

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

№ 4 (38)

I N N O T R A N S

Декабрь 2020



**Анализ текущего состояния, проблемы и перспективы вагоноремонтного производства в УФО**

**С. 37**

Роль транспортного коридора «Россия – Китай» в перевозке экспортных грузов

Конструкции полувагонов 1937–1941 гг. и их модернизация

Классификация факторов, влияющих на расход электроэнергии ЭПС





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**

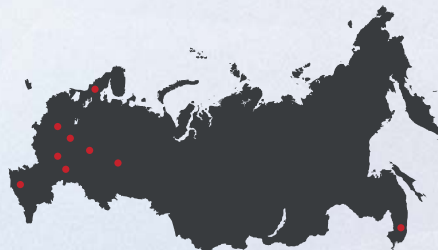
## НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ:

- > 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

№ 4 (38), 2020 г.

Издается с ноября 2011 г.

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

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

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

**Редактирование и корректура** — Елена Владимировна Чагина

**Верстка и дизайн** — Андрей Викторович Трубин

**Адрес редакции и издателя:** 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.

Веб-сайт: [www.usurt.ru](http://www.usurt.ru), e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru)

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

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.

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

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

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

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

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге «Пресса России» — 85022. Цена 395 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X.

Подписано в печать 25.12.2020. Дата выхода в свет 20.01.2021.

Печать офсетная. Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–160). Заказ № 13081

Фото на обложке: Пресс-служба компании «Новотранс» <https://ru.wikipedia.org>. Свободная лицензия CC BY-SA 4.0

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

© Общероссийская общественная организация «Российская академия транспорта», 2020

### МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

## Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 4 (38), 2020

Published since November 2011

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

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

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

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

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

**Address of the editorial office:**

66 Kolmogorova Str., Ekaterinburg, 620034.

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

Web-site: [www.usurt.ru](http://www.usurt.ru). E-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru)

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

Subscription reference number of the issue in the All Russia Catalogue “Russian Press” — 85022. Price 395 rub.

Released for printing on 25.12.2020. Date of issue 20.01.2021. Offset printing. Circulation 500 copies.

© ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, 2020

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

### INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

### EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>Ларин О.Н., Амарсанаа Оюунгарав.</i> Приоритетные задачи развития трансграничной транспортно-логистической инфраструктуры Монголии . . . . .	3
<i>Чеботаев А.А., Ивахненко А.М.</i> К вопросу о вероятности безотказного формирования транспортно-территориальных пропорций перевозок . . . . .	8
<i>Самуйлов В.М., Неволин Д.Г., Калашников А.Е.</i> Роль транспортного коридора «Россия — Китай» в перевозке экспортных грузов . . . . .	15
<i>Выскребенцев И.С.</i> Перспективы развития высокоскоростных железнодорожных магистралей Уральского региона . . . . .	21

## Организация производства (транспорт)

<i>Арипов Н.М., Илесалиев Д.И.</i> Применение модели Лотки–Вольтерры при решении задач оптимизации обеспечения вагонами зерноэлеваторов . . . . .	26
<i>Мартыненко А.В., Шевцов А.А.</i> Моделирование пространственного распределения пассажиропотоков междугородних автобусных маршрутов . . . . .	31
<i>Смолянинов А.В., Кармацкий В.Ф., Соломенников А.А.</i> Анализ текущего состояния, проблемы и перспективы вагоноремонтного производства в Уральском федеральном округе . . . . .	37
<i>Лапшин В.Ф., Зелюкова Е.В., Миронова О.А.</i> Анализ технологической подготовки предприятий по техническому обслуживанию и ремонту вагонов . . . . .	44
<i>Пестряков А.Н., Орлов В.В.</i> К расчету сталефибробетонной плиты проезжей части мостового сооружения методом конечных разностей . . . . .	51

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Завадич А.В., Смолянинов А.В.</i> Конструкции полувагонов 1937–1941 гг. и их модернизация . . . . .	54
<i>Бакланов А.А., Доманов К.И., Есин Н.В., Истомин С.Г., Шиляков А.П., Шатохин А.П.</i> Классификация факторов, влияющих на расход электроэнергии электроподвижным составом . . . . .	61

## Эксплуатация автомобильного транспорта

<i>Буланов Н.В., Авксентьева Е.И., Бондаренко В.Г.</i> Перспективы развития техники кондиционирования воздуха на транспорте с двигателями внутреннего сгорания . . . . .	67
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

# CONTENTS

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

<i>Oleg N. Larin, Amarsanaa Oyungarav.</i> Priorities for developing Mongolia's cross-border transport and logistics infrastructure . . . . .	3
<i>Alik A. Chebotaev, Andrey M. Ivakhnenko.</i> Probability of trouble-free formation of transport and territorial proportions of transportation . . . . .	8
<i>Valeriy M. Samuylov, Dmitry G. Nevolin, Andrey Y. Kalashnikov.</i> The role of the Russia-China transport corridor in the transportation of export goods . . . . .	15
<i>Ivan S. Vyskrebentsev.</i> Prospects for the development of high-speed Railways in the Ural region . . . . .	21

## The organization of production (transport)

<i>Nazirjhon M. Aripov, Daurenbek I. Ilesaliev.</i> Application of the Lotka–Volterra model in solving problems of optimizing the provision of grain elevators with wagons . . . . .	26
<i>Alexander V. Martynenko, Alexander A. Shevtsov.</i> Modeling of spatial distribution of passenger traffic on interurban bus routes . . . . .	31
<i>Alexander V. Smolyaninov, Vitaly F. Karmatsky, Alexander A. Solomennikov.</i> Analysis of the current state, problems and prospects of car repair production in the Ural Federal district . . . . .	37
<i>Vasily F. Lapshin, Elena V. Zelyukova, Oksana A. Mironova.</i> Analysis of technological preparation of enterprises for maintenance and repair of railcars . . . . .	44
<i>Alexei N. Pestryakov, Viktor V. Orlov.</i> Calculation of the steel fiber concrete slab of the roadway of a bridge structure by the finite difference method . . . . .	51

## Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Alexey V. Zavadich, Alexander V. Smolyaninov.</i> Gondola car designs 1937–1941 and their modernization . . . . .	54
<i>Alexander A. Baklanov, Kirill I. Domanov, Nikolay V. Esin, Stanislav G. Istomin, Andrey P. Shilyakov, Andrey P. Shatokhin.</i> Classification of factors affecting the power consumption of electric rolling stock . . . . .	61

## Operation of motor transport

<i>Nikolay V. Bulanov, Ekaterina I. Avksentyeva, Viktor G. Bondarenko.</i> Prospects for the development of air conditioning technology in transport with internal combustion engines . . . . .	67
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----





Олег Николаевич  
Ларин

Oleg N. Larin



Амарсанаа  
Оюунгарав

Amarsanaa Oyungarav

## Приоритетные задачи развития трансграничной транспортно-логистической инфраструктуры Монголии

### Priorities for developing Mongolia's cross-border transport and logistics infrastructure

#### Аннотация

В статье исследованы важнейшие направления развития трансграничной транспортно-логистической инфраструктуры Монголии, показаны перспективы интеграции национальной транспортной сети в систему сухопутных трансконтинентальных транспортных коридоров. Особое внимание уделяется эффективности работы пограничных пунктов пропуска. Реализация проектных мероприятий по дальнейшему развитию трансграничной транспортно-логистической инфраструктуры Монголии обеспечит повышение экономического, внешнеторгового и транзитного потенциала страны.

**Ключевые слова:** транспортная система Монголии, пограничные пункты пропуска, транзитные перевозки, международные транспортные коридоры.

#### Abstract

The article examines the most important areas of development of the cross-border transport and logistics infrastructure of Mongolia, shows the prospects for integrating the national transport network into the system of land transcontinental transport corridors. Special attention is paid to the efficiency of border checkpoints. Implementation of project activities for further development of Mongolia's cross-border transport and logistics infrastructure will increase the country's economic, foreign trade and transit potential.

**Keywords:** transport system of Mongolia, border checkpoints, transit transport, international transport corridors.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-3-7

#### Авторы Authors

*Олег Николаевич Ларин, д-р техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Российского университета транспорта, Москва; e-mail: larin\_on@mail.ru | Амарсанаа Оюунгарав, аспирант кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Российского университета транспорта, Москва*

*Oleg Nikolaevich Larin, Doctor of technical sciences, Full Member of the Russian Academy of Transport, Professor of the Department of Logistic Transport Systems and Technologies, Russian transport university, Moscow; e-mail: larin\_on@mail.ru | Amarsanaa Oyungarav, Postgraduate student of the Department of Logistic Transport Systems and Technologies, Russian University of Transport, Moscow*



ми двусторонними грузовыми пограничными пунктами являются Шивээхурэн — Сэхээ, Гашуунсухайт — Ганц мод. Временными пограничными пунктами на границе с Китаем являются Даян — Хуншаньзюй, Байтаг — Улиастай, Бургастай — Лаомяо, Ханги — Мандал, Баянхошуу — Овдог, Хавирга — Архашаат. Ведутся работы по созданию еще одного пограничного пункта Цагаан дэл Уул-Улзий в провинции Умнуговь.

По решению Правительства Монголии с 2010 г. пограничные пункты Гашуунсухайт и Шивээхурэн были переведены на круглосуточный режим международного сообщения, а пограничный пункт Булган переведен на постоянный режим. Пограничные пункты Хавирга, Баянхошуу, Ханги, Бургастай были также переведены на круглосуточный режим в 2014 г.

**Пограничные пункты пропуска на монгольско-российской границе.** Больше всего пограничных пунктов пропуска (восемь) находится в провинции Увс. В провинции Сэлэнгэ имеется семь пунктов пропуска, пять в провинции Дорнод, четыре в провинции Хубсугулд-ва, в провинции Баян-Улгий и по одному в провинциях Булган, Завхан, Хэнтий.

Постоянными пограничными пунктами для международного пассажирского и грузового сообщения являются Сүхбаатар — Наушки (железнодорожный), Алтанбулаг — Кяхта, Цагааннуур — Ташанта, Эрээнцав — Соловьевск (автомобильный), Боршоо — Хандгайт. Двусторонними постоянными пограничными пунктами для пассажирского и грузового сообщения являются Тэс — Шарсуурь, Арцсуурь — Цагаантолгой, Ханх — Монд, Бага — Илэнх-Айнек, Зэлтэр — Желтура, Агацын гол — Алтан, Ульхан — Дээд Ульхан, Эрээнцав — Соловьевск (железнодорожный). Временными (сезонными) пограничными пунктами являются Баянзүрх — Тарис, Шишгэд гол — Ушь Бэлдир, Хээгт — Санага, Хонгор овоо — Боций, Цагаан — Арал-Наушки, Хутаг — Өндөр-Киран, Хүдэр — Цагаанчулуутай, Тогтор — Өвөртогтор, Ямалхын гол — Новый Дурулгүй. Транзитные пограничные пункты: Асгатын гол — Аспайт, Бөхмөрөн — Кызылхая, Харигийн гол — Мугур Аксы, Тээл — Хандгайт, Тээл — Торгалыг, Давст — Сарыг Холь, Тэс — Сарыг Холь. При этом только 15 пунктов пропуска (около 35 % от общего количества) являются действующими. Большая часть пограничных пунктов с РФ из-за проблем с инфраструктурой не эксплуатируется.

Крупнейшими пограничными пунктами на монгольско-российской границе являются автомобильный пункт пропуска Алтанбулаг и железнодорожный пункт пропуска Сухэ-Батор.

Постоянный пограничный пункт пропуска международного значения Алтанбулаг расположен на территории сомона Алтанбулаг провинции Сэлэнгэ. Здесь расположена свободная экономическая зона Алтанбулаг, поэтому международные сообщения в данном регионе очень востребованы. За последние пять лет коли-

чество пересечений границы пассажирами через данный пункт выросло более чем полтора раза. На сегодняшний день пограничный пункт пропуска Алтанбулаг имеет все возможности для дальнейшего развития. Ведется работа по увеличению пропускной способности пункта, построена новая автодорога, разделены потоки пассажирского и грузового транспорта, оборудованы лаборатории пищевой безопасности и по карантину растений и животных. Упрощение пограничных операций грузоперевозок и торгово-экономических процедур, полный переход таможенных организаций на электронную систему и другие работы положительно повлияют на динамику показателей трансграничной торговли соседних стран.

Важность развития автодорожных пунктов пропуска международного значения на монгольско-российской и монгольско-китайской границах подчеркивается также тем, что в 2016 г. правительства трех стран заключили соглашение о международных автомобильных перевозках по азиатским автомобильным дорогам. Данный документ определил два основных автодорожных коридора между Россией и КНР с транзитом через Монголию:

1. Улан-Удэ — Кяхта — Улан-Батор — Пекин — морские порты на тихоокеанском побережье КНР.
2. Новосибирск — Ташанта — Цэцэгнуур — Урумчи и далее к границе КНР со странами Центральной и Южной Азии.

Железнодорожный пункт пропуска международного значения Сухэ-Батор в основном ориентирован на обслуживание важнейших международных, в том числе транзитных, грузопотоков. Объем пассажирских перевозок по монгольским железным дорогам пока незначительный, в среднем через пункт проходит 2–3 пассажирских поезда в сутки, в то время как его пропускная способность составляет более 12 пар поездов в сутки. При этом интенсивно растет транзитный грузопоток между азиатскими странами, прежде всего КНР, и европейскими — в основном между Россией и Евросоюзом, поэтому целесообразно повышать техническую оснащенность железнодорожного пограничного перехода.

### Современные проекты развития пограничных пунктов пропуска Монголии

Перспективные планы развития пограничных пунктов пропуска Монголии формируются в рамках проекта по комплексной модернизации и развитию транспортно-логистической инфраструктуры «Экономического коридора Китай — Монголия — Россия». Данный проект охватывает всю систему национальных сухопутных транспортных коридоров, соединяющих три государства [4, 9, 10]. Основными коридорами проекта являются:



- Центральный железнодорожный коридор (Улан-Удэ — Наушки — Сухэ-Батор — Улан-Батор — Дзамын-Удэ (Замын-Удэ) — Эрлянь — Уланчаб — Чжанцзякоу — Пекин — Тяньцзинь);
- Восточный железнодорожный коридор (Борзя — Соловьевск — Эрэнцав — Чойбалсан — Хут — Бичигт — Шилин-Гол (Чжуэньгадабуци) — Чифэн — Чаоян — Цзиньчжоу/Паньцзинь);
- Туманганский транспортный коридор «Приморье-2» (Чойбалсан — Сумбэр — Аршань — Улан-Хото — Чанчунь — Яньцзи — Хуньчунь — Зарубино);
- продление до Монголии железнодорожного транспортного коридора «Приморье-1» (Чойбалсан — Сумбэр — Аршань — Маньчжурия — Цицикар — Харбин — Муданьцзян — Суйфэньхэ — Владивосток — Находка);
- строительство скоростной автомобильной дороги в рамках маршрута АН-3 сети азиатских автодорог Улан-Удэ — Кяхта / Алтанбулаг — Дархан — Улан-Батор — Сайншанд — Дзамын-Удэ / Эрлянь — Внешний Пекин — Тяньцзинь;
- строительство скоростной автомобильной дороги в рамках маршрута АН-4 сети азиатских автодорог Новосибирск — Барнаул — Горно-Алтайск — Ташанта / Улан байшинт — Ховд — Ярантай / Тайкешкен — Урумчи — Каши — Хонкираф;
- Восточный автодорожный коридор (Борзя — Соловьевск — Эрэнцав — Чойбалсан — Барун Урт — Бичигт — Чжуэньгадабуци — Си — Уджимчин-Ци — Чифэн/Силин-Хото — Чаоян/Чэндэ — Паньцзинь/Цзиньчжоу/Тяньцзинь).

Анализ конфигурации национальных транспортных коридоров Монголии и направлений трансграничных грузопотоков показывает, что наибольшая концентрация нагрузки транспортных потоков приходится на пункты пропуска международного значения Алтанбулаг, Дзамын-Удэ, а также на другие объекты транспортно-логистической инфраструктуры в границах территорий крупнейших населенных пунктов страны и узловых центров, таких как Улан-Батор, Сайншанд, Сухэ-Батор.

Международный постоянный автомобильный и железнодорожный пограничный пункт пропуска Дзамын-Удэ, расположенный на монгольско-китайской границе, является одним из крупнейших сухопутных пунктов пропуска страны. Железнодорожный пункт пропуска Дзамын-Удэ был основан в 1956 г., а автомобильный — в 1992 г. Ежедневно железнодорожный пограничный пункт Дзамын-Удэ пересекает в среднем около тысячи человек и 2500 вагонов, а автомобильный пункт пропуска — 6000 человек и 2000 автотранспортных средств. В настоящее время через пункт проходят поезда по сорока регулярным маршрутам, связанным с 38 китайскими городами в 27 провинциях и районах Китая.

В 2019 г. на пункте пропуска Дзамын-Удэ был запущен «Региональный логистический центр Дзамын-Удэ». Инвестиции на строительство в размере 45 млн долларов выделил Азиатский банк развития. Новый логистический центр имеет общую площадь 128 га. В его состав входят 11,6 км железной дороги широкой и узкой колеи для погрузки и выгрузки груза, 19 усл. м бетонных мостовых сооружений, которые пересекаются в двух уровнях, для въезда и выезда транспортных средств из логистического центра, 1,6 км автомобильных дорог, а также многочисленные объекты инженерной инфраструктуры. Технологической основой логистического центра является контейнерный терминал, который состоит из трех площадок — для операций с контейнерами, крупногабаритных и тяжеловесных грузов, а также складов для хранения контейнеров и грузов. Логистический центр включает в себя весовое хозяйство, склад временного хранения, административные здания, сервисный центр, котельную, помещения для обеспечения логистического центра электроэнергией и водой, очистные сооружения, подсобные помещения для персонала и охраны, топливозаправочные пункты, емкости для хранения ГСМ, воды, электрическую подстанцию, магистрали теплоснабжения и водоснабжения, системы связи и прочие объекты. Логистический центр оснащен 50-тонными мостовыми кранами, работает в круглосуточном режиме и способен обслуживать (выгрузка, перегрузка) 800 вагонов или 16 составов из КНР в сутки. С введением в эксплуатацию логистического центра увеличиваются объемы и расширяется номенклатура перевозимых грузов (включая оборудование для горнодобывающего сектора страны, транзитные грузы), перегружаемых из вагонов с различной шириной колеи или из вагонов на автомобильный транспорт.

Пограничный пункт пропуска Ганц мод является одним из быстроразвивающихся пунктов пропуска на монгольско-китайской границе. Он был основан в 1992 г. на территории провинции Умнуговь как сезонный пункт пропуска. В последние годы этот пункт является важным коридором для экспорта полезных ископаемых, таких как уголь, медь и др. В 2009 г. его статус был изменен на двусторонний и автомобильный. В настоящее время пункт Ганц мод расширился до небольшого населенного пункта, где проживает более 20 тысяч человек и расположено более 40 предприятий, работающих в сфере перевозок, обработки полезных ископаемых, онлайн-продажи, электроэнергетики и в других отраслях.

Пограничный пункт пропуска Цагааннуур на территории сомона Цагааннуур провинции Баян-Улгий имеет выгодное расположение — кратчайший выход по автодорожной сети к крупнейшим экономическим центрам России и другим странам в западной части континента.

На территории сомона Номгон провинции Умнуговь расположен постоянный двусторонний грузопассажирский автомобильный пограничный пункт пропуска Ца-



ган дель уул через монгольско-китайскую границу. Данный пункт также имеет выгодное расположение, так как обеспечивает возможность доставлять грузы клиентов из КНР и Монголии кратчайшим путем.

На территории сомона Эрдэнэцагаан провинции Сухэ-Батор в восточной части страны планируется создание пограничного пункта Бачигтийн через монгольско-китайскую границу, который может стать по статусу и оснащенности таким же, как пункт пропуска Дзамын-Удэ. В перспективе может быть построена железная дорога от Улан-Батора до Эрдэнэцагаана с выходом на границу с КНР в пункте Бачигтийн. Вопрос о строительстве железной дороги находится на стадии обсуждения. Если его результаты будут положительными, этот регион получит возможность развивать промышленность и внешнюю торговлю, увеличить грузооборот, повысить качество жизни жителей сомона Эрдэнэцагаан.

### Заключение

Транспортно-логистическая система Монголии способна существенно повысить эффективность работы за счет развития сети национальных транспортных коридоров и их интеграции с сетью трансконтинентальных сухопутных коммуникаций, проходящих через сопредельные государства — Россию и Китай. В число стратегических приоритетов развития национальной трансграничной транспортно-логистической

инфраструктуры страны входят задачи по модернизации и созданию новых международных наземных транспортных коридоров, дальнейшее развитие пунктов пропуска, расширение сети логистических центров, обеспечивающих эффективную обработку внешнеторговых грузов, а также повышение пропускной способности и совершенствование технологий работы железнодорожных и автодорожных пунктов пропуска через государственную границу. Не менее важными являются мероприятия по увеличению пропускной способности железнодорожной сети за счет внедрения системы интервального регулирования движения поездов на всех магистральных участках УБЖД. Также целесообразно активизировать работу по улучшению технологических и тарифных условий в сфере трансграничных перевозок, формированию единых систем обмена информацией при международных смешанных перевозках, электронного обмена документами, включая обмен предварительной информацией, что будет способствовать автоматизации таможенных процедур по оформлению перевозимых грузов на основе применения цифровых технологий.

Данные меры позволят повысить эффективность работы логистического сектора страны, сделать привлекательной сеть национальных транспортных коридоров для транзитных перевозок, а также обеспечат достижение целей развития экономического коридора «Россия — Монголия — Китай», определенных руководством этих государств. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Балжир М. Перспективы Улан-Баторской железной дороги // Мир транспорта. — 2014. — № 3. — С. 148–155. — ISSN 1992–3252.
2. Батурын А. П., Балжир М. Выбор оптимального варианта развития Улан-Баторской железной дороги // Мир транспорта. — 2015. — Т. 13. — № 2 (57). — С. 154–165. — ISSN 1992–3252.
3. Воронин В. А. Улан-Баторская железная дорога: сегодня и завтра // Автоматика, связь, информатика. — 2014. — № 2. — С. 45–46. — ISSN 0005–2329.
4. Дондоков З. Б.-Д., Борисов Г. О., Намжилова В. О. Россия — Монголия — Китай: перспективы трехстороннего сотрудничества // Проблемы Дальнего Востока. — 2016. — № 1. — С. 93–101. — ISSN 0131–2812.
5. Миротин Л. Б., Ларин О. Н., Никулин А. А., Тарасов Д. Э. Перспективы развития российско-китайских трансграничных транспортных коридоров на Дальнем Востоке // Инновационный транспорт. — 2018. — № 1 (27). — С. 3–7. — ISSN 2311–164X.
6. Намжилдорж Н. Интенсификация перевозки грузов по сети АО «Улан-Баторская железная дорога» на 2020 год // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2018. — Т. 60, № 4. — С. 132–138. — ISSN 1813–9108.
7. Программа создания экономического коридора Китай — Монголия — Россия. — URL: <http://minpromtorg.gov.rg/rus-ch-mn.pdf> (дата обращения: 20.09.2020).
8. Прокофьев И. В., Ларин О. Н., Каратаева К. Е. Инициатива «Один пояс — один путь» — новая платформа для расширения российско-китайского сотрудничества в транспортной сфере // Проблемы национальной стратегии. — 2017. — № 6 (45). — С. 11–48. — ISSN 2079–3359.
9. Самойленко В. В. Россия — Китай — Монголия: перспективы трехстороннего сотрудничества // Международная жизнь. — 2016. — № 6. — С. 12–22. — ISSN 0130–9625.
10. Ставров И. В. Экономический коридор Китай — Монголия — Россия в стратегии социально-экономического развития провинции Хэйлунцзян // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. — 2017. — № 2(79). — С. 39–50. — ISSN 1815–0683.
11. Enhancing Connectivity and Freight in Central Asia. Case-Specific Policy Analysis. International Transport Forum. — 2019. — 158 p. — URL: [https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/connectivity-freight-central-asia\\_2.pdf](https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/connectivity-freight-central-asia_2.pdf) (дата обращения: 01.10.2020).

Объем статьи: 0,55 авторских листа



Алик Александрович  
Чеботаев

Alik A. Chebotaev



Андрей Михайлович  
Ивахненко

Andrey M. Ivakhnenko

## К вопросу о вероятности безотказного формирования транспортно-территориальных пропорций перевозок

### Probability of trouble-free formation of transport and territorial proportions of transportation

#### Аннотация

Исходя из известных управленческих рыночно-хозяйственных принципов о целесообразности сочетания централизма и федерализма, исследована проблема нормативно-правового регулирования и формирования сопоставимых региональных транспортно-территориальных пропорций, в том числе в основном на инновационной базе. Отмечена вероятность безотказности перевозок при исследовании последовательного соединения региональных транспортных систем в едином комплексе страны. В системе Минтранса РФ целесообразно создать новое научное подразделение по перспективному формированию и нормативно-правовому регулированию замены традиционных перевозок на автоматизированные беспилотные, используемые в различных средах эксплуатации.

**Ключевые слова:** территориально-транспортное пространство, региональная транспортная система, безотказность перевозок, инновационное развитие транспортной системы, автоматизированные беспилотные перевозки.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-8-14

#### Авторы Authors

*Алик Александрович Чеботаев, д-р техн. наук, профессор ФГБУ «Научный центр по комплексным транспортным проблемам Министерства транспорта Российской Федерации», лауреат Премии Совета Министров СССР, Москва | Андрей Михайлович Ивахненко, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва*

*Alik Aleksandrovich Chebotaev, Doctor of Technical Sciences, professor at the FGBU NTzKP of Russian Federation Ministry of Transport, laureate of the USSR Cabinet of Ministers Prize, Moscow | Andrey Mikhailovich Ivakhnenko, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the "Management" chair of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow*

## **География и территориально-транспортное пространство**

Россия занимает значительную часть Восточной Европы и Северной Азии. Наше отечество по площади 17,1 млн км<sup>2</sup> занимает первое место в мире, что в два раза больше Бразилии, Китая и в 1,8 раза больше США. Территориально страна расположена в северной части Евразии. С востока на запад протяженность нашей территории составляет более 9 тыс. км, а с севера на юг — до 4 тыс. км с минимальным температурным режимом до  $-65^{\circ}$ ...  $-70^{\circ}$  (Республика Саха). Самая восточная точка находится на мысе Дежнева, на Чукотском полуострове, а самая западная — на песчаной косе к западу от г. Калининграда. Самой северной точкой является мыс Флигели на острове Рудольфа в архипелаге земли Франца-Иосифа. Разница во времени в стране составляет 11 часов. Если водитель в г. Калининграде в 6 часов утра выезжает в рейс, то на Камчатке, Курильских островах и во Владивостоке другой водитель уже заезжает из рейса в гараж в 17 часов. Протяженность естественных морских береговых линий достигает 60 тыс. км, а общая протяженность рек — 2,2 млн км, включая р. Лену — 4,4 тыс. км, р. Иртыш — 4,3 тыс. км, р. Енисей — 4,1 тыс. км, р. Волгу — 3,5 тыс. км и др. В России насчитывается 2 млн озер, в том числе Байкал — площадью 31,5 тыс. км<sup>2</sup>, Ладожское — площадью 18,1 тыс. км<sup>2</sup> и др. Лесные массивы, составляющие 45 % территории страны, и водные ресурсы являются важными биосферными заповедниками по репродукции кислорода в мире.

Российская Федерация обладает практически всеми минеральными ресурсами, которые используются в промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях, а также идут на экспорт. Главными из них являются нефть, газовый конденсат, природный газ, которые в основном сосредоточены в Западно-Сибирской провинции, Якутии, на севере Иркутской области и на Сахалинском шельфе. В России функционирует ряд угольных бассейнов: Ленский, Тунгусский, Печорский, Южно-Якутский и др. Добываются руды черных металлов и разнообразные руды цветных металлов, на основании которых в результате переработки производится медь, никель, кобальт, олово, золото, серебро, вольфрам, а также алмазы и др.

Добыча полезных ископаемых в основном сосредоточена в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, которые занимают 70 % территории страны с низкой плотностью населения и недостаточно развитой транспортной сетью, к тому же с жестким зимним температурным режимом.

Важно отметить, что основным перевозчиком сырьевых ресурсов и в осуществлении межрегионально-территориальных связей восьми федеральных округов

выступает железнодорожный транспорт. Его доля в общем грузообороте страны составляет 85 % (без учета трубопроводного). Для сравнения: в США эта доля равна 52 %, в ЕС — 18 %, в Китае — 20 %.

## **Краткая социально-экономическая и транспортная характеристика федеральных округов**

На основании анализа имеющихся статистических данных составлена табл. 1, в которой приведена краткая современная характеристика социально-экономической и транспортной устойчивости функционирования восьми федеральных округов. Из этих данных видно, что федеральные округа отличаются различным уровнем развития, плотностью населения и транспортным обеспечением. И прежде всего это демографические сдвиги, в которых Сибирский и Дальневосточный округа, занимающие почти 70 % территории страны, имеют самую низкую плотность населения, приходящуюся на 1000 км<sup>2</sup> территории. Это в 16–60 раз меньше, чем, например, в Центральном округе с наибольшей численностью населения. В целом следует отметить, что доля отгруженных товаров собственного производства, характеризующая отечественный производственный потенциал, в федеральных округах с более высокой плотностью населения существенно выше, чем в северных регионах.

Основными производителями ВРП являются Центральный, Уральский, Приволжский и Северо-Западный округа.

Почти 75 % отгруженных товаров собственного производства в обрабатывающей промышленности обеспечивают Центральный, Приволжский, Северо-Западный и Уральский округа. Добыча полезных ископаемых сосредоточена на 78,8 % в Уральском, Сибирском, Дальневосточном и Приволжском округах. Три округа — Центральный, Приволжский и Южный — являются основными нашими «житницами». Доля отгруженных сельскохозяйственных товаров собственного производства в этих округах составляет 66,1 %.

Транспортный комплекс округа является составной частью его рыночно-хозяйственной деятельности. От его безотказного функционирования во многом зависит эффективность обслуживания добывающих, обрабатывающих отраслей и сельскохозяйственных производств. Поскольку практически все товары-грузы доставляются различными видами транспорта, то в процессе перевозки товар-груз перегружается несколько раз. В этом случае возникают логистические цепочки поставок, например, производитель — склад — железнодорожный вагон — судно — автомобиль — склад — потребитель. Поэтому превышение интенсивности производства над



грузоподъемностью используемых парков компенсируется наличной емкостью складских систем. Получается, что своевременная, эффективная поставка товаров-грузов региональным потребителям обеспечивается не только эксплуатацией парков транспортных средств, но и уровнем механизации (автоматизации) перегрузочных складских работ. Таким образом, складские и портовые, в том числе и «сухие» морские и речные, системы в логистике являются неким соединительным звеном между видами транспорта, товаровладельцами и потребителями. На 68 % перевозки товаров-грузов сосредоточены в Центральном, Северо-Западном и Приволжском округах.

Существующая научно обоснованная практика функционирования региональных транспортных систем показывает, что объемы перевозок товаров-грузов формируются на базе составления перспективных спросовых товарных балансовых методов в соответствии с известной формулой Госплана СССР:

$$B_p^c = Q_{пр} + Q_{вв} - Q_{выв} - Q_{ост}, \quad (1)$$

где  $B_p^c$  — региональный рыночный спрос на товар (продукцию);  $Q_{пр}$  — объем товаров (продукции) собственного производства;  $Q_{вв}$  — объем ввозимых товаров (продукции), включающий местный, межрегиональный и импортный ввоз из-за рубежа;  $Q_{выв}$  — объем вывозимых товаров (продукции), включающий местный, межреги-

ональный и экспортный вывоз за рубеж;  $Q_{ост}$  — остаток товаров (продукции) в регионе за прошедший период.

Для региона, округа, осуществляющего внешнеторговые связи, устанавливается, с учетом специфических особенностей, внешнеторговый оборот — как сумма объемов экспорта и импорта. На основании этих данных рассчитывается сальдо торгового баланса, т.е. разница между экспортом и импортом. Федеральный округ будет иметь положительное сальдо, когда экспорт будет превышать импорт. И наоборот, превышение импорта над экспортом означает, что его сальдо отрицательное.

В табл. 1 приведены объемы перевозок, рассчитанные авторами исходя из общих методических принципов о том, что темпы развития транспорта соответствуют темпам развития экономики региона, формулы (1) и данных об отгруженных товарах собственного производства в федеральных округах.

При этом объемы отгруженных товаров собственного производства рассчитывались с учетом коэффициентов повторности перевозок. Из данных табл. 1 видно, что 80 % объемов перевозок выполняется транспортными системами четырех федеральных округов. Это Центральный, Северо-Западный, Приволжский и Уральский. Транспортные системы Сибирского и Дальневосточного округов перевозят 12 % товарной массы. Между этими округами наблюдается сопоставимая транспортная диспропорция, измеряемая разами. Северо-Кавказский федеральный округ, несмотря на высокую плотность насе-

Таблица 1

## Краткая современная социально-экономическая характеристика федеральных округов и объемов перевозок в РФ

Федеральный округ	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	Распределение ВРП (в основных ценах), %	Доля распределения отгруженных товаров собственного производства, %			Объем перевозок товаров-грузов (пасс.), млрд т (млрд пасс.)
				Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Сельскохозяйственное производство	
Центральный	650,2	60,3	34,9	12,9	33,0	26,9	2,64 (6,16)
Северо-Западный	1687,0	8,3	10,9	5,6	14,4	4,9	1,15 (2,29)
Южный	447,8	36,6	7,2	2,6	6,7	16,8	0,54 (2,58)
Дальневосточный	6169,3	1,0	5,2	12,6	1,8	3,7	0,14 (0,97)
Сибирский	5144,9	3,7	10,4	15,5	10,0	10,4	0,79 (3,04)
Уральский	1818,5	6,8	14,2	36,9	12,3	6,2	0,99 (1,94)
Приволжский	1037,0	28,5	14,7	13,8	20,8	22,3	1,66 (4,65)
Северо-Кавказский	170,4	56,9	2,5	0,1	1,0	8,8	0,09 (1,52)
Российская Федерация	17125	8,6	100	100	100	100	8,0 (23,05)

ления, отличается низким уровнем грузовых перевозок, реализуемых своей транспортной системой.

