспортом // Научно-техническая лаборатория «Электронные инструменты» (НТЛ «ЭЛИН»). — URL: <https://www.elin.ru/Application/?topic=own/> (дата обращения: 24.02.2022).
7. Логгеры температуры // Термофлит — терморегистратор с передачей данных. — URL: <https://thermofleet.ru/blog/logger-temperaturi.html/> (дата обращения: 14.02.2022).
8. Скоропортящиеся грузы — как обеспечить контроль режима // Журнал «Грузовой Транспорт и Спецтехника», май 2018. — URL: <https://www.gts-mag.ru/skoroportjashhiesja-gruzy-kak-obespechi>.
9. Как сохранить груз в рефрижераторе // Ассоциация международных автомобильных перевозчиков «БАМАП». — URL: [http://bamaп.org/information/smi/2016\\_11\\_21\\_92994/](http://bamaп.org/information/smi/2016_11_21_92994/) (дата обращения: 14.02.2022).
10. Использование температурных логгеров // Компания iLoggers. — URL: <https://iloggers.ru/ispolzovanie-loggerov> (дата обращения 24.02.2022).

Объем статьи: 0,31 авторских листа



**Андрей Иванович  
Лисицын**  
Andrey I. Lisitsyn



**Елена Анатольевна  
Сидорова**  
Elena A. Sidorova

## Влияние неровностей пути в плане на интенсивность износа рельсов

### Impact of track irregularities in plan on the intensity of rail wear

#### Аннотация

Статья посвящена исследованию влияния неровностей пути на интенсивность износа рельсов. Актуальность проблемы обусловлена необходимостью разработки подходов к снижению интенсивности бокового износа в кривых. Цель работы лежит в области оценки параметров и величины отклонений пути в плане, влияющих на интенсивность износа рельсов. Для решения этой задачи в работе применялись методы моделирования, реализованные в программной среде «Универсальный механизм» (модуль UMLoco). Исходные данные получены в результате тахеометрической съемки, проводившейся на направлении Самара — Челябинск в 2019–2020 гг. Результаты работы включают анализ рассчитанных показателей взаимодействия пути и подвижного состава, а именно боковых сил и интенсивности износа рельсов.

**Ключевые слова:** неровности пути в плане, интенсивность износа рельсов, боковые силы, много радиусная кривая.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-31-37

#### Авторы Authors

*Андрей Иванович Лисицын, начальник Департамента экологии, охраны труда и промышленной безопасности ОАО «РЖД»; e-mail: LisitsynAI@center.rzd | Елена Анатольевна Сидорова, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Исследование проблем стабильности верхнего строения пути, земляного полотна и искусственных сооружений» научного центра «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо-рельс» АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»); e-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru*

*Andrey I. Lisitsyn, Head of the Department of Ecology, Labour Protection and Industrial Safety of JSC “Russian Railways”; e-mail: LisitsynAI@center.rzd | Elena A. Sidorova, Candidate of Technical Sciences, leading researcher of the laboratory “Study of problems of stability of upper structure of track, roadbed and artificial structures” of the scientific center “Track infrastructure and issues of wheel-rail interaction” of JSC “Scientific Research Institute of Railway Transport” (JSC “VNIIZHT”); e-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru*

#### Abstract

The article discusses the study of the impact of track irregularities on the intensity of rail wear. The relevance of this issue derives from the necessity to develop approaches to reduce the intensity of lateral wear in curves. The objective of this research paper is to estimate the parameters and magnitude of deviations of the track in plan which affect the intensity of rail wear. In order to resolve this issue, modelling methods implemented in the “Universal Mechanism” software environment (UMLoco module) have been used in this paper. The initial data has been obtained as a result of the tachometric transit survey conducted on the Samara – Chelyabinsk route in 2019–2020. The results of this paper include an analysis of the calculated indicators of interaction of the track and rolling stock, particularly, lateral forces and the intensity of rail wear.

**Keywords:** rail track irregularities in plan, intensity of the rear part of rail, lateral forces, multi-radius curve.



Необходимость снижения интенсивности бокового износа в точке контакта колес и рельсов на сегодняшний день остается в фокусе внимания отраслевой науки. В рамках научного поиска определены факторы, влияющие на интенсивность износа рельсов, включающие уровень силового взаимодействия в зоне контакта [1]. Наличие неровностей и отклонений в плане повышает уровень боковых и рамных сил, действующих от подвижного состава на путь [2]. При этом, согласно нормативным документам, хорошее состояние пути допускает наличие отклонений второй степени независимо от радиуса кривой [3].

Для определения качественных зависимостей показателей взаимодействия пути и подвижного состава от степени отклонений кривых в плане проведены расчеты в программном комплексе «Универсальный механизм» (модуль UMLoco).

На рост силового взаимодействия пути и подвижного состава влияет не только амплитуда неровностей, но и их количество на рассматриваемом участке пути. На основании этих параметров производится оценка состояния пути по рихтовке. В работе на основе расчетов проводилась оценка влияния состояния пути на боковые силы для разных радиусов кривых (300, 650, 1200 и 4000 м) и при разных скоростях движения вагона (40, 60, 80 и 90 км/ч). Геометрические параметры кривых без отклонений по рихтовке (возвышение наружного рельса и длина переходных кривых) принимались такими, чтобы обеспечить движение вагона в кривой при заданной скорости с непогашенным ускорением  $a_{\text{нп}} = 0 \text{ м/с}^2$ . Отклонения по рихтовке представляли собой модели отступления второй и третьей степени, количество которых свидетельствовало о состоянии криволинейного участка пути. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и на рис. 1–4.

Таблица 1

Влияние состояния пути в кривых на величину боковых сил

Скорость, км/ч	Состояние пути	Величина боковых сил, кН, при радиусе кривой			
		300 м	650 м	1200 м	4000 м
40	без неровностей	42,51	34,81	20,83	5,75
	отличное	44,3	41,52	37,05	39,55
	хорошее	46,19	44,48	47,24	48,61
	удовлетворительное	46,38	47,27	48,11	41,01
	неудовлетворительное	47,33	50,64	49,2	41,85
60	без неровностей	44,24	35,23	21,03	5,75
	отличное	45,58	42,58	37,25	41,69
	хорошее	47,17	45,52	51,28	53,98
	удовлетворительное	48,16	48,27	52,01	43,31
	неудовлетворительное	51,51	54,14	55,21	44,05
80	без неровностей	56,51	34,43	21,32	6,85
	отличное	60,03	41,19	36,02	38,96
	хорошее	62,57	47,65	46,11	53,78
	удовлетворительное	60,22	49,6	52,73	42,8
	неудовлетворительное	64,54	53,14	54,54	47,1
90	без неровностей	65,52	34,95	21,26	6,99
	отличное	68,24	41,68	34,13	30,42
	хорошее	70,42	50,32	46,04	41,95
	удовлетворительное	65,17	53,14	45,78	39,56
	неудовлетворительное	72,25	52,46	51,87	43,31

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

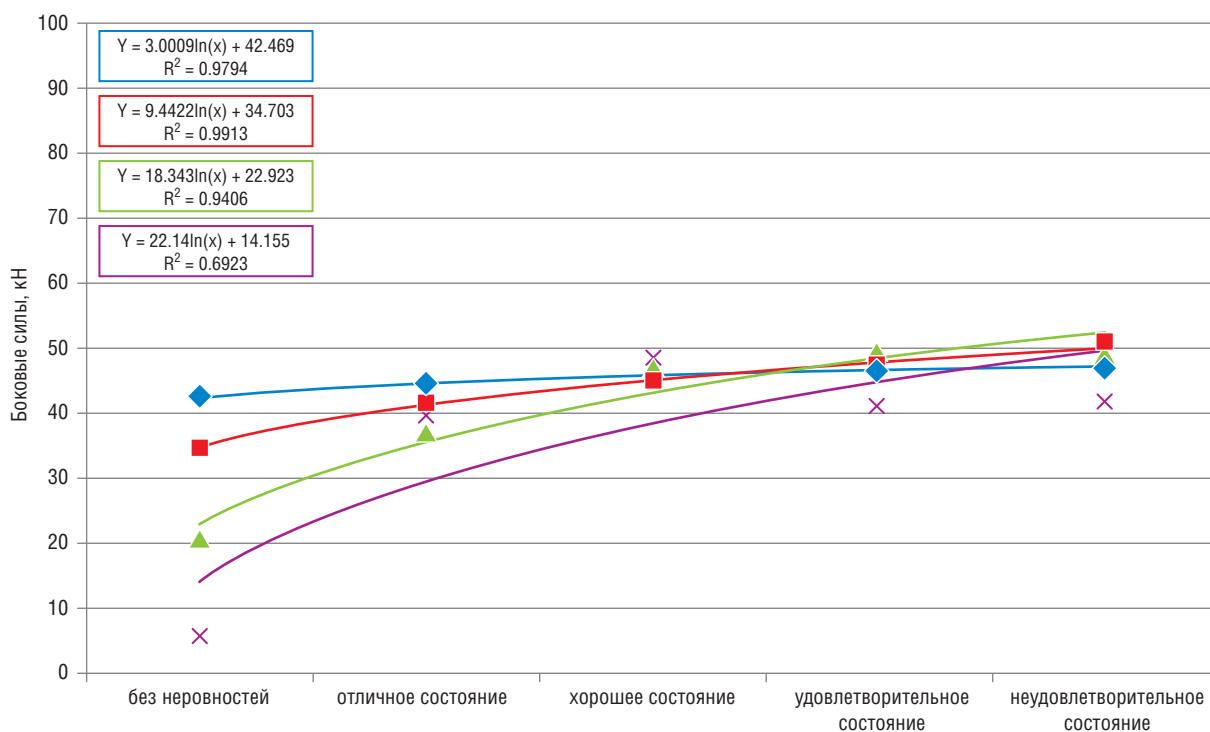


Рис. 1. Зависимость боковых сил от состояния пути в кривых при скорости движения 40 км/ч:  
 — логарифмическая (R300); — логарифмическая (R650);  
 — логарифмическая (R1200); — логарифмическая (R4000)

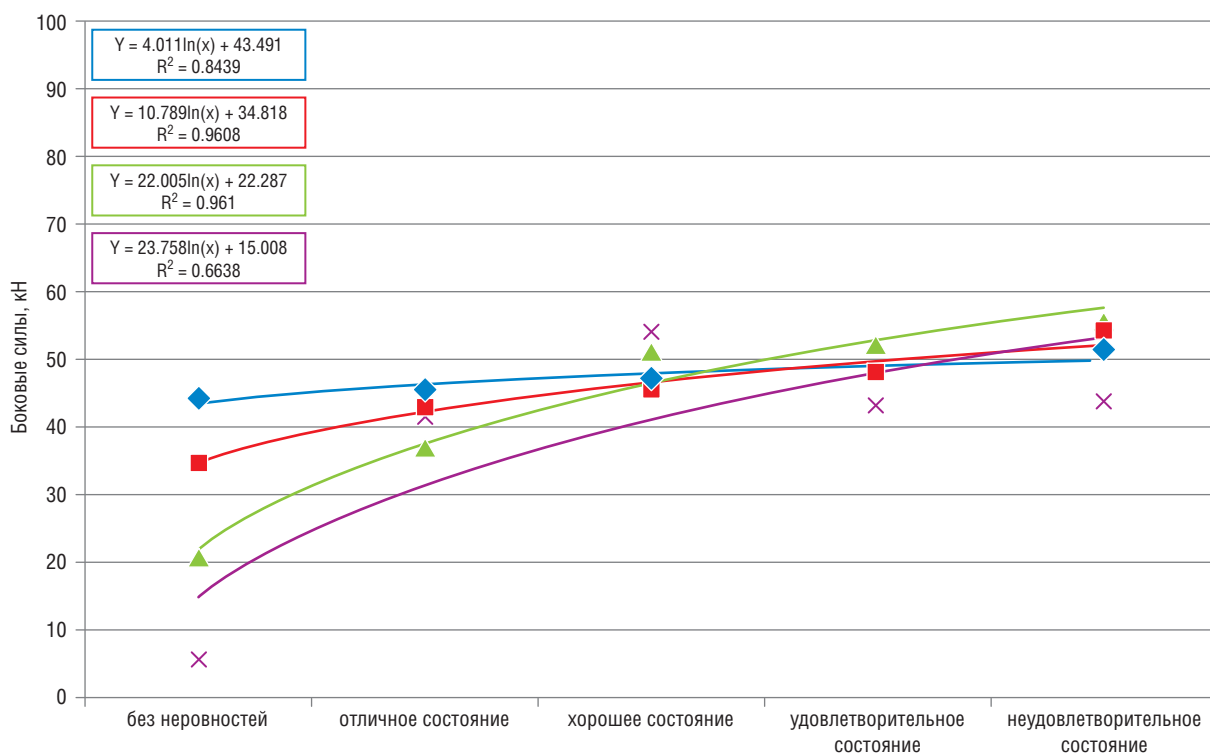


Рис. 2. Зависимость боковых сил от состояния пути в кривых при скорости движения 60 км/ч:  
 — логарифмическая (R300); — логарифмическая (R650);  
 — логарифмическая (R1200); — логарифмическая (R4000)

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

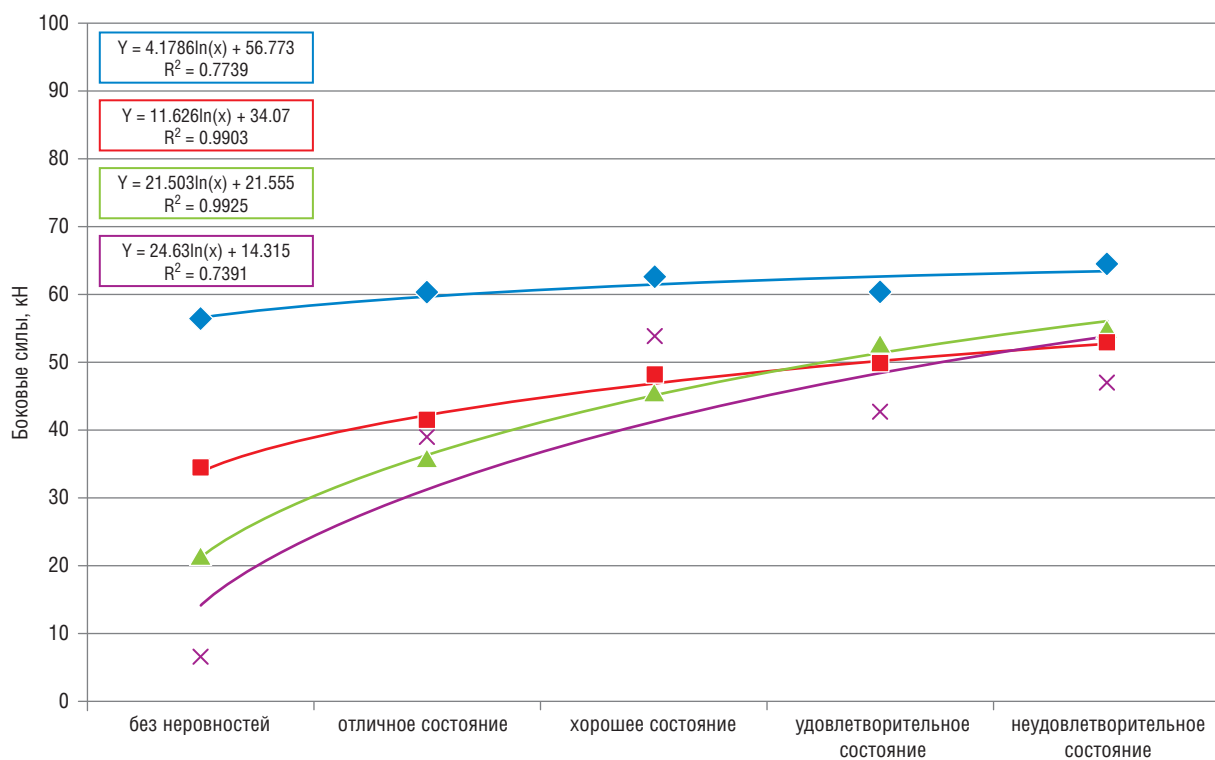


Рис. 3. Зависимость боковых сил от состояния пути в кривых при скорости движения 80 км/ч:

— логарифмическая (R300); — логарифмическая (R650);  
— логарифмическая (R1200); — логарифмическая (R4000)

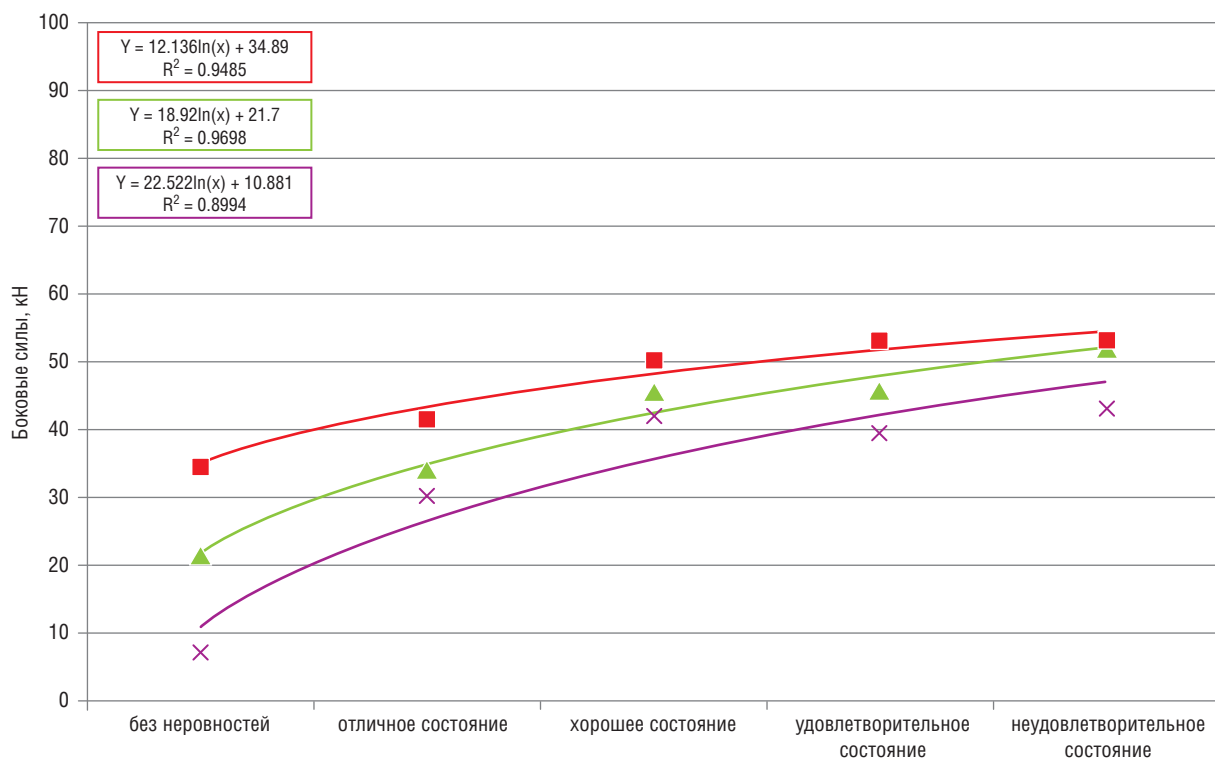


Рис. 4. Зависимость боковых сил от состояния пути в кривых при скорости движения 90 км/ч:

— логарифмическая (R650); — логарифмическая (R1200); — логарифмическая (R4000)

По результатам анализа полученных данных можно сделать вывод, что рост числа и амплитуды отклонений ведет к увеличению показателя боковых сил. При этом если на кривых малого радиуса увеличение боковых сил может свидетельствовать о небольшом повышении интенсивности износа, то в кривых большего радиуса заметно резкое увеличение силового взаимодействия колес и рельсов при наличии даже небольших отклонений. Предлагается при оценке состояния кривых участков железнодорожного пути учитывать не только амплитуду отклонений, но и процентное соотношение стрелы круговой кривой к амплитуде отклонения.

Хотя влияние отступлений от проектного положения кривой в плане на рост боковых и рамных сил не приводит к превышению их нормативных значений, однако может быть причиной увеличения интенсивности износа рельсов.

На рис. 5 представлены зависимости типа изнашивания рельсов от состояния пути в плане, построенные по расчетным значениям параметра  $\lambda \rho_{\max}$  (произведение проскальзывания на максимальное давление в зоне контакта колес с рельсами). Расчет производился в программном комплексе «Универсальный механизм» при моделировании движения грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс со скоростью 60 км/ч по кривым различных радиусов (300, 650, 1200 и 4000 м) без отклонений в плане и с моделями неровностей, соответствующими нормативным состояниям пути (отличному, хорошему, удовлетворительному и неудовлетворительному состоянию). Из рис. 5 видно,

что рост интенсивности износа в кривой вызывают даже небольшие отклонения в плане. Так, в зону интенсивного типа изнашивания попадают кривые радиусом 300, 650 и 1200 м даже в хорошем состоянии, т.е. с отклонениями не выше 23 мм (с разностью стрел изгиба до 35 мм).

Одним из аспектов, обосновывающим необходимость перехода к содержанию кривых участков железнодорожного пути в соответствии с проектным положением, является неравномерность изнашивания в многорадиусных кривых.

Для оценки уровня такой неравномерности в программном комплексе «Универсальный механизм» смоделировано движение грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс и со скоростями 60 и 80 км/ч по однорадиусной кривой радиусом 450 м и многорадиусной кривой, включающих в себя четыре круговые кривые (радиусы: 545, 970, 315 и 530 м).

На рис. 6 приведен пример многорадиусной кривой, взятый из карточки кривой на направлении Самара — Челябинск. С применением тахеометрической съемки получены координаты этого участка, по ним построена модель натурального положения многорадиусной кривой в программном комплексе «Универсальный механизм».

Для сравнения интенсивности изнашивания рельсов в многорадиусной и однорадиусной кривой в программе моделирования построена еще одна модель криволинейного участка пути с усредненным радиусом и возвышением наружного рельса по данным представленной многорадиусной кривой.

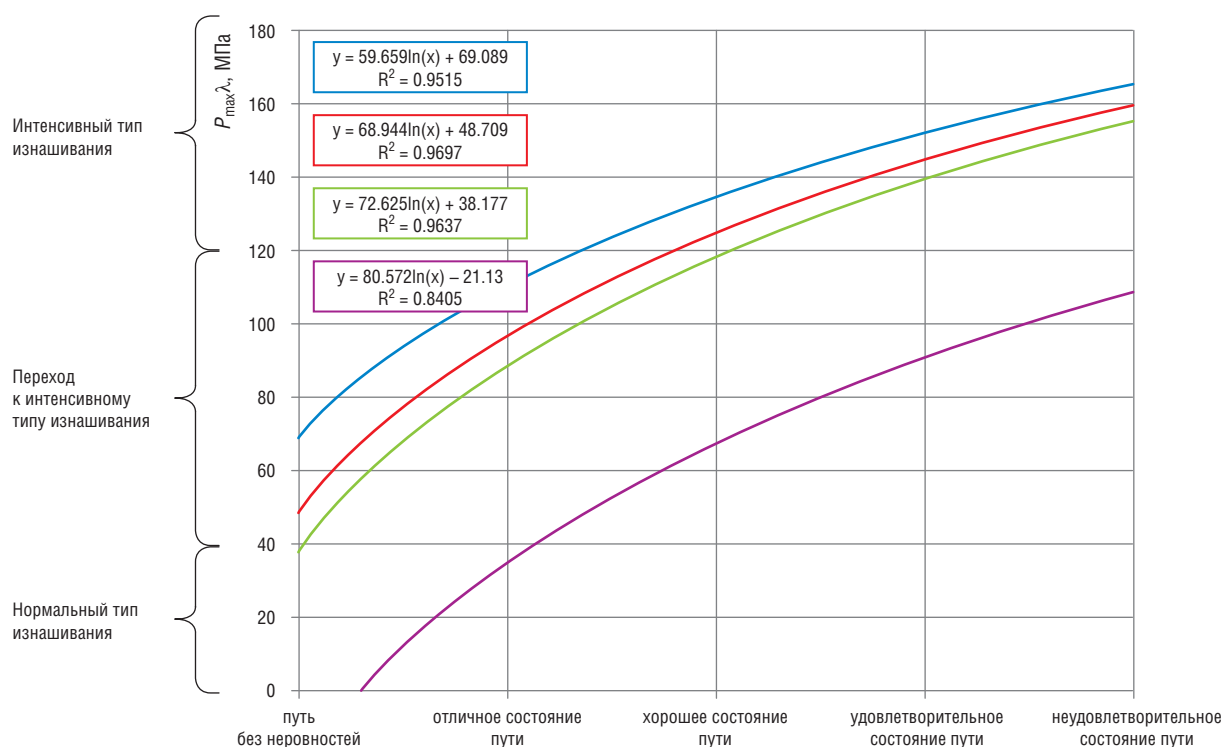


Рис. 5. Зависимость типа изнашивания рельсов от состояния пути:

— радиус 300 м; — радиус 650 м; — радиус 1200 м; — радиус 4000 м



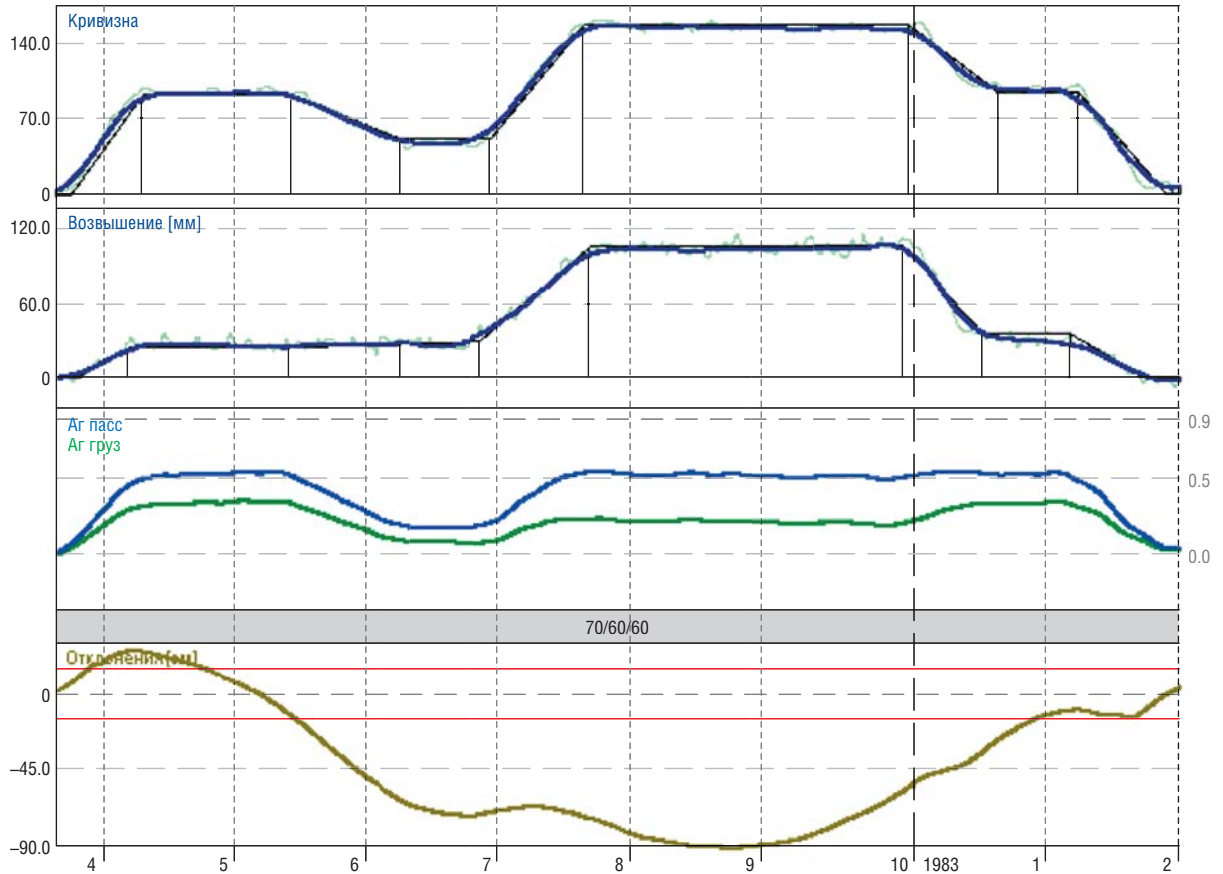


Рис. 6. Много радиусная кривая

На двух моделях пути проводились расчеты проскальзывания и максимального давления в точке контакта колес и рельсов при движении грузового вагона с нагрузкой на ось 23,5 тс и со скоростью 60 км/ч. Результаты расчетов использованы в модели износа, разработанной в АО «ВНИИЖТ», для получения уровня интенсивности бокового износа рельсов (рис. 7) [4–6]:

$$I = \frac{k\lambda^2 p_{\max}}{E},$$

где  $k$  — безразмерный коэффициент, равный 0,03 для чистых рельсов;  $E$  — модуль Юнга для рельсовых сталей.

Анализ результатов расчетов, представленных на рис. 7, указывает на неравномерность уровня изнашивания рельсов в много радиусных кривых, что неизбежно ведет к не-

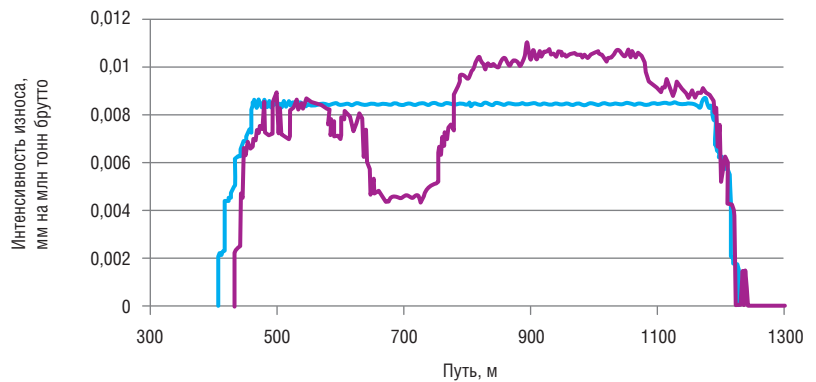


Рис. 7. Сравнение интенсивности бокового износа рельсов в много радиусной и однорядиусной кривой:

— однорядиусная кривая; — много радиусная кривая

рациональности в проведении ремонтных работ и обслуживании пути, поскольку необходимость замены рельсов на всей кривой определяется по самому плохому участку. Это служит обоснованием для перехода к содержанию пути по отклонениям от проектного (базового) поло-

жения, в отличие от подхода, основанного на принципе минимальной суммы сдвигов и ведущего к паспортизации много радиусных и расстроенных кривых.

В результате расчетов в программном комплексе «Универсальный механизм» показателей взаи-

модействия пути и подвижного состава в кривых, в том числе с отклонениями от проектного положения, установлено, что рост числа и амплитуды отклонений ведет к увеличению показателя боковых сил, причем это увеличение заметно в большей степени на кривых большого радиуса; рост интенсивности износа в кривой вызы-

вают даже небольшие отклонения в плане; имеется неравномерность уровня изнашивания рельсов в много радиусных кривых, что неизбежно ведет к нерациональности в проведении ремонтных работ и обслуживании пути, поскольку необходимость замены рельсов на всей кривой определяется по самому плохому участку. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Вериги М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. — М. : ПТКБ ЦП МПС, 1997. — 207 с.
2. Чибизова Н. Г. Воздействие грузовых полувагонов на путь в кривой с отступлениями в плане // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). — 1966. — № 8. — С. 32–37.
3. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения: приказ МПС РФ от 04.10.2013 № ЦП-515. — URL: <https://studfile.net/preview/6318997/>
4. Жаров И. А. Зависимость типа изнашивания колес и рельсов от параметров их контакта и ширины колеи / И. А. Жаров, С. М. Захаров // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2010. — № 2. — С. 46–49. — ISSN 2223–9731.
5. Богданов В. М. Относительное проскальзывание в точках контакта колеса с рельсом / В. М. Богданов, Д. П. Марков, И. А. Жаров, С. М. Захаров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 1999. — № 3. — С. 6–9. — ISSN 0869–8163.
6. Жаров И. А. Моделирование изнашивания пары гребень колеса — боковая поверхность рельса в кривых малого радиуса / И. А. Жаров, И. А. Комаровский, С. М. Захаров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 1998. — № 2. — С. 15–18. — ISSN 0869–8163.

Объем статьи: 0,64 авторских листа



**Александр Юрьевич  
Сластенин**  
Alexander Y. Slastenin



**Елена Анатольевна  
Сидорова**  
Elena A. Sidorova

## Механизм расчета колебаний на длинных неровностях

### The mechanism for calculating vibrations on long irregularities

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с явлением извилистого движения экипажа по рельсовой колее. Изучено влияние неровностей продольного профиля на динамические показатели. Применен механизм расчета колебаний на длинных неровностях на основе математического моделирования физического маятника с использованием теории колебательного движения экипажа на участках извилистого пути.

**Ключевые слова:** подуклонка рельсов, длинные неровности, извилистое движение, повышение скоростей движения, безопасность движения.

#### Abstract

The article deals with issues related to the phenomenon of tortuous motion of a carriage along the rail track. The impact of the irregularities of a longitudinal profile on the dynamic indicators has been studied. The calculation mechanism of oscillations on long irregularities is applied on the basis of mathematical modelling of a physical pendulum using the theory of oscillatory motion of the carriage on sections of a tortuous track.

**Keywords:** sub-slope of rails, long irregularities, tortuous motion, increase in traffic speeds, traffic safety.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-38-42

#### Авторы Authors

*Александр Юрьевич Сластенин, ведущий научный сотрудник ООО «Центр инновационного развития СТМ» (ООО «ЦИР СТМ»), Екатеринбург | Елена Анатольевна Сидорова, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва*

*Alexander Y. Slastenin, Leading Researcher at LLC "Center for Innovative Development of Sinara Transport Machines" (LLC "CID STM"), Yekaterinburg | Elena A. Sidorova, Candidate of Technical Sciences, leading researcher, JSC "All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport" ("VNIIZHT"); Moscow*

Изучение параметров содержания пути требует сложного подхода к задачам динамического взаимодействия рельса и колеса, который обусловлен тенденциями повышения скоростей движения, веса поездов и осевых нагрузок. Необходим пересмотр требований к системе контроля и мониторинга состояния пути. Такие меры диктуются не только увеличением параметров контроля для более полного соответствия с действительностью, но и практической необходимостью [1, 2].

Механизм расчета колебаний экипажа на железнодорожном пути, в том числе с учетом наличия длинных неровностей, изучен не в полном объеме. Одним из способов описания механизма реализации колебаний служит математический маятник, учитывающий в структуре расчета влияние подуклонки (разуклонки) рельсов, массу экипажа и состояние верхнего строения пути (наличие длинных неровностей, способствующих совершению пространственных колебаний, оказывающих влияние на динамику подвижного состава и плавность хода) [3, 4].

Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава, плавности хода, возникновения колебаний экипажа и влияния на него длинных неровностей освещены отечественными учеными не в полном объеме [5, 6]. При этом следует учитывать актуальность высокоскоростного железнодорожного сообщения, что отражено в Стратегии развития ОАО «РЖД» до 2030 г. и подтверждено строительством новых ВСМ [7]. В связи с этим вопрос о необходимости усиления норм контроля состояния пути, повышающих комфорт пассажиров, весьма актуален. Для этого проводится исследование физических свойств, возникающих и развивающихся динамических процессов колебания экипажа на основе математического маятника с изменением высоты подвеса, который зависит от подуклонки рельсов в процессе движения экипажа [4].