Для сравнительного анализа масштабов мобильности населения регионов пропорционально населению в округах приведены объемы перевозок пассажиров всех видов сообщений (табл. 1). Наибольшие объемы перевозок пассажиров выполняются в федеральных округах с высокой плотностью населения: Центральном, Приволжском, Южном, Северо-Кавказском. Диспропорция между транспортными системами регионов достигает 4–7 раз. Показательно, что из общего объема перевозок пассажиров 52 % выполняется автомобильным транспортом, 35 % трамваями и троллейбусами, 9 % метрополитеном. Только 4 % всех пассажиров перевозит воздушный, морской и внутренний водный транспорт.

## Безотказность функционирования транспортных систем округов

Если теоретически рассматривать существующие региональные транспортные системы, состоящие из восьми федеральных округов (без учета 85 административных субъектов), как единое целое, то единая система будет безотказно функционировать только тогда, когда все ее восемь составляющих будут в рабочем состоянии<sup>1</sup>. С точки зрения транспортной системы страны безотказность, надежность — это такое свойство системы, которое способно выполнять требуемые функции по перевозке в конкретных условиях с соответствующим обслуживанием и ремонтом. Показателем безотказности перевозок выступает вероятность того, что в пределах выполнения перевозок не произойдет ни одного отказа данным клиентам.

Рассматривая восемь безотказных транспортных систем регионов, соединенных в общей системе последовательно, и используя при этом известную теорию умножения вероятностей, получим теоретическую вероятность функционирования единой транспортной системы ( $P_{TC}$ ), равную

$$P_{TC} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8 = \prod_{i=1}^8 P_i, \quad (2)$$

где  $P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_8$  — вероятность функционирования отдельных транспортных систем регионов (как событие в виде, например, объемов перевозок или транспортной работы).

При последовательном включении региональных транспортных систем отказ любой из них приводит к отказу всей транспортной системы страны. Вероятность состояния отказа системы равна:

$$q_{TC} = 1 - P_{TC}. \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) следует, что теоретически, чем больше последовательно включенных транспортных систем регионов, тем меньше будет надежность, безотказность всей системы. В нашем случае, например, если все транспортные системы федеральных округов будут функционировать с одинаковой надежностью 0,99, то безотказность всей транспортной системы страны составит уже  $P_{TC} = 0,82$  или  $P_{TC} = \sqrt[8]{0,99}$ . В этих условиях для повышения надежности необходимо обращаться к определенным управленческим органам государственной власти, связанным с перевозками.

Учитывая известные эффективные управленческие принципы гармоничного сочетания централизма и федерализма в транспортной отрасли, представляется целесообразным ввести единый методологический подход. С его помощью можно устанавливать транспортно-территориальные пропорции в развитии транспортных систем регионов. Регулятором составления региональных транспортно-территориальных пропорций должен выступить, очевидно, Минтранс — единственный государственный отраслевой регулятор перевозок в стране. Минтранс обладает отраслевой правоустанавливающей функцией, и его структуры смогут осуществлять нормативно-правовое регулирование транспортно-территориальных пропорций в развитии региональных транспортных систем.

Формирование региональной транспортной политики и соответствующих пропорций в их развитии осуществляется не только по долевному участию в перевозках, но и по другим сопоставимым показателям, основанным, в частности, на перевозочной инновационной деятельности. Под инновационной деятельностью на региональном транспорте общего пользования понимается внедрение в эксплуатацию новых или усовершенствованных технологий перевозок, транспортных средств и путей сообщения. Каждый регион характеризуется своими особенностями в рыночно-хозяйственной и инновационной деятельности, а также в размещении производств.

На рис. 1 приведена схема транспортно-территориального обеспечения рыночно-хозяйственной деятельности юридически самостоятельного субъекта России. Его рыночно-хозяйственная деятельность, исключенная из перечня всех услуг, подлежащих обязательной сертификации, основывается на своей производственной базе, т.е. на отгрузке и внутрирегиональной перевозке товаров-грузов собственного производства ( $Q_{пр}$ ). Транспортный комплекс региона обеспечивает внутрирегиональные перевозки товаров-грузов и пассажиров ( $Q_{вн}$ ), а также участвует в эффективных схемах размещения новых производств. В соответствии с формулой (1), каждый регион характеризуется определенным

<sup>1</sup>ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике».

ввозом ( $Q_{\text{ВВ}}$ ) и вывозом ( $Q_{\text{ВВВ}}$ ). Объем ввозимых товаров-грузов делится на две разновидности: межрегиональный ввоз ( $Q_{\text{ВВ}}^{\text{М}}$ ) и ввоз из-за рубежа ( $Q_{\text{ВВ}}^{\text{И}}$ ), т.е. импорт<sup>2</sup>. Объем вывозимых товаров-грузов делится также на две разновидности: вывоз в межрегиональном сообщении ( $Q_{\text{ВВВ}}^{\text{М}}$ ) и вывоз за рубеж ( $Q_{\text{ВВВ}}^{\text{З}}$ ), т.е. экспорт за рубеж своей продукции. Очевидно, что отношение как ввозимых, так и вывозимых товаров к собственному производству характеризует уровень производственного потенциала региона.

Кроме того, транспортная система региона к своей внутренней коммуникационной интенсивности, измеряемой в млн т·км/км пути, испытывает дополнительную нагрузку в виде объемов перевозок по межрегиональному транзиту ( $Q_{\text{ТР}}$ ), реэкспорту ( $Q_{\text{РЭК}}$ ) и реимпорту ( $Q_{\text{РЗИ}}$ ). Объем реэкспорта включает вывоз ранее ввезенных товаров за рубеж, а реимпорт включает ввоз товаров, ранее экспортированных, но без уплаты таможенных пошлин и налогов. Региональный транспортный спрос-баланс с учетом формулы (1) рассчитывается по следующей зависимости:

$$B_{\text{ТР}}^{\text{С}} = Q_{\text{ПР}} \times K_{\text{ПОВ}} + Q_{\text{ВВ}} + Q_{\text{ВВВ}} + Q_{\text{ТР}}^* + Q_{\text{РЭК}}^* + Q_{\text{РЗИ}}^* - Q_{\text{ОСТ}}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{ПР}}$  — объем собственного производства;  $K_{\text{ПОВ}}$  — коэффициент повторности перевозки;  $Q_{\text{ВВ}}$  — объем ввоза;  $Q_{\text{ВВВ}}$  — объем вывоза;  $Q_{\text{ТР}}^*$  — объем транзитных перевозок;  $Q_{\text{РЭК}}^*$  — объем реэкспортных перевозок;  $Q_{\text{РЗИ}}^*$  — объем реимпортных перевозок (\* — учитываются при реализации этих видов перевозок).

Как видно из формулы (4), величина «внешней» части спроса-предложения транспортных услуг региона зависит от объемов ввоза и вывоза товаров-грузов. Сумма объемов ввоза и вывоза характеризует величину внешнерегиональных перевозок как части общих перевозок в регионе. Изложенный метод расчета может быть использован для определения транспортного сальдо региона. По аналогии с товарным сальдо региональное транспортное сальдо рассчитывается по логистической формуле:

$$C = Q_{\text{ВВ}}^{\wedge} - Q_{\text{ВВВ}}^{\wedge} \text{ или } C = Q_{\text{ВВВ}}^{\wedge} - Q_{\text{ВВ}}^{\wedge}. \quad (5)$$

Условие сальдо: при  $C > 0$ ,  $C < 0$  или  $C = 0$ .

Формула (5) позволяет определить положительное или отрицательное значение сальдо в зависимости от эффективности рыночно-хозяйственной деятельности субъекта РФ. Для внешнеторговой деятельности региона целесообразно иметь всегда положительное сальдо, когда объем перевозимых экспортных товаров превышает объем импортных.

<sup>2</sup>Так как администрация региона обладает самостоятельностью в осуществлении внешнеэкономической деятельности.

## Направления инновационного развития транспортной системы

Инновационное сопоставление транспортно-территориальных регионов характеризуется общим направлением с учетом мировых тенденций.

Для железнодорожного транспорта общего пользования стратегической задачей является сохранение на длительный период единой стандартной колеи, равной 1520 мм, и осевых нагрузок колесных пар от 23 до 27 т. Прогнозируется рост массы брутто до 7 тыс. т с тепловозом, например, ЗТЭ25К2М. Актуальной остается проблема увеличения доли протяженности электрифицированных, в том числе и высокоскоростных пассажирских, линий общего пользования, бесстыкового пути на железобетонных шпалах и использования беспилотных локомотивов. Эффективным считается использование в горнодобывающих отраслях тяжелых поездов. Перспективна контейнеризация.

Для автомобильного транспорта актуальной остается проблема увеличения доли протяженности «бесшумных» дорог общего пользования с осевой нагрузкой 10 т. Расширяется использование более экологичных современных отечественных автобусов: «СитиРитм-10», «Газель Next», «НефАЗ-5299», «Серпантин-10», «ЛиАЗ-4292» и др. В грузовом парке современный рынок требует поставок грузовых автомобилей в соответствии с партионностью перевозок, это малотоннажные и автомобили большой грузоподъемности для логистических центров. Ожидается использование беспилотных самосвалов большой грузоподъемности на вредных карьерных разработках. Ужесточение углеродно-экологических требований расширит использование автомобилей с электроприводом, а также работающих на природном газе, пропан-бутане и в перспективе на водороде с выбросом небольшого количества окислов азота.

На морском и газопроводном транспорте важным инновационным нововведением является перевод части объемов экспорта природного газа на криогенный способ с температурой перевозки  $-163$  °С в системе «Ямал СПГ». Можно отметить газовоз ледового класса «Кристоф де Маржери» с герметическими емкостями объемом 172,6 тыс. м<sup>3</sup>. Каждый криогенный кубометр равен 612–615 м<sup>3</sup> газа у потребителя. На морском и нефтяном трубопроводном транспорте перспективным остается использование нефтетанкера ледового класса ICE-1А «Владимир Мономах» типа «Афрамекс» с дедвейтом не менее 114 тыс. т. В перспективе ожидается совместное использование ледокольного морского и трубопроводного транспорта.

Актуальной остается проблема постоянной модернизации всех морских портов с оборудованием их мощными перегрузочными комплексами с расширением при-





Рис. 1. Схема транспортно-территориального обеспечения рыночно-хозяйственной деятельности региона

чальных фронтов и строительством «сухих» портов в логистических цепях поставок.

Представляется целесообразным введение регионального «налога» на модернизацию инфраструктуры и парков транспортных средств.

На воздушном транспорте ожидается возрождение отечественного гражданского самолетостроения. Выпускаются самолеты ТУ-204, 214, 300, 204СМ, Ан-148. Планируется производство новых самолетов типа МС: 21-200, 21-300, 21-400 с отечественным двухконтурным двигателем ПД-14. Ожидаемый расход авиакеросина составит 15–20 г/пасс.-км.

Для северных «бездорожных» пространств остается нерешенной проблема использования самолетов малого класса типа ранее выпускавшегося ПО-2 и вездеходов. Проходит испытания новый региональный самолет с турбовентиляторным двигателем Ил-114.

Дальнейшей модернизации подлежат и 1,7 тыс. речных портов с механизированными причалами общей длиной почти 140 тыс. погонных метров, также необходимо увеличение доли судоходных путей с гарантированными габаритами 4 м.

На магистральном трубопроводном транспорте научно-техническим нововведением считается полная автоматизация работы компрессорных станций с постепенным переводом их работы на электрический привод. Учитывая соответствующие требования по увеличению надежности путей сообщения, в том числе и в особых условиях, следует считать целесообразным ввести

всю систему магистральных путей сообщения в структуру государственного регулятора перевозок — Минтранса России.

Собственность магистральных путей сообщения должна быть реализована в виде государственно-частного партнерства с преимущественной долей государства.

Выполненный краткий анализ тенденций отечественной и мировой инновационной политики характеризуется новыми разработками по замене традиционных видов транспорта на инновационно-беспилотные. Теоретически это обосновывается тем, что беспилотники обеспечивают значительную экономию различных видов ресурсов ( $\Delta \mathcal{E}_p$ ), оцениваемых по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_p = P_n \cdot I - P_{tr}, \quad (6)$$

где  $P_n$ ,  $P_{tr}$  — соответственно расход ресурсов в эксплуатации (рабочей силы, топлива, электроэнергии и др.) при перевозке беспилотным и традиционным видом транспорта;  $I$  — перспективный ожидаемый индекс роста транспортной работы беспилотников.

С целью научно-технического обоснования перспективного использования на транспорте беспилотников представляется целесообразным в системе Минтранса РФ организовать научно-исследовательское подразделение по изучению, организации и нормативно-правовому регулированию замены традиционного транспорта на беспилотный в воздушной, водной и наземной среде.

Сравнительное сопоставление транспортных систем регионов по экономическому показателю осуществляется при помощи «правил» формирования в его рыночно-хозяйственной деятельности удельного тарифа на перевозки по известной формуле:

$$T_p = C_p \left( 1 + \frac{R_p}{100} \right), \quad (7)$$

где  $C_p$  — себестоимость перевозки;  $R_p$  — рентабельность региональных перевозок, % (как отношение получаемой прибыли при продаже на рынке транспортной продукции в виде т·км, пасс.-км к себестоимости).

### Заключение

Выполненное научное исследование доказывает, что одним из реальных ключей к дальнейшему стратегическому устойчивому развитию транспортной системы страны является эффективная транспортная политика. Необходимым условием реализации такой политики, исходя из управленческой целесообразности сочетания

централизации и федерализации, является формирование сопоставимых региональных транспортных систем. Для этого правоустанавливающие функции Минтранса РФ по нормативно-правовому регулированию перевозок товаров-грузов и пассажиров целесообразно распространить и на региональные транспортные субъекты. Показано, что сравнение транспортных систем регионов необходимо проводить с учетом достижений в инновационном развитии и локализации транспортного машиностроения.

Учитывая мировые тенденции по замене традиционных транспортных средств на автоматизированные системы, в структуре Минтранса целесообразно организовать научные подразделения по организации и нормативно-правовому регулированию беспилотных транспортных средств в воздушной, водной и наземной среде эксплуатации.

Исходя из того факта, что доля подземного трубопроводного транспорта составляет 47 % от общей транспортной работы, представляется целесообразным магистральную часть трубопроводного транспорта ввести в структуру отраслевого государственного регулятора перевозок — Минтранса. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы». — URL: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>
2. Чеботаев А. А. Генезис «маятника экономики» в регулируемых рыночных отношениях. — М. : Колос, 2003. — 304 с. — ISBN 5-10-003902-7. — URL: <https://www.livelib.ru/book/1000184959-genezis-mayatnika-ekonomiki-v-reguliruemyyh-rynochnyh-otnosheniyah-a-a-chebotaev>
3. Чеботаев А. А. Геотранспортные ресурсы России. — М. : Экономика, 2007. — 454 с. — ISBN 978-5-282-02630-6.
4. Чеботаев А. А. Специализированные автотранспортные средства. Выбор и эффективность применения. — М. : Транспорт, 1988. — 159 с.
5. Техничко-экономические вопросы создания и внедрения рациональных и экологически чистых транспортных средств для бездорожных районов Севера : материалы науч.-техн. конф. [окт. — нояб. 1989 г. / отв. ред. А. А. Чеботаев]. — М. : ИКТП, 1990. — 255, [1] с.

Объем статьи: 0,72 авторских листа



**Валерий Михайлович Самуйлов**  
Valeriy M. Samuylov



**Дмитрий Германович Неволин**  
Dmitry G. Nevolin



**Андрей Евгеньевич Калашников**  
Andrey E. Kalashnikov

## Роль транспортного коридора «Россия — Китай» в перевозке экспортных грузов

### The role of the Russia-China transport corridor in the transportation of export goods

#### Аннотация

В статье проанализирована роль экспортной составляющей в развитии аграрной и угольной промышленности страны на текущем и перспективном этапах, отмечен вклад агропромышленного комплекса УрФО и других регионов в развитие экспорта из России в Китай. Уделено внимание перевозкам каменного угля и возможным проблемам, влияющим на его спрос. Также рассматриваются действия ОАО «РЖД», направленные на развитие внутренней инфраструктуры для транспортировки большего объема экспортных грузов в дальневосточном направлении. Подчеркивается значимость транспортного коридора «Россия — Китай» для экономики нашей страны.

**Ключевые слова:** Россия, Китай, транспортный коридор, развитие железной дороги, экспорт продукции АПК, экспорт каменного угля.

#### Abstract

The article analyzes the role of the export component in the development of the country's agricultural and coal industry at the current and future stages, and notes the contribution of the agro-industrial complex of the Ural Federal District and other regions to the development of exports from Russia to China. Attention is paid to the transportation of coal and possible problems affecting its demand. The actions of Russian Railways aimed at developing internal infrastructure for transporting more export cargo to the far East are also considered. The importance of the Russia — China transport corridor for the economy of our country is emphasized.

**Keywords:** Russia, China, transport corridor, railway development, export of agricultural products, export of coal.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-15-20

#### Авторы Authors

**Валерий Михайлович Самуйлов**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | **Дмитрий Германович Неволин**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), г. Екатеринбург; e-mail: innotrans@mail.ru | **Андрей Евгеньевич Калашников**, студент гр. СЖДт-328 строительного факультета Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), г. Екатеринбург

**Valeriy Mikhailovich Samuylov**, Dr. of Tech. Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor, World Economy and Logistics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | **Dmitry Germanovich Nevolin**, Dr. of Tech. Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor, Head of the Department "Designing and Exploitation of Automobiles" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru | **Andrey Evgenyevich Kalashnikov**, Student, Building Faculty, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg



### Значение Китая в торговых отношениях с Россией

Приоритетным вектором развития внешней политики Российской Федерации в последнее время становится дальневосточное направление. В условиях непрерывного роста объемов товарооборота между Европой и странами Азии особое внимание уделяется формированию международных транспортных коридоров, проходящих через территорию Российской Федерации и включающих в себя конкурентоспособные маршруты поставок грузов железнодорожным транспортом. Безусловными преимуществами данных коридоров являются стимулирование торговли стран Европы и Азии с Россией, а также скорость, надежность, доступность и высокий объем грузоперевозок.

Китай — один из крупнейших торговых партнеров России. За последние пять лет оборот с Китаем значительно вырос и увеличивается в среднем на 18–20 % в год [1, 2].

### Перспективные проекты развития значимых для экспорта участков железной дороги

С 2016 г. российские и китайские железные дороги проводят совместные работы, направленные на модернизацию международных транспортных коридоров, проходящих по территориям Китая и России, а также транзитных стран, с учетом обновления инфраструктуры участков коридоров, усовершенствования технических характеристик железнодорожных линий для увеличения скорости движения железнодорожных составов и обеспечения свободного пропускания перспективных грузопотоков. Кроме того, улучшаются условия и технологии международных контейнерных перевозок, совершенствуются почтовые и грузовые перевозки электронной торговли.

ОАО «РЖД» с 2013 г. реализует комплекс первоочередных работ, направленных на улучшение железнодорожной инфраструктуры восточного направления. Главной задачей является создание необходимых условий для увеличения объема перевозок грузов российских компаний по железным дорогам Забайкалья и Дальнего Востока. С начала реализации проекта выполненные работы по строительству, реконструкции и модернизации принесли свои результаты: за 2019 г. в направлении Дальнего Востока перевезено свыше 114 млн т экспортных грузов. К концу 2020 г. планируется перевезти на Дальний Восток до 125 млн т грузов и выйти на максимальный установленный показатель прироста.

Экспорт продукции агропромышленного комплекса (АПК) осуществляется в рамках федерального проекта, согласно которому к 2024 г. планируется увеличить объем экспорта более чем в два раза. В рамках проекта будут организованы регулярные отправки агропромышленной продукции объемом не менее 1 млн т в год. В 2019 г. созданы два экспортных коридора: Селятино (Московская область) — Чэнду (Китай) и Ворсино (Калужская область) — Чэнду. Коридоры проходят обкатку в течение 2020 г.

Для сокращения времени перевозок агропродукции из России в Китай в 2019 г. была создана услуга ускоренных поездов «Агроэкспресс» (время в пути 14 дней). Таким образом доставка сельхозпродукции до китайских потребителей осуществляется гораздо быстрее, чем перевозка морским путем из Европы или Америки, это делает проект действительно конкурентоспособным для отечественных экспортеров, а также помогает сократить расходы на доставку.

Ворсино в перспективе может стать основным пунктом отгрузки контейнерных поездов с продукцией АПК на экспорт. Здесь реализуется проект с интересным названием «Грузовая деревня». Транспортно-логистический комплекс будет вмещать около 300 вагонов и 1000 контейнеров одновременного хранения, также комплекс должен справляться с хранением экспортных и импортных грузов. В 2019 г. он был модернизирован для перевалки рефрижераторных контейнеров и других специфических грузов. Кроме этого, здесь планируется постройка склада с холодильными камерами на 20 тыс. кв. метров, с возможностью потоковой перевалки груза с одного вида транспорта на другой [3–6].

### Новые возможности для аграриев

С августа 2016 г. в Забайкальске ведется строительство железнодорожного терминала для экспорта российского зерна в Китай. Мощности терминала рассчитаны на перевалку до 8 млн т в год зерновых, зернобобовых и масличных культур. В перспективе к 2028 г. через Забайкальский зерновой терминал планируется экспортировать в Китай до 52 млн т сельхозпродукции. Главными товарами будут зерновые, масличные культуры, соя, ячмень, рапс, семена льна и подсолнечное масло. На сегодняшний день уже запроектирована вторая очередь терминала, которая позволит повысить мощность до 20 млн т в год, но решение о ее строительстве может быть принято только после выхода на проектную мощность первой очереди, достижение проектных показателей по ней планируется к 2025–2026 гг. [6,7].

Китай является значимой и финансово выгодной страной для экспорта российской агропродукции. В 2018 г. Китай импортировал из России более 1,5 млн т зерна. Долгосрочная потребность Китая в наращивании

импорта зерновых, зернобобовых и масличных культур связана как с ростом населения этой страны, так и с изменением структуры потребления. Кроме того, существует целевая установка правительства Китая — удвоить доходы населения к 2021 г., что вызовет изменения в рационе питания, в том числе рост потребления мяса. Имеют значение также экологические проблемы и дефицит пресной воды. Посевные площади пшеницы в Китае сокращаются, поскольку правительство побуждает фермеров выращивать другие культуры в засушливых северных регионах, чтобы предотвратить чрезмерное использование грунтовых вод. Для российских аграриев это дает возможность увеличить производство зерновых, соевых, мяса и мясных продуктов для удовлетворения спроса на дальневосточном рынке и в Китае [8].

## Экспорт уральской продукции

Уральский федеральный округ — крупнейший экспортер страны, и речь идет не только о крупных сырьевых компаниях, но и о предприятиях других отраслей. Экспорт продукции из Свердловской области в Китай за последние 6 месяцев вырос на 30 % и составил 1,2 млрд долларов.

По данным статистики Федеральной таможенной службы [9] на октябрь 2020 г., в текущем году с территории Свердловской области за границу вывезено продукции агропромышленного комплекса на сумму 66,2 млн долларов.

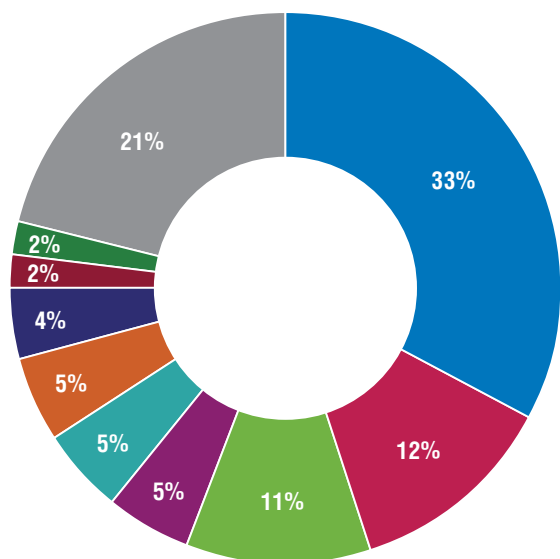


Рис. 1. Структура экспорта продукции АПК из Свердловской области в 2020 г., млн долл.:

■ — маргарин; ■ — масло подсолнечное; ■ — продукты для приготовления соусов и готовые соусы; ■ — домашняя птица живая; ■ — овощи бобовые сушеные; ■ — шоколад; ■ — мясо птицы; ■ — продукты для кормления животных; ■ — воды минеральные с добавлением сахара; ■ — другие

Как видно из диаграммы (рис. 1), основным экспортируемым продуктом является маргарин. За 9 месяцев 2020 г. стоимость его экспорта составила 22,2 млн долларов (33 %) от общего объема региональных поставок. Свердловская область занимает второе место по экспорту маргарина среди всех российских регионов-поставщиков этого продукта (16 % от общего объема зарубежных поставок продукта из РФ). Объем экспорта продукции агропромышленного комплекса Свердловской области планируют увеличить к 2024 г. до 220 млн долларов за счет экспорта масел и жиров.

Агропродукцию из Свердловской области закупают разные страны: Казахстан (20,3 %), Узбекистан (17,5 %), Таджикистан (11,1 %), Китай (7,9 %), Монголия (7,2 %), Афганистан (6,7 %), Азербайджан (6,3 %). Хотелось бы отметить, что экспорт мяса и субпродуктов птицы в Китай вырос на 8,6 % по сравнению с прошлым годом, текущий объем составил более 1,5 тыс. т продукта.

С марта 2019 г. Южный Урал экспортирует в Китай элитные сорта пшеницы, рапса, ячменя и овса. Помимо элитных семян, в Китай отправляют гречиху, семена подсолнечника, льна масличного, а также продукты переработки зерна — крупу гречневую и хлопья овсяные. Рынок элитных семян в регионе сейчас динамично развивается. На его поддержку правительство Челябинской области в 2018 г. выделило больше 100 млн рублей, что поспособствовало южноуральским аграриям (Аргаяшский район) выйти на рекордные объемы производства. Стабильная динамика в сборе зерна на юге Урала прослеживается на протяжении 6 лет. Урожайность этого сельскохозяйственного года по отношению к прошлому выросла на 2,3 центнера с гектара и составила до 17,7 центнеров с гектара [10].

## Экспорт каменного угля в Китай

Доля перевозок каменного угля в Китай по железной дороге составляет около 36 % от общего количества экспортируемых грузов в данную страну. К концу 2019 г. поставки каменного угля в Китай выросли на 18,7 % (до 26,7 млн т), или на 15,1 % (до 2,2 млрд долларов) в денежном выражении. Основными регионами-экспортерами были Кемеровская область и Якутия.

Однако общий объем экспорта из России каменного угля с каждым годом уменьшается. В период с января по сентябрь 2020 г. количество перевезенного угля по сети РЖД составило 256,2 млн т, это на 7,3 % меньше аналогичного периода прошлого года. Что касается Китая, то последние несколько лет страна пытается улучшить экологическую ситуацию, реформируя металлургическую, угольную и энергетическую отрасли. Ключевым этапом экологической программы является перевод предприятий ЖКХ и энергетики с угля на газ. По оценке экспертов, уменьшение потребления энергоуглей в Китае приведет к резкому снижению цен на них

к 2020–2021 гг. и, как следствие, к уменьшению спроса примерно на 400 млн т в год. Есть версия, что если все-таки Китай откажется от угля, то это спровоцирует развитие газовой генерации. На данный момент КНР потребляет примерно 200 млрд кубометров газа, спрос к 2025 г. достигнет 340 млрд, а к 2030 г. — 540 млрд кубометров. По самым пессимистичным прогнозам, 38 млрд кубометров из этого числа КНР планирует импортировать из России по газопроводу «Газпрома» — это, конечно, хорошо для страны в целом, но не для РЖД.

Несмотря на это Россия все-таки делает ставку на экспорт угля. Продолжают вводиться новые мощности, число новых шахт и разрезов превышает число выбывающих. Растут и инвестиции в основной капитал. Нарастание активности обусловлено далеко идущими планами России в угольной сфере. По прогнозу АО «Росинформуголь», спрос на уголь на международном рынке до 2035 г. будет стабильно расти, и Россия планирует поставлять на внешние рынки до 600 млн т угля, практически вдвое увеличив нынешние объемы экспорта [10].

## Вагоны для транспортировки агропродукции и каменного угля

Для перевозки зерновых грузов используют специальные вагоны (хопперы-зерновозы), полувагоны с использованием вкладышей и переоборудованные крытые вагоны. В крытых вагонах зерно перевозится как навалом, так и в мешках. Хопперы-зерновозы (рис. 2) обеспечивают максимальную защиту зерновых от воздействий внешней среды. Транспортировка груза в хоппере-зерновозе дает возможность перевозить до 70 т зерна, а в крытых вагонах — от 60 до 68 т. Погрузка осуществляется на специально оборудованных для этого станциях, с помощью элеватора.

Полувагоны с использованием вкладышей (рис. 3) введены в эксплуатацию с 2019 г. из-за нехватки зерновозов (текущий дефицит вагонов в ОАО «РЖД» составляет около 6 тысяч (рис. 4)). Технология погрузки-выгрузки с такими вкладышами еще не отработана и требует больше времени, чем при использовании двух ранее перечисленных типов вагонов.

Также с 2019 г. поставки растительных масел в Китай осуществляются с помощью универсальных контейнеров и флекситанков.

Универсальный контейнер общего назначения — это полностью закрытый, пылеводонепроницаемый стальной «ящик» сварной конструкции, предназначенный для перевозки и хранения грузов широкой номенклатуры (рис. 5). Преимуществом такого контейнера является возможность преобразовать его как в железнодорожную платформу, так и в автомобиль-контейнеровоз, специально подготовленный для перевозки зерна.



Рис. 2. Хоппер-зерновоз



Рис. 3. Полувагон со вкладышем



Рис. 4. Объем парка вагонов-зерновозов в России, тыс. ед. [11]



Рис. 5. Универсальный контейнер для перевозки зерна





Рис. 6. Флекситанк

■ Вина, растительные масла, концентрированные фруктово-ягодные соки, пищевые добавки, сиропы и т. д.

■ Продовольственные продукты

■ Промышленные жиры и масла

■ Пропиленгликоль, этиленгликоль, гербициды, синтетический латекс и т. д.

■ Жидкие неопасные химические продукты. Пластификаторы, синтетические смолы

■ Смазочные масла, добавки смазочного масла, трансформаторное масло, белое масло, тунговое масло, глицерин и т. д.

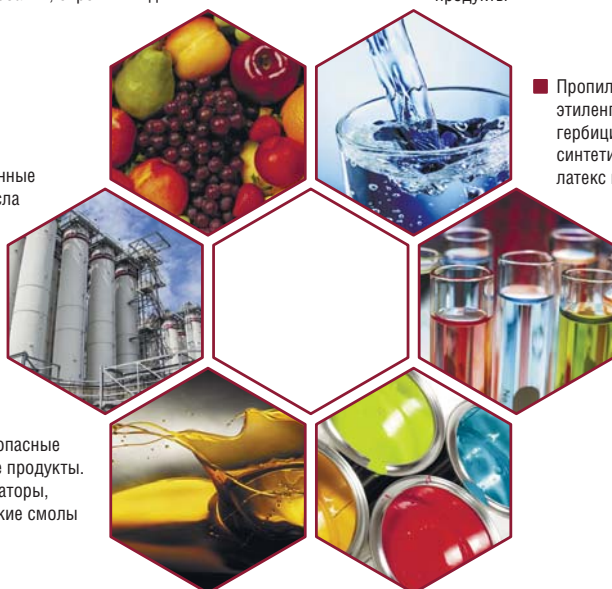


Рис. 7. Категории грузов, перевозимых во флекситанках

Флекситанк — это новая упаковка, представляющая собой полимерную эластичную вкладную цистерну подушечной формы для перевозки жидкой продукции в 20-футовых контейнерах (рис. 6). Новый вид упаковки жидких неопасных грузов официально разрешен РЖД для транспортировки на всей сети дорог любым грузоотправителем.

Флекситанк делает перевозку наливных грузов более экономичной по сравнению с традиционными вариантами перевозок танк-контейнерами и цистернами. Во флекси-

танках можно перевозить грузы разных категорий (рис. 7).

Каменный уголь транспортируют в полувагонах, имеющих зазоры в разгрузочных люках, соответствующие техническим стандартам. Перевозка каменноугольного кокса обычно осуществляется в универсальных полувагонах (рис. 8), но бывают случаи, когда используются и универсальные вагоны.