При текущем содержании железнодорожного пути допускаются такие параметры, как постоянная регулировка ширины колеи, исключая прямолинейное движение; недостаточная жесткость подрельсовых прокладок, способствующая деформации при кручении рельса; подуклонка рельса, не являющаяся постоянной величиной и приводящая к неравномерному отводу подуклонки, в том числе в местах искусственных сооружений и стрелочных переводов. Содержание пути осуществляется на основе данных с мобильных средств диагностики (МСД), рассчитывающихся на базе путеизмерителя [8]. Все это увеличивает затраты на текущее содержание пути, уменьшает комфорт и плавность хода и, как следствие, влечет за собой снижение скорости движения и безопасности движения [9].

Для решения поставленной задачи применяется система низкочастотных колебаний на основе математического маятника, способная учитывать все эти величины при расчете механики колебания кузова, в том числе с наличием длинных неровностей, способных вызвать продольные колебания (рис. 1).



Рис. 1. Участок пути с длинными неровностями

Необходимо определить условия, при которых возникают динамические воздействия низкочастотных колебаний в профиле, вызванных расстройством подуклонки рельсов, в том числе на участках с длинными неровностями, вызванными деформациями земляного полотна на участках обращения поездов повышенной массы и длины [6]. Для этого рассчитывается динамический коэффициент наиболее неблагоприятных эксплуатационных характеристик положения пути по формуле (1) [10]:

$$\mu = \frac{a}{100} \left[ 56 \cdot e^{-\left(\frac{L}{10}\right)^2} + 50 \cdot \left(\frac{L \cdot f_i}{80} - 1\right) e^{-\left(\frac{L}{10}\right)^2} \right] \geq 0,05, \quad (1)$$

где  $a$  — скоростной коэффициент, который принимается в зависимости от расчетной скорости движения экипажа

$$\left( a = \frac{V}{22} \text{ при } V < 22 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right); a = 1,0 \text{ при } V > 22 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right); \right);$$

$V$  — расчетная скорость,  $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$ ;  $L$  — расчетная длина колесной базы вагона, м;  $e$  — основание натурального логарифма  $\approx 2,718$ ;  $f_i$  — частота колебания расчетного вагона на установленной скорости, Гц.

При значении  $\mu$  меньше 0,05 величина оказываемого влияния считается несущественной.

Расчет колебания вагона производится в пределах собственных колебаний и максимально допустимых (резонанса колебаний) по формуле (2) [10]:

$$f_{i, \min} \leq f_i \leq f_{i, \max}, \quad (2)$$



где  $f_{i, \min}$  — частота колебаний при проектной геометрии рельсовой колеи (ГРК), Гц;  $f_{i, \max}$  — резонанс частоты колебаний при прохождении длинных неровностей, Гц.

Степень свободы колеса конической формы, необходимая для вписывания в кривые участки пути, рассчитывается по формуле (3):

$$d_{i\text{кол}} = L_{\text{колес}} + 2 \cdot d_{\text{греб}} - h_i, \quad (3)$$

где  $d_{i\text{кол}}$  — свободный ход колесной пары между гребнями по поверхности катания колеса, мм;  $L_{\text{колес}}$  — расстояние между гребнями колес, 1440 мм;  $d_{\text{греб}}$  — толщины гребня колеса, 33 мм;  $h_i$  — ширина колеи на уровне ниже 13 мм поверхности катания, мм.

Колебаниям, вызванным изменениями подуклонки на участках с наличием в пути длинных неровностей в профиле, соответствуют частоты свободных колебаний, следовательно, их можно представить в виде комбинаций простых гармонических колебаний, имеющих различную частоту (рис. 2), которые рассчитываются по формуле (4) [11]:

$$f_i = \frac{k_j^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (4)$$

где  $k_j = j\pi$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots$ ;  $E$  — кинетическая энергия экипажа, Дж;  $J$  — момент инерции, кг·м<sup>2</sup>;  $m$  — осевая нагрузка, т.

При математическом моделировании движения экипажа в системе математического маятника необходимо учитывать дополнительные параметры: появление величины запаздывания задней тележки от передней при колебаниях кузова и прямолинейном движении, в том числе с наличием длинных неровностей.

При скорости движения до 80 км/ч, что характерно для грузового состава, происходит огибание длинных неровностей (рис. 3). Исследования [6, 12] показали, что прохождение вершин длинных неровностей в профиле может способствовать обезгрузке первой колесной пары первой тележки, в результате возникает вероятность схода вагона. Также стоит отметить увеличение затрат энергии, связанных с необходимостью преодоления подъема при огибании вершин длинной неровности [5], образующих подъемы и спуски.

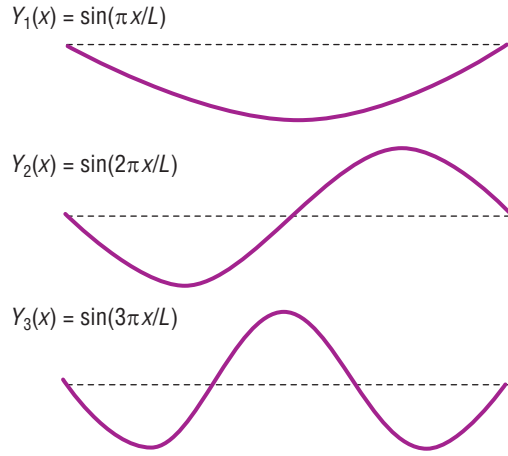


Рис. 2. Пример функций гармонических колебаний

При движении экипажа ЭВС1/ЭВС2 «Сапсан» семейства Velaro на скоростях 160–250 км/ч (рис. 4) наблюдаются ярко выраженные низкочастотные колебания, что может приводить к срабатыванию системы курсовой устойчивости хода (КУХ). Одной из ключевых особенностей при расчете динамического коэффициента частоты колебаний экипажа [13] является скорость движения экипажа.

Возмущения галопирующих колебаний вагона, вызванных изменением подуклонки рельс на расчетную величину отвеса математического маятника, представлены на рис. 5.

Для определения форм колебаний подвижного состава, вызванных отклонением геометрии рельсовой колеи, описывающихся синусоидой математического маятника, применяется формула вида (5) [10]:

$$Y(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin \frac{i\pi x}{L} \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (5)$$

где  $\omega_i = 2\pi f_i$  — круговая частота, рад/с;  $f_i$  — функция простого гармонического колебания в  $i$ -й период;  $A_i$  — величина функции начального положения вагона в ряду Фурье.

Следовательно, при определении параметров колебаний кузова, складывающихся из форм колебания гармонической волны с расчетными частотами,



Рис. 3. Положение грузовых вагонов на участке с длинными неровностями

векторов сил кинетической энергии и крутящего момента на основе длины подвеса математического маятника, получим механизм расчета колебаний экипажа, с учетом изменения подуклонки и параметров длинных неровностей продольного профиля.

## Выводы

Параметры контроля состояния геометрии рельсовой колеи необходимо дополнить величиной подуклонки рельсов с учетом длинных неровностей в профиле, поскольку она значительно влияет на процессы возбуждения колебания кузова при взаимодействии колеса и рельса.

Необходимо совершенствовать механизм расчета колебаний на участках пути с длинными неровностями в продольном профиле за счет изменения подуклонки рельса.

Описанный в работе способ расчета механизма колебаний в зависимости от подуклонки рельса на участках пути с длинными неровностями позволит дополнить и усовершенствовать нормы содержания верхнего строения пути.

Требуется дальнейшее изучение движения экипажа на участках извилистого пути с применением механизма расчета колебаний на длинных неровностях. Исследования в данной области позволят обеспечить безопасность движения железнодорожного транспорта и повысить комфортность. **ИТ**

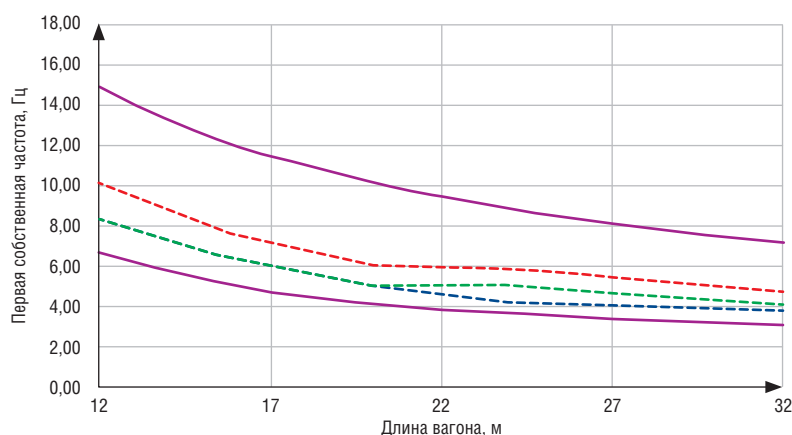


Рис. 4. Частота колебаний кузова в зависимости от базы вагона и скорости движения:

— 201–250 км/ч; — 161–200 км/ч; — до 160 км/ч

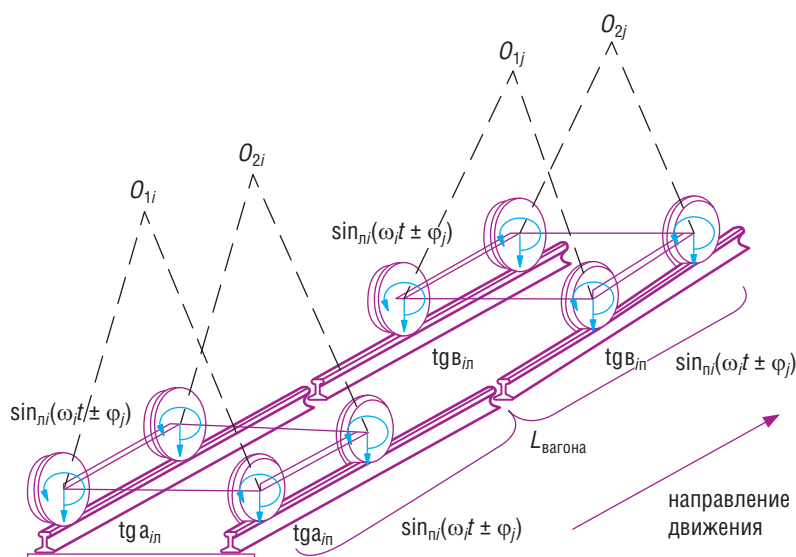


Рис. 5. Пример действия галоупирующих частот на длинных неровностях при разных величинах подуклонки во время движения экипажа:  $tg a_{in}$ ,  $tg a_{in}$ ,  $tg b_{in}$ ,  $tg b_{in}$  — подуклонка рельсов правого и левого в  $i, j$  момент времени (рад);  $\sin_{\pi}(\omega_i t \pm \varphi_j)$  — величина простых гармонических колебаний со сдвижением фаз (запаздыванием);  $L_{\text{вагона}}$  — длина вагона (м);  $O_{1i}$ ,  $O_{2i}$ ,  $O_{1j}$ ,  $O_{2j}$  — длина подвеса математического маятника в вершине лучей углов наклона подуклонки рельсов (м)

## Список литературы / Reference

- Гапанович В. А., Певзнер В. О., Кочергин В. В., Максимов И. Н. О необходимости актуализации нормативов оценки геометрии рельсовой колеи // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. — 2019. — № 4 (48). — С. 22–27. — ISSN 1998–9318.
- Певзнер В. О., Белоцветова О. Ю., Шапетько К. В. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. — 2014. — Т. 7, № 7. — С. 14–22.
- Потапов А. В. Подуклонка рельсов и обеспечение устойчивости движения экипажей // Транспортное строительство. — 2018. — № 8. — С. 26–28.
- Pevzner V., Shapetko K., Slastenin A. Needed Additions to the Diagnostic System of High-Speed Lines // Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. — Springer, Cham, 2019. — P. 496–505.
- Певзнер В. О., Чечельницкий А. И., Шапетько К. В., Сидорова Е. А., Сластенин А. Ю. Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного про-

- цесса // Вестник ВНИИЖТ. — 2020. — Т. 79. — № 5. — С. 271–275. — ISSN 2223–9731.
6. Шапетько К. В. Оценка деформативности пути на участках интенсификации перевозочного процесса // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. — 2018. — Т. 12. — № 12. — С. 189–191.
  7. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. — URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010>.
  8. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути: Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.11.2016 № 2288р (ред. 29.01.2020 № 157). — URL: <https://docs.cntd.ru/document/456052478>
  9. Певзнер В. О., Белоцветова О. Ю., Третьяков В. В., Третьяков И. В., Шапетько К. В. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении // Путь и путевое хозяйство. — 2014. — № 12. — С. 2–6. — ISSN 0131–5765.
  10. Болотин В. В. Динамическая устойчивость упругих систем. — М. : Гостехтеориздат, 1956. — 600 с.
  11. Кохманюк С. С., Янютин Е. Г., Романенко Л. Г. Колебания деформируемых систем при импульсных и подвижных нагрузках. — Киев : Наукова думка, 1980. — 231 с.
  12. Певзнер В. О., Сидорова Е. А., Шапетько К. В., Анисина И. М., Сластенин А. Ю. О влиянии длинных неровностей пути на безопасность движения // Железнодорожный транспорт. — 2021. — № 11. — С. 40–44. — ISSN 0044–4448.
  13. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. — М. : Транспорт, 1997. — Т. 997. — 325 с.

Объем статьи: 0,41 авторских листа



**Даниил  
Вадимович  
Дуванов**  
Daniil V.  
Duvanov



**Александр  
Васильевич  
Смолянинов**  
Alexander V.  
Smolyaninov



**Константин  
Михайлович  
Колясов**  
Konstantin M.  
Kolyasov

## К вопросу определения жизненного цикла пружин тележки электропоезда ЭС2Г

### On the issue of estimating the life cycle of bogie springs of the ES2G electric train

#### Аннотация

В настоящее время показатели долговечности вагонов и их комплектующих узлов и деталей определяются понятиями «срок службы» и «назначенный срок службы». Эти понятия не в полной мере отражают процессы их эксплуатации и не позволяют прогнозировать, управлять и экономически регулировать технические параметры и свойства железнодорожного подвижного состава. Более полным всеохватывающим параметром, определяющим ресурс объекта, является его жизненный цикл. В работе рассмотрены вопросы, связанные с определением жизненного цикла пружин буксового подвешивания тележки электропоезда ЭС2Г «Ласточка».

**Ключевые слова:** жизненный цикл, пружина, сопротивление усталости, расчет, усталостное разрушение, повреждение, долговечность.

#### Abstract

At present, the indicators of durability of railcars and their components and parts are defined by the concepts of “lifetime in service” and “assigned lifetime in service”. These concepts do not fully reflect their operation processes and prevent from predicting, managing and regulating economically the technical parameters and properties of the railway rolling stock. A more thorough and all-encompassing parameter which determines the operating lifetime of an object is its life cycle. This research paper deals with the issues related to the determination of life cycle of the springs of an axle box suspension bogie of the ES2G electric train “The Lastochka” (“Swallow”).

**Keywords:** life cycle, spring, fatigue resistance, calculation, fatigue failure, damage, durability.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-43-49

#### Авторы Authors

**Даниил Вадимович Дуванов**, аспирант кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), инженер-конструктор департамента конструкторских разработок и исследований ООО «Уральские локомотивы», Екатеринбург; e-mail: [mr.duvanov@bk.ru](mailto:mr.duvanov@bk.ru) | **Александр Васильевич Смолянинов**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: [asmolyaninov@inbox.ru](mailto:asmolyaninov@inbox.ru) | **Константин Михайлович Колясов**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: [KKolyasov@usurt.ru](mailto:KKolyasov@usurt.ru)

**Daniil V. Duvanov**, Post-Graduate student of “Railway Cars” Department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Design-engineer of the department of engineering development and research of LLC “Ural Locomotives”, Yekaterinburg; e-mail: [mr.duvanov@bk.ru](mailto:mr.duvanov@bk.ru) | **Alexander V. Smolyaninov**, Doctor of technical Sciences, Professor of the «Railway cars» Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: [asmolyaninov@inbox.ru](mailto:asmolyaninov@inbox.ru) | **Konstantin M. Kolyasov**, Candidate of Technical Science, Head of the Chair «Railway Cars» of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: [KKolyasov@usurt.ru](mailto:KKolyasov@usurt.ru)



Величины и показатели долговечности технических объектов, в том числе и железнодорожной техники, определяются 12 показателями, первые из которых — это срок службы и назначенный срок службы [1]. ГОСТ 27.002–2015 «Надежность в технике. Термины и определения» относит показатели долговечности к разряду временных, а назначенный срок службы — к показателям, не определяющим надежность объекта [2]. Производители железнодорожной техники в числе технических характеристик своей продукции (вагоны, ходовые части и др.) указывают нормативный срок службы.

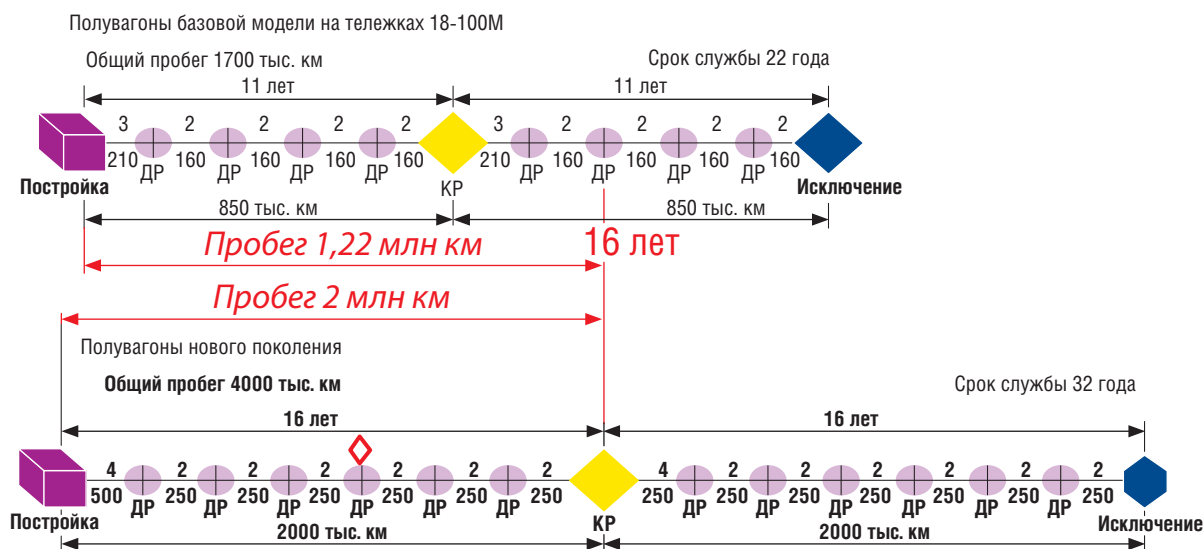
Вместе с тем в научно-технической литературе идут активные обсуждения, посвященные всем сторонам жизненного цикла объекта, например колесной пары: расчет жизненного цикла колесных пар инновационных вагонов [3] и его оптимизация в узле «колесо — рельс» [4]; технологии блокчейн для управления жизненным циклом колесных пар и другие темы [5]. Применение технологии блокчейн позволяет проследить и управлять жизненным циклом колесной пары на всех ее этапах, а также обеспечить надежный, эффективный и прозрачный учет на основе объединения всех участников производственной цепочки: производитель, перевозчик, собственник, операторы и ремонтные предприятия. Предполагается продолжить выделение из общего жизненного цикла вагона контроль жизненных циклов основных узлов тележки грузового вагона: боковых рам и наддресорной балки. Все это свидетельствует о том, что понятие «жизненный цикл» в полной мере отражает работоспособность изделия с учетом финансовых и временных факторов.

Жизненный цикл объекта имеет множество определений во всех сферах жизни человека. В железнодорожной отрасли для подвижного состава жизненным циклом называется совокупность взаимосвязанных, последовательно осуществляемых процессов установления требований к потребительским свойствам и техническим параметрам железнодорожного подвижного состава, а также процессов его создания, применения и утилизации [6].

Проблемными узлами подвижного состава с точки зрения определения жизненного цикла являются элементы ходовых частей, в том числе пружины рессорного подвешивания. Так, для пружин рессорного подвешивания подвижного состава циклическая долговечность обязана обеспечивать срок службы в эксплуатации не менее 16 лет [7]. Срок эксплуатации при этом не зависит от пробега и количества циклов нагружения.

На рис. 1 рассмотрены жизненные циклы для распространенных в эксплуатации полувагонов: полувагона базовой модели на тележках 18-100М со сроком эксплуатации 22 года (порядка одного миллиона штук) и полувагона нового поколения со сроком службы 32 года (0,2 млн штук). На рисунке отмечен срок эксплуатации пружин — 16 лет. Применительно к современному подвижному составу пробег первого вагона со сроком службы 22 года за 16 лет эксплуатации составит 1220 тыс. км; пробег второго вагона со сроком службы 32 года за тот же срок эксплуатации составит 2 млн км.

Число циклов нагружения пружин рессорного комплекта второго вагона будет в 1,64 раза больше, чем у первого вагона. При одинаковом числе циклов нагру-



**Примечание.** На рисунке не показаны элементы жизненного цикла, предшествующие постройке: научные исследования, проектирование и производство.

Рис. 1. Жизненный цикл подвижного состава

Основные преимущества пружин нового поколения НПЦ «Пружина»

Параметры	Типовая пружина тележки 18-100М, сталь 60С2	Пружина нового поколения, сталь 60С2ХФА	Основные преимущества пружин нового поколения
Долговечность при расчетной амплитуде прогиба, количество циклов	$(1...1,5) \cdot 10^5$ (разрушение)	$> 10 \cdot 10^6$ (без разрушений)	в 10 раз
Допустимая амплитуда прогиба, мм	23	30	на ~30 %
Осадка после 250 тыс. циклов, мм	6	0,6	в 10 раз
Допустимый уровень рабочих напряжений, МПа	192	282	на 40–50 %
Допускаемые напряжения при расчете на прочность, МПа	750	1000	на 13 %

жения на современном полувагоне пружины нужно менять после 10 лет эксплуатации. Рассмотренная ситуация характерна в случаях поступления вагонов в плановые виды ремонта по календарным срокам, показывает неоднозначность реализации критерия оценки работы пружин рессорного комплекта грузовых вагонов и не определяет жизненный цикл данного изделия.

Статистические данные работы вагоноремонтных депо АО «ВРК-3» и ООО «ТВМ» показывают, что за первый квартал 2021 г. было отцеплено 953 вагона по причине излома пружин рессорного комплекта тележек. Средний срок эксплуатации пружин составил 10,2 года, не достигнув заявленного срока 16 лет. Из общего числа осмотренных вагонов только около 100 пружин были заменены после 16 лет эксплуатации [8].

Как показывает практика, основными причинами излома пружин считаются:

- низкое качество изготовления пружин;
- естественный износ или усталость металла;
- чрезмерная эксплуатация подвижного состава;
- нарушение маневровых работ на сортировочных горках и вытяжных железнодорожных путях;
- негативное воздействие извне.

Тема срока службы пружин в последнее время часто обсуждается научной и производственной общественностью. Так, в марте 2020 г. некоммерческое партнерство «Объединение производителей железнодорожной техники» провело заседание на предприятии ООО «Уральский пружинный завод» в г. Белорецке по теме «Жизненный цикл пружин подвижного состава железнодорожного транспорта. Современные методы повышения эксплуатационного срока». В ходе заседания были освещены темы установления и продления назначенного срока службы для несущих элементов подвижного состава, был озвучен и консервативный метод — на основе требований безопасности ТР ТС 001/2011 [9] придержи-

ваться п. 4.16 ГОСТ 1452–2011, т.е. циклическая долговечность пружин рессорного подвешивания подвижного состава должна обеспечивать срок службы в эксплуатации не менее 16 лет. После достижения срока эксплуатации 16 лет пружины должны быть сняты с подвижного состава и заменены новыми.

Объединенная вагонная компания, являясь крупнейшим потребителем продукции НПЦ «Пружина» (тележки 18-9810, 18-9855 и 18-6863), проводит свои фундаментальные исследования по определению и уточнению механических свойств пружин, изготовленных из стали 60С2ХФА, с применением высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО). Полученные результаты позволили установить величины модуля сдвига и допускаемые напряжения, что имеет практическое значение при проектировании и совершенствовании рессорного подвешивания [10].

С 2010 г. основным поставщиком пружин рессорного комплекта подвижного состава в нашей стране является компания НПЦ «Пружина» [11]. В ходе сертификации пружины компании прошли испытания на циклическую долговечность: вместо 500 тысяч циклов (по требованиям чертежа) пружины выдержали более 8000 тысяч циклов на сжатие за счет применения стали повышенной прочности. Основные заявленные производителем преимущества пружин нового поколения приведены в табл. 1.

В настоящее время предприятием серийно изготавливаются пружины рессорного комплекта для тележек грузовых вагонов, а также для ходовых частей локомотивов, моторвагонного подвижного состава. По заверениям производителя, новая технология контролируемого формирования наносубструктур в материале пружин позволяет создавать в металле мелкозернистую наноразмерную однородную структуру, что, в свою очередь, обеспечивает улучшенные характеристики изделия:

- повышенную релаксационную стойкость в процессе эксплуатации;
- повышенную нагрузочную способность пружин при разработке новых проектов;
- улучшенную геометрическую точность пружин;
- ужесточение допусков на геометрические параметры пружин (длина в свободном и нагруженном состоянии, стабильность зазоров);
- стабильный шаг пружины, исключающий соударение витков в процессе эксплуатации, а также обеспечивающий более стабильную жесткость на всем рабочем ходу пружины;
- отсутствие необходимости замены пружины в течение срока эксплуатации вагона.

Последнее преимущество не может соответствовать действительности по двум причинам:

1. Срок службы грузовых вагонов различен и зависит не только от типа и назначения вагона, но и от его конструкции. Например, универсальные полувагоны имеют срок службы 22 года, 32 и 40 лет.

2. Приведенная статистика свидетельствует о том, что реальный срок эксплуатации пружин не достигает рекомендованного срока их службы 16 лет.

Необходимо привести еще один пример значительного увеличения жизненного цикла изделия, а именно колесной пары, на 150% — с 6,1 до 15,25 года, за счет применения для изготовления колеса стали 4 (ГОСТ 398–2010), имеющей твердость 380 единиц по Бринеллю [4]. Новый жизненный цикл определен через соотношение твердости материала колес, на которое увеличен известный срок службы типовой колесной пары. В работе [3] рассмотрен процесс увеличения жизненного цикла колесной пары (в терминах ГОСТ 4835–2013) с нынешних 6 лет (типовой полувагон 12-132) до 11 (под полувагоном 12-196-02) и до 20 лет (полувагон 12-9853). Нужно иметь в виду, что данный материал был опубликован во время активного обсуждения массового внедрения кассетных подшипников под адаптер.

В настоящее время молодое предприятие железнодорожного машиностроения ООО «Уральские локомотивы» ставит следующие стратегические цели:

- снижение стоимости жизненного цикла выпускаемых грузовых локомотивов и электропоездов за счет увеличения надежности узлов, совершенствования конструкции, назначения максимального срока службы, приближенного к сроку службы всего изделия;
- увеличение межремонтных пробегов;
- внедрение полноценной системы «цифрового двойника» электропоезда.

Стоимость жизненного цикла (железнодорожного подвижного состава) — это суммарные финансовые затраты на осуществление всех стадий жизненного цикла единицы железнодорожного подвижного состава.

Начиная с 2014 г. завод начал массово выпускать скоростные электропоезда «Ласточка» (ЭС2Г). Срок службы электропоезда «Ласточка» составляет 40 лет. Часть узлов механической части электропоездов имеют срок службы гораздо меньше 40 лет, в том числе и пружины первой ступени подвешивания тележки (согласно действующим документам, срок службы пружин — 16 лет).

Нормы расчета вагонов на прочность [12] предусматривают, что для деталей вагонов, работающих в условиях длительного и интенсивного воздействия динамических нагрузок, производится расчет на сопротивление усталости при многоцикловом нагружении ( $>10^5$ ). Расчет выполняется с учетом вероятностного рассеивания характеристик сопротивления усталости детали и случайного характера ее динамического нагружения.

Расчет сопротивления усталости производится по коэффициенту запаса по формуле:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,3}} \geq [n], \quad (1)$$

где  $\sigma_{a,N}$  — предел выносливости (по амплитуде) натурной детали при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения на базе испытаний  $N_0$  (как правило  $N_0 = 10^7$  циклов);  $\sigma_{a,3}$  — расчетная величина амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла, приведенная к базе  $N_0$ , эквивалентная по повреждающему действию реальному режиму эксплуатационных случайных напряжений за проектный срок службы детали;  $[n]$  — допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости.

Аналогичная трактовка расчета по коэффициенту запаса сопротивления усталости приводится в п. 6.3 ГОСТ 33211 [8], п. 8.3 ГОСТ 33796 [9], п. 8.3 ГОСТ 55513 [10].

При использовании статистически надежных экспериментальных данных по пределу выносливости  $\sigma_{a,N}$  при доверительной вероятности  $P = 0,95$  и надежных экспериментальных данных по эксплуатационной нагруженности колесных пар и их связям с рамой тележки  $\sigma_{a,3}$  допускаемое значение коэффициента запаса сопротивления усталости равно 1,7 [12].

Нормативные документы [12–15] предусматривают выполнение расчетов несущих конструкций подвижного состава на циклическую долговечность — при изменении нагруженности и при продлении срока службы подвижного состава.

Усталостные разрушения вызываются действием циклической нагрузки, в результате в детали возникают и накапливаются повреждения, сумма которых является критерием долговечности (ресурс, циклическая долговечность). Расчет ресурса проводят на основе гипотезы линейного суммирования повреждений. Согласно гипотезе А. Пальмгрена, доля поврежденности при любом уровне амплитуды напряжения цикла  $\sigma_i$  прямо пропорциональна отношению числа циклов его действия к полному числу циклов  $N_i$  [16].

Гипотеза применяется к несущим элементам подвижного состава, имеющим постоянные циклические нагрузки и равномерное накапливание повреждений элемента. Пружины имеют непостоянные циклические нагрузки и неравномерное накапливание повреждений, поэтому расчет пружин по данной гипотезе не выполняется.

Для расчета при переменных нагрузках можно использовать гипотезу Пальмгрена — Майнера как правило линейного суммирования повреждений. Гипотеза утверждает, что доля повреждаемости при любом уровне амплитуды нагружения пропорциональна отношению числа циклов его действия  $n_i$  к полному числу циклов  $N_{fi}$ , которое привело бы к разрушению при этом уровне (рис. 2), т.е.  $D_i = n_i / N_{fi}$  [16]. При расчетах на усталость металлических элементов различных конструкций гипотеза накопления усталостного повреждения, являясь правилом линейного суммирования повреждений, позволяет определить разрушение как:

$$D = \sum_i^k \frac{n_i}{N_{fi}}, \quad (2)$$

где  $D$  — накопленное усталостное повреждение при разрушении рассматриваемого элемента;  $n_i$  — количество циклов нагружения при уровне напряжений  $\sigma_i$ ;  $N_{fi}$  — количество циклов нагружения до разрушения рассматриваемого элемента при уровне напряжений  $\sigma_i$ ;  $k$  — число режимов нагружения.

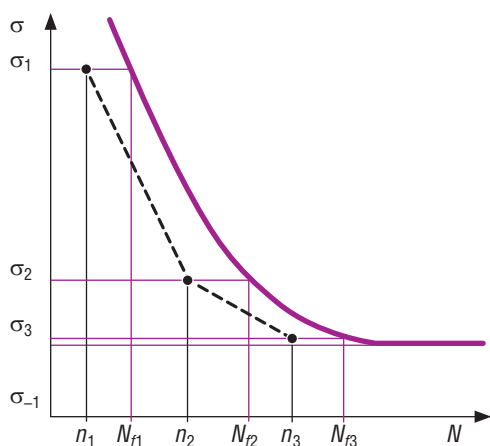


Рис. 2. Иллюстрация линейного накопления повреждений

Допускается, что разрушение произойдет, когда сумма повреждений, полученных их линейным суммированием, вносимых всеми циклами, будет равна единице [17]. Разброс накопленной повреждаемости в момент разрушения может находиться в пределах 0,6–1,6 [18]. Для выполнения требуемого расчета необходимы осциллограммы зависимости напряжений, возникающих в пружинах от пройденного расстояния. Расчет ресурса проводится с помощью цифрового двойника [19], для

расчета используется программный комплекс ANSYS nCode DesignLife. Многие исследователи отмечают, что при расчетах не учитывается процесс накопления усталостных повреждений в деталях, по реальным данным параметр повреждаемости имеет разброс в диапазоне 0,25–4 [19] и в 2,0–2,5 раза [20, 21].

ANSYS nCode DesignLife — ведущий инструмент для выполнения расчета усталостной прочности и долговечности, изобретенный компанией HBM и интегрированный в ANSYS Workbench благодаря партнерскому соглашению с компанией ANSYS. Исходной составляющей расчетов усталости являются должные свойства материала, а также результаты типичного расчета прочности (например в ANSYS Mechanical) и история циклического нагружения [22].

На рис. 3 показан вариант формирования проекта анализа усталостной долговечности пружин, выполненный в программе ANSYS nCode DesignLife.

В препроцессную обработку входят (рис. 3, левая часть):

- твердотельная модель (подразумевается загрузка геометрической модели, создание конечно-элементной сетки, задание граничных условий) [19];
- история нагружений (исходные данные — осциллограммы нагружений пружин буксового подвешивания вертикальными и горизонтальными в продольном и поперечном направлениях силами, полученные в процессе испытаний);
- характеристики материала и кривая усталости  $S-N$  (задание механических и физических характеристик стали, кривой усталости стали по справочным материалам или результатам испытаний).

В постпроцессную обработку входят (рис. 3, правая часть):

- количество циклов нагружений до разрушения детали;
- кривая усталости от действия нагрузок, принятых по осциллограмме нагружений;
- графический вывод полей нагружений;
- данные в виде таблиц для удобства передачи в другие приложения.

После выполненных расчетов определяется коэффициент безопасности по долговечности соотношением:

$$n_N = \frac{N}{N_3} \geq 1,7, \quad (3)$$

где  $N$  — разрушающее число циклов для эксплуатационных уровней напряжений, соответствует исходной кривой усталости;  $N_3$  — эксплуатационное число циклов нагружения за расчетный срок службы, определяемое по результатам обработки схематизированных случайных процессов, зарегистрированных при динамико-прочностных испытаниях опытного образца (в нашем случае — обработанных в программном комплексе ANSYS nCode DesignLife).