Грузооборот за июль 2020 г. по сети российских железных дорог снизился по сравнению с аналогичным периодом прошлого года



Рис. 8. Перевозка каменного угля в универсальном полувагоне в Китай по Транссибу, ЗабЖД и БАМу

на 3 %, причиной этому стал коронавирус. Однако на Забайкальской железной дороге (ЗабЖД) грузооборот вырос на 1,4 % и составил 23,9 млрд тарифных т-км. Этот факт подтверждает важное стратегическое значение Восточного полигона для железнодорожных грузоперевозок по России. Стоит отметить, что ключевым фактором роста грузооборота являются перевозки экспортных грузов по Байкало-Амурской и Транссибирской магистралям. С начала 2020 г. по железной дороге в направлении Восточной Сибири и Дальнего Востока было перевезено 85,6 млн т экспортных грузов (+6,4 %). С 2012 г., т.е. с момента реализации первого этапа модернизации железных дорог Восточного полигона, этот показатель вырос на 41 %. Внешнеторговые перевозки между Россией и Китаем увеличились на 9,6 % лишь за июль. Экспорт из РФ в Китай, по сравнению с июлем 2019 г., увеличился на 8,7 % и составил более 1,4 млн т грузов. Основную долю перевезенных грузов составили лесные грузы (467,2 тыс. т), руда (309 тыс. т) и каменный уголь (281,2 тыс. т) [9].

На росте объемов перевозок по ЗабЖД сказываются выполненные работы хозяйств железнодорожной инфраструктуры, связанные с повышением пропускной способности магистрали. Комплекс первоочередных работ по развитию Восточного полигона реализуется с 2013 г. с целью ликвидации узких мест на железных

дорогах Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока для возможности увеличения объемов перевозок грузов. Решение о финансировании программы развития полигона было принято в ОАО «РЖД» с целью укрепления своего конкурентного положения на востоке страны.

В 2018 г. В. В. Путин поставил задачу — повысить пропускную способность Транссиба и БАМа к 2025 г. до 180 млн т в год. Это позволит удовлетворить внутренние потребности страны, а также решить ряд стратегических задач: создать надежный транзит ресурсов в евроазиатском сообщении и укрепить торговые отношения с Китаем, Японией, Кореей, Индией и другими странами Юж-

но-Азиатского региона. Одной из задач, которые должен решать реконструированный БАМ, является содействие реализации стратегии развития угольной отрасли до 2035 г. [12, 13].

### Заключение

На сегодняшний день железнодорожный транспорт является ключевым стратегическим объектом развития. Эта отрасль, безусловно, системообразующая, она во многом определяет уровень жизни людей. Чем глубже интеграция в части железнодорожных перевозок между соседними странами, тем лучше итоговый результат. ОАО «РЖД» по-

стоянно реализует инфраструктурные проекты, самый масштабный из которых — развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона. В результате его реализации значительно увеличится пропускная способность БАМа и Транссиба, а это, в свою очередь, расширит возможности для роста экспортных поставок предприятий, обеспечит повышение эффективности деятельности предприятий агропромышленной и угольной отраслей, укрепит экспортные позиции страны на мировом рынке, а также позволит сформировать стабильный рынок сбыта продукции и достигнуть улучшения экономического состояния как регионов, так и страны в целом. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Резер С. М., Прокофьева Т. А., Гончаренко С. С. Международные транспортные коридоры. Проблемы формирования и развития. — М.: ВИНТИ РАН, 2010. — 312 с.
2. Газета ИД «Коммерсантъ» [Электронный ресурс]. — URL: <https://goo.su/38Fm> (дата обращения: 15.10.2020)
3. Организация инновационной деятельности на транспорте (на примере Россия — Китай): монография / В. М. Самуйлов, Цяо Цун, С. А. Бронников, Т. А. Каргапольцева. — Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2019. — 138 с. — ISBN 978-5-8295-0620-9.
4. Федеральная Концепция транспортных коридоров как основа пространственной модели развития транспортной инфраструктуры // Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. — URL: <https://mintrans.gov.ru/> (дата обращения: 13.10.2020).
5. Покровская О. Д., Самуйлов В. М. Организационно-технические решения при проектировании грузовых терминалов в составе международных транспортных коридоров // Инновационный транспорт. — 2015. — № 4 (18). — С. 13–24. — ISSN 2311–164X.
6. Фурсова И. Зерно держит график. Объемы экспорта сельскохозяйственной продукции в контейнерах будут расти // Российская газета. Спецвыпуск. — № 68 (8122). — 30.03.2020.
7. Веселова Э. Ш. Новое окно возможностей для сибирских аграриев // ЭКО. — 2017. — № 1. — С. 58–62. — ISSN 0131–7652.
8. Калдияров Д. А. Развитие сельскохозяйственной кооперации в АПК России / Д. А. Калдияров, Ж. А. Асанова // Проблемы агрорынка. — 2017. — № 2. — С. 124–128. — ISSN 1817–728X.
9. База данных Федеральной таможенной службы [Электронный ресурс]. — URL: <https://customs.gov.ru/statistic> (дата обращения: 13.10.2020).
10. Российская общенациональная газета железнодорожников «Гудок» [Электронный ресурс]. — URL: [https://gudok.ru/zdr/172/?ID=1533981&sphrase\\_id=85433](https://gudok.ru/zdr/172/?ID=1533981&sphrase_id=85433) (дата обращения: 13.10.2020)
11. РЖД в цифрах. — URL: <https://company.rzd.ru/ru/9377>.
12. Самуйлов В. М., Галкин А. Г., Бушуев С. В., Неволлина А. Д. Транссибирская железнодорожная магистраль (Транссиб) — мост между Европой и Азией // Инновационный транспорт. — 2015. — № 1 (15). — С. 45–48. — ISSN 2311–164X.
13. Самуйлов В. М., Неволлин Д. Г., Писчикова С. А. Эффективное использование газотурбинных локомотивов на Среднем Урале // Инновационный транспорт. — 2020. — № 2 (36). — С. 61–66. — ISSN 2311–164X.

Объем статьи: 0,62 авторских листа



**Иван Сергеевич  
Выскребенцев**

**Ivan S. Vyskrebentsev**

## Перспективы развития высокоскоростных железнодорожных магистралей Уральского региона

### Prospects for the development of high-speed Railways in the Ural region

#### **Аннотация**

В статье проведен анализ состояния транспортной инфраструктуры высокоскоростных железнодорожных перевозок в России. Особое внимание уделено перспективам развития ВСМ Уральского региона. Обоснована необходимость строительства высокоскоростных железнодорожных магистралей на Урале. Приведен пример обоснования инвестиционного финансирования Уральской скоростной магистрали.

**Ключевые слова:** высокоскоростные железнодорожные магистрали, грузовые перевозки, пассажирские перевозки, железнодорожные линии.

#### **Abstract**

The article analyzes the state of the transport infrastructure of high-speed rail transport in Russia. Special attention is paid to the development prospects of the Ural region's HSR. The necessity of building high-speed railway lines in the Urals is proved. An example of justification of investment financing of the Ural Expressway is given.

**Keywords:** high-speed railways, freight transport, passenger transport, railway lines.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-21-25

#### **Авторы Authors**

*Иван Сергеевич Выскребенцев, аспирант, ассистент кафедры «Экономика транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург*

*Ivan Sergeevich Vyskrebentsev, Postgraduate Student, Assistant of Economics of transport Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg*



В настоящее время высокоскоростные железные дороги обеспечивают не только высокую скорость передвижения, но и более высокий уровень надежности, безопасности, комфорта и экономичности. Строительство высокоскоростных железнодорожных систем требует значительных инвестиций в инфраструктуру, железнодорожные станции и подвижной состав. Эффективное использование этих капиталоемких активов необходимо для обоснования инвестиций. Кроме того, определение направлений совершенствования производства и маркетинга имеет большое значение для оптимизации эксплуатационных показателей и производительности труда [1].

Основная причина строительства высокоскоростных железных дорог заключается в перераспределении объема пассажирских перевозок с других видов транспорта, таких как автомобильный и воздушный транспорт, на железнодорожный [4]. Существуют прямые социальные преимущества систем высокоскоростных железных дорог: экономия времени пассажиров, снижение аварийности, повышение комфорта, сокращение задержек и заторов, а также снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Высокоскоростной наземный транспорт в современном понимании — это железнодорожный транспорт, обеспечивающий движение поездов со скоростью более 200 км/ч. Его движение осуществляется либо колесным подвижным составом по рельсовому пути, либо бесконтактным способом, когда для тяги и торможения применяется линейный электрический привод, а для создания условий движения — магнитный подвес (так называемый левитирующий транспорт) [2].

Правительство и руководители ОАО «РЖД» принимают решения о развитии высокоскоростных железнодорожных систем, исходя из ожидаемого будущего спроса на высокоскоростные перевозки и социальных выгод для страны. Долгосрочные прогнозы производительности высокоскоростных железных дорог являются основным вкладом в процесс принятия решений.

Согласно «Стратегии развития железнодорожного транспорта РФ до 2030 года», планируется создать свыше 50 маршрутов, суммарная длина которых составит более 7 тыс. км. Стоит отметить, что планируемые технические характеристики высокоскоростных железнодорожных линий в России уступают китайским аналогам (общая вместимость одного состава в России составляет 604 человека, в Китае — 1060 человек, максимальная скорость в России 400 км/ч, в Китае — 450 км/ч), а себестоимость поездов и инфраструктуры в РФ намного выше [5]. К основным причинам такого несоответствия между российскими и зарубежными разработками можно отнести:

- более низкую плотность населения российских городов по сравнению с европейскими и азиатскими странами, что затрудняет массовое использование высокоскоростных железных дорог;

- трудность перехода на общественный транспорт, связанную с тем, что городская и региональная инфраструктура уже построена и спроектирована для автомобильной доступности, а не для железнодорожных вокзалов;
- относительно небольшие расстояния между центральными городами России, в связи с чем многие транспортные потребности легче обслуживать автомобильным транспортом [3].

В настоящее время в России реализацией инновационных проектов в сфере создания высокоскоростного железнодорожного сообщения занимается дочерняя компания ОАО «РЖД» — АО «Скоростные магистрали». Основной целью компании является создание и развитие высокоскоростного железнодорожного сообщения в России. Согласно «Программе организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения РФ на перспективу до 2030 года», транспортная стратегия подразумевает реализацию следующих проектов (рис. 1):

- ВСЖМ-1 Москва — Санкт-Петербург;
- ВСМ-2 Москва — Казань — Екатеринбург;
- ВСМ «Центр — Юг» Москва — Адлер [6].



Рис. 1. Проект строительства высокоскоростных железнодорожных линий в России

Реализация данных проектов подразумевает строительство высокоскоростных магистралей, ремонт существующей инфраструктуры, а также распределение производственных сил по мере увеличения производительности основных фондов.

Линию Москва — Санкт-Петербург планируется запустить в декабре 2026 г. (рис. 2). Согласно технической документации, длина данного сообщения составит 659 км, длительность сообщения 2,1 ч, максимальная скорость 400 км/ч.

Данное направление является наиболее перспективным благодаря высокой плотности населения, высокому уровню доходов по сравнению со среднероссийскими показателями и наличию устойчивого пассажиропотока в пределах двух крупнейших мегаполисов страны.

Дата реализации ВСМ-2 Москва — Казань (рис. 3) в настоящее время не определена, но планируется, что это направление будет приоритетным после строительства линии Москва — Санкт-Петербург. Согласно технической документации, длина магистрали составит 790 км, длительность сообщения 3 ч, максимальная скорость 360 км/ч. Проект является приоритетным для развития агломерации в связи с массовым увеличением количества рабочих мест, социальных объектов и созданием «точек роста» на располагаемой территории, а также в связи с ростом производительности труда, повышением уровня экономической привлекательности регионов.

В данной статье предложено обоснование строительства важнейшей для Уральского региона высокоскоростной магистрали Екатеринбург — Челябинск, выполненное на основе расчетов хозяйственного партнерства «Уральская скоростная магистраль» [7].

Высокоскоростная магистраль Екатеринбург — Челябинск проектируется как комплекс зданий и сооружений, включающий в себя ин-



Рис. 2. ВСЖМ-1 Москва — Санкт-Петербург

фраструктуру железнодорожного пути, электроснабжения, автоматики и телемеханики, связи, станционные здания, сооружения и устройства, а также подвижной состав. Протяженность линии новой ВСМ и сопутствующей инфраструктуры в границах объекта концессионного соглашения составляет 209,7 км. Также потребуется реконструкция 6,4 км путей и сопутствующей инфраструктуры Свердловской железной дороги и 2,2 км путей и инфраструктуры Южно-Уральской железной дороги. Начальная точка — станция Екатеринбург-Пассажирский Свердловской железной дороги. Конечной точкой трассы является станция Челябинск-Главный, парк «П». Общее расстояние между начальной и конечной точками — 218,3 км. Проек-

тируемая железнодорожная магистраль предназначена для обращения пассажирских высокоскоростных поездов с эксплуатационными скоростями до 300 км/ч (расчетная конструкционная скорость инфраструктуры — до 350 км/ч), а также ускоренных региональных поездов с эксплуатационными скоростями 160 км/ч и транзитных высокоскоростных пассажирских и контейнерных поездов, включая корреспонденции в рамках проекта ВСМ «Евразия».

Прогнозируемые объемы перевозок и размеры движения по высокоскоростной магистрали определены на основании работы «Центра экономики инфраструктуры» (далее ЦЭИ), выполненной в рамках обоснования инвестиций. Результаты приведены в отчете «Разработка прогноза



Рис. 3. ВСМ-2 Москва — Казань

перспективного пассажиропотока проекта создания Уральской высокоскоростной железнодорожной магистрали Челябинск — Екатеринбург. Этапы 1, 2 и 3» [7].

Для расчета размеров движения высокоскоростных поездов принят электропоезд типа «Сапсан» (10 вагонов) вместимостью 528 человек (на 2025 и 2026 гг. по основному сценарию 5 вагонов вместимостью 264 человека), для расчета региональных ускоренных поездов — электропоезд типа «Ласточка» (5 вагонов, вместимость 340 человек).

$$N_{\text{пар п}} = \frac{P \cdot K_{\text{нер}}}{2 \cdot 365 \cdot V_{\text{состав}} \cdot K_{\text{зап}}}, \quad (1)$$

где  $P$  — расчетные пассажиропотоки, пасс/год;  $K_{\text{нер}}$  — коэффициент суточной неравномерности пассажиропотока (для расчета количества поездов в средние сутки месяца максимального пассажиропотока принят равным 1, при варианте пассажиропотока с учетом проведения Универсиады-2023 и других массовых мероприятий — 2);  $V_{\text{состав}}$  — вместимость состава поезда;  $K_{\text{зап}}$  — коэффициент заплотности состава (принят на уровне 0,8).

Расчеты выполнены по варианту прохождения в 3 км от терминала аэропорта Кольцово и в 3 км от терминала аэропорта Баландино. Результаты расчета размеров движения пассажирских поездов и грузовых транзитных высокоскоростных поездов (по данным ЦЭИ) приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, размеры движения высокоскоростных поездов составят от 4 до 10 пар в сутки, региональных ускоренных поездов — от 2 до 6 пар в сутки. При проведении в Екатеринбурге Универсиады-2023 и других международных мероприятий предполагается увеличение пассажиропотока в два раза.

Реализация проекта создания Уральской высокоскоростной магистрали наиболее эффективна в случае взаимосвязи с другими проектами ВСМ.

В 2020 г., согласно «Программе организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения РФ на перспективу до 2030 года», произведен запуск скоростного сообщения по маршруту Екатеринбург — Нижний Тагил по существующей инфраструктуре ОАО «РЖД», прошедшей глубокую модернизацию.

Для возможной организации скоростного движения между Челябинском и Нижним Тагилом потребуются расширение «узкого» места на участке от ст. Екатеринбург-Пассажирский до ст. Шарташ, после примыкания высокоскоростной магистрали к путям общего пользования.

В 2025 г., согласно указанной программе, планируется ввод в эксплуатацию скоростной магистрали Екатеринбург — Тюмень, целевое время в пути на которой составит 2 часа.

Концепция создания линии Екатеринбург — Тюмень предусматривает ее начало от станции Кольцово-УВСМ линии Челябинск — Екатеринбург. До станции Кольцово-УВСМ поезда следуют по двухпутной линии высокоскоростной магистрали. От Кольцово линия высокоскорост-

Таблица 1

**Результаты расчета размеров движения пассажирских поездов (ВСМ, УРП) и грузовых контейнерных поездов (ВКП)**

Расчетные годы	Прогнозный пассажиропоток, тыс. чел./год	Поезда ВСМ, пар поездов в сутки	Поезда УРП, пар поездов в сутки	Грузовые высокоскоростные поезда, пар поездов в сутки	ВСЕГО
1-й год эксплуатации	588,6	4	—	3	9
	216,9	—	2		
2-й год эксплуатации	891,8	6	—	5	13
	328,2	—	2		
4-й год эксплуатации	1918,9	7	—	8	19
	706,7	—	4		
10-й год эксплуатации	2106,2	7	—	47	58
	781,4	—	4		
Перспектива	2787	10	—	63	79
	1047,1	—	6		



ной магистрали уходит на восток и далее следует вдоль существующей линии железной дороги Екатеринбург — Тюмень, но без привязки к существующему профилю, где это необходимо. Таким образом, в 2025 г. станет возможной организация сквозного сообщения между Челябинском и Тюменью.

Необходимость продления строительства ВСМ-2 Москва — Казань — Екатеринбург экономически обоснована и необходима к введению в эксплуатацию. Взаимоувязка проекта Уральской высокоскоростной магистрали и ВСМ-2 позволит организовать беспересадочное сообщение ночными поездами по маршруту

Москва — Челябинск, что радикально изменит транспортно-географическое положение Уральского региона.

Помимо создания единой Уральской конурбации, включающей в себя такие крупные города, как Екатеринбург, Нижний Тагил, Челябинск и Тюмень, произойдет формирование опорного каркаса высокоскоростной железнодорожной инфраструктуры, крупнейшие города Урала будут связаны высокоскоростным сообщением с Центральной Россией. Но это возможно только при взаимоувязке проектов между собой, интеграции Уральской высокоскоростной магистрали в инфраструктурную сеть ВСМ. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Фадеева Г. Д. Развитие скоростного железнодорожного транспорта / Г. Д. Фадеева, Л. А. Железняков // Молодой ученый. — 2014. — № 8 (67). — С. 297–298. — URL: <https://moluch.ru/archive/67/11206/> (дата обращения: 12.10.2020).
2. Фадеева Г. Д., Паршина К. С. Скоростной железнодорожный транспорт сегодня // Materiály IX mezinárodní vědecko — praktická konference «Efektivní nástroje moderních věd — 2013». Díl 42.
3. Лapidус Б. М., Лapidус Л. В. Социально-экономические предпосылки развития высокоскоростного железнодорожного сообщения в России // Вестник Московского университета. Серия 6 : Экономика. — 2014. — № 6. — С. 52–63. — ISSN 0130–0105.
4. Морозова И. Н. Скоростные железнодорожные магистрали / И. Н. Морозова // Молодой ученый. — 2016. — № 5 (109). — С. 51–54. — URL: <https://moluch.ru/archive/109/26370> (дата обращения: 12.10.2020).
5. Официальный сайт Международного союза железных дорог. — URL: <https://uic.org/> (дата обращения: 12.10.2020).
6. Стратегия развития высокоскоростных железнодорожных перевозок ОАО «РЖД». — URL: <http://www.hsrail.ru/> (дата обращения: 12.10.2020).
7. Обоснование инвестиций создания Уральской высокоскоростной железнодорожной магистрали Челябинск–Екатеринбург. Хозяйственное партнерство «Уральская скоростная магистраль» СРО-П-123–25012010.

Объем статьи: 0,47 авторских листа



**Назиржон Мукарамович  
Арипов**  
Nazirjhon M. Aripov



**Дауренбек Ихтиярович  
Илесалиев**  
Daurenbek I. Ilesaliev

## Применение модели Лотки–Вольтерры при решении задач оптимизации обеспечения вагонами зерноэлеваторов

### Application of the Lotka–Volterra model in solving problems of optimizing the provision of grain elevators with wagons

(Статья публикуется в авторской редакции)

#### Аннотация

Обеспечение равномерной подачи вагонов под погрузку-разгрузку грузов — одна из основных задач транспортного процесса. Существующие методы решения вопросов обеспечения ритмичности подачи вагонов под погрузку зерна зачастую не позволяют выявить причины технологического дефицита вагонов. В связи с этим в рамках данной работы целью исследования является повышение эффективности организации обеспечения зерноэлеваторов вагонами с использованием модели Лотки — Вольтерры.

**Ключевые слова:** железнодорожная станция, подъездной путь, подвижной состав, погрузка зерна, груженный вагон, порожний вагон, зерноэлеватор, модель Лотки — Вольтерры, модель «хищник — жертва».

#### Abstract

One of the main tasks of the transport process is to ensure a uniform supply of wagons for loading and unloading cargo. Existing methods of solving the issues of ensuring the rhythmicity of the supply of wagons for loading grain often do not allow us to identify the reasons for the technological deficit of wagons. In this regard, within the framework of this work, the aim of the study is to increase the efficiency of the organization of providing grain elevators with wagons using the Lotka – Volterra model.

**Keywords:** railway station, access road, rolling stock, grain loading, loaded car, empty car, grain elevator, model Lotka-Volterra, model “predator-prey”.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-26-30

#### Авторы Authors

**Назиржон Мукарамович Арипов**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Ташкентского государственного транспортного университета, Ташкент, Республика Узбекистан | **Дауренбек Ихтиярович Илесалиев**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Транспортно-грузовые системы» Ташкентского государственного транспортного университета, Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: [ilesaliev@mail.ru](mailto:ilesaliev@mail.ru)

**Nazirjhon M. Aripov**, Doctor tech. sciences, professor of Department «Automation and telemechanics» at the Tashkent State Transport University (TSTU), Tashkent, Republic of Uzbekistan | **Daurenbek I. Ilesaliev**, PhD, Professor of Department «Transport cargo systems» at Tashkent State Transport University (TSTU), Tashkent, Republic of Uzbekistan; e-mail: [ilesaliev@mail.ru](mailto:ilesaliev@mail.ru)

## 1. Introduction

The Lotka-Volterra model has gained huge popularity and is often referred to as the «predator — prey» model. This model can be used to study the interaction of two systems (railway and grain elevators), taking into account the effects of seasonality, the presence and changes in grain reserves in silos, etc. For example, during peak periods of grain harvesting, the interaction of the two systems occurs according to the classical Lotka-Volterra equation, and the rest of the time there is downtime of rolling stock. Taking these factors into account leads to a complication of the classical model, which leads to the appearance of additional terms. The relevance and practicality of this study is that models can describe the interaction of a railway with an elevator [7–8].

## 2. A brief analysis of the literature sources

The issues of interaction between various transport companies and improving the quality of transport services are considered in the works of many scientists [1–19]. The study [1] developed a methodology that allows classifying much more symbiotic models. In [2], the application of the Darcy equation was considered. In [3], the transport service was investigated on the basis of the Lotka-Volterra model. The study [4] examined the impact of railway transit on a transport hub using the Lotka-Volterra model. In the article [5], using the Simulink software, the interaction of a highway with motor transport was modeled on the basis of the Lotka-Volterra model. In [6], a new approach to the study of marine clusters using the Lotka-Volterra model was investigated.

## 3. Task conditions

Railway station (A) in accordance with the contract and requests delivers wagons to the elevator's receiving and departure park (B) (fig. 1).

It is possible that there may be a certain number of wagons in the grain elevator's receiving and departure park B, and then, according to the schedule, wagons are rhythmically fed from the technological section B to the section C for grain loading. In accordance with the loading technology, loaded wagons are moved to area D for further processing of accompanying documents. After that, loaded wagons are served to station A. This completes the full cycle of work with the company's rolling stock. It should be noted that the described technological process is continuous during peak harvest periods, and the rest of the time occurs periodically.

## 4. Arrival of wagons at the junction station

Grain carriers, arriving at the train station for subsequently feeding on grain elevator, forming the incoming stream of random events at this station (Fig. 2).

Further delivery of these grain carriers to the loading area of the grain Elevator is an incoming flow of requirements for the elevator's driveway. The parameter of the incoming flow of requirements is the intensity of the flow.

## 5. Modeling the interaction of transport processes based on the classical Lotka-Volterra model

The model based on the Lotka-Volterra equations is used not only in nature, but is also often used in modeling economic and technical systems [7]. The logical relationship between the main factors of grain cargo transportation is shown in figure 3.

In the relationship between the two states of wagons «empty» and «loaded», between which there is a confrontation, can be applied the mathematical model «predator-victim», and for the parameters — quantitative indicators of the qualitative characteristics of the wagon turnover.

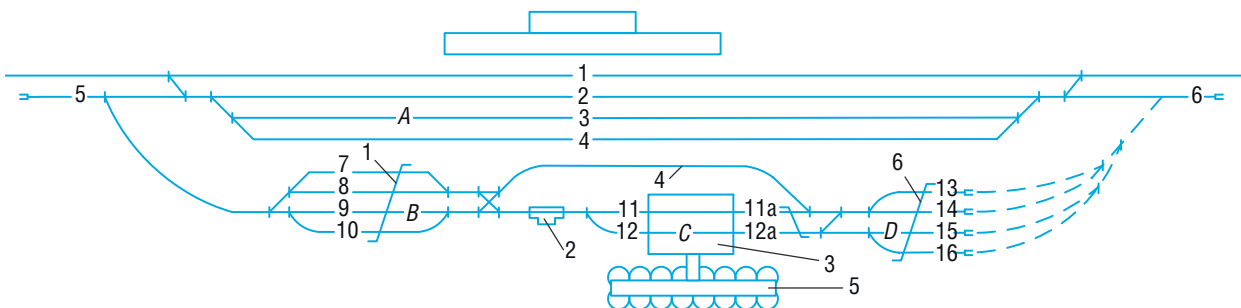


Figure 1. The scheme of movement of wagons on the tracks of the grain elevator for processing grain cargo: 1 — receiving park; 2 — wagon scales; 3 — loading area; 4 — running track; 5 — elevator; 6 — park for accumulation of empty wagons



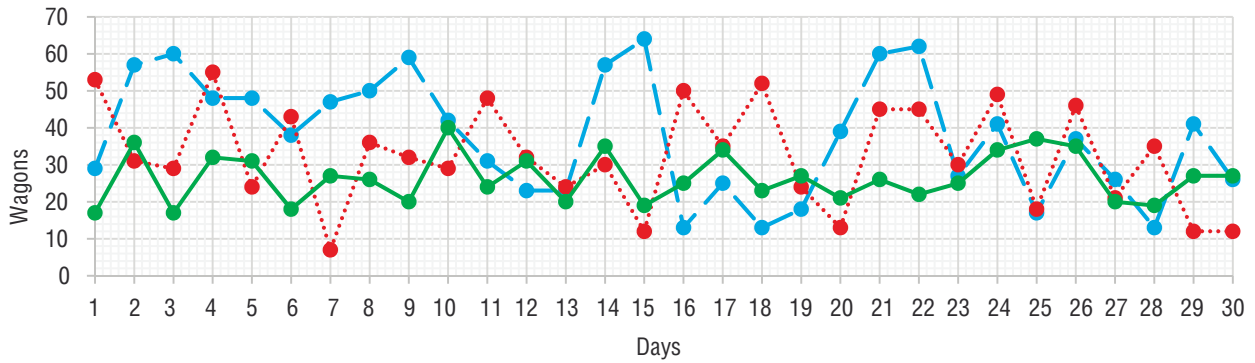


Figure 2. Schedules for the arrival of empty wagons at the railway station, their delivering for loading on the elevator's driveway and departure of loaded wagons from the station during the calendar month:  
 —●— arrival of grain carriers at the station; ···· delivery of grain carriers for loading; —●— departure of loaded grain carriers

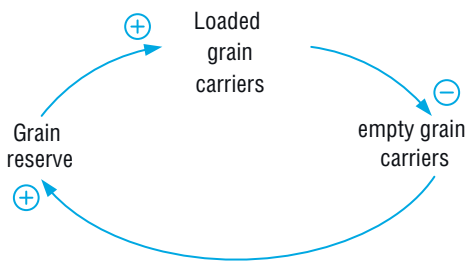


Figure 3. Wagon turnover in the transport and logistics system for grain cargo transportation

The arrival of empty grain carriers  $N$  is provided by grain reserves at the elevator, which are characterized by the value  $E$ . Loaded grain carriers are sent exclusively after loading grain from the release bins and the dynamics of sending loaded grain carriers depends on the number of empty wagons arriving for loading. Sometimes there is the arrival of faulty empty wagons, which reduces the ability to ship grain. In logarithmic form, the interaction of two states of cars can be described as follows.

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = aN - bNP; \\ \frac{dP}{dt} = -cP + dPN, \end{cases} \quad (1)$$

where  $N(t)$  — the number of empty grain carriers at time  $t$  waiting to serve from the station in the path of the elevator, wag;  $P(t)$  — the number of loaded grain carriers after loading grain at time  $t$ , wag;  $a$  — the input factor of empty grain carriers for loading;  $b$  — coefficient of influence of loaded grain carriers at the rate of arrival of empty;  $c$  — coefficient of reduction of the loaded grain carriers;  $d$  — coefficient of influence of empty grain carriers at the rate of decrease in the loaded wagons.

The system of equations is based on the following assumptions:

- if there is no grain on the elevator for shipment by rail, empty grain carriers are idle waiting for loading according to the equation  $dN/dt = aN$ ;

- if there are no empty wagons on the market, there is a deficit of grain according to the equation  $dP/dt = -dP$ ;
- terms proportional to the derivative of  $NP$  are considered as the result of loading grain into wagons, and consists in reducing the rate of arrival of wagons for loading by an amount proportional to the grain supply in the elevator.

For a given initial ratio of the number of empty wagons 15 to loaded wagons 10, will be set the coefficients that characterize the arrival of wagons on the elevator driveway, and then on the loading area, which has a dimension of 1/day:  $a = 0,2$ ;  $b = 0,02$ ;  $c = 0,19$ ;  $d = 0,02$ . Will be used Mathcad 15 to solve the system (1) with automated mathematical calculations.

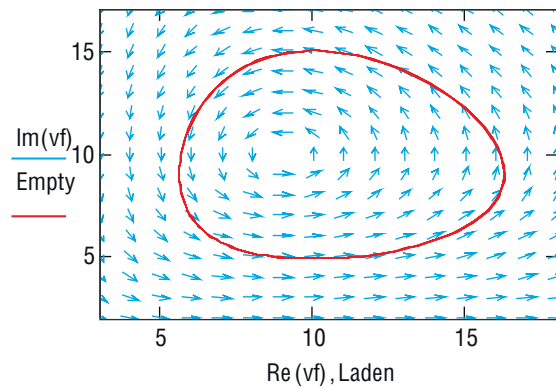


Figure 4. Phase portrait of the system in the classical model

Figure 4 shows that when the initial ratio of the number of empty wagons to loaded wagons is 15:10, the process is repeated again, as in figure 4. the interval along the abscissa axis can be plotted in any time range. It should be noted that the non-elliptical shape of the trajectory covering the center reflects the inharmonic nature of the oscillations. Thus, the transport process is repeated again (fig. 5).

The graph (fig. 5) shows that the Elevator car turnover is not uniform and is the result of solving the object under consideration.

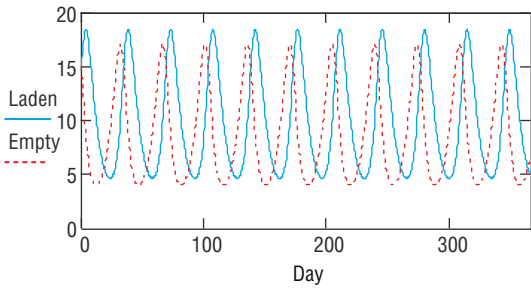


Figure 5. Graph of the dynamics of changes in the arrival of loaded and departure of empty wagons

## 6. Modeling the interaction of transport processes based on the Lotka-Volterra model with logistic correction

Often in transport processes there is a «competition» between types of wagons. To take this into account, the classical model can be expanded by adding terms that take into account the «competition» between types of wagons:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = aN - bNP - eN^2; \\ \frac{dP}{dt} = -cP + dPN - fP^2, \end{cases} \quad (2)$$

where  $e$  and  $f$  — coefficients that characterize the decrease in the number of empty and loaded wagons due to «competition» between the types of wagons, respectively.

In this case, the transport process changes depending on the value and sign of the parameter  $e$ . Given the initial ratio of the number of empty wagons to loaded wagons, will be additionally set the coefficients  $e = 0,001$  и  $f = 0,001$ .

## 7. Discussion of the results

Figure 6 shows a phase portrait of the dependence of the number of empty wagons on the number of loaded wagons.

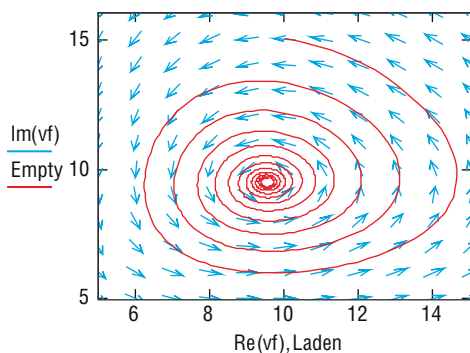


Figure 6. Phase portrait of the system with logistic correction

In figure 7 the graph shows the change in the number of empty and loaded wagons over time (year). Figure 7 describes the effects of «competition» between wagon types that results after damped oscillations.

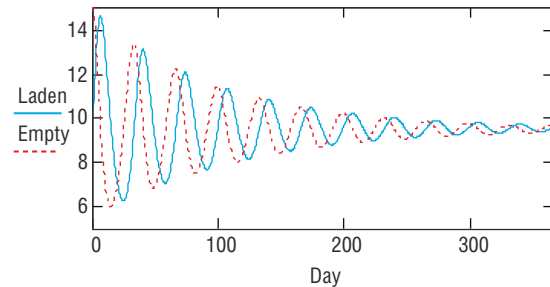


Figure 7. Graph of dynamics of changes in the arrival of loaded and departure of empty wagons

If the coefficient  $e$  is negative ( $e = -0.001$ ), the stationary point is unstable (fig. 8), and the amplitude of fluctuations in the number of empty and loaded wagons increases (fig. 9).

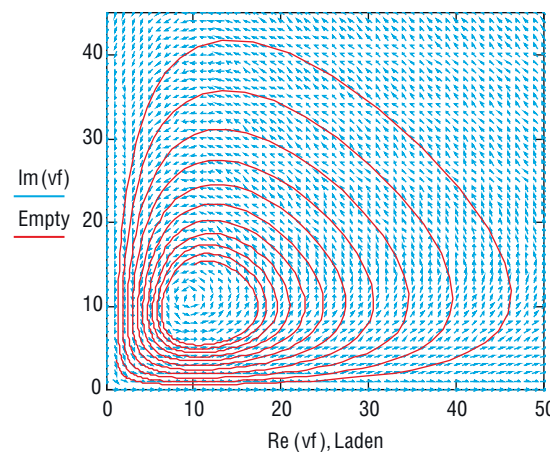


Figure 8. Phase portrait of the system with logistic correction  $e = 0.001$

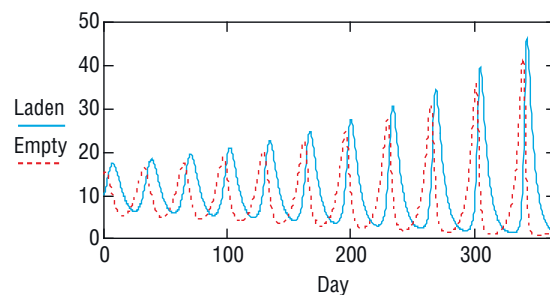


Figure 9. Graph of the dynamics of changes in the arrival of loaded and departure of empty wagons

The models make it possible to study cyclical changes in the number of wagons that are often observed in the transport process.

## 8. Conclusion

Based on the conducted research, the following main conclusions can be drawn:

1. The analysis of the arrival and departure of cars shows an initial imbalance between the arrival of empty wagons and the required number of rolling stock.

2. To implement the problem of studying a mathematical

model describing the movement of wagons on the elevator's driveways, a phase portrait of the solution system is obtained, which corresponds to the values of the parameters and the initial conditions of the problem.

3. Rational values of the system parameters are found by the method of directed search, for which the phase portrait view is characterized by a family of elliptic shapes. This type of phase portrait corresponds to ensuring stable operation of the elevator. **ИТ**

## Список литературы / Reference

- Delgado M., Lopez-Gomez J., Suarez A. On the Symbiotic Lotka-Volterra Model with Diffusion and Transport Effects // Journal of Differential Equations. — 2000. — 160 (1). — P. 175–262. — doi:10.1006/jdeq.1999.3655
- Galiano G., Velasco J. Competing through altering the environment: A cross-diffusion population model coupled to transport — Darcy flow equations // Nonlinear Analysis: Real World Applications. — 2011. — 12(5). — P. 2826–2838. — ISSN 1468–1218. — doi:10.1016/j.nonrwa.2011.04.009.
- Maheshwari P., Khaddar R., Kachroo P., Paz A. Dynamic Modeling of Performance Indices for Planning of Sustainable Transportation Systems // Networks and Spatial Economics. — 2014. — 16(1). — P. 371–393. — doi:10.1007/s11067–014–9238–6.
- Qi Y., Lu G., Zeng L., Huang Y. Research on the Effect of Rail Transit on Transportation Hub Based on Lotka-Volterra Model // Eighth International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals (ICCLTP). — 2009. — doi:10.1061/40996(330)667.
- Wang Y., Yan M. The Competition of Highway and Railway in the Passenger Transport Corridor Based on Simulink Simulation // International Conference on Management and Service Science. — 2011. — doi:10.1109/icmss.2011.5998212.
- Zhang W., Lam J. S. L. Maritime cluster evolution based on symbiosis theory and Lotka-Volterra model // Maritime Policy & Management. — 2013. — 40 (2). — P. 161–176. — doi:10.1080/03088839.2012.757375.
- Туранов Х. Т. Исследование математической модели обеспечения вагонами зерноэлеваторов / Х. Т. Туранов, Д. И. Илесалиев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2020. — № 5. — С. 37–40. — ISSN 0236–1914.
- Туранов Х. Т. Исследование характера входящего потока для обеспечения вагонами зерноэлеваторов / Х. Т. Туранов, Д. И. Илесалиев // Бюллетень транспортной информации. — 2020. — № 4 (298). — С. 8–15. — ISSN 2072–8115.
- Портнова О. Ю. Верификация модели организации вагонопотоков промышленных предприятий с применением дифференциальных уравнений // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2015. — № 3 (27). — С. 14–24. — ISSN 2079–0392.
- Портнова О. Ю. Взаимодействие промышленных предприятий с железнодорожным транспортом общего пользования / О. Ю. Портнова // Транспорт: наука, техника, управление. — 2013. — № 10. — С. 41–44. — ISSN 0236–1914.
- Портнова О. Ю. Возникновение рисков в транспортных процессах обеспечения промышленных предприятий грузным и порожним подвижным составом / О. Ю. Портнова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. — 2013. — № 2. — С. 126–140. — ISSN 2224–9990.
- Портнова О. Ю. Математическая модель непрерывного обеспечения промышленных предприятий региона подвижным составом / О. Ю. Портнова // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. — 2013. — Т. 1. — С. 300–314.
- Портнова О. Ю. Построение и исследование математической модели обеспечения вагонами промышленных предприятий / О. Ю. Портнова // Транспорт Урала. — 2013. — № 1 (36). — С. 60–67. — ISSN 1815–9400.
- Портнова О. Ю. Риск-менеджмент в сфере обеспечения промышленных предприятий подвижным составом / О. Ю. Портнова // Наука и техника транспорта. — 2014. — № 1 — С. 21–36. — ISSN 2074–9325.
- Туранов Х. Т. Математическое моделирование движения грузовых вагонов на подъездных путях предприятия / Х. Т. Туранов, Н. П. Чуев, О. Ю. Портнова // Наука и техника транспорта. — 2013. — № 1. — С. 26–42. — ISSN 2074–9325.
- Туранов Х. Т. Построение дифференциальной модели движения подвижного состава на путях необщего пользования / Х. Т. Туранов, Н. П. Чуев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2012. — № 7. — С. 13–18. — ISSN 0236–1914.
- Туранов Х. Т. Численное моделирование движения грузовых вагонов на местах необщего пользования / Х. Т. Туранов, Н. П. Чуев // Наука и техника транспорта. — 2012. — № 3. — С. 8–18. — ISSN 2074–9325.
- Туранов Х. Т. Численное моделирование движения грузовых вагонов на подъездных путях промышленных предприятий Maple / Х. Т. Туранов, Н. П. Чуев, О. Ю. Портнова // Транспорт: наука, техника, управление. — 2013. — № 12. — С. 7–14. — ISSN 0236–1914.
- Чуев Н. П. Мониторинг рисков и механизмы управления ими при обеспечении промышленных предприятий региона подвижным составом / Н. П. Чуев, О. Ю. Портнова // Транспорт Урала. — 2013. — № 4 (39). — С. 61–70. — ISSN 1815–9400.

Объем статьи: 0,51 авторских листа



УДК 330.43



**Александр Валериевич  
Мартыненко**

**Alexander V. Martynenko**



**Александр Александрович  
Шевцов**

**Alexander A. Shevtsov**

## Моделирование пространственного распределения пассажиропотоков междугородних автобусных маршрутов

### Modeling of spatial distribution of passenger traffic on interurban bus routes

#### Аннотация

Данная работа посвящена количественному описанию пространственного распределения пассажиропотоков на базе классической гравитационной модели на примере междугороднего автобусного сообщения между г. Екатеринбург и остальными городами Свердловской области. Исследовалось влияние на объем пассажиропотока таких факторов, как численность населения, расстояние между населенными пунктами и стоимость билета. В результате проведенного корреляционно-регрессионного анализа установлено, что в качестве меры удаленности населенных пунктов может быть использовано как расстояние между ними, так и стоимость билета. При этом качество получающейся регрессионной модели не меняется. Пространственное распределение пассажиропотоков междугороднего автобусного сообщения зависит от меры удаленности населенных пунктов друг от друга и численности их населения. Причем численность населения является гораздо более значимым фактором, чем мера удаленности. С практической точки зрения это означает, что при прогнозировании объемов пассажиропотока нужно в первую очередь учитывать демографические факторы.

**Ключевые слова:** гравитационная модель, автобусные пассажирские перевозки, эконометрическая модель, корреляционно-регрессионный анализ.

#### Abstract

This paper is devoted to the quantitative description of the spatial distribution of passenger traffic based on the classical gravity model on the example of interurban bus service between Yekaterinburg and other cities of the Sverdlovsk region. The influence of factors such as population, distance between localities, and ticket price on the volume of passenger traffic was studied. As a result of the correlation and regression analysis, it was found that both the distance between localities and the ticket price can be used as a measure of the remoteness of localities. However, the quality of the resulting regression model does not change. The spatial distribution of interurban bus passenger traffic depends on the measure of distance of localities from each other and the size of their population. Moreover, the size of the population is a much more significant factor than the measure of distance. From a practical point of view, this means that when predicting passenger traffic, demographic factors must first be taken into account.

**Keywords:** gravity model, bus passenger transportation, econometric model, correlation and regression analysis.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-31-36

#### Авторы Authors

**Александр Валериевич Мартыненко**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил Института экономики УрО РАН, Екатеринбург; e-mail: AMartynenko@usurt.ru | **Александр Александрович Шевцов**, аспирант группы ИВТ-219 кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: aleksandrsevcov561@gmail.com

**Alexander Valerievich Martynenko**, Cand. of Phys. and Math. Science, Associate Professor of the Department of "Natural Sciences" of the Ural state university of railway transport (USURT), Senior Researcher, Center for development and placement of productive forces, Institute of Economics, Yekaterinburg, Russia; e-mail: AMartynenko@usurt.ru | **Alexander Alexandrovich Shevtsov**, Postgraduate Student, Department of Natural Sciences of the Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: aleksandrsevcov561@gmail.com

## Введение

В настоящее время междугородние пассажирские перевозки осуществляются железнодорожным, автомобильным, морским и речным транспортом, а также авиацией. Причем для пассажирских перевозок на расстояния до 250–300 км используются в основном пригородные поезда и автомобильный транспорт (легковые автомобили и автобусы). Поскольку далеко не все населенные пункты связаны друг с другом железнодорожным сообщением, то во многих случаях перевозка пассажиров на короткие и средние расстояния осуществляется только автомобильным транспортом, и, соответственно, рейсовые автобусы являются единственным видом транспорта общего пользования, связывающим небольшие населенные пункты, расположенные вдали от железной дороги.

Экономическая эффективность предприятий, осуществляющих междугородние пассажирские перевозки, и удовлетворенность потребителей стоимостью и качеством оказываемых услуг в значительной мере зависят от качества анализа пространственного распределения пассажиропотоков и прогнозирования его возможных изменений.

Одним из основных инструментов для анализа и прогнозирования пространственного распределения пассажиропотока является гравитационная модель, которая изучалась во многих работах. В частности, в статье [1] гравитационная модель была использована для разработки методики формирования спроса на междугородние автобусные пассажирские перевозки. В работе [6] предпринята попытка модельного описания слабо освоенных регионов Восточной Сибири с помощью модифицированных гравитационных моделей для определения объемов перемещения населения с использованием маршрутных автобусов и индивидуальных автомобилей между населенными пунктами. Близкая исследовательская задача была поставлена в работе [2], посвященной формализации гравитационной модели для расчета междугородних транспортных корреспонденций.

Достаточно интересным и перспективным направлением применения гравитационных моделей является

подход, основанный на использовании данных мобильных операторов для оптимальной статистической оценки матрицы корреспонденций (см. [7], а также цитируемую там литературу).

Среди работ, посвященных исследованию междугороднего пассажирского автобусного сообщения, отметим статью [5], в которой выполнен детальный анализ экономических аспектов пассажирского сообщения небольших городов с областным центром на примере Саратовской области.

Гравитационную модель также активно используют для количественного описания пассажиропотоков на других видах транспорта (см., например, [4] для авиасообщения и [3] для ж.-д. сообщения), а также для расчетов грузовых матриц корреспонденций [8].

Цель данной статьи заключается в том, чтобы на базе классической гравитационной модели получить математическое описание пространственного распределения пассажиропотоков междугороднего автобусного сообщения между г. Екатеринбург и остальными городами Свердловской области.

## Исходные данные

Основным источником информации для моделирования пассажирских перевозок послужила база данных Северного автовокзала г. Екатеринбурга о количестве проданных билетов по различным направлениям.

База данных представляет собой набор таблиц в формате .xls, каждая из которых содержит информацию для конкретного направления. В такой таблице указаны маршрут, дата и время отправления, а также информация о пункте прибытия. Объем данных, содержащихся в указанных таблицах для всех направлений за период с 1 по 31 октября 2018 г., составил 12409 записей. Фрагмент таблицы для маршрута Екатеринбург — Асбест представлен на рис. 1.

Для целей настоящего исследования информация, содержащаяся в исходных таблицах, была подвергнута дополнительной обработке. В частности, были агрегированы данные по количеству проданных билетов для каж-

Дата	Маршрут	Время отправления	Остановка отправления	Остановка прибытия	Количество проданных билетов
03.10.2018	Екатеринбург – Асбест	20:38	Екатеринбург Северный	Косулино	0
04.10.2018	Екатеринбург – Асбест	20:38	Екатеринбург Северный	Малобрусянское	1
04.10.2018	Екатеринбург – Асбест	20:38	Екатеринбург Северный	рп. Белоярский	6
06.10.2018	Екатеринбург – Асбест	13:28	Екатеринбург Северный	рп. Белоярский	9
05.10.2018	Екатеринбург – Асбест	13:58	Екатеринбург Северный	Асбест	31
07.10.2018	Екатеринбург – Асбест	14:43	Екатеринбург Северный	Мезенское	3
07.10.2018	Екатеринбург – Асбест	13:28	Екатеринбург Северный	Асбест	26

Рис. 1. Фрагмент таблицы исходных данных для маршрута Екатеринбург — Асбест

дого пункта прибытия за весь рассматриваемый промежуток времени (агрегированные данные были сведены в одну таблицу). В полученной таким образом таблице несколько пунктов прибытия могут соответствовать одному населенному пункту. Примером такого случая является город Каменск-Уральский, где высадка пассажиров осуществляется на автовокзале (пункт прибытия Каменск-Уральский / АВ) и в Южном микрорайоне (пункт прибытия Каменск-Уральский / Южный мкр-н). Для дальнейшего моделирования распределения пассажиропотоков во всех подобных случаях мы объединили пункты назначения, соответствующие одному населенному пункту (считаем, что пунктом назначения является населенный пункт, а количество пассажиров, прибывающих в него из Екатеринбурга, равно общему количеству пассажиров, прибывающих на все пункты назначения, находящиеся в данном населенном пункте).

Затем мы исключили из исследуемой выборки информацию о пунктах назначения, для которых количество проданных билетов равно нулю (речь идет о пунктах назначения, в которые не было приобретено ни одного билета за весь рассматриваемый период времени с 1 по 31 октября). Указанная обработка исходных данных осуществлялась с помощью математического пакета Wolfram Mathematica.

После всех перечисленных преобразований получена таблица, состоящая из 80 строк, каждая из которых содержит название пункта назначения и количество билетов, проданных за период с 1 по 31 октября.

Поскольку для используемой далее гравитационной модели необходимы количественные меры удаленности населенных пунктов и их способности генерировать пассажиропотоки, то для каждого пункта назначения (населенного пункта) полученные данные были дополнены информацией о стоимости билета, расстоянии от него до Екатеринбурга и численности населения (в качестве меры удаленности используется стоимость билета и расстояние). Данные о стоимости билетов были взяты с официального сайта Северного автовокзала г. Екатеринбурга [11]. Источником информации о расстоянии между пунктами выступил геоинформационный сервис 2GIS [10]. Данные о людности населенных пунктов были получены на официальном сайте Управления Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области и Курганской области [9].

Таким образом, для дальнейшего моделирования была получена выборка из 79 элементов, фрагмент которой представлен на рис. 2.

## Гравитационная модель

Гравитационную модель, описывающую пространственное распределение пассажиропотоков, можно записать следующим образом:

$$Q_{ij} = \gamma \frac{P_i^{\beta_1} \cdot P_j^{\beta_2}}{f(d_{ij})}, \quad (1)$$

где  $Q_{ij}$  — количество пассажиров, перемещающихся из пункта  $i$  в пункт  $j$ ,  $P_i$  — численность населения в пункте  $i$ ;  $d_{ij}$  — расстояние (время, стоимость перемещения) между пунктами  $i$  и  $j$ ;  $\gamma$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  — параметры модели;  $f$  — функция тяготения.

В качестве функции тяготения  $f$  обычно выбирают степенную функцию

$$f(d_{ij}) = d_{ij}^\alpha \quad (2)$$

или показательную функцию

$$f(d_{ij}) = e^{\sigma d_{ij}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  и  $\sigma$  — положительные параметры.

В ситуации, когда рассматриваются только исходящие пассажиропотоки из одного пункта  $i = 1$ , модель (1) может быть переписана в виде

$$Q_j = \gamma \frac{P_j^\beta}{f(d_j)}, \quad (4)$$

где  $Q_j = Q_{1j}$ ,  $P_j = P_{1j}$ ,  $d_j = d_{1j}$ ,  $\beta_j = \beta_{1j}$  и  $\gamma = \gamma P_1^{\beta_1}$ .

Чтобы оценить параметры модели (4), мы будем использовать метод наименьших квадратов (МНК). Для этого необходимо выполнить линеаризацию модели путем логарифмирования обеих частей уравнения (4):

$$\ln Q_j = \ln \gamma + \beta \ln P_j - \ln f(d_j). \quad (5)$$

Если в качестве функции тяготения  $f$  использовать функцию (2), то (5) приобретает вид:

$$\ln Q_j = \ln \gamma + \beta \ln P_j - \alpha \ln d_j. \quad (6)$$

А для функции тяготения (3) уравнение (5) имеет вид:

$$\ln Q_j = \ln \gamma + \beta \ln P_j - \sigma d_j. \quad (7)$$

Если ввести обозначения  $Q'_j = \ln Q_j$ ,  $\gamma'_j = \ln \gamma$ ,  $P'_j = \ln P_j$ ,  $d'_j = \ln d$ , обозначить  $-\alpha$  как  $\alpha$  и  $-\sigma$  как  $\sigma$ , то в стохастической форме (6) и (7) будут иметь следующий вид:

$$Q'_j = \gamma'_j + \beta \cdot P'_j + \alpha \cdot d'_j + \varepsilon_j; \quad (8)$$

$$Q'_j = \gamma'_j + \beta \cdot P'_j + \sigma \cdot d_j + \varepsilon_j, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_j$  — случайная величина



Город	Количество купленных билетов ( $Q$ )	Расстояние до Екатеринбурга ( $D$ )	Стоимость билетов	Население ( $p$ )
ИЛЬЯТА Д. ПОВ	2	160	518	40
Зырянская	2	239	620	50
Назарово	2	239	780	142
КИРГИШАНЫ С. ПОВ	2	99	330	360
Смычка	2	266	900	385

Рис. 2. Данные для моделирования (фрагмент)

## Оценка параметров модели

Для оценки параметров модели мы использовали табличный редактор MS Excel. Выбор программного обеспечения обусловлен тем, что MS Excel имеет простой и удобный в использовании встроенный инструментарий для регрессионного анализа, который полностью удовлетворяет целям настоящего исследования.

Для оценки модели в спецификациях (8) и (9) мы выполнили логарифмирование данных, представленных на рис. 2. Поскольку в качестве  $d_j$  может быть использовано как расстояние, так и стоимость билета, то мы оценили параметры для каждого из четырех случаев:

- 1) спецификация (8), в качестве  $d_j$  используется расстояние;
- 2) спецификация (8), в качестве  $d_j$  используется стоимость билета;
- 3) спецификация (9), в качестве  $d_j$  используется расстояние;
- 4) спецификация (9), в качестве  $d_j$  используется стоимость билета.

Регрессионная статистика для всех указанных случаев представлена в табл. 1.

Значимость полученных моделей проверили по критерию Фишера. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 1, во всех четырех случаях полученные модели имеют практически одинаковые значения коэффициента детерминации, т.е. они обеспечивают примерно одинаковое качество подгонки. При этом из табл. 2 следует, что все модели являются значимыми. Тот факт, что коэффициент детерминации немного меньше 0,7, говорит о наличии существенного влияния населения и расстояния (стоимости билета) на размер пассажиропотока.

Однако коэффициенты детерминации все-таки существенно меньше 1 — это свидетельствует о том, что на пассажиропоток оказывают значительное влияние и какие-то другие факторы.

Естественно, тот факт, что все рассмотренные модели имеют практически одинаковые показатели качества, нуждается в отдельном анализе. Для того чтобы

Таблица 1

### Регрессионная статистика

Показатель	Случай 1	Случай 2	Случай 3	Случай 4
Множественный $R$	0,83	0,82	0,82	0,82
$R$ -квадрат	0,68	0,68	0,68	0,67
Нормированный $R$ -квадрат	0,67	0,67	0,67	0,67
Стандартная ошибка	1,1	1,1	1,1	1,1

Таблица 2

### Проверка значимости моделей

Показатель	Случай 1	Случай 2	Случай 3	Случай 4
Наблюдаемое значение $F$	81,8	80,95	81,55	79,10
$P$ -значение	$1,14 \cdot 10^{-19}$	$1,4 \cdot 10^{-19}$	$1,22 \cdot 10^{-07}$	$2,67 \cdot 10^{-19}$

объяснить близость показателей качества, а также близость оценок коэффициентов, приведенных в табл. 3, для пары моделей 1 и 2 оценим величину корреляции между расстоянием и стоимостью билета. Как видно из рис. 3 и значения коэффициента корреляции 0,93, стоимость билета и расстояние связаны сильной линейной связью, что и является источником одинакового качества моделей 1 и 2. Аналогичная причина объясняет одинаковое качество моделей 3 и 4.

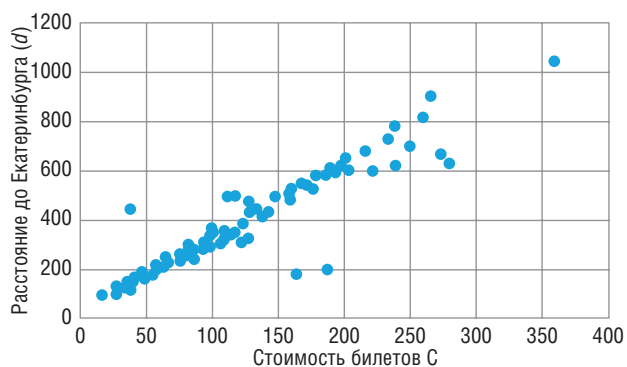


Рис. 3. График рассеивания

Что касается одинакового качества моделей 1 и 3 (2 и 4), то, возможно, причина этого в том, что расстояние является незначимым фактором, и пассажиропоток зависит только от населения, которое включается одинаковым образом в каждую из рассматриваемых спецификаций. Однако, как видно из табл. 3,  $P$ -значения оценок параметров  $\alpha$  и  $\sigma$  меньше 0,01, что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о незначимости расстояния при уровне значимости 1 % на основании критерия Стьюдента. В то же время коэффициент корреляции между логарифмом количества билетов и логарифмом численности населения равен 0,80, между логарифмом количества билетов и расстоянием равен  $-0,17$ , а между логарифмом количества билетов и логарифмом расстояния равен  $-0,23$ . Это свидетельствует о том, что, хотя расстояние является значимым фактором и не может быть отброшено без снижения качества уравнения, его влияние гораздо меньше, чем влияние населения. Поэтому различие спецификаций по способу включения расстояния не оказывает существенного влияния на качество моделей.

Таблица 3

## Результаты исследований

Случай 1	Коэффициенты	Стандартная ошибка	$t$ -статистика	$P$ -значение
$Y$ -пересечение	0,023	1,05	0,02	0,98
$\ln(d_j)$	$-0,62$	0,19	$-3,23$	0,0018
$\ln(P)$	0,84	0,07	12,29	$9,64 \cdot 10^{-20}$
Случай 2	Коэффициенты	Стандартная ошибка	$t$ -статистика	$P$ -значение
$Y$ -пересечение	1,19	1,41	0,85	0,40
$\ln(C_j)$	$-0,69$	0,22	$-3,14$	0,0023
$\ln(P)$	0,84	0,07	12,24	$1,19 \cdot 10^{-19}$
Случай 3	Коэффициенты	Стандартная ошибка	$t$ -статистика	$P$ -значение
$Y$ -пересечение	0,46	0,66	0,70	0,49
$d_j$	$-0,00646$	0,0017	$-3,765$	0,00039
$\ln(P)$	0,42	0,091	4,66	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Случай 4	Коэффициенты	Стандартная ошибка	$t$ -статистика	$P$ -значение
$Y$ -пересечение	$-2,246$	0,58	$-3,89$	0,0002
$C_j$	$-0,0017$	0,00061	$-2,92$	0,0045
$\ln(P)$	0,85	0,069	12,29	$9,53 \cdot 10^{-20}$

### Выводы

Пространственное распределение пассажиропотоков междугороднего автобусного сообщения зависит от людности населенных пунктов и расстояния между ними (стоимости билета). Эта зависимость достаточно хорошо описывается гравитационной моделью (коэффициент детерминации близок к 0,7). Причем использование в качестве функции тяготения показательной и степенной функций приводит к достаточно близким по показателям качества моделям. Также регрессионно-корреляционный анализ показал, что качество модели

практически не зависит от того, какая мера удаленности населенных пунктов используется: расстояние или стоимость билета. Еще одним важным следствием проведенного анализа выступает то, что людность населенных пунктов является гораздо более значимым фактором, чем мера удаленности между ними. С практической точки зрения это означает, что при прогнозировании объемов пассажиропотока нужно в первую очередь учитывать демографические факторы. **ИТ**

*Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР УРГУПС (тема НИР АААА-А20-120042190035-7).*

### Список литературы / Reference

1. Горбачев П. Ф., Шевчук Е. Ю. Оценка параметров спроса на перевозку пассажиров между городами Украины // Вестник ХНАДУ. — Харьков, 2016. — Вып. 72. — С. 75–82. — ISSN 2521–1773.
2. Доля К. В. Формализация гравитационной модели для расчета параметров междугородних пассажирских корреспонденций // Наука и техника. — Минск, 2017. — Т. 16, № 5. — С. 437–443. — ISSN 2227–1031.
3. Каукин А. С., Томаев А. О. Построение модели межрегиональных внутрироссийских товарных потоков на основе грузоперевозок железнодорожным транспортом. — М., 2019. — 87 с.
4. Мартыненко А. В., Фарносова Я. А., Шерышова А. Е. Математическое моделирование пассажирских авиаперевозок // Инновационный транспорт. — Екатеринбург, 2016. — № 4 (22). — С. 9–14. — ISSN 2311–164X.
5. Преображенский Ю. В., Молочко А. В. Оценка развития междугороднего автобусного сообщения в Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: науки о Земле. — 2019. — Т. 19, № 1. — С. 18–23. — ISSN 1819–7663.
6. Нурминский Е. А., Пугачев И. Н., Шамрай Н. Б., Седюкевич В. Н. Определение пассажиропотоков в региональной транспортной системе на основе модифицированных гравитационных моделей // Наука и техника. — Минск, 2015. — № 5. — С. 39–45. — ISSN 2227–1031.
7. Теселкин А. А., Теселкина К. В. Оценка параметров модели транспортных корреспонденций по данным сотовых операторов // Интеллектуальные технологии на транспорте. — СПб., 2015. — № 4. — С. 10–14. — eISSN 2413–2527.
8. Лебедева О. А., Антонов Д. В. Моделирование грузовых матриц корреспонденций гравитационным и энтропийным методами // Вестник ИргТУ. — 2015. — № 5 (100). — С. 118–122. — ISSN 1814–3520.
9. URL: <https://sverdl.gks.ru> (дата обращения: 21.08.2020).
10. URL: <https://2gis.ru/ekaterinburg> (дата обращения: 21.08.2020).
11. URL: <https://avtovokzal-ekb.ru> (дата обращения: 21.08.2020).

Объем статьи: 0,57 авторских листа



**Александр Васильевич Смольянинов**  
Alexander V. Smolyaninov



**Виталий Федорович Кармацкий**  
Vitaliy F. Karmatsky



**Александр Андреевич Соломенников**  
Alexander A. Solomennikov

## Анализ текущего состояния, проблемы и перспективы вагоноремонтного производства в Уральском федеральном округе

### Analysis of the current state, problems and prospects of car repair production in the Ural Federal district

#### Аннотация

В статье приводится анализ текущего состояния вагоноремонтного производства в Уральском федеральном округе, определены основные проблемы вагоноремонтного бизнеса и перспективы его развития, исследуются пути передачи функций эксплуатационных вагонных депо по текущему отцепочному ремонту грузовых вагонов в вагоноремонтные предприятия, даны предложения по развитию вагоноремонтного бизнеса.

**Ключевые слова:** вагоноремонтное производство, плановые виды ремонта, текущий отцепочный ремонт, качество ремонта, допуск вагонов на инфраструктуру.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-37-43

#### Авторы Authors

*Александр Васильевич Смольянинов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (Ур-ГУПС), Екатеринбург; e-mail: asmolyaninov@inbox.ru | Виталий Федорович Кармацкий, доцент кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, e-mail: vkarmackiy@mail.ru | Александр Андреевич Соломенников, доцент кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: ASolomennikov@usurt.ru*

*Alexander Vasilyevich Smolyaninov, Doctor of technical Sciences, Professor of the "Railway cars" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: asmolyaninov@inbox.ru | Vitaliy Fyodorovich Karmatsky, Associate Professor of the "Railway cars" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg, e-mail: vkarmackiy@mail.ru | Alexander Andreevich Solomennikov, Associate Professor of the "Railway cars" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: ASolomennikov@usurt.ru*



## Организация производства (транспорт)

Вагоноремонтное производство — это комплекс технико-экономических и организационных мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособного состояния грузовых и пассажирских вагонов. В рамках данного исследования рассматриваются вагоноремонтные предприятия, занятые ремонтом грузовых вагонов.

В процессе реформирования железнодорожного транспорта вагоноремонтное производство выделено в самостоятельный бизнес промышленной сферы. Принципы организации производства на вагоноремонтных заводах и в ремонтных вагонных депо в большинстве своем совпадают с принципами и методами организации производства на промышленных предприятиях.

На протяжении многих лет в дореформенный период хозяйственная деятельность по ремонту грузовых и пассажирских вагонов относилась исключительно к Министерству путей сообщения. Имущество данных предприятий находилось в государственной форме собственности. Финансирование вагоноремонтной деятельности зависело от объемов перевозок, тарифной политики в стране и осуществлялось в недостаточной степени. В результате к началу разделения вагонного хозяйства ОАО «РЖД» на ремонтную и эксплуатационную части в 2011 г. износ основных фондов грузовых вагоноремонтных депо оценивался специалистами в 70–75 % [1]. Большинство вагонных ремонтных депо было создано в 30-е годы прошлого столетия, размещается на малой территории в приспособленных помещениях и не имеет перспектив реконструкции и расширения. Аналогичное состояние материальной базы было и на вагоноремонтных заводах в составе транспортного холдинга.

В последнее десятилетие в вагоноремонтном бизнесе произошли серьезные изменения. Ряд вагоноремонтных заводов вошли в состав крупных машиностроительных холдингов, а акционерные общества «ВРК-2» и «ВРК-3» сменили своих собственников. В октябре 2019 г. 100 % минус одна акция АО «ВРК-3» были проданы на аукционе за 8 млрд 650 млн рублей компании «Бизнес Оптима» (дочернее общество АО «Объединенная металлургическая компания»). Таким образом, 37 вагоноремонтных предприятий в составе АО «ВРК-3», в том числе 9 ремонтных депо на территории УФО, были выведены из холдинга ОАО «РЖД». Мощности депо в составе ВРК-3 позволяют ремонтировать до 100 тыс. вагонов в год. По итогам 2019 г. ВРК-3 занимала 15,7 % рынка ремонта вагонов в России [2–5].

В июне 2020 г. в результате продажи на аукционе полного пакета владельцем АО «ВРК-2» стало ООО «Новая вагоноремонтная компания», которое приобрело актив за 10,75 млрд руб. ООО «НВК» является независимой компанией, контролируемой менеджментом. Ей принадлежит пять вагоноремонтных депо (Арчеда, Волгоград, Тольятти, Унеча, Хилок) и Орский вагоноремонтный завод. Мощности компании, объединяющей 36 вагоноремонтных предприятий, позволяют осуществлять плано-

вый ремонт до 25 тыс. вагонов в год. Мощности депо в составе ВРК-2 позволяют ремонтировать до 108 тыс. вагонов в год. По итогам 2019 г. ВРК-2 занимала 17,1 % рынка вагоноремонта в России.

В составе холдинга ОАО «РЖД» осталось одно дочернее общество — АО «Вагоноремонтная компания – 1», в состав которого входит 41 вагоноремонтное депо.