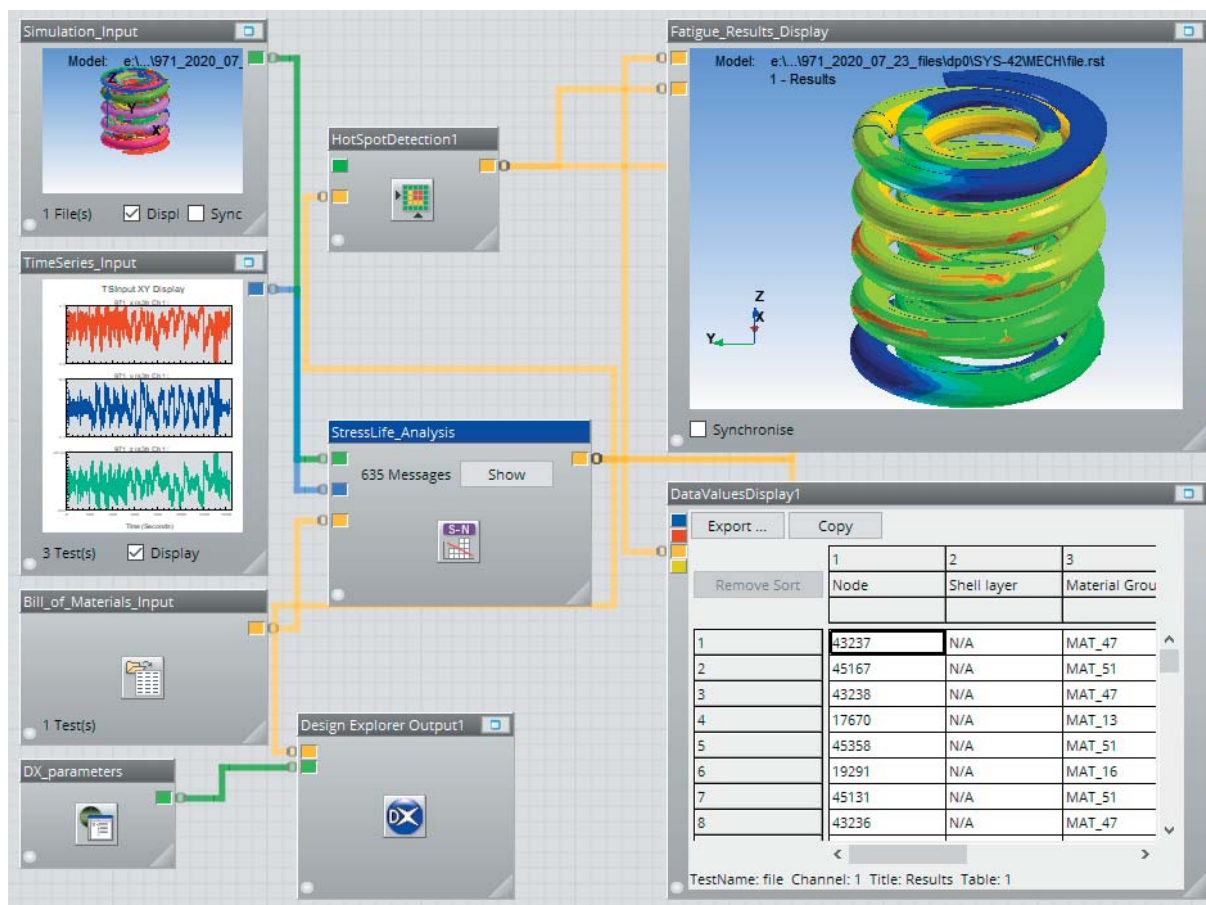


Рис. 3. Проект анализа усталостной долговечности пружин, выполненный в программном комплексе ANSYS nCode DesignLife

## Заключение

Оценка усталостной прочности по зависимостям (1) и (3) осуществляется через отношения напряжений или числа циклов нагружений путем построения кривой усталости по результатам испытаний и ее сравнения с эталонной для данного материала. С точки зрения отражения процесса накопления повреждений и последующей оценки долговечности пружин уместнее и полезнее получать результат в километрах пробега.

В первом приближении (качественная оценка) это можно реализовать по следующему алгоритму. Зная частоту вынужденных колебаний массы кузова вагона на характерных участках пути в диапазоне установленных скоростей движения ( $v_{ij}$ ), время нахождения вагона в данном режиме ( $t_{ij}$ ) и пройденный путь ( $S_{ij}$ ) можно определить по зависимостям:

$$t_{ij} = \frac{N_{ij}}{w_{ij}}, \text{ с};$$

$$S_{ij} = t_{ij} v_{ij}, \text{ м}, \quad (4)$$

где  $w_{ij} = \frac{v_{ij}}{L_{ij}} 2\pi$  — частота вынужденных колебаний вагона, 1/с;  $N_{ij}$  — число циклов нагружения;  $i$  — характерные участки пути: прямая, кривые радиусом 350 и 650 м, стрелочные переводы;  $j$  — диапазон скоростей движения от 0 до 160 км/ч с шагом 20 км/ч.

В полном объеме перевод ресурса пружин, определенного количеством циклов нагружений, в километры пробега — достаточно сложный вопрос, и он может быть решен двумя путями. Первое — это проведение ускоренных ходовых испытаний [23] во всем диапазоне скоростей движения и по различным участкам железнодорожного пути. При этом полученные результаты должны быть адаптированы к расчетному сроку службы. Второе — это моделирование процесса движения электропоезда в программном комплексе «Универсальный механизм» [24] по неровностям, рекомендованным руководящим документом [25]. **ИТ**

## Список литературы / Reference

- ГОСТ 32192–2013. Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. — М. : Стандартинформ, 2014. — 30 с.
- ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. — М. : Стандартинформ, 2016. — 24 с.
- PRO инновационный вагон. — URL: [http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2029%20августа/ЗАЛ%201/ЗАЛ\\_1\\_1645\\_1800\\_PRO%20Инновационный%20грузовой%20вагон/01\\_Сергей%20Калетин\\_RU.pdf](http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2029%20августа/ЗАЛ%201/ЗАЛ_1_1645_1800_PRO%20Инновационный%20грузовой%20вагон/01_Сергей%20Калетин_RU.pdf).
- Чечельницкий И. А. Оптимизация жизненного цикла системы «колесо–рельс» // Бюллетень результатов научных исследований — 2020. — Вып. 3. — С. 99–108. — eISSN 2223–9987.
- Практическое применение технологии блокчейн для управления жизненным циклом колесных пар грузовых вагонов. — URL: <https://docplayer.com/86093614-Prakticheskoe-primeneniye-tehnologii-blokcheyn-dlya-upravleniya-zhiznennym-tsiklom-kolesnyh-par-gruzovyh-vaqonov>.
- ГОСТ 31539–2012. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Термины и определения. — М. : Стандартинформ, 2014. — 12 с.
- ГОСТ 1452–2011. Пружины цилиндрические винтовые тележек и ударно-тяговых приборов подвижного состава железных дорог. — М. : Стандартинформ, 2011. — 20 с.
- Неисправность «излом пружин» не является «технологической». — URL: <http://xn-1520-u4d3ahgsb9pe.xnp1ai/new/7287>.
- Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава. — URL: <https://www.novotest.ru/trts/001-2011>.
- Орлова А. М. Определение механических свойств стали пружин рессорного подвешивания тележек грузовых вагонов / А. М. Орлова, Е. А. Рудакова, А. В. Гусев // Известия ПГУПС. — 2016. — № 3. — С. 370–376. — ISSN 1815–588X.
- Пружины сжатия для железнодорожного транспорта. — URL: <https://npc-springs.ru/catalog/pruzhini-szhatiya-dlya-zheleznodorozhnogo-transporta/>
- Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. — М., 1996. — 319 с.
- ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. — М. : Стандартинформ, 2016. — 55 с.
- ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. — М. : Стандартинформ, 2016. — 41 с.
- ГОСТ 55513–2013. Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам. — М. : Стандартинформ, 2014. — 46 с.
- Пальмгрена — Майнера гипотеза. Энциклопедия по машиностроению XXL. — URL: <https://mash-xxl.info/info/130028/>
- Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. — М. : Мир, 1984. — 624 с.
- Вронский Г. В. Модифицированный метод полных циклов и схематизация многомерных процессов нагружения // Ученые записки ЦАГИ. 2004. — Т. 35, № 1–2. — С. 97–108. — ISSN 0321–3439.
- Смолянинов А. В. О разработке методики цифрового двойника тележки электропоезда «Ласточка» / А. В. Смолянинов, Д. В. Дуванов, К. М. Колясов, И. А. Добычин // Инновационный транспорт. — 2021. — № 1 (39). — С. 37–44. — ISSN 2311–164X.
- Сызранцев В. Н. Расчет эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений / В. Н. Сызранцев, Л. А. Черная, К. В. Сызранцева // Известия высших учебных заведений. — 2013. — № 10. — С. 30–35.
- Гудков А. И. Внешние нагрузки и прочность летательных аппаратов / А. И. Гудков, П. С. Лешаков, Л. Г. Райков. — М., 1963. — 440 с.
- ANSYS nCode DesignLife. — URL: <https://cae-expert.ru/product/ansys-ncode-designlife>.
- ГОСТ 16504–81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. — М. : Стандартинформ, 2011. — 22 с.
- Универсальный механизм. — URL: <http://www.umlabor.ru/pages/index.php?id=1#>
- РД 32.68–96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов / ВНИИЖТ. — М., 1996. — 17 с.

Объем статьи: 0,75 авторских листа



**Тимур Наильевич  
Бадретдинов**  
Timur N. Badretdinov



**Илдар Назипович  
Баянов**  
Ildar N. Bayanov

## Разработка мобильного устройства диагностирования разрегулировок опор контактной сети

### Development of a mobile device for diagnosing misalignments of the catenary poles

#### Аннотация

Важным элементом системы электроснабжения железных дорог является контактная сеть, выполняющая функцию передачи больших токов с контактного провода через силовоточный контакт системы «электроподвижной состав — токоприемник» при заданных скоростях движения независимо от погодных условий. В статье рассматриваются факторы, приводящие к дефектности опор контактной сети, предложен способ контроля разрегулировки опор. Обоснованы основные параметры настройки предлагаемого прибора перед проведением замеров.

**Ключевые слова:** электроподвижной состав, контактная сеть, железобетонные опоры, диагностика, угол наклона опор, разрегулировка, лазерные датчики расстояния.

#### Abstract

An important element of a railway power supply system is the contact lines, which performs the function of transmitting high electric currents from a contact wire through the high-current contact of the “electric rolling stock — current collector” system at specified speeds, regardless of weather conditions. The article deals with the factors leading to the defect of the catenary poles, and a method for controlling misalignment of the poles is proposed. The basic configuration settings of the proposed device before taking measurements are substantiated.

**Keywords:** electric rolling stock, contact lines (catenary), reinforced concrete supports, diagnostics, inclination angle of poles, misalignment, laser distance sensors.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-50-55

#### Авторы Authors

*Тимур Наильевич Бадретдинов, аспирант, ассистент кафедры «Электроснабжение» Ташкентского государственного транспортно-го университета, Ташкент, Узбекистан; e-mail: tim\_bad2107@mail.ru | Илдар Назипович Баянов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение» Ташкентского государственного транспортного университета, Ташкент, Узбекистан; e-mail: ildar-lili@yandex.ru*

*Timur N. Badretdinov, PhD student, assistant of the Department of «Power Supply», Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan; e-mail: tim\_bad2107@mail.ru | Ildar N. Bayanov, PhD, Associate Professor of the Department of «Power Supply», Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan; e-mail: ildar-lili@yandex.ru*

## Введение

Согласно программе развития скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов, в Республике Узбекистан продолжается строительство электрифицированных высокоскоростных железнодорожных магистралей с эксплуатационными скоростями 200–250 км/ч, а в перспективе — до 350 км/ч, что позволит сократить продолжительность поездки, увеличить пропускную способность железных дорог и обеспечить комфорт пассажиров.

Обеспечение высоких скоростей движения возможно только при использовании поездов с электрической тягой. Высокоскоростные поезда потребляют довольно много энергии. Таким количеством электрической энергии могут обладать только стационарные источники.

## Условие качественного токосъема

Электроподвижной состав (ЭПС) является потребителем электроэнергии большой мощности, поэтому особое внимание уделяется качественной передаче электрической энергии на ЭПС через сильноточный контакт посредством пары «контактный провод — токоприемник».

В данной статье рассматривается элементная база системы тягового электроснабжения, в частности элементы контактной сети (КС) и системы передачи больших токов. Контактная сеть высокоскоростных магистралей должна обеспечивать надежный токосъем и передачу электрической энергии заданного качества при питании обычного, скоростного и высокоскоростного электроподвижного состава и при нажатии токоприемника должна иметь неравномерность эластичности для подвески с рессорным тросом не более 1,1.

Для качественной передачи электрического тока без отрывов от контактного провода были предусмотрены следующие параметры контактной подвески:

- натяжение бронзового контактного провода в пределах 20 кН;
- натяжение биметаллического несущего троса в пределах 15 кН;
- номинальная высота подвеса контактного провода на перегонах и станциях — 6250 мм;
- зигзаг контактного провода или отклонение от оси токоприемника: на прямых участках пути — не более 300 мм, на кривых — не более 350 мм;
- уклон контактного провода при переходе от одного уровня до другого: основной — не более 0,001, переходный — 0,0005 [1].

Воздушные стрелки выполняются так, чтобы температурные перемещения проводов пересекающихся подвесок в пределах ограничительных накладок и допустимых норм изменений зигзагов контактного провода не влияли на изменение высоты подвеса провода

и не мешали взаимному перемещению пересекающихся контактных подвесок.

Требования к опорным конструкциям, устанавливаемым на перегонах, должны учитывать, что прочность заделки фундаментов в грунте закладывается не меньше несущей способности устанавливаемых опор. Кроме того, учитывая скорость движения электроподвижного состава на участке, габарит установки опор на перегонах и железнодорожных станциях с учетом выступающих частей края фундамента на насыпях должен быть не менее 3,3 м [2].

Допустимое нарушение вертикального положения опорной стойки также зависит от эксплуатационной скорости движения. Отклонения опорных стоек на линиях со скоростью 200–250 км/ч допускаются до 3°, а на линиях со скоростью 350 км/ч не допускается превышение отклонения опоры свыше 1° от проектных значений [3].

Угол между анкеруемой подвеской и направлением проводов в переходном пролете должен быть не более 6°.

Сооружения и устройства защищаются от электрокоррозии по действующим нормативам [4].

Для поддержания надежной и качественной работы устройств контактной сети необходим постоянный контроль на этапе жизненного цикла элементов КС. Сложность мониторинга состоит в том, что элементы КС имеют разный ресурс работы. Также имеются устройства, работоспособность которых не зависит от срока эксплуатации, их ресурс связан с воздействием различных внешних факторов, аварийных или стихийных ситуаций.

## Причинно-следственный анализ разрегулировки железобетонных опор контактной сети (ЖБО КС)

Контактная сеть устроена таким образом, что ее части взаимосвязаны друг с другом, и нарушение какого-либо одного элемента в этой цепи влечет выход из строя и других составляющих, тем самым нарушая качество передачи электрической энергии ЭПС.

Элементами этой цепи, отвечающими за надежное установленное положение контактной подвески в пространстве относительно оси пути, являются опорные стойки и фундаменты. Из-за воздействия на железобетонные стойки постоянных и временных нагрузок и иных факторов с годами эксплуатации увеличивается наклон опор, изменяя геометрию всей контактной сети. Изменение положения опор вызывает изменение габаритов, уклонов контактного провода, увеличение износа контактных проводов и полозов токоприемников, приводит к снижению противодействия ветру и может повлиять на безопасность движения поездов. Также с изменением угла наклона опоры теряется ее несущая



способность и уменьшается устойчивость в грунте, что, в свою очередь, в момент пика временных нагрузок (максимальный ветер или гололед с ветром) может привести к крушению [3].

На железных дорогах Узбекистана для электрификации используются железобетонные опоры, производимые на предприятиях республики. Технология позволяет выпускать опоры с частично напряженной арматурой стандартной длины (13,6 м) для установки непосредственно в грунт или на фундаменты и длиной 10,8 м для установки на различные типы стальных фундаментов.

В настоящее время на железных дорогах Узбекистана эксплуатируется около 56 тысяч опор при развернутой длине контактной сети 3500 км. С момента начала электрификации железных дорог республики состоянию опорного хозяйства не уделялось должного внимания, срок эксплуатации некоторых опор превысил 50 лет (электрификация железных дорог Узбекистана началась в 1971 г.). Не фиксировалось отклонение опор от проектных параметров, так как считается, что на электрифицированных железных дорогах переменного тока в теплых регионах риск падения опорной стойки КС или превышение ее уклона от проектного значения не-

значительны. Такое мнение является угрозой безопасности движения поездов [5].

В процессе эксплуатации на опоры оказывает влияние большое количество факторов. На основе изученных материалов [6–9] составлена классификация всех возможных факторов, которые приводят к дефектам и разрегулировке железобетонных опор. На рис. 1 на основе диаграммы Исикавы представлена причинно-следственная связь возникновения разрегулировки железобетонных опор от различных факторов.

Вынужденная проверка опор была проведена на участке Ташкент — Самарканд во время реконструкции железной дороги под высокоскоростное движение. По результатам проверки было выявлено около 400 дефектных опор, которые были заменены, а опоры с незначительным дефектом были приведены в проектное положение [10].

По результатам проверки принято решение о необходимости плановой диагностики всех эксплуатируемых на железной дороге опор с определенной периодичностью. Первоочередным критерием (показателем) неисправности опор КС является превышение отклонения вертикального положения опорной стойки от нормативных значений.