Кроме этого на рынке ремонта вагонов действует еще более 80 независимых вагоноремонтных предприятий частной формы собственности. В 2019 г. всеми вагоноремонтными предприятиями России было выпущено из плановых видов ремонта (деповского и капитального) 478 290 грузовых вагонов. Доля вагоноремонтных компаний в общем итоге составила: АО «ВРК-1» — 20,9 %, АО «ВРК-2» — 17,1 %, АО «ВРК-3» — 15,7 %. В сравнении с 2018 г. доля этих компаний на рынке существенно уменьшилась. При этом до 46,3 % возросла доля независимых вагоноремонтных предприятий [2–4].

Анализ итогов работы вагоноремонтной отрасли за 9 месяцев 2020 г. показывает, что происходит спад объемов производства, усиливается конкуренция среди предприятий, в том числе и за счет ценового демпинга. Демпинг обычно связан с нарушениями технологии и сокращением перечня выполняемых работ. При снижении стоимости ремонта ниже порога рентабельности невозможно сохранить требуемое качество. Сложившаяся на рынке ремонта вагонов в последние годы тенденция снижения доли крупных вагоноремонтных компаний продолжает сохраняться. Процессы реорганизации вагоноремонтного бизнеса продолжаются, и предполагается, что ряд частных компаний среднего размера смогут провести процессы слияния и поглощения и выжить на рынке благодаря имеющимся компетенциям в бизнесе, а до 15 % существующих депо покинут рынок плановых ремонтов. Может измениться ситуация с падением объемов ремонта за счет передачи функций эксплуатационных вагонных депо в составе ОАО «РЖД» по текущему отцепочному ремонту (ТОР) грузовых вагонов в крупные вагоноремонтные компании. Вагоноремонтные предприятия в ряде территорий являются основным градообразующим производством, обеспечивающим трудоустройство населения, обслуживающим инфраструктуру социально-бытовой сферы жизни людей.

Целью данного исследования является анализ текущего состояния вагоноремонтного производства в Уральском федеральном округе, выявление проблем и перспектив развития этого бизнеса. Уральский федеральный округ (УФО) образован в пределах Урала и Западной Сибири. Объединяет Свердловскую, Курганскую, Челябинскую, Тюменскую области (включая автономные округа Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский — Югру). Общая площадь территории округа составляет 1818,49 тыс. кв. километров (10,62 % площади Российской Федерации) и превышает площадь территорий Германии, Франции, Великобритании и Испании вместе взятых [6].

В УФО функционирует 30 вагоноремонтных предприятий, занятых плановыми видами ремонта грузовых вагонов. Это составляет 13,2 % от общего числа вагоноремонтных предприятий, действующих в границах сети железных дорог России. В числе наиболее крупных депо с объемами ремонта вагонов более 4 тысяч можно выделить: на Свердловской железной дороге — ВЧДр Пермь-Сортировочная, ВРП «Завязовское»; на Южно-Уральской — вагонные депо Магнитогорск, Курган, Верхний Уфалей и ЗАО «Уральская вагоноремонтная компания».

Из 30 предприятий, расположенных на территории УФО, в состав холдинга ОАО «РЖД» входит 4 ремонтных вагонных депо АО «ВРК-1» — ВЧДр Ишим, Сверд-

ловск-Сортировочный, Чусовская, Магнитогорск. Их расчетная проектная мощность по выпуску вагонов из плановых видов ремонта суммарно составляет 16 630 вагонов. В 2019 г. в этих депо выпущено из плановых видов ремонта 12 297 вагонов, что составило 2,6 % от общего выпуска на сети железных дорог.

Доля вагоноремонтных компаний в общем объеме выпущенных из ремонта вагонов в УФО в 2019 г. составила: ВРК-1 — 14,0 %, ВРК-2 — 19,9 %, ВРК-3 — 30,7 %. На долю независимых вагоноремонтных предприятий приходится 35,4 % (табл. 1). Эти цифры наглядно показывают значимость вагоноремонтного комплекса УФО в общем объеме вагоноремонтного бизнеса России.

Таблица 1

### Выпуск вагонов из плановых видов ремонта вагонными депо, расположенными на территории Уральского федерального округа (2019 г.)

Тип предприятий	Краткое название предприятия, клеймо	Выпущено из ремонта (ДР + КР)	Допущено на инфраструктуру РЖД	Не допущено на инфраструктуру РЖД	Не допущено вагонов с первого предъявления, %
ВРК-1	Ишим (606)	2166	1949	217	10,0
	Свердловск-Сорт. (579)	2847	2602	245	8,6
	Чусовская (588)	2127	1940	187	8,8
	<b>Всего</b>	<b>7140</b>	<b>6491</b>	<b>649</b>	<b>9,1</b>
ВРК-2	Серов-Сорт. (587)	1295	1174	121	9,3
	Войновка (1082)	3552	3178	374	10,5
	Пермь-Сорт. (1016)	4122	3722	400	9,7
	<b>Всего</b>	<b>8969</b>	<b>8074</b>	<b>895</b>	<b>10,0</b>
ВРК-3	Егоршино (585)	2900	2598	302	10,4
	Верещагино (590)	3211	2853	358	11,1
	Гороблагодатская (582)	3719	3353	366	9,8
	Смычка (1590)	1461	1312	149	10,2
	<b>Всего</b>	<b>11291</b>	<b>10116</b>	<b>1175</b>	<b>10,4</b>
Частные	Балахонцы (1166)	3156	2582	574	18,2
	Моск. серв. ком. (580)	60	35	25	41,7
	Кизел (581)	1969	1495	474	24,1
	ВРП «Завязовское» (1578)	4920	4097	823	16,7
	<b>Всего</b>	<b>10105</b>	<b>8209</b>	<b>1896</b>	<b>18,8</b>
<b>Свердловская дорога</b>		<b>37505</b>	<b>32890</b>	<b>4615</b>	<b>12,3</b>
ВРК-1	Магнитогорск (601)	4157	3781	376	9,0
	<b>Всего</b>	<b>4157</b>	<b>3781</b>	<b>376</b>	<b>9,0</b>

## Организация производства (транспорт)

Окончание табл. 1

Тип предприятий	Краткое название предприятия, клеймо	Выпущено из ремонта (ДР + КР)	Допущено на инфраструктуру РЖД	Не допущено на инфраструктуру РЖД	Не допущено вагонов с первого предъявления, %
ВРК-2	Челябинск (600)	3737	3390	347	9,3
	Орск (719)	3328	3014	314	9,4
	<b>Всего</b>	<b>7065</b>	<b>6404</b>	<b>661</b>	<b>9,4</b>
ВРК-3	Курган (595)	4891	4397	494	10,1
	Карталы (602)	1105	963	142	12,9
	Златоуст (598)	2160	1924	236	10,9
	Бердяуш (599)	2375	2125	250	10,5
	<b>Всего</b>	<b>10531</b>	<b>9409</b>	<b>1122</b>	<b>10,7</b>
Частные	ЗАО «УВК» (1305)	5979	4872	1107	18,5
	ООО «ВТК-Орск» (1813)	3479	2855	624	17,9
	Верхний Уфалей (603)	4569	3613	956	20,9
	ОП ВЧД Бузулук (722)	2578	2138	340	13,2
	Троицк-Реф. (819)	1810	1543	267	14,8
	<b>Всего</b>	<b>18415</b>	<b>15021</b>	<b>3294</b>	<b>17,9</b>
<b>Южно-Уральская дорога</b>		<b>40168</b>	<b>34615</b>	<b>5453</b>	<b>13,6</b>
<b>Горьковская, Свердловская область</b>					
ВРК-3	Красноуфимск (423)	2862	2585	277	9,7
<b>ИТОГО по УФО</b>		<b>80535</b>	<b>70090</b>	<b>10345</b>	<b>12,8</b>

В целях укрепления позиций вагонных ремонтных депо УФО на рынке ремонта вагонов в последнее десятилетие проведена реконструкция многих из них, существенно обновлено основное технологическое оборудование. Например, в вагонном депо Свердловск-Сортировочный запущены в эксплуатацию автоматизированные вагоноколесные мастерские, которые по уровню технической оснащённости можно назвать предприятием нового века. В инженерных решениях по реконструкции депо участвовало несколько зарубежных и отечественных фирм, в том числе корпорация Simmons Mashine Tool Corporation (США). Депо оснащено отечественным оборудованием: контрольно-измерительным комплексом «Робокон», средствами технической диагностики и неразрушающего контроля «Геометрикс» и «Ультрамаг», образующими единую производственно-метрологическую систему. В качестве системы высшего уровня, «командующей» всем технологическим процессом, создается автоматизированная информационно-управленческая система.

В вагонном депо Ишим реконструкция позволила осуществлять капитальный ремонт вагонов. Ведется планомерная работа по внедрению новых ресурсосберегающих технологий. Здесь организовано сварочно-наплавочное отделение для восстановления изношенных деталей вагона и станочное отделение с установкой трех фрезерных станков для механической обработки деталей после наплавки, организованы поточные линии по ремонту и восстановлению деталей подвижного состава. Подготовка цистерн к ремонту осуществляется с помощью промывочно-пропарочного комплекса СМУП-02, обеспечивающего экологически чистую технологию.

Вагонное депо Магнитогорск располагает уникальным оборудованием: ремонтно-правильная машина для правки кузова вагона «Ермак», универсальный фрезерный станок СФС-2 для обработки автосцепок; высокомеханизированная линия восстановления деталей тележек, позволяющая восстановить детали до чертежных размеров, с выполнением наплавки сварочными работами фирмы Panasonic и обработкой на фрезерных станках с ЧПУ.

В АО «Уральская вагоноремонтная компания» внедрено оборудование, которое позволяет производить ремонт колесных пар, оснащенных кассетными подшипниками торговых марок BRENKO, SKF, TIMKEN, а также сдвоенных подшипников типа CRU Duplex производства АО «ХАРП». Персонал компании прошел необходимое обучение, проведена соответствующая сертификация производства.

В 2017 г. в Нижнем Тагиле введено в строй современное ВРП «Завязовское». Из информации, размещенной на сайтах вагоноремонтных компаний и независимых предприятий, можно сделать вывод, что ведется активная работа по привлечению клиентов, совершенствованию организации производства, улучшению технологической оснащенности. Но в текущем году отмечается спад вагоноремонтного производства. Причины этого можно объяснить особенностями работы в условиях ограничений, связанных с коронавирусной пандемией в стране, снижением объемов перевозок, отказом отдельных собственников вагонов от ремонта вагонов, не востребованных для перевозок.

К сожалению, пока не удается решить проблемы обеспечения качества ремонта вагонов. К примеру, 11,8 % вагонов, выпущенных в 2019 г. из плановых видов ремонта, не выдержали инспекционный контроль ОАО «РЖД» и не были допущены с первого предъявления для использования на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования. В табл. 1 приведены данные по вагонным депо, расположенным на территории УФО, о количестве грузовых вагонов, не допущенных после ремонта на инфраструктуру железнодорожного транспорта общего пользования с первого предъявления. Наиболее низкое качество ремонта вагонов отмечалось в вагонных депо Балахонцы, Кизел, ВРП «Завязовское», Верхний Уфалей, Карталы, ООО «ВТК-Орск», ОП ВЧД Бузулук.

В числе причин некачественного ремонта можно выделить недостаточную технологическую оснащенность вагоноремонтных предприятий, использование устаревшего оборудования, ненадлежащий уровень технической подготовки и организации вагоноремонтного производства. Большинство ремонтных депо были созданы 75–100 лет назад, отдельные производственные участки размещаются в приспособленных помещениях, широкая номенклатура поступающих в ремонт вагонов по типам не позволяет применить поточные методы организации производства, использовать современное оборудование, включая робототехнику. Это приводит к использованию труда неквалифицированных работников. В большинстве депо должности технологов замещены специалистами, не имеющими профильного образования. Отсутствие специализации производства по типам вагонов исключает возможность применения в вагонсборочных участках поточных линий [5].

Существующая система планово-предупредительных ремонтов, сложившаяся еще в Министерстве путей сообщения, перестала быть и плановой, и предупредительной. Об этом свидетельствует ежегодный рост числа отцепок вагонов в текущий отцепочный ремонт (ТОР) в межремонтный период [7]. Плановые виды ремонта — капитальный и деповской — не дают гарантии от возникновения случаев отказов при эксплуатации вагонов.

На сети железных дорог качество работы вагоноремонтных предприятий определяется по показателю безотказной работы (ПБР), выраженному через отношение количества отцепленных подвижных единиц в рассматриваемый период текущего года к общему количеству отремонтированных на предприятии в этот же период. ОАО «РЖД» ежемесячно определяет рейтинг 219 вагоноремонтных предприятий по качеству ремонта грузовых вагонов и показателю безотказной работы в межремонтный период. Условно эти предприятия разделены на две группы — частные предприятия и предприятия холдинга ОАО «РЖД». Для примера, по итогам 2019 г. данный рейтинг показал, что ряд предприятий (ООО «Московская сервисная компания», ВРП «Завязовское», ВЧДр Верещагино (АО «ВРК-3»), ВЧДр Войновка (АО «ВРК-2»)), расположенных в границах Свердловской железной дороги, не обеспечили надлежащий уровень показателя безотказной работы и заняли в сетевом рейтинге позиции ниже 140-го места. По оценкам руководителей Свердловской дирекции инфраструктуры, аналогичная ситуация наблюдается и по итогам работы депо за 9 месяцев текущего года. Росжелдор приостанавливал в текущем году работу ВЧДр Ишим на срок от 30 до 65 дней [10]. На Южно-Уральской железной дороге по итогам 2019 г. показатель безотказной работы ООО «Орский вагонный завод» составил 27,44 % отцепленных в гарантийный период вагонов от общего числа выпущенных из ремонта.

Складывающаяся на сети железных дорог тенденция к ежегодному росту отцепок вагонов в межремонтный период обязывает изменить подходы к организации ТОР. В 2019 г. число отцепок вагонов в текущий ремонт возросло в 1,5 раза к числу отцепок в 2011 г. На отцепки по неисправности колесных пар приходится более 22 %, кузова — 32 % [11]. О том, что необоснованный или избыточный ТОР вреден владельцу инфраструктуры, собственнику вагона и вагоноремонтному предприятию, говорили участники делового семинара «Рынок вагоноремонта: как сократить затраты и сохранить качество?», который провел в апреле текущего года журнал «РЖД-Партнер». Участники семинара подчеркнули, что корни этой проблемы — в изменении межремонтных сроков. Вагон физически не может доехать от одного планового ремонта до другого без отцепки. В результате ТОР из экстраординарного события стал хронической болезнью. Возможным решением было бы проведение предупредительных ремонтов между



## Организация производства (транспорт)

плановыми. Для планирования перевозок предупредительный ремонт гораздо выгоднее, и осуществляться он будет в полноценных депо квалифицированным персоналом, а не в поле на коленке, как это зачастую делается на участках ТОРа [8–11].

Авторы считают, что текущий отцепочный ремонт вагонов по аналогии с классификацией видов ремонта техники по ГОСТ 18322–78 [12] следует рассматривать как один из видов ремонта, который должны выполнять специализированные ремонтные предприятия. В настоящее время пока повсеместно ТОР выполняется в подразделениях монопольного владельца транспортной инфраструктуры, которые не получили достаточно технического оснащения. Проблема определения организационного статуса ТОР обсуждается очень давно и решалась в разных направлениях.

В период реформирования вагонного комплекса и разделения его по видам деятельности на ремонтную и эксплуатационную не сложилось четкой стратегии по определению места ТОР в организационной структуре отрасли. Рассматривался вопрос о включении затрат на текущий ремонт вагонов в тариф на перевозку грузов. При этом предполагалось, что производство ремонта по старой схеме на выделенных путях железнодорожной инфраструктуры, в непосредственной близости к железнодорожным станциям позволит повысить эффективность использования вагонов за счет снижения простоев вагонов в ожидании ремонта. В пользу этого предложения были обещания руководителей ОАО «РЖД» о том, что будет изменена система обеспечения ТОР запасными частями и материалами, но этого не произошло на практике. Собственники вагонов и по сей день обременены обязанностью предоставлять на участки ТОР узлы и детали взамен неисправных.

В период 2006–2010 гг. возобладали идеи реконструкции участков ТОР в составе эксплуатационных вагонных депо и дооснащения их технологическим оборудованием до технических регламентов, которых нет до сих пор. В Свердловской дирекции инфраструктуры в то время очень активно взялись за реализацию этой идеи, были разработаны долгосрочные программы и планы. Были начаты работы по реконструкции пунктов текущего отцепочного ремонта (ПТОР) на станциях Свердловск-Сортировочный, Каменск-Уральский, Смычка, Асбест, Войновка, а также проектные работы по реконструкции ПТОР станции Пермь-Сортировочная. Аналогичные работы начались на Южно-Уральской железной дороге на станциях Челябинск-Сортировочный, Магнитогорск, Курган, Карталы. На ПТОР Челябинск-Сортировочный был выполнен комплексный проект со строительством отопляемого помещения и оснащением более современным технологическим оборудованием. Принятые меры позволили увеличить объемы текущего ремонта вагонов, но существенно не изменили технологический про-

цесс и качество ремонта. Не были решены основные вопросы в организации текущего ремонта вагонов по взаимодействию владельцев вагонов и эксплуатационных депо. Депо не имеют базы ремонта основных узлов вагонов, направляют эти узлы в ремонтное депо и ожидают возвращения отремонтированных узлов. Это приводит к значительным простоям вагонов, занятию путей станции, за которые также предлагают оплату. Вариант, когда владелец вагонов на договорной основе создает оборотный запас исправных узлов вагонов на территории эксплуатационных депо, также оказался неприемлемым, так как приводил к дополнительным затратам обеих сторон договора.

В последующие годы началось активное обсуждение возможности передачи деятельности по текущему отцепочному ремонту в ремонтный комплекс на разных уровнях РЖД и операторского сообщества. Более того, стало понятно, что владелец инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования на законодательном уровне не обязан заниматься текущим ремонтом, выполняемым для обеспечения или восстановления работоспособности вагона и состоящим в замене (или) восстановлении отдельных его частей. Это прямая обязанность собственника вагона или его арендатора. Такое положение без принятия конкретных решений привело к резкому снижению объемов финансирования намеченных планов и программ развития участков текущего отцепочного ремонта со стороны ОАО «РЖД». Операторские компании, крупные собственники вагонов на промышленных предприятиях также не проявляют должной активности по созданию собственных производственных мощностей для текущего ремонта вагонов. На наш взгляд, именно операторские компании могли бы на решающих погрузочных станциях создавать участки для ремонта таких узлов, как тележки, колесные пары, автосцепное устройство вагонов, тормозное оборудование, на высвобождающихся площадях бывших ремонтных депо, к примеру, на станциях Сургут, Каменск-Уральский, Смычка.

При этом ОАО «РЖД» не соглашается с доводами операторского сообщества о том, что часть работоспособности вагон теряет по эксплуатационным причинам, зависящим напрямую от состояния и исправности объектов железнодорожной инфраструктуры и средств управления перевозками. Кроме того, в тарифе на перевозки грузов не исключена вагонная составляющая, что обязывает владельца инфраструктуры и перевозчика, объединенного на законодательном уровне одним лицом — ОАО «РЖД», выполнять функции по подготовке вагонов под погрузку и техническое обслуживание вагонов в пути следования с устранением повреждений вагона в объеме ТР-1. Выполнять эти работы должны имеющиеся механизированные пункты подготовки вагонов под погрузку (МППВ) и ПТО в составе эксплуатационных вагонных депо.

Поддерживая стратегию развития эксплуатационной деятельности, выработанную Управлением вагонного хозяйства ЦДИ РЖД, считаем целесообразным на станциях массовой погрузки и выгрузки грузов иметь развитые участки текущего отцепочного ремонта в структуре вагонных ремонтных депо и пункты подготовки вагонов к погрузке, оснащенные современными средствами диагностики, в структуре эксплуатационных вагонных депо, что обеспечит качество подготовки составов на маршрут следования.

В случае отцепки вагона по неисправности внутри полигона его ремонт можно поручить ближайшему вагоноремонтному депо, без организации пунктов текущего отцепочного ремонта на промежуточных участках. И здесь могут прийти на помощь новые информационные технологии, способные сделать ремонт более доступным и удобным для всех участников рынка. Примером может служить онлайн-сервис — единая платформа ремонта вагонов «Вагонмастер», к апробации которой приступило ООО «Гарант Рейл Сервис». По мнению разработчиков, платформа позволяет организовать ремонт подвижного состава через интернет в любое удобное время из любой точки мира. «Вагонмастер» может стать инструментом для привлечения клиентов в автоматическом режиме, сокращения трудозатрат, а также новой точкой роста, так как создаст условия для здоровой конкуренции [13, 14].

В вагоноремонтный бизнес должно прийти понимание того, что рынку необходим продукт, равнодоступный на всей колее 1520 мм, который будет отвечать таким критериям, как вариативность выбора вида и места ремонта, прозрачность ценообразования, удобство в работе, интеграция необходимых программных продуктов. Другими словами, продукт, который позволит всем участникам вагоноремонтного рынка, будь то крупные компании или малые предприятия, иметь равные возможности для повышения эффективности своего бизнеса.

Считаем, что Управление вагонного хозяйства может быть выделено из состава Центральной дирекции инфраструктуры с приданием ему статуса филиала ОАО «РЖД». Это позволит улучшить финансирование вагонного хозяйства, снизит его зависимость от инфраструктурного комплекса, основу которого составляет путевое хозяйство.

Заслуживает большего внимания научное исследование проблем определения параметров жизненного цикла вагона и межремонтных интервалов отдельных частей узлов и агрегатов вагона в зависимости от эксплуатационных и конструкторских факторов. Вопрос выяснения причинно-следственных связей между факторами, приводящими вагон к неудовлетворительному техническому состоянию, структурой отцепок в ТОР, периодичностью и качеством ремонта инженерными решениями при проектировании вагона пока не решен [11]. Эти вопросы должны активнее изучаться вузовской наукой. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Концепция реформирования комплекса ОАО «РЖД», обеспечивающего ремонт и содержание грузового подвижного состава. — URL: [http://static.scbist.com/scb/uploaded/1\\_1334321977.doc](http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1334321977.doc) (дата обращения: 20.03.2020)
2. ВРК-3 // АО «Объединенная металлургическая компания»: официальный сайт. — URL: <https://omk.ru/vrk/> (дата обращения: 12.08.2020).
3. АО «ВРК-2»: официальный сайт. — URL: <https://www.vrk2.ru/> (дата обращения: 20.08.2020).
4. АО «ВРК-1»: официальный сайт. — URL: <http://1vrk.ru/company/index.php> (дата обращения: 20.08.2020).
5. Кармацкий В. Ф. Организация производства : конспект лекций / В. Ф. Кармацкий. — Екатеринбург : УрГУПС, 2017. — 179 с.
6. Официальный сайт полномочного представителя Президента России в Уральском федеральном округе. — URL: <http://uralfo.gov.ru/district> (дата обращения: 20.08.2020).
7. Гапанович В. А. Перспективы развития инновационного вагоностроения / В. А. Гапанович, С. В. Калетин // Железнодорожный транспорт. — 2020. — № 7. — С. 58–62. — ISSN 0044-4448.
8. Кленов М. Вопреки тенденциям рынка: [О развитии рынка вагоноремонтных услуг] / М. Кленов; беседовал А. Лебедев // РЖД-Партнер. — 2020. — № 17. — С. 35.
9. Лебедев А. От плана к факту: [О реформировании системы плановых ремонтов вагонов] / А. Лебедев // РЖД-Партнер. — 2020. — № 18. — С. 62–64. — URL: <https://www.rzd-partner.ru/publications/rzd-partner/-18-430-sentyabr-2020-/ot-plana-k-faktu/>
10. Результаты работы вагонного комплекса за 2019 год. — URL: <https://wagon-cargo.ru/news/rezultaty-raboty-vagonnogo-kompleksa-za-2019-god/> (дата обращения: 27.09.2020)
11. Солнцев А. ТОР: как перевозчик нашел стрелочника: [анализ данных о проведении текущего отцепочного ремонта (ТОРа) грузовых вагонов] / А. Солнцев // РЖД-Партнер. — 2020. — № 17. — С. 51–53. — URL: <https://www.rzd-partner.ru/publications/rzd-partner/-17-429-sentyabr-2020/tor-kak-perevozchik-nashel-strelochnika>.
12. ГОСТ 18322–78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М. : Стандартинформ, 2007. — С. 11.
13. Ремонт грузовых вагонов переходит в цифру. — URL: [http://www.press-release.ru/branches/uslugi/remont\\_gruzovykh\\_vagonov\\_perekhodit\\_v\\_tsifru\\_07\\_06\\_2020\\_17\\_49/](http://www.press-release.ru/branches/uslugi/remont_gruzovykh_vagonov_perekhodit_v_tsifru_07_06_2020_17_49/) (дата обращения: 06.11.2020).
14. Чернышевская Ю. Цифровая эпоха вагоноремонта: [о единой платформе ремонта вагонов «Вагонмастер»] / Ю. Чернышевская // РЖД-Партнер. — 2020. — № 7. — URL: [https://www.rzd-partner.ru/publications/rzd-partner/-7-419-aprel-2020/tsifrovaya-epokha-vagonorremonta/&sphrase\\_id=](https://www.rzd-partner.ru/publications/rzd-partner/-7-419-aprel-2020/tsifrovaya-epokha-vagonorremonta/&sphrase_id=) (дата обращения: 21.09.2020).

Объем статьи: 0,84 авторских листа



**Василий  
Федорович  
Лапшин**  
**Vasily F.  
Lapshin**



**Елена  
Владиславовна  
Зелюкова**  
**Elena V.  
Zelyukova**



**Оксана  
Александровна  
Миронова**  
**Oksana A.  
Mironova**

## Анализ технологической подготовки предприятий по техническому обслуживанию и ремонту вагонов

### Analysis of technological preparation of enterprises for maintenance and repair of railcars

#### Аннотация

В работе выполнен анализ технологической подготовки производства на предприятиях вагонного хозяйства в части разработки технологических процессов и оформления комплектов технологических документов. Рассмотрены факторы, влияющие на качество технологической подготовки производства по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава. В отличие от ранее выполненных работ, где оценка уровня технологической подготовки проводилась экспертами научной организации, в статье исходными данными явились результаты анкетирования специалистов технических отделов структурных подразделений вагонного хозяйства Свердловской и Южно-Уральской железных дорог. На основе метода экспертного квалиметрирования выполнена оценка весомости факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество технологических процессов. В результате анкетирования установлен низкий уровень автоматизации процессов проектирования, заключающийся в основном в оформлении технологической документации. Показано, что степень глубины разработки и детализации технологических процессов находится на уровне маршрутного описания.

**Ключевые слова:** вагон, вагонное хозяйство, технологическая подготовка производства, технологический процесс, комплект технологических документов, экспертная оценка, коэффициент весомости, степень согласованности.

#### Abstract

The paper analyzes the technological preparation of production at the railcar enterprises in terms of developing technological processes and processing sets of technological documents. Factors affecting the quality of technological preparation of production for maintenance and repair of rolling stock are considered. In contrast to the previously performed works, where the assessment of the level of technological training was carried out by experts of a scientific organization, the initial data in the article were the results of a survey of specialists of technical departments of structural divisions of the car industry of the Sverdlovsk and South Ural Railways. Based on the method of expert qualimetry, the weight of factors that have the greatest impact on the quality of technological processes is estimated. As a result of the survey, a low level of automation of design processes was established, which consists mainly in the design of technological documentation. It is shown that the degree of depth of development and detail of technological processes is at the level of the route description

**Keywords:** railway car, railcar industry, technological preparation of production, technological process, set of technological documents, expert assessment, weighting coefficient, degree of consistency.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-44-50

#### Авторы Authors

*Василий Федорович Лапшин, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Елена Владиславовна Зелюкова, доцент кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Оксана Александровна Миронова, инженер ВЧДЭ-18, эксплуатационное вагонное депо Березники-Сортировочные — структурное подразделение Свердловской дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД»*

*Vasily Fyodorovich Lapshin, Doctor of technical Sciences, Professor of the "Railway cars" Department, Ural state University of railway transport (USURT), Yekaterinburg | Elena Vladislavovna Zelyukova, Associate Professor of the "Railway cars" Department, Ural state University of railway transport (USURT), Yekaterinburg | Oksana Alexandrovna Mironova, Engineer, VCD-18, Operational car depot Berezniki-Sorting — structural division of the Sverdlovsk infrastructure Directorate — branch of JSC "RZD"*

## Постановка задачи

Особенностью современного этапа развития вагонного хозяйства является рост объемов и усложнение проектных работ в сфере технологической подготовки производства. Это обусловлено не только увеличением номенклатуры и сложности конструкций вагонов, но и расширением номенклатуры оборудования, требующего детального проектирования операционной технологии. Одним из факторов, влияющих на качество технологической подготовки производства (ТПП), является своевременная разработка технологических процессов (ТП) и оформление комплектов технологических документов (КТД) при проектировании новых и корректировке существующих процессов по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава.

Основным направлением совершенствования ТПП является автоматизация всего комплекса технологических задач, основанная на использовании систем автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированных банков данных (АБД) и экспертных систем. Современное состояние ТПП характеризуют три уровня автоматизации, связанные с созданием и использованием САПР ТП (табл. 1). На предприятиях вагоностроения [1] широкое применение получили интегрированные промышленные автоматизированные системы на основе CALS-технологий [2, 3], соответствующие третьему уровню табл. 1.

Однако на предприятиях, выполняющих техническое обслуживание и ремонт подвижного состава, применяются технологии проектирования ТП и оформления КТД, не соответствующие требованиям современного этапа развития ТПП. Сравнение ТПП вагонных депо с ремонтными предприятиями других отраслей показало, что на предприятиях, занятых в системе

ОАО «РЖД», уровень ТПП ниже [4]. Еще больше это отставание в ремонтных подразделениях компаний — собственников вагонов.

Проводимые в этом направлении работы [5–8] позволили:

- определить функции и задачи ТПП структурных подразделений вагонного хозяйства: ВЧДр, ВЧДЭ, ЛВЧД, ЛВЧ;
- сформулировать требования к видам обеспечения систем автоматизированного проектирования ТП, АБД;
- разработать методику построения моделей технологических процессов ремонта кузовов, ходовых частей, автотормозов и автосцепных устройств вагонов.

Несмотря на достигнутые результаты, по-прежнему остается открытым вопрос, связанный с оценкой готовности производства. Таким образом, целью данной работы является анализ ТПП предприятий по техническому обслуживанию и ремонту вагонов в части разработки ТП и оформления КТД.

Решаемые задачи:

- анализ глубины разработки и детализации технологических процессов;
- оценка уровня нормирования времени и расхода материалов в технологических документах;
- анализ методов оформления технологической документации;
- оценка соответствия оформления технологической документации требованиям единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП);
- оценка степени готовности персонала, занятого на разработке ТП, к внедрению систем проектирования ТП более высокого уровня (табл. 1).

Таблица 1

Уровни автоматизации ТПП

Уровень	Степень автоматизации	Характеристика
1. Низкий	Автоматизировано только оформление технологической документации	Заполнение технологического документа с использованием заранее подготовленных форм, формулировок операций и сведений о технологическом оснащении, представляемых в электронном виде
2. Средний	Автоматизированное проектирование технологических процессов с использованием баз данных, проектных и расчетных модулей	Проектирование технологических процессов с использованием информационно-поисковых систем. Условия поиска формируются пользователем в режиме диалога на этапе ввода исходной информации и оценки промежуточных и окончательных решений
3. Высокий	Комплексная автоматизация проектных работ в сфере технологической подготовки производства	Объединение этапов конструкторской и технологической подготовки производства в виде интегрированных систем — CAD-CAM-систем. Автоматизированное принятие сложных логических решений



## Методика исследования

Следует отметить, что подобные исследования уже проводились в Российском университете транспорта (МИИТ) [9]. Однако оценка уровня технологической готовности выполнялась только для производственных участков ремонтных вагонных депо. В качестве источников информации использовались базы данных Главного вычислительного центра ОАО «РЖД» (ГВЦ) и «Комплексной автоматизированной системы учета, контроля устранения отказов в работе технических средств и анализа их надежности» (КАСАНТ). Обследование ТПП предприятий вагонного хозяйства выполнялось экспертами научной организации.

В данной работе в качестве исходных данных использованы результаты опроса технологов структурных подразделений (СП) вагонного хозяйства Свердловской и Южно-Уральской дорог, Уральского филиала Федеральной пассажирской компании (ФПК).

Алгоритм обследования включал шесть этапов:

- 1) разработка перечня вопросов и согласование с техническими отделами служб;
- 2) формирование состава экспертов по согласованию с техническими отделами служб;
- 3) формирование электронных анкет с использованием Google Forms (<https://www.google.com/forms/about/>);
- 4) проведение (январь — февраль 2020 г.) опроса специалистов технических отделов;
- 5) оценка согласованности мнений экспертов;
- 6) анализ результатов.

Тридцать шесть вопросов, включенных в анкету, были разделены на шесть тематических разделов:

- 1) профессиональная принадлежность и квалификация — 6 вопросов;
- 2) наличие и доступ к нормативно-технологической документации — 10 вопросов;
- 3) методы разработки, корректировки КТД и контроля за выполнением технологических процессов — 5 вопросов;
- 4) наличие данных об оборудовании и оснастке — 5 вопросов;
- 5) технологическая подготовка и анализ производства — 5 вопросов;
- 6) наличие программного обеспечения на предприятии — 5 вопросов.

Фрагмент опросного листа (шестой тематический раздел опросного листа) в Google Forms показан на рис. 1.