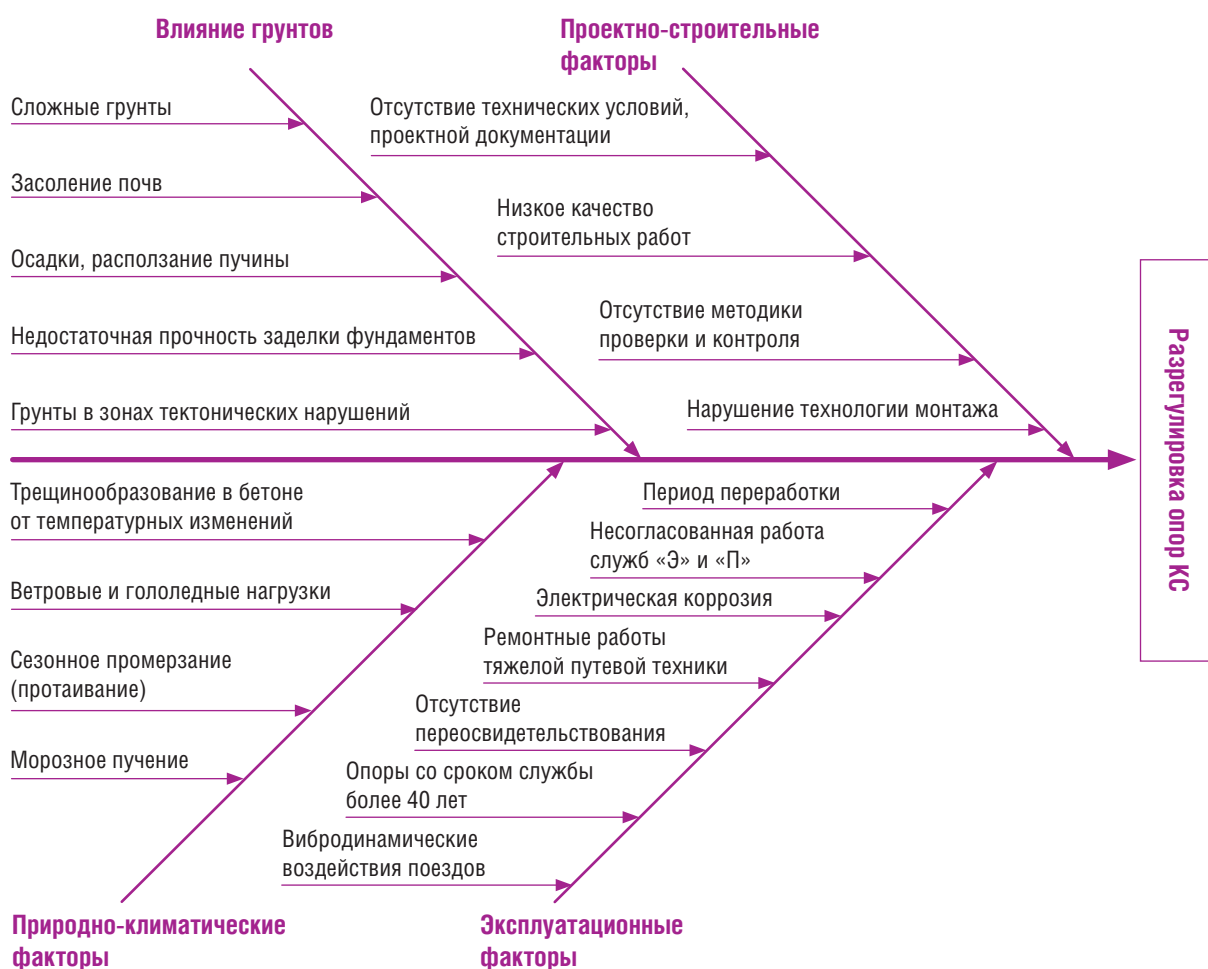


Рис. 1. Причинно-следственный анализ разрегулировки опор КС на основе диаграммы Исикавы

Для облегчения процесса выявления дефектных опор авторами разработан прибор контроля уклона железобетонных опор в динамическом режиме. Устройство позволяет сохранять результаты диагностирования (углы наклона) в электронном паспорте опор для сравнения с последующими измерениями. Информация о выявленных дефектных опорах передается в дистанцию электроснабжения, обслуживающую данный участок, для определения степени дефектности и ее причин. После диагностики принимается решение о дальнейшей судьбе данной железобетонной опоры.

### Способ определения угла наклона ЖБО КС

Разработанное устройство построено на базе лазерных датчиков расстояния (ЛДР), которые имеют высокую точность и большой диапазон измерений. Измерение наклона опоры ведется в двух перпендикулярных плоскостях. Пара датчиков располагается под углом  $90^\circ$  между собой и  $45^\circ$  по отношению к оси пути в горизонтальной плоскости. Каждая измеряемая плоскость контролируется двумя ЛДР таким образом, что первый ЛДР направлен перпендикулярно к опорной стойке, а второй под углом  $\alpha$ . Разработанное устройство монтируется на самоходную единицу, которая, двигаясь по рельсам, перемещает его. Таким образом, измерения осуществляются в динамическом режиме, без остановки для выполнения замеров.

Для максимальной точности измерения угол  $\alpha$  выбирается как можно большим, но так, чтобы измеряемый луч не попал в место крепления консоли (пяты консоли). На рис. 2 изображены основные геометрические размеры контактной сети и расположение прибора на самоходной единице в момент измерения.

Как видно из схемы, допустимый угол  $\alpha$  зависит от габарита опоры ( $\Gamma$ )

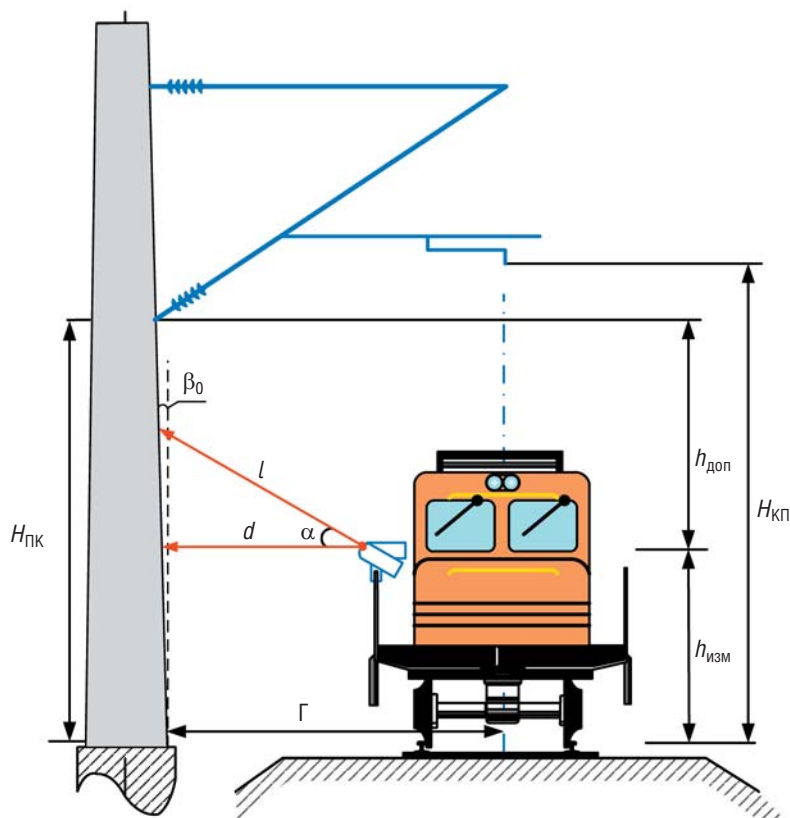


Рис. 2. Схема расположения прибора на самоходной единице в момент измерения

и конструктивной высоты контактной подвески ( $H_{кп}$ ). При минимальной высоте контактного провода  $H_{кп} = 5750$  мм высота до пяты консоли будет в пределах  $H_{пк} = 5500 \div 5550$  мм. Так как измерение производится с самоходной единицы с минимальной высотой расположения прибора  $h_{изм} = 1500 \div 2000$  мм и на расстоянии  $1575$  мм от оси пути, получаем допустимую высоту между точками замера  $h_{доп} = 3500$  мм. Основные геометрические параметры процесса измерения угла наклона опор с помощью предложенного устройства в зависимости от габарита опор представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что при конструктивной высоте контактной подвески  $5750$  мм допускается угол  $\alpha = 45^\circ$  для габарита опоры до  $3,5$  м. При большем габарите луч второго лазерного датчика будет попадать в консоль, и измерение будет ошибочным, поэтому было принято решение производить измерения при угле  $\alpha = 30^\circ$ .

Для точности измерений при колебаниях и наклоне самоходного транспортного средства при прохождении кривых измерительное устройство дополнено датчиком гироскопа с акселерометром, калибрующим измерения с учетом колебаний и наклонов. Кроме того, прибор оборудован датчиками GPS/ГЛОНАСС для определения местоположения измеряемой опоры и мобильным устройством для сбора и обработки данных. Такой способ удобен при измерении угла наклона железобетонных опорных стоек. Конусность не влияет на процесс измерения, так как угол конусности для всех опор типа СС одинаков ( $\beta_0 \approx 0,425^\circ (0^\circ 25' 30'')$ ) и учитывается в расчетах. Согласно рис. 2, угол наклона  $\varphi$  определяется из следующего выражения:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{l \cdot \cos 30^\circ - d}{l \cdot \sin 30^\circ} \\ &= \operatorname{ctg} 30^\circ - \frac{d}{l \cdot \sin 30^\circ}. \end{aligned}$$

Геометрические параметры процесса измерения угла наклона опор

Г	d	d <sub>1</sub>	l (м)		h (м)		l <sub>1</sub> (м)		h <sub>1</sub> (м)	
			α = 30°	α = 45°	α = 30°	α = 45°	α = 30°	α = 45°	α = 30°	α = 45°
2450	875	1324,0	1,01	1,24	0,51	0,88	1,53	1,87	0,76	1,32
	875	1317,8	1,01	1,24	0,51	0,88	1,52	1,86	0,76	1,32
2750	1175	1742,1	1,36	1,66	0,68	1,18	2,01	2,46	1,01	1,74
	1175	1747,1	1,36	1,66	0,68	1,18	2,02	2,47	1,01	1,75
3100	1525	2237,0	1,76	2,16	0,88	1,53	2,58	3,16	1,29	2,24
	1525	2243,2	1,76	2,16	0,88	1,53	2,59	3,17	1,30	2,24
3300	1725	2519,9	1,99	2,44	1,00	1,73	2,91	3,56	1,45	2,52
	1725	2526,1	1,99	2,44	1,00	1,73	2,92	3,57	1,46	2,53
3500	1925	2802,7	2,22	2,72	1,11	1,93	3,24	3,96	1,62	2,80
	1925	2808,9	2,22	2,72	1,11	1,93	3,24	3,97	1,62	2,81
4900	3325	4782,6	3,84	4,70	1,92	3,33	5,52	6,76	2,76	4,78
	3325	4788,8	3,84	4,70	1,92	3,33	5,53	6,77	2,76	4,79

**Примечание.** Геометрические размеры  $d, l, h$  — при измерении опоры перпендикулярно пути,  $d_1, l_1, h_1$  — при измерении опоры под углом  $45^\circ$  относительно пути.

Заменим  $\omega = \frac{d}{l}$ , тогда  $\varphi = \arctg(\sqrt{3} - 2\omega)$ , а угол наклона определяется по выражению  $\beta = \varphi - \beta_0$ .

### Обсуждение результатов

С помощью методики определения угла наклона предложенным способом установлено, что при  $\omega = 0,8623$  опора находится в правильном положении. Если  $\omega = 0,8623$ , то опора имеет наклон в сторону пути, при  $\omega = 0,8623$  — в сторону поля. Измерения в других плоскостях определяются подобным образом. График зависимости  $\omega$  от угла наклона опоры  $\beta$  представлен на рис. 3.

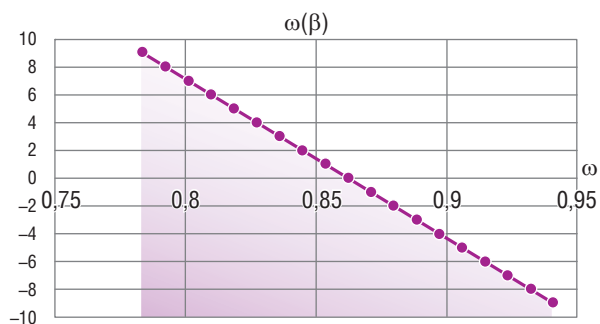


Рис. 3. Зависимость  $\omega$  от угла наклона опоры  $\beta$

Благодаря упрощенному алгоритму определения угла наклона железобетонных опор предложенным методом, при измерении не нужно производить замеры только на определенной высоте и вводить длину опоры в алгоритм. Данная методика подойдет для определения разрегулировки железобетонных опор любого типа, необходимо лишь в начале измерения выбрать угол конусности железобетонной стойки, который будет заложен в алгоритм мобильного устройства.

### Заключение

Для качественной и эффективной передачи электрической энергии электроподвижному составу необходимо содержание в работоспособном состоянии всех элементов системы электроснабжения, своевременное обнаружение и устранение всех отклонений от нормального состояния.

Разработанное устройство контроля угла наклона опор с использованием современных технических средств и алгоритма выполнения вычислений позволит своевременно обнаружить отклонение от норм опорных стоек и устранить возможные негативные последствия.

Кроме основной своей функции, данное устройство может применяться для контроля точности монтажа железобетонных опор при новом строительстве. **ИТ**

Список литературы / Reference

1. ЦЭ-191. Инструкция по заземлению устройств энергоснабжения на электрифицированных железных дорогах. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200056970>.
2. ОСТ 32.132–99. Устройства и средства защиты от электрокоррозии на электрифицированных железных дорогах. — URL: [http://scbist.com/scb/uploaded/ost/OST\\_32\\_132\\_99.PDF](http://scbist.com/scb/uploaded/ost/OST_32_132_99.PDF)
3. Амиров С. Ф., Бадретдинов Т. Н., Баянов И. Н. Анализ повреждений токоприемников электроподвижного состава и модернизации систем контроля разрегулировки опор контактной сети // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2021. — № 2 (70). — С. 138–145. — ISSN 1813–9108.
4. ГОСТ 9.602–2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200042293>.
5. Бадретдинов Т. Н. Проблемы эксплуатации электрифицированных железных дорог на примере Узбекистана // Universum: технические науки. — 2020. — № 9–2 (78). — С. 103–105. — eISSN 2311–5122.
6. Демина Л. С. Повышение эффективности эксплуатации железобетонных опор контактной сети электрифицированных железных дорог прогнозированием их остаточного ресурса: дис. ... канд. техн. наук. — Хабаровск : ДВГУПС, 2021. — 162 с.
7. Ковалев А. А. Формирование управляющих воздействий на контактной сети с учетом процесса разрегулировок опор : монография. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2013. — 74 с. — ISBN 978-5-94614-258-8.
8. Окунев А. В. Разработка комплексного подхода к диагностике опор контактной сети на этапе эксплуатации : дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург : УрГУПС, 2019. — 266 с.
9. Tsunemoto M., Shimizu M., Kondo Y., Kudo T., Ueda H., Iijima T. Replacement criteria for concrete catenary poles // Quarterly Report of RTRI. — 2017. — № 58(4). — P. 270–276. — DOI:10.2219/RTRIQR.58.4\_270.
10. Бадретдинов Т., Баянов И. Анализ состояния опор контактной сети железных дорог республики Узбекистан // Транспорт шелкового пути. — 2021. — № 3. — С. 20–24. — DOI:10.54197X.

Объем статьи: 0,56 авторских листа





**Игорь  
Станиславович  
Цихалевский**

**Igor S.  
Tsikhalevsky**



**Игорь  
Сергеевич  
Беляев**

**Igor S.  
Belyaev**



**Антон  
Геннадьевич  
Русаков**

**Anton G.  
Rusakov**

## Обзор мировых концепций по организации ремонта и обслуживания локомотивов

### An overview of the world concepts for organization of repair and maintenance of locomotives

#### Аннотация

В работе представлен обзор действующих концепций по организации ремонта локомотивов в мире. Рассмотрена концепция, применяемая в России с 2014 г., и сформулированы основные выводы.

**Ключевые слова:** локомотив, ремонт, жизненный цикл, техническое обслуживание, система ремонта.

#### Abstract

An overview of the currently in effect concepts for organization of locomotive repair in the world is presented in this research paper. The concept applied in Russia since 2014 is given a consideration and the main conclusions are made.

**Keywords:** locomotive, repair, life cycle, technical maintenance, system of repair.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-56-58

#### Авторы Authors

**Игорь Станиславович Цихалевский**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Игорь Сергеевич Беляев**, студент группы ПСт-527 Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: igor-belyaev-1999@mail.ru | **Антон Геннадьевич Русаков**, аспирант кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: An96Ru@ya.ru

**Igor S. Tsikhalevsky**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of "Electric Traction" Department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Igor S. Belyaev**, student of PSt-527 group of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: igor-belyaev-1999@mail.ru | **Anton G. Rusakov**, Post-Graduate student of "Electric Traction" Department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: An96Ru@ya.ru

Мировая гонка технологий не обошла стороной и такую отрасль, как железнодорожная промышленность. Цифровые и микропроцессорные технологии находят широкое применение на современных локомотивах. Так, начиная с 2010 г. новые электровозы оборудуются микропроцессорными системами управления. Эксплуатация и обслуживание таких локомотивов требует пересмотра всего процесса для получения более высокого качества ремонта, которое было у гарантийного сервиса завода-изготовителя.

Испания, Швеция и Великобритания — первые европейские страны, опробовавшие опыт разделения функций по эксплуатации и обслуживанию подвижного состава. В результате обслуживание подвижного состава перешло в руки нескольких компаний, работа которых велась параллельно и порой даже мешала друг другу. Новый процесс эксплуатации и ремонта показал, что текущий подход и принципы операторов сервисного обслуживания направлены в основном на сокращение расходов [1].

Сложившаяся обстановка стала катализатором дальнейшего развития, и следующим шагом стала концепция сопровождения подвижного состава на всех этапах его жизненного цикла (Life Cycle Cost — далее LCC). В результате во взаимоотношениях потребителя и изготовителя показатель закупочной стоимости единицы тягового подвижного состава уступил место показателю стоимости жизненного цикла, что заставило изготовителя заботиться о своем продукте в постгарантийный период [3].

Концепции по управлению организацией эксплуатации и ремонта локомотивов собственными силами работников и специалистов железных дорог придерживались и в США. Однако железные дороги BNSF первыми решили сломать устоявшиеся процессы, заключив контракт на обслуживание тягового подвижного состава с компанией Alstom Transport [4]. Отказ от принятой системы ремонта и переход на техническое обслуживание и ремонт на основе фактического состояния привлек к себе внимание других железных дорог первого класса [3, 4].

Во Франции вопросами организации и контроля ремонта тягового подвижного состава занимается дирекция в структуре французского государственного предприятия, управляющего железными дорогами. Основной задачей данного подразделения считается контроль технического состояния локомотива в период его жизненного цикла. Для этого постоянно ведутся работы по технической политике в области приобретения новых локомотивов, по расчету и определению оптимальной периодичности ремонта и обслуживания с целью увеличения времени полезной работы [2].

Производитель железнодорожного транспорта Германии — компания Siemens презентовала новый концептуальный подход к организации ремонта — это сбалансированное обслуживание, или Balanced Maintenance [5].

С целью получения максимального эффекта от имеющихся в распоряжении локомотивного комплекса ресурсов, на основании опыта иностранных коллег сотрудники ОАО «РЖД» начали подготовку концепции по развитию локомотивного комплекса в части передачи функций по обслуживанию и ремонту локомотивов частным операторам, представляющим интересы завода-изготовителя.

В результате рассмотрения подходов в 2014 г. компанией ОАО «РЖД» были сформулированы условия, при которых предлагалось в рамках открытого аукциона взять на сервисное обслуживание тяговый подвижной состав. Передача локомотивного парка на сервисное обслуживание в соответствии с аукционной документацией привела к изменению бизнес-процессов эксплуатации и ремонта локомотивов. Предлагаемая схема взаимодействия устанавливала единый взгляд на работу локомотивного парка.

С целью апробации разработанной концепции сервисного обслуживания и выявления узких мест были реализованы два пилотных проекта на базе депо Вихоревка Восточно-Сибирской железной дороги и депо Свердловск-Сортировочный Свердловской железной дороги [7].

В результате глобальные изменения в работе локомотивного комплекса повлекли за собой вскрытие таких недостатков, как использование единой инфраструктуры для проведения ремонта. В процессе доработки концепции изучались материалы, полученные посредством анализа информационных систем Bloomberg, Thompson Reuters, аналитических материалов Citigroup, Morgan Stanley, McKinsey & Co, Oliver Wyman, AT Kearney [7].

Новый подход в организации ремонта и обслуживания локомотивов заставил сервисные компании по-новому посмотреть на процессы планирования и выполнения программы производства ремонта и обслуживания [6].

Отечественный опыт обеспечения стабильной эксплуатации локомотивов на определенном этапе развития включает две ключевые концепции:

- концепцию организации ремонта и обслуживания локомотивов по наработке с обязательным изыманием локомотива из эксплуатации;
- концепцию организации ремонта и обслуживания локомотивов по состоянию, когда локомотив изымается из эксплуатации в случае отказа [7, 8].

Обе концепции имеют право на жизнь. Каждая имеет свои преимущества и недостатки.

К недостаткам обслуживания по наработке относится демонтаж оборудования независимо от его технического состояния, что в большей части случаев приводит к неполной выработке ресурса заменяемой части локомотива, необоснованным тратам на ТО и ремонты. Однако такой подход к обслуживанию локомотивов позволяет долговременно планировать программу ТО и поставки материалов и запасных частей, что, в свою очередь, значительно уменьшает простои локомотивов в ремонте.

Обслуживание локомотивов по состоянию производят только в случае обнаружения критического или неработоспособного состояния оборудования, что позволяет значительно уменьшить затраты на необоснованную замену узлов и деталей, а также их полную выработку для сокращения средств на обслуживание.

Переход от планово-предупредительной системы ТО к ремонту по потребности применим только к простым техническим устройствам, отдельные элементы которых можно восстанавливать независимо от других. Для восстановления большей части агрегатов и узлов локомотивов, особенно механического оборудования, необходима постановка локомотива в депо с изъятием его из

эксплуатации и проведение трудоемких монтажно-демонтажных работ, осуществление которых при ремонте каждого узла в отдельности привело бы к значительному увеличению времени нахождения локомотива в ремонтах и повышению их стоимости.

Обзор различных концепций, применяемых в мире, позволяет сделать вывод: сегодня перед предприятиями, эксплуатирующими и ремонтирующими локомотивы, стоит общая задача, направленная на выбор такой концепции по организации и ремонту локомотивов, которая обеспечивала бы содержание локомотивного парка в исправном состоянии на протяжении всего жизненного цикла. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Техническое обслуживание подвижного состава в странах Европы // Железные дороги мира. — 2009. — № 4. — С. 50–52. — URL: [https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-04\\_50-52.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-04_50-52.pdf).
2. Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава во Франции // Железные дороги мира. — 2011. — № 3. — С. 46–53. — URL: [https://zdmira.com/images/pdf/\\_dm2011-03\\_46-53.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/_dm2011-03_46-53.pdf).
3. Осяев А. Т., Никифоров В. А. О системе обслуживания локомотивов за рубежом // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2012. — № 5. — С. 56–62. — ISSN 2223-9731.
4. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов на BNSF // Железные дороги мира. — 2007. — № 4. — С. 57–59. — URL: [https://zdmira.com/images/pdf/\\_dm2007-04\\_57-59.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/_dm2007-04_57-59.pdf).
5. Германия: избыток мощностей на рынке технического обслуживания и ремонта // Железные дороги мира. — 2009. — № 4. — С. 57–60. — URL: [https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-04\\_57-60.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-04_57-60.pdf).
6. Цихалевский И. С., Русаков А. Г. Ключевой показатель нового бизнес-процесса организации эксплуатации и ремонта как инструмент контроля технического состояния локомотивов // Вестник УрГУПС. — 2021. — № 1 (49). — С. 40–45. — ISSN 2079-0392.
7. Лебедев А. А., Ламкин А. Г. Концепция и целевая модель сервисного обслуживания локомотивов в ОАО «РЖД» // Локомотив. — 2013. — № 11 (683). — С. 2–4. — ISSN 0869-8147.
8. Осяев А. Т. Жизненный цикл локомотива и его стоимость / А. Т. Осяев, А. Б. Подшивалов // Локомотив. — 2006. — № 7. — С. 37–38. — ISSN 0422-9274.

Объем статьи: 0,23 авторских листа



**Надежда Викторовна  
Емелина**  
Nadezhda V. Emelina



**Геннадий Львович  
Аккерман**  
Gennady L. Akkerman

## Развитие тяжеловесного движения в России и мире: проблемы и перспективы

### Development of heavyweight railway traffic in Russia and the world: challenges and prospects

#### Аннотация

Переход на поезда повышенной массы имеет ряд преимуществ, в частности, сокращается интенсивность движения по линиям, увеличивается пропускная способность, становится возможным быстрый ремонт путей. В данной статье дается обзор проблем и исследований, связанных с использованием тяжеловесных и длинносоставных поездов.

**Ключевые слова:** тяжеловесное движение, грузовые поезда, провозная способность, масса поезда, нагрузка на ось, проблема, повышенная длина, эксплуатация, длинносоставный поезд, железнодорожный путь.

#### Abstract

The transition to enhanced mass trains has a number of advantages, in particular, the intensity of traffic on the lines is reduced, the throughput capacity increases and it becomes possible to quickly repair the railway tracks. This article provides an overview of the challenges and research related to the use of heavy and long trains.

**Keywords:** heavy traffic, freight trains, carrying capacity, train weight, axle load, challenge, increased length, operation, long train, railway track.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-59-63

#### Авторы Authors

**Надежда Викторовна Емелина**, ассистент кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Геннадий Львович Аккерман**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Nadezhda V. Emelina**, Assistant of "Railway Construction and Railway Track" Department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Gennady L. Akkerman**, Doctor of Technical Sciences, Professor of "Railway Construction and Railway Track" Department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg



## Проблемы использования тяжеловесных поездов

Увеличение весовых норм грузовых поездов — важный фактор для удовлетворения растущих потребностей в грузоперевозках и повышения эффективности железных дорог в рыночных условиях [1, 2].

Поезда повышенной массы относятся к типу грузовых. Их особенность заключается в превышении массовой нормы типичных локомотивов на 100 т и более [3, 4].

Впервые тяжеловесные поезда введены на Лабрадорской железной дороге (Канада) в середине XX века. Развитию тяжеловесного движения в Австралии, Бразилии, Индии, Канаде, Китае, России, США, Швеции, ЮАР посвящена работа [5].

Потребность в тяжеловесных поездах возникла в районах, где активно ведется добыча руд, угля [6]. Уже в 1986 г. начали подниматься вопросы использования поездов повышенной массы и длины [7]. Эксплуатация более длинных и тяжелых поездов выгодна с точки зрения грузоподъемности, эксплуатационных расходов и стоимости подвижного состава [8]. Однако введение тяжеловесного движения — это серьезная проблема для железнодорожной инфраструктуры. Большая загруженность вагонов и использование длинносоставных поездов снижают устойчивость пути из-за повышенного динамического воздействия на рельсы [9].

Провозная способность зависит от пропускной способности и массы поезда. Увеличение пропускной способности связано с большими финансовыми и временными затратами [10, 11], поэтому акцент делается на повышении массы поезда за счет более мощных локомотивов или применения кратной тяги [12].

Циклическая нагрузка от работающих на высоких скоростях поездов с большими осевыми нагрузками часто вызывает чрезмерную деформацию и деградацию элементов рельсового пути [13]. Особенно это касается обочин (фундаментов), которые на многих участках железных дорог строились по техническим нормам предыдущих лет, не предназначались для повышенных осевых нагрузок и в отличие от верхнего строения пути не заменялись и не обновлялись.

Потеря стабильности дорожного полотна и, как следствие, геометрии пути неизбежно влечет за собой значительное увеличение стоимости обслуживания железнодорожного пути — до сотен миллионов долларов в год [5].

Железнодорожный путь — это комплекс наземных объектов, которые функционируют в сложных условиях природно-климатической среды и динамических нагрузок поездов. Такие нагрузки могут изменять состояние наземной среды и влиять на уровень надежности дорожного полотна, особенно в условиях интенсивного движения [14], когда амплитуда и частота циклов нагрузки очень высоки.

Степень смещения пути под нагрузкой поезда во многом определяется особенностями дорожного грунта, который отличается большим разнообразием и имеет тенденцию к быстрому изменению со временем. В течение срока эксплуатации на железнодорожную обочину воздействуют неблагоприятные экологические факторы (температура, вода и т.д.). В результате в почвах происходят изменения физико-механических свойств и режима влажности, плотности.

Вследствие увеличения нагрузки на ось возникают дополнительные риски с точки зрения безопасности движения и стоимости содержания железнодорожной сети [15]. Новые вагоны и локомотивы, предназначенные для тяжеловесных поездов, описаны в работах [16–19].

Большие и частые циклические нагрузки от большегрузных поездов приводят к ускорению процессов деградации и возникновению чрезмерных деформаций путевого фундамента. Ускоренная деградация и ухудшение состояния железнодорожного пути являются основными проблемами для использования большегрузного транспорта и требуют постоянных затрат на техническое обслуживание.

## Отечественный опыт проектирования, строительства и эксплуатации тяжеловесных поездов

В 2016 г. начался второй этап «Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года», подразумевающий модернизацию инфраструктуры железнодорожного пути для наилучшего использования тяжеловесных поездов [20].

Сеть российских железных дорог, их инфраструктура должны развиваться комплексно. Чтобы обеспечить движение тяжеловесных и длинносоставных поездов, необходимо закупать лучшие материалы для организации верхнего строения пути.

В настоящее время тяжеловесные составы вводятся на Приволжской и Южно-Уральской железных дорогах, в Западно-Сибирском регионе и Свердловской области. На Дальневосточной железной дороге прошли испытания по вождению соединенных поездов [17, 21]. Планируется использовать поезда массой 7–12 тыс. т, состоящие из 70 вагонов и более [3, 7]. Подобные меры уже через десять лет позволят существенно увеличить пропускную способность с минимальными капиталовложениями.

Но модернизация железнодорожного сектора связана с рядом рисков [29, 6]. Так, при нестабильной экономической ситуации в мире, падении курса рубля, расширении трубопроводного строительства возможна остановка модернизации, вплоть до консервации строящихся веток железных дорог.

Возможные пути развития сервиса тяжеловесных поездов на Байкало-Амурской магистрали рассматриваются в работе [22]. Срочная потребность в новых технологиях обусловлена ростом грузопотоков в морские порты Тихого океана.

Выбор силы тяги для большегрузного поезда должен основываться на условии, что поезд проходит горные участки с минимальным временем движения и скоростью, значительно превышающей непрерывную скорость для используемого типа локомотива. Кроме того, задержки в движении большегрузного поезда нерациональны с точки зрения расхода топлива для повторного запуска поезда до скорости и с точки зрения блокирования участков поезда и узких мест на железнодорожных путях на станциях [23]. Поэтому, принимая во внимание относительно короткое расстояние, ограничивающее участок покрытия, при формировании поезда количество тяговых агрегатов должно обеспечивать безостановочный переход на станцию смены экипажа.

В качестве примеров тепловозов рассматривается локомотив марки ЗТЕ10МК. Перевозки большегрузных поездов могут быть организованы через составные поезда с распределенной тягой. В этом случае конструкция поезда для распределенных тяговых поездов может быть выполнена с использованием двух- или трехагрегатных локомотивов. К сожалению, в электрическом динамическом тормозе операционных локомотивов ЗТЕ10МК есть недостатки: при движении вниз доступно только использование пневматического тормоза, который уменьшает среднюю скорость и приводит к разогреву и износу тормозных накладок и колес.

При выборе локомотива необходимо ориентироваться на высокую удельную мощность и наличие эффективного электродинамического тормоза. Такие параметры характерны для казахстанского локомотива марки ТЕ33 на базе платфор-



Рис. 1. Полувагон серии 12-9853

мы GE Evolution или нового тепловоза ЗТЕ25к2м (ЗТЭ31) отечественного производства.

В России с 2013 г. проводятся исследования тягово-энергетических показателей поездов весом более 6000 т. Выяснено, что внедрение и эксплуатация более тяжелых поездов на некоторых участках возможны и оправданы. Уже в июне 2016 г. по российским железным дорогам курсировали более 100 единиц поездов с массой более 7000 т.

Спустя год после успешных испытаний на участках Иланская – Иркутск-Сортировочный и Слюдянка – Хилок организованы поезда массой 12,6 тыс. т.

В реальных условиях выявилась проблема поезда в узких местах, например, на линии ст. Черемхово до ст. Тайшет. Поэтому авторами [24] предложено ввести в эксплуатацию полувагоны серии 12–9853 (рис. 1), которые показали высокую надежность перевозок, отличную устойчивость к отказам, а также относительно просто ремонтировались.

Особенность полувагона этой серии заключается в том, что он позволяет перевозить грузы объемом до 92 м<sup>3</sup>, при этом его масса достигает 25 т. Значит, возможна перевозка сыпучих грузов с различными физическими показателями при полной грузоподъемности.

Увеличение объемов перевозимых грузов в краткосрочном периоде может быть достигнуто не только путем крупных инвестиций в инфраструктуру, но и за счет внедрения современных технологий эксплуатации большегрузных поездов.

С вводом в эксплуатацию новых дизель-локомотивов с высокой удельной мощностью (3100–3300 кВт) можно приступить к эксплуатации поездов грузоподъемностью 14000–15000 т.

### Зарубежный опыт проектирования, строительства и эксплуатации тяжеловесных поездов

Развитие тяжеловесного движения актуально не только для России. Например, на Украине увеличивается объем грузоперевозок, ведутся работы по увеличению пропускной и провозной способности. Для тяжеловесных поездов производятся усовершенствованные вагоны и локомотивы, материалы для верхнего строения пути. Развиваются и международные грузоперевозки через Украину. Завершаются работы по Бескидскому тоннелю [25].

В Казахстане возросло количество тяжеловесных и длинносоставных поездов. Вес поездов, пропускаемых по участку Экибастуз — Пресногорьковская, увеличен до 9000 т [26].

Из Китая в Западную Европу запущен регулярный крупнотоннажный поезд Шеньян — Гамбург [27].

На территории Евросоюза можно выделить несколько коридоров, по которым могут двигаться поезда с повышенным весом:

- A. Роттердам — Женева;
- B. Стокгольм — Болонья;
- C. Антверпен — Базель;
- D. Лион — Захонь;
- E. Гамбург — Констанца;
- F. Зебрюгге — Тересполь.

По коридорам типа A, B и E в дальнейшем будут курсировать поезда длиной более 750 м, по другим — более 1000 м [28].

В европейских государствах тяжеловесные поезда имеют настройку расписания, т.е. в обязательном по-

рядке оснащаются автодиспетчерской системой и автомашинистом.

Большой прогресс в области развития поездов повышенной массы наблюдается в Китайской Народной Республике. К использованию таких поездов полностью подготовлены два полигона, и еще один строится. Предполагается установка подвижного состава на ось с нагрузкой 25–30 тс.

Первой линией тяжеловесного маршрута станет дорога, ведущая в морской порт Дацин. В настоящее время по ней уже перевозят грузы американские составы Locotrol, связывающиеся с помощью каналов GSM-R [28]. Первоначально на полигоне водили поезда из 204 вагонов, которые фактически состояли из 4 блоков (51 вагон с локомотивом). Затем были внедрены более совершенные схемы — 210 вагонов из 2 блоков (105 вагонов с тягой в голове, середине и хвосте состава). А в мар-

те 2014 г. к ним добавили еще один блок, и вес поездов составил 30 тыс. т.