Количественная оценка весомости факторов, влияющих на качество ТП, выполнялась методом экспертного квалиметрирования [10]. Самым простым и достаточно надежным является прием ранжирования, при котором эксперт располагает свойства в порядке значимости. Особое значение при экспертном квалиметри-

ровании имеет вопрос оценки степени согласованности экспертов. Процедура квалиметрирования выполнялась в соответствии с методикой, описанной в работах [11, 12]. Значимость каждого фактора оценивалась через коэффициент весомости  $K_{ij}$ , где  $i = (1 \dots 36)$  — порядковый номер вопроса;  $j = (1 \dots 43)$  — порядковый номер эксперта (специалиста, принявшего участие в анкетировании).

**Опросный лист**

**VI Программные продукты**

32. Какое программное обеспечение используется на вашем предприятии для разработки комплекта технологической документации?

Microsoft Visio

MS Excel

MS Access

MS Word

КОМПАС

разработка КТД не производится

вопрос не понятен

Другое: \_\_\_\_\_

Рис. 1. Фрагмент электронной анкеты в Google Forms

Средняя весомость  $i$ -го фактора по результатам анкетирования экспертов ( $N = 43$ ) определялась из выражения:

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^N K_{ij}}{N}.$$

Использование метода экспертных оценок предполагает оценку согласованности экспертов. Проверка согласованности выполнялась по критерию Фишера [13]. При полной согласованности оценок экспертов показатель согласованности  $\xi$  принимает значение, равное 1, и  $\xi = 0$  — при отсутствии согласованности.

## Результаты исследования и обсуждение

Общее количество респондентов, принявших участие в электронном опросе, составило 43 специалиста (по условию опроса — работники техотделов структурных подразделений) Свердловской и Южно-Уральской железных дорог. Количественная и качественная характеристика профессиональной подготовки специалистов приведена в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристика профессиональной подготовки специалистов, принявших участие в электронном опросе**

Вопрос	Параметр	Значение (кол-во ответов)
Укажите железную дорогу, к которой относится ваше структурное подразделение	Свердловская	35
	Южно-Уральская	8
Укажите статус и принадлежность структурного подразделения	Дирекция инфраструктуры	16
	Федеральная пассажирская компания	26
	Частное предприятие	1
Укажите ваше образование	Высшее	37
	Более одного высшего	4
	Среднее профессиональное	2
Укажите стаж работы по специальности	0–5 лет	13
	6–10 лет	13
	11–15 лет	6
	Более 15 лет	11
Укажите ваш опыт в проектировании технологических процессов и оформлении комплектов технологических документов	Менее 1 года, не имею	10
	От 1 до 3 лет	11
	От 3 до 5 лет	7
	Более 5 лет	15
Проходили ли вы курсы повышения квалификации по проектированию технологических процессов и оформлению комплектов технологических документов	Не проходил	33
	1 раз за весь период работы	5
	1 раз в три года	5
	1 раз в пять лет	—

Согласно табл. 2, более 95 % респондентов, принявших участие в электронном опросе, имели высшее образование, со стажем работы по специальности (среднее значение) 12 лет. Несмотря на значительную часть специалистов со стажем работы в области проектирования технологических процессов и оформления комплектов технологических документов более 5 лет (35 %), среднее значение квалификационного стажа составило 6 лет. Это объясняется относительно большой долей респондентов, не имеющих опыта работы в этой сфере (24 %). В целом данная статистика отражает качественный состав технических отделов предприятий по эксплуатации и техническому обслуживанию вагонов.

Чтобы дать качественную оценку текущего состояния в области технологической подготовки предприя-

тий по техническому обслуживанию вагонов, обратимся к переходному периоду (2003–2005 гг.). Основные проблемы того периода рассмотрены в ряде работ [8, 14]: «Оформление технологической документации не всегда соответствует требованиям стандарта. Внесение изменений в технологической документации производится нерегулярно, часто вручную и с опозданием».

Как показали результаты опроса, более 97 % респондентов ответили положительно на вопрос «Производится ли контроль за внесением дополнений в комплект технологической документации в случае изменения нормативно-технологической базы?». Более 95 % ответов подтверждают регулярность и своевременность контроля за выполнением технологических процессов в соответствии с комплектом технологической документации.

Оценивая результаты опроса, нельзя не отметить и ряд моментов, сдерживающих развитие системы технологической подготовки производства на предприятиях по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту вагонов в условиях широкого внедрения современных инновационных технологий и проектов:

- по-прежнему основным способом разработки КТД является корректировка типовых технологических процессов (в том числе и на бумажном носителе) с привязкой к местным условиям (более 65 %), и только 30 % респондентов отметили разработку новых комплектов технологической документации, не связанных с типовыми технологическими процессами;
- если для маршрутного описания технологических процессов более 83 % опрашиваемых отметили наличие электронных форм для оформления КТД, то для операционного описания — менее 50 %;
- не на всех предприятиях выполняются задачи, связанные с нормированием времени выполняемых работ по ремонту и техническому обслуживанию вагонов, материалов, топлива и энергии (62 %).

В табл. 3 приведены вопросы и ответы, связанные с автоматизацией проектирования и управления ТПП. Следует отметить, что респонденты могли добавлять свои варианты ответов, которые не учитывались при обработке анкет.

Наибольший интерес представляют последние две позиции табл. 3. На вопрос «Какие специализированные программные комплексы для автоматизации технологических процессов используются на вашем предприятии?» менее 10 % участвующих в опросе отметили факт использования систем автоматизированного проектирования технологических процессов без указания конкретного наименования комплекса. Если обратиться к последнему вопросу табл. 3, то станет ясно, почему на предприятиях по техническому обслуживанию и ремонту практически не применяют специализированные пакеты программ: основными источниками информации являются коллеги и интернет-ресурсы. Более того, отсутствие курсов повышения квалификации по проектированию технологических процессов и оформлению комплектов технологических документов (табл. 2) является одним из факторов, сдерживающих внедрение новых технологий при технологической подготовке производства по техническому обслуживанию вагонов.

Таблица 3

### Общая характеристика автоматизации управления технологической подготовкой производства

Вопрос	Возможный ответ	Значение (кол-во ответов, %)
Имеется ли электронная база данных «Узлы и детали вагона»?	Имеется	35
	Не имеется (или частично имеется)	44,6
Имеются ли чертежи узлов и деталей вагонов в электронной форме?	Имеется	32,6
	Не имеется (или частично имеется)	62,8
В каком виде представлена документация о фактическом оборудовании и оснастке?	В электронном виде	9,3
	На бумажном носителе	Более 80
Проводились (проводятся) ли какие-либо работы по автоматизации проектирования и управления технологической подготовкой производства?	Да	23,3
	Нет	76,7
Какие специализированные программные комплексы для автоматизации технологических процессов производства используются на вашем предприятии?	Используются	9,6
	Не используются	81
Источник, через который вы узнаете о новом программном обеспечении для проектирования технологических процессов?	Вышестоящие структуры ОАО «РЖД» и его филиалов	21,4
	Коллеги	23,8
	Другие источники	38,1
	Нет информации	9,8

Представляет определенный интерес ответ на вопрос «Какое программное обеспечение используется для оформления КТД?». Как видно из рис. 2, процесс автоматизации оформления КТД ограничивается использованием офисного пакета Microsoft и графических программ для оформления карт эскизов. Характерно, что более 30 % респондентов отметили единственный программный продукт, используемый на предприятии для оформления КТД, — редактор текстов MS Word.

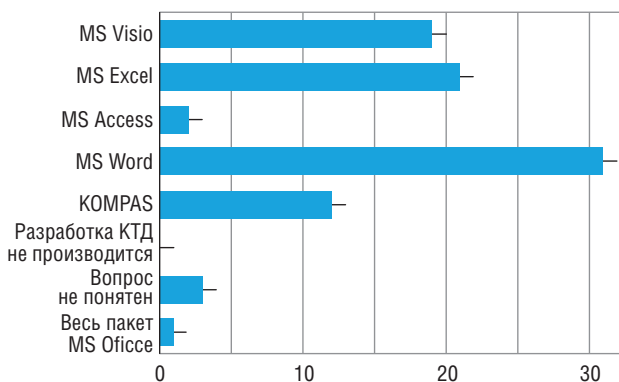


Рис. 2. Программное обеспечение, используемое для разработки КТД

В заключение специалистам структурных подразделений было предложено оценить важность функций и задач, которые оказывают наибольшее влияние на технологическую подготовку производства, по пяти показателям:

- 1) профессиональная компетентность работников (функция 1);
- 2) наличие типовых технологических процессов в электронной форме (функция 2);
- 3) контроль за выполнением технологических процессов в соответствии с комплектом технологической документации (функция 3);
- 4) наличие данных о деталях и узлах вагона (включая чертежи) в электронной форме (функция 4);
- 5) наличие специализированного программного обеспечения для разработки комплекта технологической документации (функция 5).

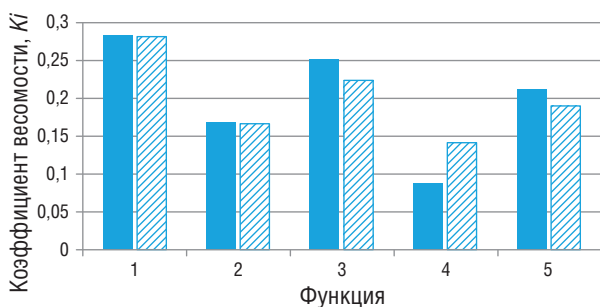


Рис. 3. Диаграмма весомостей функций ТПП:  
 ■ — предприятия дирекции инфраструктуры;  
 ▨ — предприятия Федеральной пассажирской компании

Согласно рис. 3, наибольшую весомость имели функции «Профессиональная компетентность работников» ( $K_i = 0,282$ ) и «Контроль за выполнением технологических процессов в соответствии с комплектом технологической документации» ( $K_i = 0,234$ ). Полученные результаты хорошо согласуются с данными, приведенными в работах [4–6], где к числу важнейших задач ТПП относятся требования, согласующиеся с профессиональной компетентностью работников. Показатель степени согласованности  $\xi = 0,84$ , что свидетельствует о достаточно высокой надежности результатов опроса.

На третье место, с коэффициентом весомости  $K_i = 0,199$ , однозначно была поставлена функция ТПП «Наличие специализированного программного обеспечения для разработки комплекта технологической документации». Однако, как было отмечено ранее, уровень автоматизации при проектировании технологических процессов и их оформлении не соответствует требованиям, и в первую очередь из-за отсутствия специального программного обеспечения.

Представляют интерес результаты опроса относительно функции «Наличие данных о деталях и узлах вагона (включая чертежи) в электронной форме», где мнения специалистов ФПК и структурных подразделений дирекции инфраструктуры имеют существенное расхождение. Коэффициенты весомости этой функции равны 0,141 и 0,088 соответственно. Это объясняется, вероятнее всего, более сложной конструкцией вагона, системой технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов, повышенными требованиями к безопасности движения.

Несмотря на «всеобщую информатизацию» железнодорожного транспорта, степень глубины разработки и детализации многих технологических процессов по-прежнему находится на уровне маршрутного описания, т.е. операции описаны кратко — без детализации и указания режимов обработки, а в некоторых случаях — на уровне технологических инструкций [8, 14].

## Заключение

Основным способом формирования технологической документации на предприятиях, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом вагонов, остается подход, основанный на широком применении типовых технологических процессов, стандартной оснастки и другого технологического оборудования. Такой подход позволяет сократить трудоемкость разработки технологической документации, которая в значительной степени определяет общие сроки подготовки производства нового изделия. Но по-прежнему использование программных продуктов ограничивается процедурами оформления КТД на базе офисного пакета Microsoft и графических программ для подготовки эскизов.



В целом оформление технологической документации соответствует требованиям Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). Однако многие ответственные технологические операции описаны укрупненно, без указания технологических режимов [14]. Оценивая степень готовности персонала, занятого на разработке ТП, к внедрению систем проектирова-

ния ТП более высокого уровня (табл. 1), следует отметить его низкую подготовленность к работе в современных программных комплексах не только для проектирования ТПП, но и даже для оформления КТД. На текущий момент отсутствие тематических курсов повышения квалификации является препятствием внедрению систем автоматизированного проектирования ТПП. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Даниленко Д. В., Намятов А. В., Лапшин В. Ф. Особенности технологии проектирования специализированных грузовых вагонов // *Инновационный транспорт*. — 2013. — № 2. — С. 24–29. — ISSN 2311–164X.
2. Норенков И. П., Кузьмик П. К. Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии). — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 320 с.
3. Судов Е. В., Левин А. И., Петров А. В., Чубарова Е. В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. — М.: Информбюро, 2006. — 232 с.
4. Райков Г. В., Сергеев К. А., Кривич О. Ю., Бомбардиров А. П. Моделирование технологических процессов в повышении эффективности работы вагоноремонтных предприятий // *Транспортное дело России*. — 2019. — № 3. — С. 143–144. — ISSN 2072–8689.
5. Сергеев К. А. Моделирование технологических процессов технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава / К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, О. И. Садыкова, О. И. Мироненко, И. К. Сергеев // *Наука и техника транспорта*. — 2018. — № 3. — С. 24–28. — ISSN 2074–9325.
6. Сергеев К. А. Автоматизированное проектирование технологических процессов ремонтного производства (математическое, информационное и программное обеспечение) / К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, О. И. Садыкова, О. И. Мироненко // *Наука и техника транспорта*. — 2019. — № 2. — С. 11–14. — ISSN 2074–9325.
7. Лапшин В. Ф. Методика построения моделей техпроцессов ремонта кузовов, ходовых частей, автотормозов и автосцепных устройств вагонов / В. Ф. Лапшин, К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, А. А. Петров // *Инновации и инвестиции*. — 2019. — № 6. — С. 211–213. — ISSN 2307–180X.
8. Гундаев И. В., Сергеев К. А. Модели технологических процессов ремонтного производства // *Наука и техника транспорта*. — 2008. — № 1. — С. 79–85. — ISSN 2074–9325.
9. Мироненко О. И. Методика обследования готовности производства вагоноремонтных предприятий / О. И. Мироненко, К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, А. И. Быков // *Наука и техника транспорта*. — 2019. — № 3. — С. 66–70. — ISSN 2074–9325.
10. Орлов А. И. Теория принятия решений. — М.: Издательство «Март», 2004. — 656 с.
11. Зелюкова Е. В., Колясов К. М., Лапшин В. Ф. Оценка весомости свойств противокоррозионных защитных покрытий для грузовых вагонов // *Инновационный транспорт*. — 2019. — № 2. — С. 51–55. — ISSN 2311–164X.
12. Лапшин В. Ф. Прогнозирование прочности и долговечности вагонов для перевозки коррозионно-активных грузов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Уральск. гос. ун-т путей сообщения. — Екатеринбург, 2003. — 408 с.
13. Статистические методы анализа экспертных оценок. — М.: Наука, 1977. — 383 с.
14. Сергеев К. А. Теоретические основы и методы построения системы технической подготовки производства вагоноремонтных предприятий : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / Моск. гос. ун-т путей сообщения. — М., 2005. — 511 с.

Объем статьи: 0,77 авторских листа

УДК 624.21.095.322



**Алексей Николаевич  
Пестряков**  
Alexei N. Pestryakov



**Виктор Вячеславович  
Орлов**  
Viktor V. Orlov

## К расчету сталефибробетонной плиты проезжей части мостового сооружения методом конечных разностей

### Calculation of the steel fiber concrete slab of the roadway of a bridge structure by the finite difference method

#### Аннотация

Статья посвящена вопросам проектирования сталежелезобетонных конструкций пролетного строения моста с использованием дисперсного армирования конструкции. Выведено уравнение, описывающее работу конструкции в нетипичных условиях (воздействие агрессивной среды). Предложено использование программного комплекса Matlab для математического моделирования поведения сталефибробетонной плиты проезжей части моста с учетом воздействия агрессивной среды, что позволит повысить качество проектных работ при использовании новых материалов в строительстве.

**Ключевые слова:** дисперсное армирование, мост, сталефибробетон, плита, воздействие агрессивной среды, математическое моделирование.

#### Abstract

The article is devoted to the design of steel-reinforced concrete structures of the bridge superstructure using dispersed reinforcement of the structure. An equation describing the operation of the structure under atypical conditions (the impact of an aggressive environment) is derived. It is proposed to use the Matlab software package for mathematical modeling of the behavior of the steel-fiber concrete slab of the roadway of the bridge, taking into account the impact of an aggressive environment, which will improve the quality of design work when using new materials in construction.

**Keywords:** dispersed reinforcement, bridge, steel fiber concrete, slab, aggressive environment impact, mathematical modeling.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-51-53

#### Авторы Authors

*Алексей Николаевич Пестряков, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: pestryakof@yandex.ru | Виктор Вячеславович Орлов, доцент кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VOrlov@usurt.ru*

*Viktor Vyacheslavovich Orlov, Associate Professor, «Bridges and transport tunnels» Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: VOrlov@usurt.ru | Alexei Nikolaevich Pestryakov, Associate Professor, «Bridges and transport tunnels» Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: pestryakof@yandex.ru*

В современном мостостроении часто применяют сталежелезобетонные конструкции пролетных строений. Наиболее тяжелые условия эксплуатации приходится в данной конструкции на плиту проезжей части. На нее непосредственно воздействуют нагрузки от движущегося по мосту транспорта. В зонах стыков плит возникают динамические усилия. Кроме того, при эксплуатации дорог и мостов широко используются различные средства борьбы с обледенением, которые крайне негативно влияют на долговечность покрытия.

В последнее время в качестве материала для изготовления плитных конструкций применяется дисперсно-армированный бетон. Он представляет собой композит из бетона и армирующих волокон в виде отдельных стержней, мелкоячеистой сетки, отрезков стальных и синтетических волокон — фибр. Дисперсное армирование существенно улучшает сопротивляемость бетона образованию и раскрытию трещин [1, 2]. За 20–30 последних лет проведен ряд исследований прочностных и деформативных свойств бетона с наполнителем из стальной фибры (сталефибробетона). Также проводились исследования трещиностойкости фибробетонных конструкций.

Сталефибробетонные плиты с высокой трещиностойкостью и ударной прочностью по сравнению с широко применяемыми железобетонными конструкциями обеспечивают лучшее перераспределение усилий. Кроме этого, исследователями отмечается снижение истираемости и, следовательно, увеличение срока службы сталефибробетонных конструкций по сравнению с традиционными железобетонными. Особенно заметно преимущество применения фибробетона для тонкостенных конструкций, что отмечается рядом исследователей [3, 4, 5].

Однако в настоящее время нет достаточных данных о поведении фибробетона в условиях плоского напряженного состояния, тем более с учетом воздействия на него агрессивной среды. Как следствие — затруднен анализ поведения фибробетонных плит в качестве плит проезжей части мостовых сооружений.

Рассмотрим модель деформирования пластины из фибробетона.

Физические соотношения, описывающие поведение бесконечно малого элемента в условиях плоского напряженного состояния, принимаем в виде:

$$\sigma_x^{\text{фб}} = \frac{\psi_j(C)}{1-\nu_j^2} (e_x + \nu_j(C)e_y); \quad \sigma_y^{\text{фб}} = \frac{\psi_j(C)}{1-\nu_j^2} (e_y + \nu_j(C)e_x);$$

$$\tau_{xy}^{\text{фб}} = \frac{\psi_j(C)}{2(1+\nu_j(C))} e_{xy}; \quad (1)$$

где  $\sigma_x^{\text{фб}}, \sigma_y^{\text{фб}}, \tau_{xy}^{\text{фб}}$  — компоненты тензора напряжений,  $e_x, e_y, e_{xy}$  — компоненты тензора деформаций, определяемые по формулам:

$$e_x = \varepsilon_x + \chi_x z; \quad e_y = \varepsilon_y + \chi_y z; \quad e_{xy} = \varepsilon_{xy} + 2\chi_{xy} z; \quad (2)$$

где  $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ ;  $\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$ ;  $\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$  — деформации

точки срединной поверхности;  $z$  — координата рассматриваемой точки (отсчитывая от срединной плоскости);  $u, v, w$  — перемещения в направлении осей  $x, y, z$  соответственно;  $\chi_x, \chi_y, \chi_{xy}$  — кривизны в точке срединной поверхности, определяемые формулами:

$$\chi_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \chi_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \quad (3)$$

В выражениях (1)  $C$  — концентрация агрессивной среды в точке фибробетона,  $\psi_j(C), \nu_j(C)$  — функции, учитывающие влияние агрессивной среды на механические характеристики фибробетона. Функции  $\psi_j(C)$  определяются следующими выражениями:

$$\psi_{xj} = \frac{\varphi_{xj}(e_u, C)}{e_u}; \quad \psi_{yj} = \frac{\varphi_{yj}(e_u, C)}{e_u}. \quad (4)$$

В этих выражениях  $\varphi_{xi}, \varphi_{yj}$  — функции, аппроксимирующие обобщенную кривую деформирования фибробетона и зависящие не только от интенсивности деформаций, но и от концентрации агрессивной среды  $C$ .

Конкретная форма влияния агрессивной среды учитывается при выборе зависимости, аппроксимирующей обобщенную кривую деформирования.

В данной работе используется следующая зависимость:

$$\psi_j(\varepsilon_{ij}, C) = A_j(C) - B_j(C)\varepsilon_{ij}^2, \quad (j = 1, 2), \quad (5)$$

где  $A_j(C), B_j(C)$  — коэффициенты, учитывающие влияние агрессивной среды.

Под влиянием агрессивной среды вид функции, аппроксимирующей диаграмму деформирования, не изменяется, а изменяются только значения коэффициентов, которые становятся функциями концентрации агрессивной среды [6].

В частном случае можно принять, что эти коэффициенты являются линейными функциями концентрации:

$$A_j = A_{j0} - k_{ja} \frac{C(x, y, z, t)}{C_\infty}, \quad B_j = B_{j0} - k_{jb} \frac{C(x, y, z, t)}{C_\infty}, \quad (6)$$

где  $A_{j0}, B_{j0}$  — коэффициенты, соответствующие деформированию фибробетона в исходном состоянии (при отсутствии агрессивной среды), при растяжении ( $j = 1$ ) или сжатии ( $j = 2$ ),  $k_{ja}, k_{jb}$  — коэффициенты, учитывающие влияние агрессивной среды на механические свойства материала,  $C(x, y, z, t)$  — концентрация среды

в точке образца с координатами  $x, y, z$  в момент времени  $t$ ;  $C_\infty$  — предельная (равновесная) концентрация агрессивной среды.

Разрешающее дифференциальное уравнение фибробетонной пластины с учетом воздействия агрессивной среды имеет вид:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( D_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( D_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left( D_3 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left( D_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left( D_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = p(x, y), \quad (7)$$

где  $p(x, y)$  — интенсивность нагрузки,  $D_{1-3}$  — жесткости, определяемые следующими выражениями:

$$\begin{aligned} D_1 &= f_1 J_1^{\text{Фб}} + f_2 J_1^{\text{Фб}} + J_2^{\text{Фб}}, \\ D_2 &= f_2 J_1^{\text{Фб}} + f_1 J_1^{\text{Фб}} + J_2^{\text{Фб}}, \\ D_3 &= 2T_2^{\text{Фб}} - 2 \frac{(T_1^{\text{Фб}})^2}{T_0^{\text{Фб}}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $f_1 = \frac{J_0^{\text{Фб}} J_1^{\text{Фб}} - J_0^{\text{Фб}} J_1^{\text{Фб}}}{(J_0^{\text{Фб}})^2 - (J_0^{\text{Фб}})^2}$ ,  $f_2 = \frac{J_0^{\text{Фб}} J_1^{\text{Фб}} - J_0^{\text{Фб}} J_1^{\text{Фб}}}{(J_0^{\text{Фб}})^2 - (J_0^{\text{Фб}})^2}$ ,

$$\begin{aligned} J_k^{\text{Фб}} &= \int_{-h/2}^{z_0} \alpha_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{h/2} \alpha_j z^k \partial z, \\ I_k^{\text{Фб}} &= \int_{-h/2}^{z_0} \alpha_j \nu_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{h/2} \alpha_j \nu_j z^k \partial z, \end{aligned} \quad (9)$$

$$T_k^{\text{Фб}} = \int_{-h/2}^{z_0} \beta_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{h/2} \beta_j z^k \partial z, \quad (k = 0, 1, 2),$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_j &= \frac{\Psi_j}{1 - \nu_j^2}, \quad \alpha_i = \frac{\Psi_j}{1 - \nu_j^2}, \\ \beta_j &= \frac{\Psi_j}{2(1 + \nu_j)}, \quad \beta_i = \frac{\Psi_j}{2(1 + \nu_j)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Решение нелинейного дифференциального уравнения 4-го порядка в частных производных выполняется с использованием специального алгоритма, причем для решения краевой задачи используется метод сеток [7].

Весь объем пластинки покрывается трехмерной прямоугольной сеткой узлов в количестве  $M + 1$  в направлении оси  $Ox$ ,  $N + 1$  — в направлении  $Oy$ ,  $K + 1$  — в направлении  $Oz$ . Для возможности применения симметричных разностных операторов для граничных точек пластинки добавляется еще по одному ряду внешних по отношению к пластинке узлов вдоль направлений  $Ox$  и  $Oy$ . Некоторое увеличение числа узлов при этом компенсируется уменьшением погрешности расчета в несколько раз.

В расчете принимается, что нагрузка, действующая на пластину, приложена не равномерно по всей поверхности пластины, а полосой шириной 20 см. Тем самым моделируется воздействие нагрузки от проходящего транспорта. Для данного расчета с помощью программного комплекса, реализованного в среде Matlab, получен ряд характеристик напряженно-деформированного состояния пластины, работающей в условиях плоского напряженного состояния, с учетом воздействия агрессивной среды.

Таким образом, в данной работе предложено математическое моделирование поведения фибробетонной плиты проезжей части моста с учетом воздействия агрессивной среды, что позволит повысить качество проектных работ при использовании новых материалов в строительстве. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Талантова К. В. Эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций для дорожного строительства // Бетон и железобетон. — 2002. — № 3. — С. 6–8. — ISSN 0005–9889.
2. Антропова Е. А., Егорушкин Ю. М., Мелконян А. С. Расчетно-экспериментальная модель работы плиты пролетного строения из модифицированного сталефибробетона // Транспортное строительство. — 2001. — № 8. — С. 9–10. — ISSN 0131–4300.
3. Гулимова Е. В. Особенности структуры порового пространства сталефибробетона // Производство строительных изделий и конструкций : Межвуз. темат. сб. тр. — Л. : ЛИСИ, 1979. — С. 12–21.
4. Ефремова В. М. Влияние диаметра фибровой арматуры на ее коррозионную стойкость // Исследование тонкостенных пространственных конструкций и технология их изготовления. — Л. : ЛенЗНИИЭП, 1980. — С. 112–117.
5. Полякова Л. Г. Влияние плоского напряженного состояния на раскрытие трещин и деформации в дисперсно-армированном бетоне // Экспериментальные исследования инженерных сооружений : тезисы докладов. — Новополюк, 1986. — С. 47.
6. Овчинникова А. И. Механика поврежденных армированных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.17 / Овчинникова Алена Игоревна. — Волгоград, 2004. — 330 с.
7. Влияние хлоридсодержащих сред на прочность и долговечность пластин на упругом основании / И. Г. Овчинников, А. В. Кривцов, Ю. П. Скачков. — Пенза, 2002. — 214 с. — ISBN 5–9282–0086–2.

Объем статьи: 0,21 авторских листа





**Алексей Васильевич  
Завадич**  
Alexey V. Zavadich



**Александр Васильевич  
Смолянинов**  
Alexander V. Smolyaninov

## Конструкции полувагонов 1937–1941 гг. и их модернизация

### Gondola car designs 1937–1941 and their modernization

(Статья публикуется в авторской редакции)

#### Аннотация

Авторы статьи продолжают публикацию материалов о разработке и проектировании конструкций полувагонов на Уральском вагоностроительном заводе. Статья посвящена разработке Уральским конструкторским бюро в 1937 г. полувагона и его последующей модернизации. Рассмотрены элементы конструкции полувагона, отличные от предыдущей модели: габарит, тележка, автосцепка и тормоза, крышка люка, параметры полувагона и др. Приведены результаты работы Межведомственной комиссии. Рассмотрены новые конструктивные исполнения: соединение буферного бруса и связь балок с нижним поясом, составные элементы сечения хребтовой балки и сечение угловой стойки и др.

**Ключевые слова:** Уралвагонзавод, полувагон, проектирование, технические характеристики, Межведомственная комиссия, унифицированная гондола.

#### Abstract

The authors of the article continue to publish materials on the development and design of gondola structures at the Ural car building plant. The article is devoted to the development of a gondola car by the Ural design Bureau in 1937 and its subsequent modernization. The design elements of the gondola car that differ from the previous model are considered: size, trolley, automatic coupling and brakes, manhole cover, parameters of the gondola car, etc. The results of the work of the Interdepartmental Commission are presented. A new design is considered: coupling buffer beam and the connection of the beams with the lower belt, the constituent elements of the cross section of a center girder and corner posts, etc.

**Keywords:** Uralvagonzavod, gondola, design, technical characteristics, Interdepartmental Commission, unified gondola.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-54-60

#### Авторы Authors

**Алексей Васильевич Завадич**, с 1937 по 1987 г. инженер-конструктор бюро проектирования кузовов полувагонов Уральского конструкторского бюро вагоностроения (УКБВ) | **Александр Васильевич Смолянинов**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: asmolyaninov@inbox.ru

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

Работой [1] авторы начали публикацию материалов о разработке и проектировании конструкций полувагонов на флагмане отечественного вагоностроения — Уральском вагоностроительном заводе (1931–1936 гг.).

Следующим этапом стал проект четырехосной гондолы (полувагона) грузоподъемностью 60 т в габарите «О» [2]. В отличие от полувагона 1936 г. [1] данный полувагон имеет следующие особенности:

1. Габарит «О» (ширина габарита 3150 мм вместо 3250 мм).

2. Тележка двухосная, литая, сочлененная, связевая, колеса чугунные с отбеленным ободом диаметром 900 мм (колеса Гриффина<sup>1</sup>). Амортизатор: пружинно-рессорный комплект. Трение в комплекте гасителя колебаний обеспечивает рессора.

3. Автосцепка СА-3 с ухом, усиленная в период с 1939 по 1941 г. (до 1939 г. автосцепка ИРТ-3 с ухом). Головка автосцепки имеет ухо для набрасывания звена винтовой стяжки при маневрах. Соединение вагонов с автосцепкой и винтовой стяжкой производится с помощью двухзвенной цепи, которая присутствует как запасная часть на локомотиве. Кулачок двухзвенной цепи вставляется в зев головки автосцепки, а звено набрасывается на крюк винтовой стяжки соседнего вагона.

4. Крышка люка, штампованная из листа 6 мм, имеет 6 гофров жесткости и отштампованную заодно переднюю и заднюю отбортовку. Рабочая длина крышки — 1385 мм вместо 1435 мм. Кронштейны закидки приварные из уголка 75×75×12 мм, в месте заделки усилены планкой толщиной 8 мм.

5. Полувагон оборудован буферами, автоматическим тормозом Матросова [4], торцевыми и боковыми дверьми.

6. Зазор по контуру крышек люков принят 0–8 мм, а зазор между крышкой люка и нижним поясом фермы — 2–8 мм.

7. Перекрытие верхних листов поперечных балок крышкой люка 20 мм.

8. Во всех элементах полувагона прерывистая сварка заменена сплошной (с 1939 г.).

9. Планки прямоугольной формы, соединяющие верхние листы поперечных балок рамы с горизонтальной полкой нижнего пояса фермы, заменены ромбическими планками (с 1938 г.).

10. Петли люка гнутые из полосы и ковкие вместо приварных.

11. В шкворневом узле в хребтовой балке угольник под подпятник 100×100×12 мм заменен на угольник 90×90×12 мм (с 1939 г.).

12. Штампованный скользящий упор люка заменен на литой. В одной отливке совмещены скользящий упор люка.

13. Пятник облегченный с 1939 г. заменен усиленным, весом в 90 кг.

14. С 1940 г. приварной упор люка на передней балке заменен на литой приклепываемый.

15. Державки петель на хребтовой балке приняты из уголка 60×60×8 мм с приварной шайбой в месте отверстия диаметром 27 мм.

16. Концевой раскос принят из уголка 75×75×8 мм вместо уголка 60×60×8 мм.

17. Промежуточный раскос вместо полосы 8×140 мм без гофра принят из полосы 8×140 мм с гофром по длине.

18. Средний раскос принят из полосы 6×140 мм с гофром по длине полосы вместо изготовления из полосы 8×100 мм без гофра.

19. Верхний пояс боковой стены принят из швеллера № 14 (140×60×80 мм) вместо швеллера № 12 (с 1939 г.).

20. Косынки верхних узлов боковой стены высотой 100×150 мм заменены косынками высотой 300 мм и толщиной 8 мм.

21. Стойка шкворневая из двух зетов заменена на стойку шкворневую штампованную из листа толщиной 7 мм с подштамповкой внизу для обхода вертикально листа фермы.

22. Взамен сварной промежуточной стойки из трех частей предусмотрен вариант штампованной промежуточной стойки из листа толщиной 6 мм, по сечению аналогичной шкворневой.

23. Автосцепка СА-3 с ухом, усиленная в 1939–45 гг. (вместо автосцепки ИРТ-3).

24. Высота от головки рельс до оси автосцепки 1017 мм.

В табл. 1 приведены технические характеристики четырехосного полувагона грузоподъемностью 60 т с деревянной обшивкой кузова. Полувагон выпускался серийно в период с 1937 по 1941 г. В 1940 г. полувагон был модернизирован.

### Унифицированная четырехосная гондола грузоподъемностью 60 т (1939–1940 гг.)

Унификация грузовых вагонов — четырехосных гондол, четырехосных платформ и четырехосных крытых вагонов — проводилась на Уралвагонзаводе в 1939 г. согласно приказу Главтрансмаша № 192 от 07.05.1939 г.

Проекты унифицированных — стандартных грузовых вагонов, в том числе и четырехосных гондол, рассматривались совещанием Межведомственной комиссии, назначенной приказом № 575/А-629-459 от 16.10.1939 г. НКПС, НКСМ и НКТМ по рассмотрению проектов унифицированных — стандартных типов товарных вагонов<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Технология производства литых чугунных колес фирмы Гриффина, купленная в США и внедренная на Уралвагонзаводе [3].

<sup>2</sup>Главтрансмаш — Главное управление транспортного машиностроения.

НКПС — Народный комиссариат путей сообщения.

НКСМ — Народный комиссариат среднего машиностроения.

НКТМ — Народный комиссариат транспортного машиностроения.

**Технические характеристики четырехосного полувагона  
грузоподъемностью 60 т с деревянной обшивкой кузова**

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Величина показателя
1	Габарит	—	0
2	Грузоподъемность	т	60
3	Тара	т	22,0
4	Объем кузова	м <sup>3</sup>	64,7
5	Площадь пола	м <sup>2</sup>	34,15
6	Длина по осям автосцепки	мм	13920
7	Длина рамы	мм	12700
8	База полувагона	мм	8650
9	Длина консоли	мм	2025
10	Длина кузова внутри: по верхним планкам угловой стойки / по верхним поясам дверей	мм	12004/12066
11	Ширина кузова по стойкам	мм	3130
12	Ширина кузова внутри	мм	2850
13	Ширина рамы	мм	2930
14	Ширина в свету по верхнему поясу	мм	2820
15	Высота от головки рельс до верхнего пояса	мм	3270
16	Высота от головки рельс до пола	мм	1369
17	Размер рабочей части крышки люка	мм	1385×1590
18	Высота боковой стены	мм	1880
19	Коэффициент тары		0,367
20	Нагрузка от колесной пары на рельс	т	20,5
21	Погонная нагрузка (на 1 пог. м пути)	т/м	5,9
22	Расчетная скорость движения	км/ч	80
23	Тележка двухосная, литая, сочлененная, связевая		
	База тележки	мм	1800
	Диаметр колес (литые чугунные)	мм	900

Унифицированная конструкция полувагона, у которой проведена модернизация на перспективу, названа стандартной. Проекты унифицированных — стандартных конструкций были согласованы и утверждены вышеуказанными наркоматами для производства унифицированных грузовых вагонов на всех заводах, изготавливающих их по единым унифицированным чертежам<sup>3</sup>.

В результате унификации четырехосных полувагонов и модернизации по замечаниям Межведомственной комиссии 1939 г. и Сопровождающей комиссии ЦВ НКПС и Главтрансмаша по пересмотру чертежей в ЦВ НКПС от 20/8–13/9 1938 г. имеем:

- сокращение деталей на полувагон — 390 шт.;
- снижение веса — 142 кг;
- уменьшение длины швов в метрах (в переводе на катет 6 мм) — 464 м;
- экономию в весе наплавленного металла (при удельном весе 7,6 т/м<sup>3</sup>) — 64,24 кг.

Экономический эффект был получен за счет снижения:

- технического расхода металла;
- веса конструкции;
- веса наплавленного металла;
- количества профилей металлопроката;
- типоразмеров метизов;
- количества деталей.

Достигнутые результаты были получены за счет применения крупногабаритных штамповок, цельнокованых узлов, литых деталей вместо сварных конструкций из отдельных деталей.

Модернизация, проведенная в процессе унификации, позволила значительно увеличить прочность и надежность полувагонов за счет:

- а) усиления надпятникового места:
  - усиленный пятник весом 90–95 кг;
  - надпятниковая отливка, вместо двух диафрагм 16 мм и двух уголков 150×100×18 мм, крепящаяся заклепками, и облегченный пятник;
- б) усиления кронштейнов автосцепки путем:
  - введения объединенных между собой задних кронштейнов автосцепки вместо одинарных на каждую стенку хребтовой балки;
  - введения объединенной в одно целое стальной отливки розетки автосцепки с передними упорными кронштейнами автосцепки вместо раздельных на каждую стенку передних кронштейнов и отдельной розетки.

В разработке проекта унифицированной и стандартной конструкции четырехосной гондолы участвовали представители Крюковского и имени газеты «Правда» вагоностроительных заводов<sup>4</sup>, с которыми проект был согласован в части технологии изготовления. По ряду профилей металла, метизов и деталей гондола подъемной силы (п.с.) 60 т (полувагон) унифицирована платформой и крытым товарным вагоном п.с. 50 т.

Под унифицированный полувагон подкатываются стальные литые сочлененные двухосные тележки с комбинированным рессорно-пружинным подвешиванием. Для Уралвагонзавода допускается подкатка под четырехосные гондолы, четырехосные платформы и четырехосные крытые товарные вагоны чугунных колес Гриффина (с отбеленным ободом) по ОСТ/ВКС 7886 и ТУ НКПС диаметром 900 мм по кругу катания, ширина колеи 1524 мм.

С 1937 г. унифицированный полувагон оборудовался тормозом системы Матросова и воздухораспределителем серии «М» товарного типа с камерой облегченного отпуска. Тормозной цилиндр диаметром 14 дюймов. Тормозная воздушная магистраль диаметром 1 дюйм. Запасной воздушный резервуар объемом 55 л.

Межведомственная комиссия по унификации решила:

1. Томасовский металл для вагоностроения не применять.

2. Для ответственных деталей, имеющих напряжение выше 75 % допускаемого, заказывать металл по группе А с проверкой на фосфор, серу по нормам группы В ГОСТ 380–41, мартеновский или из электропечей. (Группа А — проверка на механические свойства, содержание углерода не более 0,23 %).

3. Для деталей, имеющих по расчету напряжение меньше 75 % допускаемого, можно заказывать металл по группе В ОСТ 8897 (проверка на химсостав).

4. Для деталей, имеющих по расчету напряжение меньше 75 % допускаемого и не подвергающихся ударной нагрузке, допускается применять металл бессемеровского способа производства.

5. На новых товарных вагонах масленок и маслопроводов для смазки пятника не ставить, а вместо них при выпуске вагона с завода, при подготовке вагона под погрузку и всяком виде ремонта между пятником рамы и подпятником закладывать твердую смазку с графитом, жидкую смазку или смазку типа «Солидол».

6. Прерывистую сварку основных узлов заменить сплошной, катетом 6 мм (Δ6).

В предложенный проект четырехосного унифицированного полувагона-гондолы Межведомственная комиссия предложила внести следующие добавления и изменения, после внесения которых комиссия сочла возможным принять предложенную конструкцию в качестве стандартного полувагона-гондолы.

*По расчету на прочность:*

1. Расчет на прочность произвести одним из методов расчета статически неопределимых систем.

2. Произвести расчет сварных швов по основным узлам гондолы.

<sup>3</sup>Чертежи перед номером имеют буквы: «У» — детали, «УС» — сборочные.

<sup>4</sup>ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» (г. Кременчуг, Украина); ПАО «Днепровагонмаш» (Каменское, Украина).



По буферному брусу (черт. УС-544):

1. Поставить объединенную отливку (черт. У-4099) розетки автосцепки вместе с передними упорными кронштейнами.
2. Нижний лист буферной балки делать неразрезным, с отбуртовкой и вырезом для прохода хвостовика автосцепки.
3. Угольник, усиливающий вырез нижнего листа, ставить унифицированной длины 480 мм.
4. Верхний лист делать штампованным в одно целое с вертикальным, в котором делается вырез для прохода хвостовика автосцепки.
5. Регулирующий угольник хребтовой балки и верхние ребра на конце горбылей не ставить.
6. Планки под буферный стакан приваривать кругом сплошным швом сечением  $\Delta 6$ .
7. Приварку верхнего порога производить сплошным швом  $\Delta 6$ .
8. Большой кронштейн расцепного рычага автосцепки ставить на два болта вместо трех.
9. Свободные симметричные отверстия для крепления тормозной трубы после сборки на раме заварить.
10. Квадратные отверстия на лобовом листе для заведения цепей заменить круглыми, диаметром 37 мм.

Узел соединения буферного бруса с боковой фермой (черт. УС-51428)

1. Соединение буферного бруса с нижним поясом боковой фермы производится при помощи штампованной коробки, которая делается без вырезных углов (рис. 1).
2. Угловая стойка и контрофорс цельноштампованные по черт. У-5188.

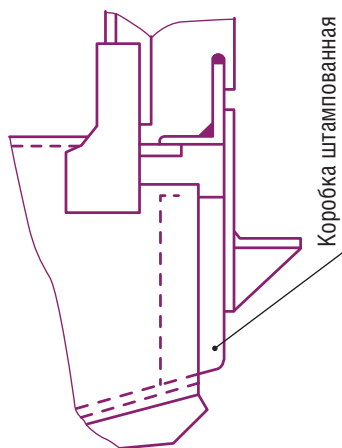


Рис. 1. Соединение буферного бруса и нижнего пояса

Шкворневая балка

1. Поставить надпятниковую отливку (черт. У-5035) и облегченный пятник. Крепление отливки к боковым стенкам хребтовой балки производить заклепками в шахматном порядке. Длина отливки 600 мм.

2. Скользун литой, стальной, объединенный в одно целое с упорами для крышки люка, крепится на 4 заклепки к нижнему листу шкворневой балки (рис. 2).

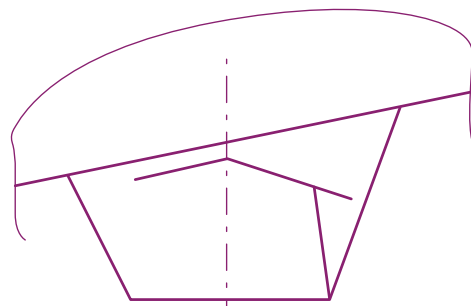


Рис. 2. Скользун унифицированного полувагона 1939 г.

3. Нижний лист шкворневой балки в средней части шириной 420 мм вместо 300, т.е. пятник можно устанавливать на нижний лист без прокладки.
4. Пятник облегченной конструкции ставить на 8 заклепках. Разбивка отверстий объединена для всех грузовых вагонов УВЗ.
5. Планки, связывающие верхние листы шкворневой и поперечных балок с нижним поясом фермы, сделаны ромбической формы для удобства их приварки (рис. 3).

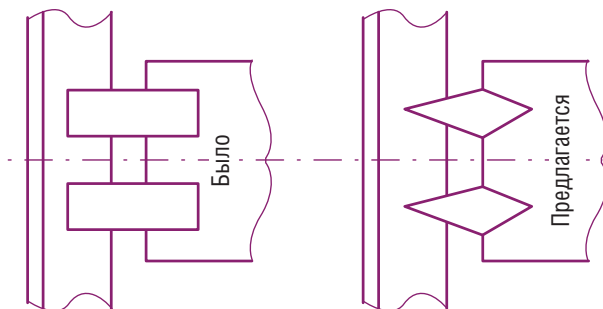


Рис. 3. Связь балок с нижним поясом фермы

6. Ребра, связывающие вертикальные листы шкворневых и поперечных балок с горбылем и тавром хребтовой балки, должны иметь конфигурацию, охватывающую горбыль (корыто) и вписывающуюся в верхний таврик хребтовой балки. Толщина ребер 8 мм.
7. Швы, соединяющие нижний лист шкворневой балки с угольником хребтовой балки, идущие поперек угольника, не ставить, а идущие вдоль уголка — не доводить по концам на 20 мм.

Средняя и промежуточная балки

1. Соединение нижнего листа балок с угольниками вертикальных листов делать с нахлесткой конца угольника под лист нижней поперечной балки.
2. Вертикальные листы и нижние угольники приваривать к средним и промежуточным стойкам впристык — в тавр (рис. 4).

3. В связи с тем, что упоры для крышек люков в эксплуатации повреждаются и требуют ремонта, крепление упоров на всех балках рамы делать на заклепках (крепление упоров к поперечным балкам заклепками не производилось).

4. Упоры люков на поперечных балках рамы делать, согласно черт. УС-61441, УС-61440, штампованными из двух половинок, соединенными по гофру заклепкой.

5. Расположение упоров на балке делать по направлению действия силы падающей крышки люка.

6. Швы, соединяющие нижние листы с хребтовой балкой и расположенные внутри балки, не ставить.

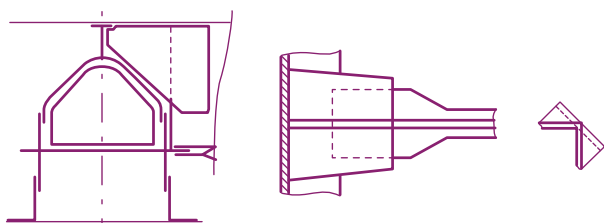


Рис. 4. К технологии производства сварки

### Хребтовая балка (черт. УС-538)

1. Хребтовую балку изготовлять из:

- двух угольников специального профиля (рис. 5);
- верхнего горбыля специального профиля (черт. ГЛ-35);
- тавра  $75 \times 75 \times 8$  мм.

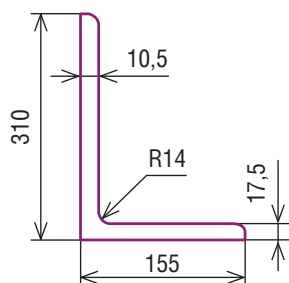


Рис. 5. Профиль угольника для хребтовой балки

Элементы по длине делаются неразрезными.

До получения специального проката угольника и горбыля разрешена хребтовая балка существующего типа с заменой уголка  $130 \times 90 \times 12$  мм на уголок  $150 \times 100 \times 12$  мм. Данная хребтовая балка изготовлялась с 1947 до 1948 г. Профили хребтовой балки по пункту 1 не заказывались, и хребтовая балка не изготавливалась (рис. 6).

2. Объединенная отливка задних упорных кронштейнов автосцепки выполнена по черт. У-4130, где задняя перемычка сделана в виде коробки. Число заклепок увеличено с 24 до 30.

3. Ввиду того, что в эксплуатации приварные петли на крышках люка в значительном количестве отваливаются, а приварные петли на горбыле хребтовой балки,

помимо отрыва, вызывают появление трещин на горбыле — ввиду концентрации швов, Межведомственная комиссия предложила соединение петель — как с крышкой люка, так и державок петель с горбылем хребтовой балки — делать на заклепках.

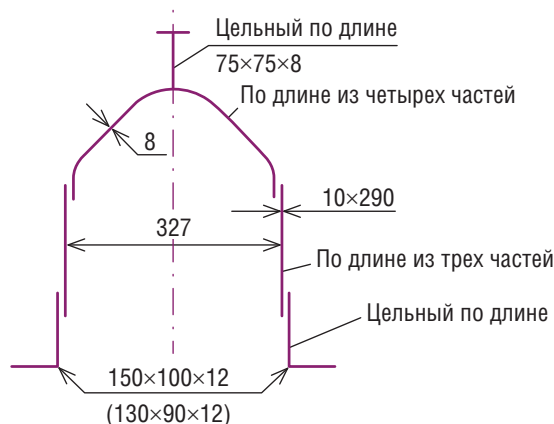


Рис. 6. Элементы хребтовой балки

### Боковая ферма (черт. УС-547)

1. Средние и промежуточные стойки делать из специального двутаврового профиля, рельсообразного, разработанного Уралвагонзаводом. Профиль стойки черт. ГЛ-36 отклонить ввиду неудобства крепления к нему коротких досок.

2. Поставить пять ступенек лестницы, подножки расположить по диагонали со стороны расцепного рычага автосцепки.

3. Угловую стойку ставить цельноштампованную по черт. У-5188 (рис. 7).

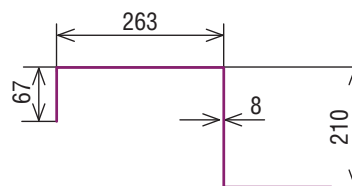


Рис. 7. Сечение угловой стойки

4. Вертикальный лист фермы ставить цельноштампованным.

5. Косынки крепления всех раскосов к верхнему поясу делать со срезом ребра от раскоса так, чтобы на раскосе лежала только плоская часть косынки. Высота косынки 340 мм вместо 300. Углы косынок на раскосе закруглить; швы, соединяющие косынку с раскосом, не доводить до концов на 15–20 мм.

6. Верхнюю обвязку боковой фермы делать из специального углобульбового профиля по черт. ГЛ-49. Углобульбовый профиль не изготовлялся, заменен швеллером № 14В ( $140 \times 60 \times 8$  мм), который применялся серийно (рис. 8, а).

7. Скобы для подтягивания крышек люков делать из круглого железа, дающего экономию в весе металла (рис. 8, б).

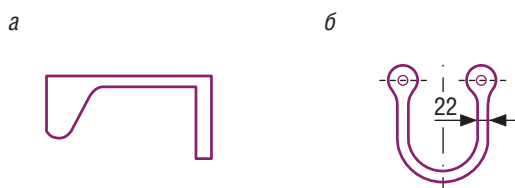


Рис. 8. Элементы боковой фермы:  
а — углобульбовый профиль; б — скоба

8. Соединение угловой стойки с верхней обвязкой произвести с помощью штампованной коробки без вырезки ее в углу.

9. Державка увязочного кольца принимается толщиной 20 мм и приваривается по всему периметру.

10. Болты для крепления обшивы делать двух размеров по длине 60 и 65 мм при диаметре 1/2 дюйма.

### Боковая дверь (черт. УС-6550 и УС-6559)

1. Все прерывистые швы заменить на сплошные.
2. Доски левой двери должны перекрывать стык дверей и заходить на правую дверь.
3. Перекрытие боковых дверей оставлено по-старому, т.е. с приварной планкой.
4. Запор боковых дверей оставлен без изменения.

### Боковая дверь (черт. УС-6644)

1. Конструкции дверей и запора оставлены без изменения.
2. На валик крюка верхнего запора поставлена шайба.

### Средняя и крайняя крышка люка

1. Крышка люка (полотно) штампованная, шестигофрированная, толщиной 6 мм.
2. Боковые угольники 75×75×10 мм соединены передней отбортовкой.
3. Вертикальную кромку угольника приварить к отбортовке крышки без зазора, для чего в вертикальной полке сделать скос угла.

### Расположение надписей и знаков (черт. УС-526)

1. Объем вагона не ставить.
2. Трафарет габаритности «Г-0» ставить на консольной части угольника фермы, а номер вагона на листе справа.

### Планка фрикционного аппарата

1. Приварку направляющих хомута снять.

Унифицированные полувагоны серийно начали изготавливаться с 1947 г., причем чертежи были переведены на новую нумерацию. Четырехосному полувагону-гондole грузоподъемностью 60 т с деревянной обшивкой был дан номер объекта «37». **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Завадич А. В., Смольянинов А. В. Из истории создания конструкций полувагонов // Инновационный транспорт. — Екатеринбург, 2019. — № 4 (34). — С. 43–51. — ISSN 2311–164X.
2. Полувагон. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Полувагон>.
3. Устьянцев С. В., Першхайло Н. В. Эра Лоренцо. Опыт успешной адаптации иностранных конструкций и технологий транспортного машиностроения. — Нижний Тагил : ОАО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод» имени Ф. Э. Дзержинского», 2012. — 196 с.
4. Крылов В. И., Крылов В. В. Автоматические тормоза подвижного состава : учебник для учащихся техникумов ж.-д. трансп. — Изд. 4-е, перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1983. — 360 с.
5. Шадур Л. А. Развитие отечественного вагонного парка. — М. : Транспорт, 1988. — 279 с.

Объем статьи: 0,68 авторских листа



**Александр  
Алексеевич  
Бакланов**

**Alexander A.  
Baklanov**



**Кирилл  
Иванович  
Доманов**

**Kirill I.  
Domanov**



**Николай  
Васильевич  
Есин**

**Nikolay V.  
Esin**



**Станислав  
Геннадьевич  
Истомин**

**Stanislav G.  
Istomin**



**Андрей  
Петрович  
Шиляков**

**Andrey P.  
Shilyakov**



**Андрей  
Петрович  
Шатохин**

**Andrey P.  
Shatokhin**

## Классификация факторов, влияющих на расход электроэнергии электроподвижным составом

### Classification of factors affecting the power consumption of electric rolling stock

#### Аннотация

Сформулированы принципы и критерии классификации факторов, влияющих на расход электроэнергии поезда с электровозом. На основе анализа энергетического баланса рассмотрены взаимопревращения различных видов энергии и характеризующие их энергетические диаграммы в различных режимах движения поезда. Проведенный анализ позволил выявить факторы, действующие на расход электроэнергии поезда во всех режимах движения, и оценить их по различным критериям. Предложена классификация факторов, влияющих на расход электроэнергии поезда, позволяющая обосновать правильную методику учета каждого фактора, а также разрабатывать мероприятия по уменьшению влияния отдельных факторов на энергозатраты поезда.

**Ключевые слова:** электровоз, поезд, режимы движения, электроэнергия, энергетический баланс, классификация факторов.

#### Abstract

The principles and criteria for classifying factors that affect the power consumption of a train with an electric locomotive are formulated. Based on the analysis of the energy balance, the interconversions of various types of energy and the energy diagrams that characterize them in different modes of train movement are considered. The analysis made it possible to identify the factors that affect the power consumption of the train in all modes of movement, and evaluate them according to various criteria. A classification of factors affecting the train power consumption is proposed, which allows us to justify the correct method of accounting for each factor, as well as to develop measures to reduce the influence of individual factors on the train energy consumption.

**Keywords:** electric locomotive, train, driving modes, electricity, energy balance, classification of factors.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-61-66

#### Авторы Authors

**Александр Алексеевич Бакланов**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск; e-mail: aleksbakl@mail.ru | **Кирилл Иванович Доманов**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск; e-mail: domanov35@gmail.com | **Николай Васильевич Есин**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск; e-mail: nikve@mail.ru | **Станислав Геннадьевич Истомин**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск; e-mail: istomin\_sg@mail.ru | **Андрей Петрович Шиляков**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск; e-mail: doc135@mail.ru | **Андрей Петрович Шатохин**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск; e-mail: shatokhin\_ap@mail.ru

**Alexander Alexeevich Baklanov**, PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, e-mail: aleksbakl@mail.ru | **Kirill Ivanovich Domanov**, PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, e-mail: domanov35@gmail.com | **Nikolay Vasilievich Esin**, PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, e-mail: nikve@mail.ru | **Stanislav Gennadyevich Istomin**, PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, e-mail: istomin\_sg@mail.ru | **Andrey Petrovich Shilyakov**, PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, e-mail: doc135@mail.ru | **Andrey Petrovich Shatokhin**, PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, e-mail: shatokhin\_ap@mail.ru



Одной из важнейших задач, определяемых стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г., является повышение энергетической эффективности электрической тяги поездов. Для успешного решения этой задачи необходимо правильно понимать, какие факторы и в какой степени влияют на энергозатраты поездов.

Количественная сторона взаимопревращения разных видов энергии в процессе движения электровоза с поездом определяется различными факторами. Для выявления действующих факторов и установления степени влияния каждого из них на отдельные составляющие и расход электроэнергии в целом все факторы целесообразно классифицировать. Классификация факторов позволяет глубже и полнее познать их сущность, взаимосвязи и влияние, как в отдельности, так и в совокупности, на расход энергии, обосновать правильную методику учета каждого из них. Она помогает также разрабатывать мероприятия по уменьшению влияния отдельных факторов на расход энергии.

Существуют разные подходы к классификации и оценке факторов, влияющих на расход электроэнергии поезда [1–10]. Так, в работах [1–3] используется подход, основанный на практическом опыте авторов. Для классификации и оценки влияющих на энергозатраты поездов факторов наиболее распространенным является подход, основанный на анализе статистических данных [4–6]. При этом выбор влияющих факторов и их количество обычно определяются на основании статистических критериев либо субъективного мнения исследователя. Преимущественно используют математические модели линейной множественной регрессии и коэффициенты влияния отдельных факторов на энергозатраты поезда. Используют также кусочно-линейные и другие модели. В работе [7] на основе существующей теории тяги поездов рассматриваются факторы с учетом их физической сущности, однако при этом не все значимые факторы учитываются, и всесторонняя оценка их влияния на энергозатраты не дается. В работах [8–10] рассматривается в основном влияние отдельных факторов на расход электроэнергии поезда на основании экспериментальных данных.

Следовательно, известные примеры классификации факторов, влияющих на расход энергии поездом, как правило, основаны на практическом опыте работы, зачастую не лишеном субъективности, и не учитывают полностью физическую сущность процесса движения поезда, происходящие при этом взаимопревращения различных видов энергии, действующие факторы, их взаимосвязи и т.п.

Анализ показывает, что ни один из указанных выше подходов не дает полного представления о всех влияющих факторах и степени их влияния на энергозатраты поезда, поскольку не учитывает в полной мере физическую сущность отдельных составляющих и в целом

расхода электроэнергии на тягу. Физическую сущность расхода электроэнергии на тягу, его отдельных составляющих и влияющих факторов раскрывает энергетический баланс движения (ЭБД) поезда [11], базирующийся на основном физическом законе — законе сохранения и превращения энергии.

Введем основные понятия, используемые ниже: объект классификации, признак и класс (группа). В нашем случае объектом классификации являются факторы, влияющие на расход энергии. Для правильной их классификации большое значение имеет выбор наиболее существенных признаков и главных факторов. Учитывая физическую сущность процесса движения поезда и происходящие при этом энергетические преобразования, классификацию факторов, влияющих на отдельные составляющие ЭБД поезда и расход энергии в целом, и их разделение на классы (группы) можно произвести по следующим признакам:

- по виду воздействия — прямые и косвенные;
- по уровню значимости — основные и дополнительные;
- по характеру проявления — детерминированные и случайные;
- по продолжительности — кратковременные и длительные;
- по управляемости — управляемые и неуправляемые;
- по сфере возникновения — технические и организационные;
- по отношению к производственному персоналу — зависящие от персонала и не зависящие от него.

Общая классификация факторов, влияющих на расход электроэнергии в тяге поездов, характеризующая признаки классификации, уровни управления и планирования, приведена на рис. 1.

Для выявления и систематизации факторов, влияющих на расход электроэнергии поезда, рассмотрим энергетические диаграммы движения поезда, полученные на основании анализа ЭБД поезда, характеризующие составляющие энергобаланса, их направленность и сочетание в отдельных режимах и в целом во всех режимах движения (рис. 2–3).

В режиме тяги (рис. 2, а) подводимая к электровозу электрическая энергия  $A_{\text{эт}}$  затрачивается на увеличение кинетической  $A_{\text{кт}}$  и потенциальной  $A_{\text{пт}}$  энергии поезда, преодоление работы сил сопротивления движению  $A_{\text{ст}}$ , собственные нужды  $A_{\text{снт}}$ , потери в энергетической цепи  $A_{\text{эцт}}$  и избыточное проскальзывание колес электровоза относительно рельсов  $A_{\text{скт}}$ . Та часть электроэнергии, которая расходуется на преодоление сил сопротивления движению, собственные нужды, потери в энергетической цепи и избыточное проскальзывание колес электровоза относительно рельсов, в конечном итоге диссипирует, т.е. рассеивается в окружающее пространство. Следо-

вательно, потребляемая электровозом электрическая энергия в режиме тяги преобразуется в механическую (МЭ) и частично в тепловую энергию (ТЭ). В этом же режиме часть накопленной механической энергии может затрачиваться на преодоление сил сопротивления движению.

В режиме выбега (рис. 2, б) движение поезда осуществляется за счет накопленной им ранее механической энергии (кинетической  $A_{кв}$  и потенциальной  $A_{пв}$ ), которая компенсирует работу сил сопротивления движению  $A_{св}$ , т.е. происходит полная диссипация механической энергии. Потребляемая в этом режиме электроэнергия  $A_{эв}$  расходуется только на собственные нужды электровоза и поезда в целом.

В режиме торможения (рис. 2, в, г) накопленная ранее механическая энергия поезда частично затрачивается на преодоление сил сопротивления движению  $A_{ср}$ , а оставшаяся ее часть  $A_p$ , представляющая собой полную избыточную энергию поезда, либо рассеивается в окружающее пространство с помощью механического или реостатного торможения (рис. 2, в), т.е. превращается в тепловую энергию, либо с помощью системы рекуперативного торможения преобразуется в электрическую энергию  $A_{эр}$  и возвращается в тяговую сеть (рис. 2, г). В последнем случае часть вырабатываемой электроэнергии затрачивается



Рис. 1. Общая классификация факторов, влияющих на расход электроэнергии поезда

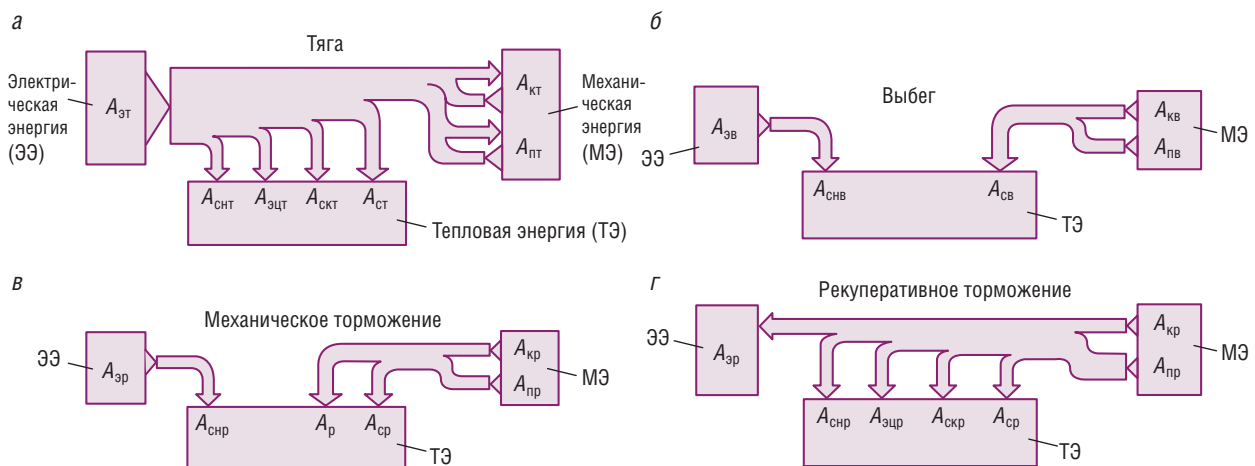


Рис. 2. Энергетические диаграммы движения поезда в различных режимах

на компенсацию потерь в энергетической цепи  $A_{эцр}$  и избыточное проскальзывание колес электровоза относительно рельсов  $A_{скр}$  и собственные нужды электровоза  $A_{снр}$ . Следовательно, в режиме торможения накопленная механическая энергия поезда превращается либо полностью в тепловую, либо в тепловую и электрическую энергию, при этом последняя используется полезно другими потребителями. Потребляемая в режиме механического или реостатного тормоза электроэнергия  $A_{эр}$  расходуется только на собственные нужды электровоза и поезда в целом.

Результирующие энергетические диаграммы движения поезда с механическим тормозом (рис. 3, а) и с рекуперативным и механическим тормозами (рис. 3, б) получены путем синтеза энергетических диаграмм движения поезда в отдельных режимах. Они показывают, что во всех режимах для движения поезда может частично или полностью использоваться накопленная им ранее механическая энергия с превращением кинетической энергии в потенциальную и наоборот. Следовательно, происходит своеобразное перекачивание энергии, и чем больше кинетической энергии превратится в потенциальную и наоборот, тем меньше получится расход подведенной к электровозу электрической энергии. Снижению расхода электроэнергии способствует также более высокая степень использования механической энергии поезда в режиме рекуперативного торможения, т.е. максимальное ее преобразование в электрическую энергию.

В общем виде энергетические диаграммы характеризуются выражениями:

- в режиме тяги:

$$A_{эТ} = A_{кт} + A_{пт} + A_{ст} + A_{эцт} + A_{скт} + A_{снт} = (A_{кт} + A_{пт} + A_{ст})/\eta_{дт} + A_{снт}; \quad (1)$$

- в режиме выбега:

$$A_{эВ} = A_{снв}; \quad (2)$$

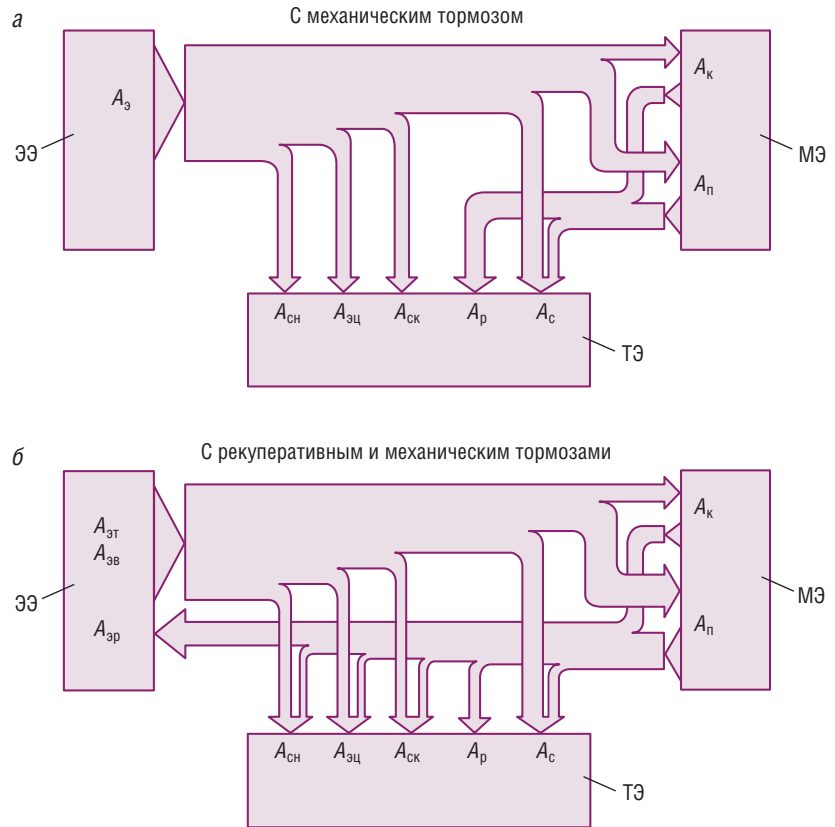


Рис. 3. Результирующие энергетические диаграммы движения поезда

- в режимах механического или реостатного торможения:

$$A_{эр} = A_{снр}; \quad (3)$$

- в режиме рекуперативного торможения:

$$A_{эр} = A_{кр} + A_{пр} + A_{ср} + A_{эцр} + A_{скр} + A_{снр} = (A_{кр} + A_{пр} + A_{ср})\eta_{др} + A_{снр}; \quad (4)$$

где  $\eta_{дт}$ ,  $\eta_{др}$  — эксплуатационные КПД энергетической цепи тяговых двигателей электровоза в режимах тяги и рекуперативного торможения.