Вторая линия маршрута (в настоящее время находится на стадии проекта) будет реализована на участке Шуоуанской железной дороги, по которой транспортируется уголь; ежегодные объемы перевозок возрастут до 350 000 т. Составы обеих линий будут иметь идентичные системы рекуперативного торможения.

Третья линия китайского маршрута — коридор Север — Юг, который строится по инновационным разработкам. Планируется изменить профиль рельса, что будет способствовать расширению участков соприкосновения головки рельса с колесами подвижного состава. В результате уменьшится износ колес.

В перспективе — строительство железнодорожных линий, способных выдержать нагрузку в 41 000 т. В ЮАР уже используются такие линии для перевозки руды. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Кобзев С. Поездам придали вес // Гудок. — № 191 (26330). — Октябрь. — 2017.
2. «РЖД» планируют увеличить грузооборот и пассажирооборот // Транспорт. — 2016. — № 4–1 (904). — С. 27.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. приказом Минтранса от 21.12.2010 г. № 286. — 256 с.
4. Инструкция по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования ОАО «РЖД»: расп. ОАО «РЖД» от 01.09.2016 № 1799р. — М., 2016. — URL: <https://docplayer.com/57222380-Rasporyazhenie-po-organizacii-obrashcheniya-gruzovyh-poezdov-povyshennoy-massy-i.html>.
5. International Heavy Haul Association (IHHA), Guidelines to best practices for heavy haul railway operations: Infrastructure Construction and Maintenance, 2009. — 650 p. — ISBN 9781930566743.
6. Захаров С. М., Шенфельд К. П. Развитие тяжеловесного движения в мире // Вестник НИИЖТ. — 2013. — № 4. — С. 9–18. — ISSN 2223–9731.
7. Левин Д. Ю. Организация движения поездов повышенного веса и длины. Организация движения и пассажирские перевозки / ЦНИИТЭИ МПС. — 1986. — 15 с.
8. Пехтерев Ф. С. Перспективные полигоны обращения тяжеловесных поездов // Железнодорожный транспорт. — 2014. — № 9. — С. 7–10. — ISSN 0044–4448.
9. Солнцев А. Зона высоких нагрузок // РЖД-Партнер. — 2017. — № 7. — С. 52–53. — ISSN 1607–3290.
10. Зачешигрова М. А. Анализ стоимости перевозки крупногабаритных тяжеловесных грузов на железнодорожном транспорте // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2015. — № 4. — С. 11–14. — ISSN 2071–3827.
11. Яновский А. С. Тяжеловесное движение: выгодно или затратно? // Путь и путевое хозяйство. — 2016. — № 1. — С. 1. — ISSN 0131–5765.
12. González-Nicieza C. Failure analysis of concrete sleepers in heavy haul railway tracks / C. González-Nicieza, M. I. Álvarez-Fernández, A. Menéndez-Díaz, A. E. Álvarez-Vigil, F. Ariznavarreta-Fernández // Engineering Failure Analysis. — 2008. — № 15.
13. Гапанович В. А. Оценка взаимодействия подвижного состава и пути // Железнодорожный транспорт. — 2014. — № 9. — С. 11–14. — ISSN 0044–4448.
14. Zhang D. Dynamic interaction between heavy-haul train and track structure due to increasing axle load / D. Zhang, W. Zhai, W. K. Wang // Australian Journal of Structural Engineering. — 2017. — № 18 (3). — P. 190–203.
15. Черепашенец Р. Г., Максимов Н. В. Вождение поездов повышенного веса: опыт и проблемы // Железнодорожный транспорт. — 1980. — № 3. — С. 5–13. — ISSN 0044–4448.
16. Житенев Ю. А. О готовности локомотивов к вождению тяжеловесных поездов // Локомотив. — 2014. — № 9. — С. 4–6. — ISSN 0869–8147.

17. Вырос объем транзитных контейнерных перевозок по ДВЖД // Транспорт. — 2016. — № 12/2 (937). — С. 24.
18. ГТЛК закупит очередную партию вагонов нового поколения производства ТВСЗ // Транспорт. — 2017. — № 10/1 (976). — С. 30.
19. Зимакова, М. Безопасность гарантирована / М. Зимакова // РЖД-Партнер. — 2016. — № 23. — С. 54–55. — ISSN 1607–3290.
20. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. — М., 2008. — 171 с.
21. На Дальневосточной железной дороге начались испытания по вождению соединенных поездов // Транспорт. — 2015. — № 3/1. — С. 28.
22. Davydov Y. The Heavy Haul Train Service on the Eastern Section of the Baikal-Amur Mainline. / Y. Davydov, T. Kalikina, A. Plyaskin, M. Keyno // Procedia Engineering. — December, 2017. — № 187. — P. 769–774.
23. Lovett A. H. Determining Freight Train Delay Costs on Railroad Lines in North America / A. H. Lovett, C. T. Dick, C. P. L. Barkan // Proceedings of the International Association of Railway Operations Research (IAROR) 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis. — Tokyo, Japan. — 2015.
24. Иноземцев В. Г. Поезда повышенной массы и длины. Технические средства и технология вождения : учебное пособие / В. Г. Иноземцев, Н. А. Панькин, А. Е. Пыров. — М. : Транспорт, 1993. — 176 с.
25. Завершены работы по проходке нового Бескидского тоннеля // Транспорт. — 2016. — № 11/1 (932). — С. 25.
26. По итогам первого квартала 2016 года АО «Локомотив» планирует увеличить количество длинносоставных и тяжеловесных поездов // Транзит.KZ. — 2016. — № (67). — С. 10–11.
27. Запущен регулярный контейнерный поезд Шеньян — Гамбург // Транспорт. — 2015. — № 11/2. — С. 24.
28. Солнцев А. Тяжелый вес магистралям на пользу // Информационное агентство «РЖД-Партнер.РУ» — URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/tiazhelyives-magistraliam-na-polzu> (дата обращения: 03.03.2020).
29. Guidelines to best practices for heavy haul railway operations. Infrastructure construction and maintenance issues. — Virginia, 2009. — 645 p.

Объем статьи: 0,44 авторских листа





Дмитрий Аркадьевич  
Басовский  
Dmitry A. Basovsky



Ирина Георгиевна  
Дегтярева  
Irina G. Degtyareva

## Государственная система «Платон»: от неприятия к позитивному мультипликативному эффекту в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог

### The “Plato” state-initiated system: from rejection to a positive multiplier effect in the construction and operation of highways

#### Аннотация

Рассматривается опыт первых пяти лет работы спутниковой системы взимания платы «Платон» («плата за тонны») в счет возмещения ущерба, наносимого федеральным трассам общего пользования при проезде по ним транспортных средств, имеющих разрешенную массу свыше 12 т. Приведены причины введения данной системы. Перечислены наиболее значимые промежуточные итоги работы системы. Дан обзор критических замечаний и претензий грузоперевозчиков к системе, обозначены возможные точки роста. Особое внимание уделено важнейшему результату функционирования системы «Платон», заключающемуся в мультипликативном эффекте экономики России, который со временем будет нарастать.

**Ключевые слова:** грузовые перевозки, электронная система взимания платы «Платон», современные автомобильные дороги, бортовые устройства, мультипликативный эффект.

DOI:10.20291/2311-164X-2022-1-64-66

#### Авторы Authors

Дмитрий Аркадьевич Басовский, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург | Ирина Георгиевна Дегтярева, Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Академия управления городской средой, градостроительства и печати», Санкт-Петербург

Dmitry A. Basovsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg | Irina G. Degtyareva, St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution “Academy of Urban Environment Management, Urban Planning and Printing”, St. Petersburg

Запуск в 2015 г. электронной системы взимания платы «Платон» стал сильнейшим стрессом для рынка автогрузоперевозок, хотя многие европейские страны достаточно давно перешли на покилометровую плату, и их опыт был изучен российскими разработчиками. Необходимость изменений в эксплуатации федеральных автомобильных трасс была вызвана следующими причинами:

1) несправедливой несоразмерностью распределения расходов между пользователями дорог (источниками пополнения дорожного фонда РФ являются владельцы легковых машин, а не владельцы 12-тонников, которых в сорок раз меньше, но которые наносят большой ущерб дорожной инфраструктуре). Экспертами установлено, что воздействие одного автопоезда массой 40 т на основе дорожного полотна сопоставимо с проездом не менее 50 тыс. легковых машин. Тем самым не соблюдается справедливый принцип, лежащий в основе всех систем взимания платы. Более того, не учитывается фактически пройденное расстояние и то, работает ли автомобиль на карьерах или выезжает на трассу;

2) современными нормативными требованиями эксплуатации, содержания и ремонта автомобильных магистралей;

3) ростом числа разрушаемых дорог и элементов дорожной инфраструктуры;

4) критически увеличивающимся объемом отложенных работ по ремонту и реконструкции дорог;

5) увеличивающимся дисбалансом в грузоперевозках различными видами транспорта (из-за того, что плата за инфраструктуру не взималась с автомобильного транспорта (в отличие от всех остальных), на автомобили перешли грузы, которые никогда раньше на них не транспортировались) [1].

С введением «Платона» государство получило реальную динамичную картину направлений и объемов грузоперевозок по стране, что позволяет Росавтотрансу оперативно и с большей эффективностью перераспределять ресурсы. Кроме того, интеграция «Платона» с таможенными и налоговыми системами оптимизирует управление всей инфраструктурой дорожной отрасли.

Нельзя не отметить также появление возможности качественного перераспределения грузов между всеми видами транспорта. Например, в Белой книге «Транспорт–2050», на основе которой выстраивается стратегия развития европейского транспорта, грузы на расстояние свыше 500 км рекомендовано перевозить железнодорожным или водным транспортом [2]. Это обуславливает повышение эффективности перевозок в целом, что является еще одной причиной введения системы «Платон».

За пять лет работы система «Платон» пополнила дорожный фонд на 130 млрд руб. (с учетом 6 млрд руб. штрафов с недобросовестных перевозчиков). Построено и отремонтировано 3,3 тыс. км дорог, включая 700 км федеральных магистралей; построены и восста-

новлены 133 моста. Причем участки для восстановления выбраны с учетом мнения самих грузоперевозчиков. «Платон» формирует дополнительный бюджет не только для строительства и капитального ремонта, но и для повышения безопасности автомобильных дорог и мостовых сооружений в первую очередь для большегрузного транспорта, обеспечивает сбор статистики и рост прозрачности рынка грузоперевозок [3].

В период сложной пандемической ситуации анализ экономической активности грузоперевозчиков на основе данных «Платона», проведенный Минтранс России и Минэкономразвития по поручению Правительства РФ, показал следующее соотношение пробега грузового автомобильного транспорта в 2020 г. к 2019-му:

- спад в апреле до 19,8%;
- сокращение разницы пробега в конце октября до 0,9%;
- превышение значений 2019 г. в первой половине ноября 2020 г. на 2%.

Однако даже при таких высоких показателях к работе «Платона» есть вопросы и претензии.

Так, например, Национальная ассоциация грузового автомобильного транспорта «Грузавторанс» [4], признавая необходимость изменений на рынке автомобильных перевозок, считает, что:

- не достигнута обещанная прозрачность системы и, как следствие, прозрачность бизнеса грузоперевозок;
- достаточное количество недобросовестных перевозчиков остается в тени, уклоняясь от платежей;
- некорректно работает система при выставлении счетов по маршрутным картам, непонятны основания выставления штрафов, месяцами нет ответных писем от Ространснадзора;
- отсутствует строгий контроль над установкой приборов (бортовых устройств, которые должны быть установлены в грузовых автомобилях), над процедурой взимания штрафов;
- не доработаны механизмы контроля над теми, кто любыми способами пытается обойти систему и не платить.

Все это приводит к формированию недобросовестной конкуренции.

Несомненно, легализация рынка — процесс далеко не быстрый, изменения не всегда видны, но они есть, и мы о них постепенно узнаем.

Важнейший результат «Платона» — в мультипликативном эффекте, который со временем будет нарастать:

- дополнительные инвестиции в строительную отрасль стимулируют развитие дорожных технологий;
- разрабатываются инновационные износостойкие материалы для дорожных покрытий, увеличивающие срок эксплуатации дорог;

- качественные современные дороги — это оптимизация расходов грузоперевозчиков, сокращение сроков доставки грузов и, как следствие, сокращение себестоимости;
- транспортные компании и грузоотправители получают возможность больше средств направить на развитие производства и инвестиции;
- дополнительные возможности обеспечения экологической безопасности при эксплуатации автомобильных дорог [5].

Комплексный мультипликативный эффект системы «Платон» появится не сразу, но он проявится абсолютно точно — это доказал пятилетний опыт работы электронной системы. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Материалы рабочей группы по мониторингу функционирования системы «Платон» // Росавтодор: [официальный сайт]. — Москва, 2016. — URL: <https://rosavtodor.gov.ru/truck/platon> (дата обращения: 19.02.2021).
2. Белая книга — транспорт. — URL: <https://ppt-online.org/482727> (дата обращения: 15.02.2021).
3. О системе взимания платы // Платон: [официальный сайт]. — URL: <https://platon.ru/ru/about> (дата обращения: 05.03.2021).
4. Система «Платон» // Национальная Ассоциация грузового автомобильного транспорта «Грузавтотранс»: [официальный сайт]. — Москва, 2020. — URL: <http://sro-auto.ru/association/about/> (дата обращения: 05.03.2021).
5. Телегина В. В. Применение ресурсосберегающих технологий при строительстве линейных объектов / В. В. Телегина, С. А. Черевко, И. Г. Дегтярева, Д. А. Басовский // Материалы II Всероссийской научной конференции, (4–5 февраля 2020 г.). — Санкт-Петербург, 2020. — С. 207–219.

Объем статьи: 0,2 авторских листа

### Уважаемые читатели и авторы журнала «Инновационный транспорт»!

Если вам нравится наш журнал, вы можете оказать содействие в его развитии, перечислив денежные средства по реквизитам:

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Шевченко, д. 20, помещение 1

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

**Назначение платежа:** «Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС».

Ваша финансовая поддержка позволит нам увеличить число публикаций, повысить индексы цитирования журнала и наших авторов.

### Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!

Предлагаем вам услуги по продвижению вашей продукции через сеть Ассоциации выпускников УЭМИИТ-УрГУПС.

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС — это кооперация большого числа неравнодушных людей различных сфер деятельности, окончивших наш университет.

Кроме того, предлагаем услуги по подбору молодых специалистов, по организации поиска решений прикладных и научных задач в рамках диссертационных работ, выполняемых в УрГУПС.

Всю необходимую информацию вы можете получить по тел. (343) 221-24-67 или на сайте <http://www.usurt.ru/vypusknikam/assotsiatsiya-vypusknikov-urgups>

<b>Извещение</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> <u>667001001</u> <b>ИНН:</b> <u>6670317893</u> <b>ОКТМО:</b> <u>65701000</u> <b>Р/сч.:</b> <u>40703810863010000192</u> <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> <u>046577795</u> <b>К/сч.:</b> <u>30101810900000000795</u> <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>Плательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: «___» _____ 2022 г.</p>
<b>Квитанция</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> <u>667001001</u> <b>ИНН:</b> <u>6670317893</u> <b>ОКТМО:</b> <u>65701000</u> <b>Р/сч.:</b> <u>40703810863010000192</u> <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> <u>046577795</u> <b>К/сч.:</b> <u>30101810900000000795</u> <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>Плательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: «___» _____ 2022 г.</p>



**Подписка на 2022 год.**

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.

Периодичность — 4 номера в год.

ф. СП-1



**АБОНЕМЕНТ** на ~~газету~~  
журнал **85022**  
(индекс издания)

**Иновационный транспорт**

(наименование издания) Количество комплектов:

на 2022 год по месяцам:

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

**Куда**  
(почтовый индекс) (адрес)

**Кому**  
(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на ~~газету~~  
журнал **85022**  
(индекс издания)

**Иновационный транспорт**

(наименование издания)

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

на 2022 год по месяцам:

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

**Куда**  
(почтовый индекс) (адрес)

**Кому**  
(фамилия, инициалы)

# Технические требования и рекомендации к оформлению статей

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

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

## 2. Материалы подготавливаются в редакторе MS Word.

## 3. Объем статьи не более 15 страниц.

## 4. Список литературы помещается в конце статьи после подзаголовка и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003, ГОСТ 7.0.5-2008. Ссылки на литературу в тексте статьи оформляются в квадратных скобках ([3], [3, 4], [3–7]).

## 5. Требования к разметке и форматированию текста.

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

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

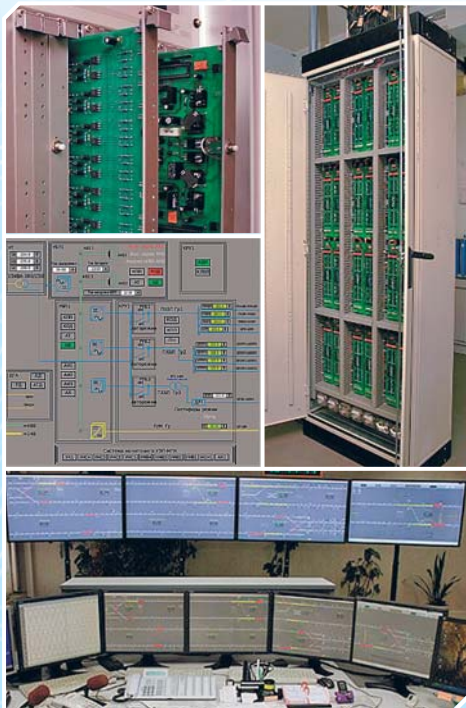
**6. Рисунки и таблицы.** Таблицы должны быть снабжены заголовками, а рисунки — подписями. Расположение заголовков: слово «Таблица» — в правый край таблицы; название таблицы располагается по центру над таблицей. В рисунках (диаграммах и графиках) слово «Рис.», номер и название рисунка располагаются по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