Результирующее уравнение для всех режимов движения поезда, характеризующее общий расход электроэнергии, имеет вид:

$$A_э = A_{эТ} + A_{эВ} + A_{эр}. \quad (5)$$

Здесь нужно иметь в виду, что в уравнении (5) в случае применения рекуперативного торможения величина  $A_{эр}$  будет отрицательная.

Детальный анализ показывает, что составляющие ЭБД поезда зависят от конкретных факторов, при этом каждая составляющая зависит от массы поезда и длины участка следования поезда, т.е. от времени и скорости движения, а также своих специфических факторов, рассмотренных в [11].

Исходя из принятых выше основных принципов классификации, к прямым относятся факторы, которые непосредственно влияют на расход электроэнергии и входят в уравнения отдельных составляющих ЭБД поезда [11]. Это такие факторы, как масса, скорость движения и ее изменения и характеристика сопротивления движению поезда, профиль и план пути, мощность собственных нужд и КПД тяговых двигателей электровоза, продолжительности режимов движения, время хода и длина участка. Косвенными являются факторы, которые не входят в указанные выше уравнения, но тем не менее действуют непосредственно на

прямые факторы и опосредованно на расход энергии. Это прежде всего техническое состояние подвижного состава, пути, устройств электроснабжения, сигнализации и связи, квалификация машинистов и другие факторы.

К основным факторам относятся масса и скорость движения поезда, профиль и план пути и т.д. Дополнительными факторами являются, например, износ (прокат) бандажей колесных пар подвижного состава, схема формирования состава вагонов поезда и т.п.

К детерминированным факторам относятся параметры поезда и участка пути, допускаемые скорости движения на станциях и перегонах и т.д. Случайными факторами являются условия движения (поездная ситуация), климатические факторы и т.п.

К зависящим от производственного персонала факторам можно отнести режим ведения поезда, фактическую скорость его движения, поездную ситуацию и т.д. Не зависящими от персонала являются климатические факторы; не зависят от локомотивных бригад, а зависят от работников подразделений других служб параметры и техническое состояние состава вагонов, пути, устройств электроснабжения, сигнализации и связи.

Аналогично все факторы могут быть классифицированы и по другим признакам. Необходимо отметить, что некоторые факторы в зависимости от решаемой задачи могут быть отнесены к одному либо к другому классу, т.е. они занимают промежуточное положение по отношению к рассмотренным выше классам. Например, скорость движения поезда, с одной стороны, определяется параметрами электровоза, состава вагонов и других технических устройств, а с другой стороны — зависит от организации движения поездов на данном участке, поэтому в конкретных задачах она может быть техническим либо организационным фактором.

Одни и те же факторы могут быть отнесены к разным классам в зависимости от уровня планирования и управления железнодорожным транспортом, на котором они рассматриваются. Например, масса и другие параметры поезда, параметры профиля и плана пути участ-

ка на уровне поездки являются конкретными, т.е. детерминированными, факторами, а на более высоких уровнях (ОАО «РЖД», дорога и др.) их можно считать случайными факторами. Перечень факторов, влияющих на расход электроэнергии поезда, приведен на рис. 4.

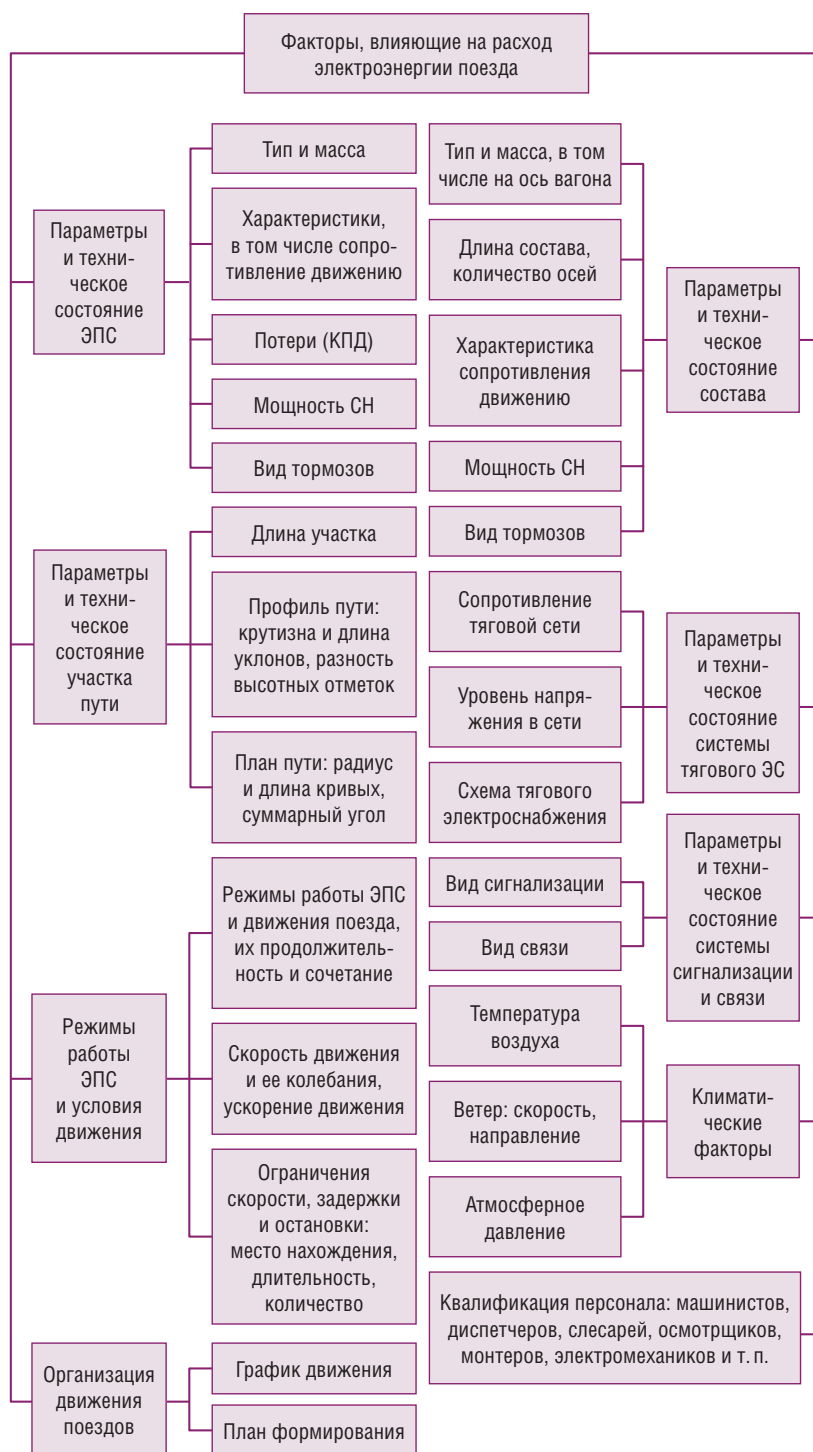


Рис. 4. Факторы, влияющие на расход электроэнергии поезда



## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Выполненный анализ взаимопревращений различных видов энергии при движении поезда и разработанная классификация факторов позволяют перейти к подробному изучению количественных соотношений между отдельными составляющими ЭБД поезда и действующими на них факторами.

Расход электроэнергии поезда в каждом конкретном случае определяется количеством, сочетанием и значениями действующих факторов, зависящих, в свою очередь, от параметров поезда, электровоза, профиля и плана пути, от условий движения (прежде всего скорости движения), параметров устройств тягового электро-

снабжения, сигнализации и связи, климатических факторов, квалификации обслуживающего персонала и др.

### Выводы

Наиболее строгая и объективная классификация факторов, влияющих на расход электроэнергии поезда, может быть произведена только на основе энергетического баланса движения (ЭБД) поезда, который полностью соответствует закону сохранения и превращения энергии, позволяет систематизировать все влияющие факторы, получить их качественную и количественную оценку. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов / под ред. С. И. Осипова. — М. : Транспорт, 1984. — 280 с.
2. Дашкевич А. Б. Рациональное использование электрической энергии на тягу поездов. — М.-Л. : Транспорт, 1968. — 80 с.
3. Цукало П. В. Экономия электроэнергии на электроподвижном составе. — М. : Транспорт, 1983. — 174 с.
4. Статистика железнодорожного транспорта / под ред. Т. И. Козлова, А. А. Поликарпова. — М. : Транспорт, 1981. — 431 с.
5. Котюков В. И. Многофакторные кусочно-линейные модели. — М. : Финансы и статистика, 1984. — 216 с.
6. Мугинштейн Л. А., Лохач А. В. О нормировании и анализе расхода топливно-энергетических ресурсов в депо // Локомотив. — 2002. — № 3. — С. 35–37. — ISSN 0869–8147.
7. Мугинштейн Л. А., Молчанов А. И., Виноградов С. А., Попов К. М., Школьников Е. Н. Современная методология технического нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов локомотивами на тягу поездов : сборник трудов ученых ОАО «ВНИИЖТ». — М. : ВМТ-Принт, 2014. — 144 с. — ISBN 978-5-905277-42-9.
8. Мазнев А. С., Евстафьев А. М. Повышение эффективности электроподвижного состава // Железнодорожный транспорт, 2010. — № 9. — С. 33–36. — ISSN 0044–4448.
9. Мельниченко О. В., Газизов Ю. В. Повышение энергетических показателей электровозов // Железнодорожный транспорт. — 2010. — № 3. — С. 50–51. — ISSN 0044–4448.
10. Сопов В. И., Штанг А. А., Спиридонов Е. А. Количественная оценка объемов энергии тяги и торможения на основе обработки экспериментальных данных // Транспортные системы Сибири : материалы II международной науч.-техн. конф. — Красноярск : Изд-во КГТУ, 2004. — С. 143.
11. Бакланов А. А. Энергетический баланс движения для решения задач снижения расхода электроэнергии на тягу поездов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2005. — № 6. — С. 32–35. — ISSN 0236–1914.

Объем статьи: 0,65 авторских листа



**Николай  
Владимирович  
Буланов**  
Nikolay V.  
Bulanov



**Екатерина  
Ивановна  
Авксентьева**  
Ekaterina I.  
Avksentyeva



**Виктор  
Григорьевич  
Бондаренко**  
Viktor G.  
Bondarenko

## Перспективы развития техники кондиционирования воздуха на транспорте с двигателями внутреннего сгорания

### Prospects for the development of air conditioning technology in transport with internal combustion engines

#### Аннотация

Для достижения комфортных условий эксплуатации автомобиль снабжается кондиционером воздуха. Наиболее распространенными устройствами кондиционирования воздуха на транспорте являются кондиционеры, выполненные на основе парокомпрессионных холодильных машин. Однако в связи с появлением на рынке практически бесшумных компрессоров различной мощности стало возможным вернуться к использованию самого простого и дешевого способа кондиционирования воздуха — с применением воздушных холодильных машин. Их использование снизит общие затраты на оборудование, станет существенно проще эксплуатации, повысится надежность работы оборудования. Наиболее перспективным следует считать применение сорбционных холодильных машин, так как это снизит затраты на топливо за счет использования энергии, выбрасываемой автомобилем вместе с горячими выхлопными газами.

**Ключевые слова:** холодильная машина, кондиционер, адсорбционный кондиционер, адсорбционная холодильная машина.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-4-67-71

#### Авторы Authors

**Николай Владимирович Буланов**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Екатерина Ивановна Авксентьева**, ст. преподаватель кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Виктор Григорьевич Бондаренко**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Nikolay Vladimirovich Bulanov**, Dr. Phys.-math. Sciences, Professor of the "Natural Sciences" Department of the Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg | **Ekaterina Ivanovna Avksentyeva**, Senior lecturer of the "Natural Sciences" Department of the Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg | **Viktor Grigorievich Bondarenko**, Cand. of tech.sci., Associate Professor, "Road vehicle design and operation" Department, Ural state university of railway transport (USURT), Yekaterinburg

Для достижения комфортных условий труда кабина и салон автомобиля снабжаются системами кондиционирования воздуха [1–4]. Основной составной частью кондиционера является холодильная машина.

## 1. Воздушные холодильные машины

Наиболее простыми кондиционерами являются устройства, использующие воздушные [1] холодильные машины (рис. 1). Основными составными частями таких устройств являются компрессор, детандер и теплообменник. Рабочим телом здесь служит сам охлаждаемый (кондиционируемый) воздух.

Работает этот кондиционер следующим образом. Воздух из кондиционируемого помещения 5 поступает в компрессор 3 и сжимается им до требуемой величины, задаваемой величиной охлаждения воздуха. При сжатии воздух нагревается, нагретый воздух охлаждают в теплообменнике 1 до температуры, близкой первоначальной. Далее воздух поступает в детандер 2, где он при своем расширении совершает работу и охлаждается. Охлажденный воздух возвращается в помещение 5.

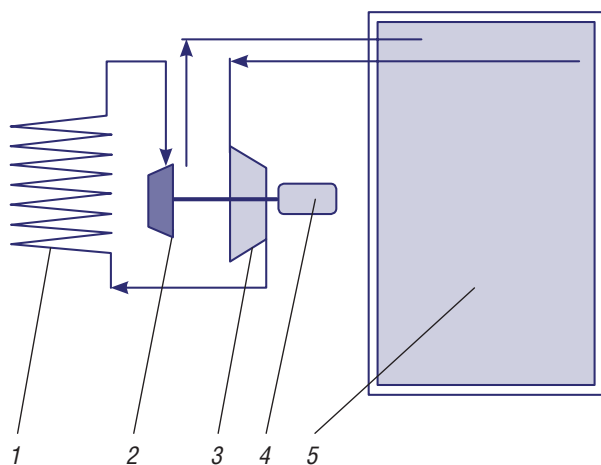


Рис. 1. Воздушная холодильная машина: 1 — теплообменник; 2 — детандер; 3 — компрессор; 4 — двигатель компрессора; 5 — охлаждаемое помещение (салон автомобиля)

В свое время из-за низкого коэффициента полезного действия, громоздкости и некоторых проблем, возникающих с эксплуатацией, воздушные холодильные машины и кондиционеры были полностью вытеснены более совершенными компрессионными машинами.

В настоящее время ситуация изменилась. Сейчас созданы практически бесшумные и легко управляемые центробежные компрессоры, которые можно использовать в холодильной технике и системах кондиционирования автомобилей.

## 2. Парокомпрессионные холодильные машины

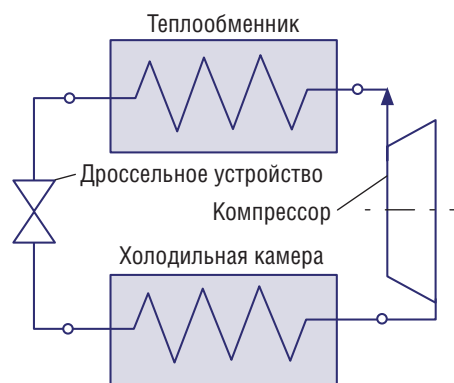


Рис. 2. Схема простейшей парокомпрессионной холодильной машины

Парокомпрессионные (компрессионные) холодильные машины [2] (рис. 2) состоят из компрессора, теплообменника-конденсатора, дроссельного устройства, испарителя и рабочего тела. Теплообменник-конденсатор предназначен для охлаждения рабочего тела до температуры, близкой к температуре окружающей среды, и конденсации его в жидкое состояние. Дроссельное устройство используется для сброса давления и получения охлажденного рабочего тела в виде парожидкостной смеси. Испаритель — это в рассматриваемом случае змеевик, который находится в холодильной камере и в котором испаряется жидкая фаза рабочего тела. При испарении рабочее тело охлаждается, вслед за этим охлаждается и объем холодильной камеры.

Если рассматривать эффективность работы холодильных машин в отрыве от места их применения, то компрессионные холодильные машины следует считать самыми эффективными, надежными и экономически выгодными устройствами. Поэтому они широко используются в самых разных отраслях техники, в том числе на автомобильном и железнодорожном транспорте.

Заметим, что работа компрессионной холодильной машины на транспорте осуществляется или за счет механической энергии, отбираемой непосредственно с коленчатого вала двигателя, или за счет той же самой механической энергии, но предварительно преобразованной в электрическую.

Эксплуатация компрессионной холодильной машины на транспорте, где используются двигатели внутреннего сгорания, далеко не всегда является с энергетической точки зрения эффективным решением. Это связано с тем, что при работе двигателя внутреннего сгорания на выходе кроме механической энергии, которая тратится на перемещение транспортного средства, вырабатывается большое количество тепловой энергии в виде горячих выхлопных газов, которая теряется безвозвратно.

Если использовать для кондиционирования воздуха не механическую энергию двигателя, как это обычно делают в настоящее время, а тепловую энергию выхлопных газов, то это, безусловно, повысит энергетическую эффективность транспортного средства, приведет к экономии топлива и повышению КПД автомобиля. Для этого можно, например, использовать кондиционеры сорбционного (абсорбционного или адсорбционного) типа.

## 3. Адсорбционные холодильные машины

### Устройство

Пример использования адсорбционного холодильника для кондиционирования воздуха в автомобиле описан в патенте RU 2692444 С1 «Устройство для кондиционирования воздуха в транспортном средстве, содержащее адсорбционный тепловой насос», дата регистрации 24.06.2019 [3], рис. 3. Заметим, что в настоящее время известны только периодически действующие холодильные машины адсорбционного типа. Первую часть своего рабочего времени они выполняют возложенную на них функцию охлаждения чего-либо, а вторую, оставшуюся часть времени тратят на свое возвращение в исходное состояние (заряжаются). Поэтому для непрерывной работы кондиционера или холодильной машины такого типа необходимо использовать как минимум две периодически действующие машины.

Адсорбционный кондиционер [3] состоит из двух холодильных машин и набора дополнительного оборудования. Основными частями первой (левой на рис. 3) холодильной машины являются адсорбер-десорбер 11 и испаритель-конденсатор 14, основными частями второй (правой) холодильной машины являются адсорбер-десорбер 13 и испаритель-конденсатор 17. Адсорберы-десорберы 11 и 13 заполнены силикагелем, который периодически либо поглощает (адсорбирует), либо выделяет (десорбирует) рабочее тело холодильных машин, в рассматриваемом случае — воду. Кондиционер также содержит рабочее тело, находящееся в нагревателе воздуха 2; теплообменник 8 для дополнительного нагрева теплоносителя выхлопными газами автомобиля; теплообменники 26 и 27 для отдачи отработанного в кондиционере тепла в окружающую среду 26 и для охлаждения кондиционируемого воздуха 27, поступающего в салон автомобиля; четыре насоса 3, 15, 16, 22 для перекачивания теплоносителя при трех разных температурах по различным контурам; шесть четырехходовых клапанов 10, 12, 18, 21, 23, 25 и дополнительный вентилятор 24 для охлаждения хладагента до температуры окружающей среды  $T_0$ . Все узлы соединены трубопроводами, как это показано на рис. 3.

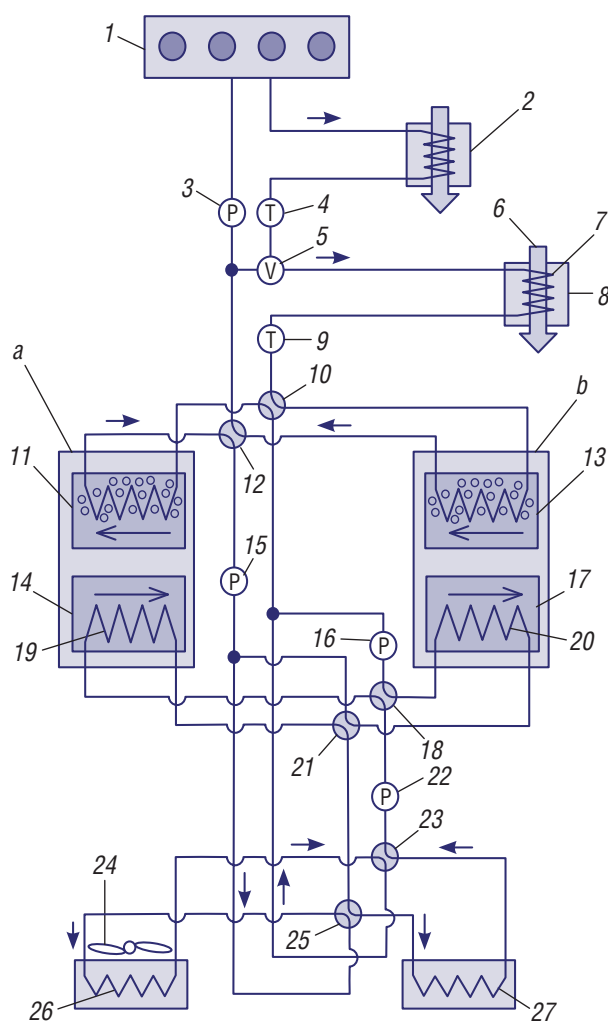


Рис. 3. Схема адсорбционного кондиционера (холодильная машина *b* заряжается):

1 — двигатель внутреннего сгорания; 2 — нагреватель кондиционируемого воздуха; 3 — насос теплоносителя (вода); 4, 9 — датчики температуры; 5 — трехходовой клапан; 6 — поток выхлопных газов; 7 — змеевик для дополнительного нагрева теплоносителя; 8 — корпус теплообменника; 10, 12, 18, 21, 23, 25 — четырехходовые клапаны; 11, 13 — адсорберы-десорберы хладагента с гранулами силикагеля; 14, 17 — испарители-конденсаторы хладагента; 15, 16, 22 — насосы; 19, 20 — змеевики для охлаждения хладагента при его конденсации или при его испарении; 24 — вентилятор и 26 — змеевик для охлаждения хладагента; 27 — змеевик для охлаждения кондиционируемого воздуха

Работает кондиционер следующим образом.

### Режим нагрева воздуха

В холодную погоду воздух в салоне автомобиля необходимо нагревать. Это делают при помощи специального нагревателя 2, через который насосом 3 прокачивают горячий теплоноситель, охлаждающий двигатель во время его работы. При нагреве воздуха трехходовой клапан 5 перекрывает доступ теплоносителя от двигателя 1 в теплообменник 8.



## Режим охлаждения воздуха

В жаркую погоду воздух в автомобиле необходимо охлаждать. Для этого трехходовой клапан 5 переводится в положение, когда весь поток теплоносителя или только его часть (в зависимости от температуры окружающего воздуха) поступает в теплообменник 8, где теплоноситель дополнительно нагревается выхлопными газами автомобиля. При помощи специального шибера (на рисунке не показан) поток кондиционируемого воздуха перенаправляется от нагревателя 2 к змеевику 27, который охлаждается при помощи левого холодильного устройства *a* (основные элементы 11, 14) или правого холодильного устройства *b* (основные элементы 13, 17).

При охлаждении левым холодильным устройством правое холодильное устройство возвращается в свое исходное состояние (этот случай показан на рис. 3), а при охлаждении правым холодильным устройством — левое холодильное устройство возвращается в свое исходное состояние (схема соединений оборудования в этом случае показана на рис. 4). Момент перехода от первого режима работы ко второму определяется при помощи датчиков температуры 4 и 9, а осуществляется путем одновременного переключения всех клапанов из одного положения (рис. 3) в другое (рис. 4).

После того, как в жаркую погоду запустили двигатель автомобиля, клапаны кондиционера могут находиться в одном из двух возможных положений, например, в положении, изображенном на рис. 3. Все насосы начинают работать и прокачивают теплоноситель через соответствующие трубопроводы в направлениях, показанных стрелками.

Мы видим, что через правое холодильное устройство *b* насосом 3 прокачивается теплоноситель, нагретый в теплообменнике 8 до высокой температуры  $T_{гор}$ , теплоноситель нагревает силикагель, находящийся в 13, хладон с поверхности силикагеля испаряется и поступает в испаритель-конденсатор 17, где он конденсируется на холодном змеевике 20, так как насосом 16 через змеевик 20 прокачивается теплоноситель, охлажденный в змеевике 26 при его обдуве вентилятором 24 потоком окружающего воздуха. Этот процесс происходит до тех пор, пока не испарится весь хладон с поверхности силикагеля в 13 и не сконденсируется на змеевике 20. Потоки теплоносителя, прокачиваемого через 13 и 17, далее не оказывают какого-либо влияния на состояние рабочего тела (хладона) в правой холодильной машине *b* и, следовательно, на работу кондиционера в целом. Правая холодильная машина готова к работе по своему прямому назначению, и она начнет выполнять свою функцию холодильной машины, когда исчерпает свой ресурс левая холодильная машина. Этот момент определяется автоматически, исходя из показаний датчиков температуры 4 и 9; в зависимости от соотношений температур произойдет ав-

томатическое переключение клапанов 10, 12, 18, 21, 23, 25. В результате холодильные машины поменяются своими функциями.

Однако, пока не наступил этот момент, левая холодильная машина охлаждает воздух в салоне автомобиля. Это происходит следующим образом.

Как мы отметили ранее, при пуске двигателя автомобиля включились в работу и все насосы кондиционера, в том числе насосы 15 и 22 и вентилятор 24. Из рисунка видно, что адсорбер-десорбер 11 непрерывно охлаждается до температуры окружающей среды за счет прокачивания через змеевик 11 насосом 15 теплоносителя, который непрерывно охлаждается до темпе-

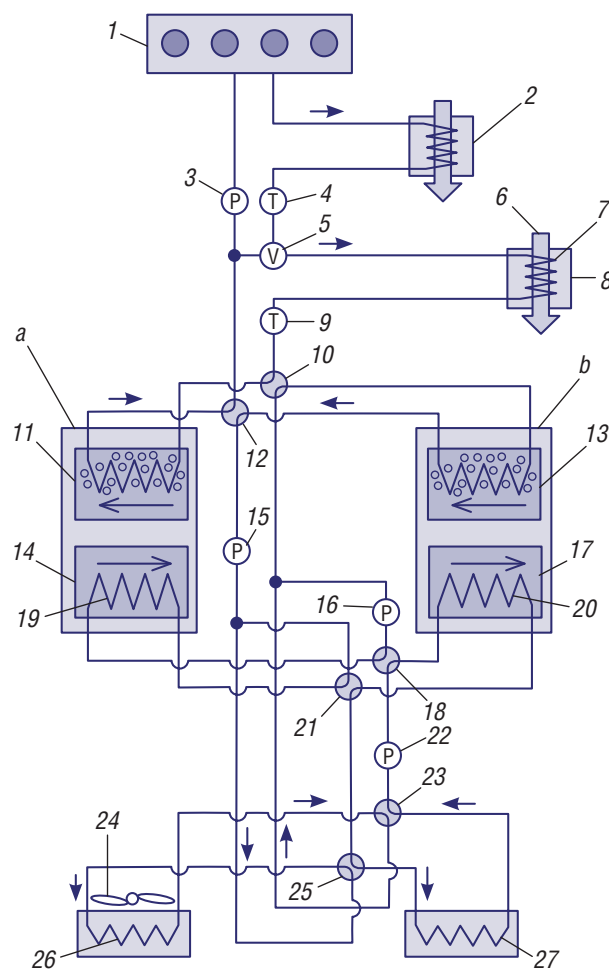


Рис. 4. Схема адсорбционного кондиционера (холодильная машина *a* заряжается):

1 — двигатель внутреннего сгорания; 2 — нагреватель кондиционируемого воздуха; 3 — насос теплоносителя (вода); 4, 9 — датчики температуры; 5 — трехходовой клапан; 6 — поток выхлопных газов; 7 — змеевик для дополнительного нагрева теплоносителя; 8 — корпус теплообменника; 10, 12, 18, 21, 23, 25 — четырехходовые клапаны; 11, 13 — адсорберы-десорберы хладагента с гранулами силикагеля; 14, 17 — испарители-конденсаторы хладагента; 15, 16, 22 — насосы; 19, 20 — змеевики для охлаждения хладагента при его конденсации или при его испарении; 24 — вентилятор и 26 — змеевик для охлаждения хладагента; 27 — змеевик для охлаждения кондиционируемого воздуха

ратуры, примерно равной температуре окружающей среды  $T_0$ , что, в свою очередь, происходит в змеевике 26 при обдувании его вентилятором 24. В результате температура силикагеля в 11 снижается от  $T_{гор}$  до  $T_0$ , при такой температуре силикагель в 11 поглощает (адсорбирует) хладагент (воду), давление хладагента понижается, и он закипает на змеевике 19 и охлаждает этот змеевик, при этом его температура  $T_{хол}$  становится существенно ниже температуры окружающей среды. При помощи насоса 22 через змеевики 19 и 27 прокачивают теплоноситель, в результате становится холодным змеевик 27, понижается температура и у воздуха, обтекающего змеевик 27 и поступающего в салон автомобиля.

При адсорбции хладагента на силикагеле выделяется тепло, поэтому его необходимо непрерывно охлаждать, что выполняется, как отмечалось, прокачиванием охлажденного в 26 теплоносителя через змеевик 11 насосом 15.

Процесс охлаждения воздуха в салоне автомобиля прекращается при насыщении адсорбера-десорбера 11 хладагентом, поступающим из испарителя-конденсатора 14. Этот момент фиксируется датчиками температур 4 и 9. В этом случае четырехходовые клапаны 10, 12, 18 и 21 автоматически переводятся в новое положение (рис. 4). Емкости адсорберов 11 и 13 и количество хладагента выбираются такими по величине, чтобы время работы холодильных машин в холодильном режиме (прежде всего это время адсорбции на силикагеле в 11 и 13) было больше времени обратных процессов — времени десорбции (испарения) и конденсации хладагента на том же силикагеле.

## Заключение

Наиболее распространенными устройствами кондиционирования воздуха на транспорте являются кондиционеры, выполненные на основе парокompрессионных холодильных машин. Достоинства таких кондиционеров невозможно переоценить.

Однако в связи с появлением на рынке практически бесшумных компрессоров различной мощности появилась возможность вернуться к использованию самого простого и дешевого способа кондиционирования воздуха с применением воздушных холодильных машин. Их использование снизит общие затраты на оборудование, станет существенно проще эксплуатация, повысится надежность работы оборудования.

Но использование как воздушных, так и парокompрессионных холодильных устройств требует дополнительных затрат механической или электрической энергии. Этого не избежать, если установка кондиционера осуществляется, например, на электромобилях или электровозах.

Если же мы устанавливаем кондиционер на транспортном средстве, где используется двигатель внутреннего сгорания, при работе которого в атмосферу вместе с нагретыми выхлопными газами выбрасывается большое количество тепловой энергии, то здесь наиболее эффективным будет применение описанного нами адсорбционного кондиционера [3]. Этот кондиционер для своей работы использует тепловую энергию, выбрасываемую в атмосферу вместе с выхлопными газами. Следовательно, имеется дополнительный положительный эффект — это уменьшение теплового загрязнения окружающей среды. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Демьянков Н. В., Абрамов В. А. Холодильные машины и установки. — М. : Транспорт, 1964. — С. 299.
2. Бромлей М. Ф. Гидравлические машины и холодильные установки. — М. : Стройиздат, 1971. — 260 с.
3. Патент RU 2692444 С1. Устройство для кондиционирования воздуха в транспортном средстве, содержащее адсорбционный тепловой насос / Цубоути, Масакацу (JP); заявитель и патентообладатель ТОЙОТА ДЗИ-ДОСЯ КАБУСИКИ КАЙСЯ (JP). — № 2018100720, заявл. 01.11.2018; опубл. 24.06.2019.
4. Буланов Н. В., Гасанов Б. М. Теплообмен при кипении воды и эмульсий в мини-канале // Вестник УрГУПС. — 2019. — № 1 (41). — С. 4–15. — ISSN 2079–0392.

Объем статьи: 0,5 авторских листа

**Подписка на 2021 год.**

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.

Периодичность — 4 номера в год.

ф. СП-1



**АБОНЕМЕНТ**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Количество комплектов:

на 2021 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**

ПВ	место	литер

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

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

на 2021 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.**





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



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

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



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



## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

### «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ»

#### Основные направления работы

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

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



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, оф. Б3-03.  
Тел./факс: (343) 221-25-27.

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

