

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

№ 1 (35)  
март 2020

I N N O T R A N S



## Железнодорожный вокзал будущего

С. 3

Расчет параметров  
контейнерной  
площадки

Внутренние ресурсы  
повышения качества  
высшего образования

Инновационные тренажеры  
систем автоматки  
и телемеханики





ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

# РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

**ДАТА ОСНОВАНИЯ** — 1991 год

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

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

БОЛЕЕ **660** УЧЕНЫХ

**540** ДОКТОРОВ НАУК

БОЛЕЕ **120** КАНДИДАТОВ НАУК

**400** ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ

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

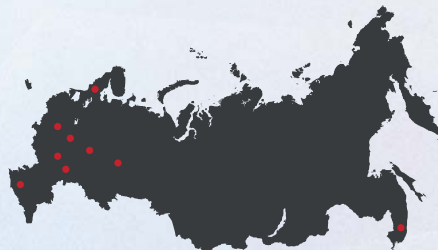
## НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ:

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

## КТО МОЖЕТ СТАТЬ ЧЛЕНОМ АКАДЕМИИ?

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

- доктора транспорта
- кандидата наук
- доктора наук



**2** ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
ОТДЕЛЕНИЯ

**8** РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ОТДЕЛЕНИЙ

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

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

## Инновационный транспорт (Иннотранс)

Научно-публицистическое издание

№ 1 (35), 2020 г.

Издаётся 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 20.03.2020. Дата выхода в свет 27.03.2020.

Печать офсетная. Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–160). Заказ № 11792

Иллюстрация на обложке — дипломный проект бакалавра УрГАХА Я. Бучельниковой, 2017 г.

© 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

№ 1 (35), 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 20.03.2020. Date of issue 27.03.2020. Offset printing. Circulation 500 copies.

© ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, 2020

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

### INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

### EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>Самуйлов В. М., Медовщиков И. А., Каргапольцева Т. А.</i> Железнодорожный вокзал будущего .....	3
<i>Покровская О. Д., Мороз Ю. А.</i> Расчет параметров контейнерной площадки .....	11
<i>Самуйлов В. М., Паршина В. С., Серов К. Д.</i> Особенности логистической организации мультимодальных перевозок Россия – Китай .....	18
<i>Покровская О. Д., Куликов Е. С.</i> Экономическое обоснование решений по организации работы грузового терминала .....	24

## Организация производства (транспорт)

<i>Чуб Я. В.</i> Внутренние ресурсы повышения качества высшего образования .....	29
<i>Линькова Н. А.</i> Современная концепция физического воспитания студентов оздоровительного отделения в транспортном вузе .....	33
<i>Скутина О. Л., Скурихин А. И., Федянина Л. В.</i> Конструктивно-технологические решения по сооружению земляного полотна в зоне вечномерзлых грунтов .....	36

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Парахненко И. Л.</i> Влияние лубрикации на безопасность движения грузовых поездов .....	43
<i>Валиев Ш. К., Дубров И. А.</i> Инновационные тренажеры систем автоматики и телемеханики .....	46
<i>Баева И. А.</i> Влияние снижения времени межпоездного интервала на технико-энергетические показатели системы тягового нерегулируемого и регулируемого электроснабжения .....	51
<i>Галкин А. Г., Бунзя А. В., Лесников Д. В.</i> Использование силового электронного ключа при борьбе с гололедом на контактной сети импульсно-резонансным методом .....	56
<i>Архипов А. В., Колясов К. М.</i> Напряженно-деформированное состояние в зоне увода сварного шва котла цистерны с учетом переменной толщины обечайки .....	60
<i>Пышкин А. А., Лесников Д. В.</i> К оценке надежности выпрямительного агрегата тяговой подстанции постоянного тока .....	65
<i>Тарасовский Т. С.</i> Моделирование переходных процессов тиристорно-реакторного устройства регулирования напряжения под нагрузкой .....	69

# CONTENTS

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

<i>Valeriy M. Samuylov, Ilya A. Medovshchikov, Tatiana A. Kargapol'tseva.</i> Railway terminal in the future .....	3
<i>Oksana D. Pokrovskaya, Yuliya A. Moroz.</i> Calculation of parameters of the container freight station .....	11
<i>Valeriy M. Samuylov, Valentina S. Parshina, Kirill D. Serov.</i> Features of the logistic organization of multimodal Russia – China transportation .....	18
<i>Oksana D. Pokrovskaya, Evgeny S. Kulikov.</i> Economic feasibility of decisions on the workflow management of the cargo terminal .....	24

## The organization of production (transport)

<i>Yana V. Chub.</i> Internal resources for improving the higher education quality .....	29
<i>Natalia A. Linkova.</i> Modern concept of physical education of students of the Health Department at Transport University .....	33
<i>Olga L. Skutina, Anton I. Skurihin, Lyudmila V. Fedyanina.</i> Structural and technological solutions for roadway construction in the zone of permanently frozen soil .....	36

## Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Inna L. Parahnenko.</i> Impact of lubrication on the safety of cargo traffic .....	43
<i>Shamil K. Valiev, Igor A. Dubrov.</i> Innovative simulators for automation and telemechanics systems .....	46
<i>Irina A. Baeva.</i> The effect of time reducing of train-to-train margin on the technical and energy indicators of the system of traction unregulated and regulated power supply .....	51
<i>Aleksandr G. Galkin, Andrey V. Bunzya, Dmitriy V. Lesnikov.</i> The use of a high-power electronic switch in the deicing on the overhead line network using the pulse-resonance method .....	56
<i>Andrey V. Arhipov, Konstantin M. Kolyasov.</i> Strain-stress state in the breakaway zone of tank boiler welded seam taking into account the variable thickness of boiler shell ring .....	60
<i>Anatolij A. Pyshkin, Dmitriy V. Lesnikov.</i> Assessment of the reliability of the rectifier unit on DC current traction substation .....	65
<i>Timofej S. Tarasovskij.</i> Simulation of transient processes of a thyristor-reactor device for voltage regulation on load .....	69





**Валерий Михайлович Самуйлов**  
Valeriy M. Samuylov



**Илья Александрович Медовщиков**  
Ilya A. Medovshchikov



**Татьяна Александровна Каргапольцева**  
Tatiana A. Kargapoltseva

## Железнодорожный вокзал будущего

### Railway terminal in the future

#### Аннотация

В статье проведен сравнительный анализ зарубежного и российского опыта трансформации железнодорожных вокзалов. Зарубежная практика ключевым элементом современной транспортной системы ставит интермодальность или функциональную совместимость транспортных средств в рамках реализуемого проекта «Сити-хаб» «от двери к двери». Приведены конкретные примеры крупных интермодальных станций Европы, Китая. В России нормативная правовая база и большинство ученых концентрируются на реконструкции существующих вокзальных комплексов и создании на их основе транспортно-пересадочных узлов. Приведены примеры транспортно-пересадочных узлов г. Москвы. На основании проведенного анализа сформулированы выводы по формированию интермодальных транспортно-пересадочных комплексов в России.

**Ключевые слова:** железнодорожный вокзал, транспортно-пересадочный узел, транспортно-пересадочный комплекс, интермодальные пассажирские перевозки.

#### Abstract

The article provides a comparative analysis of international and Russian experience in the transformation of railway terminals. International practice places intermodality or functional compatibility of vehicles as the key element of the modern transport system in the framework of the “City-hub” “door-to-door” project. Specific examples of large intermodal stations in Europe and China are given. In Russia, the regulatory framework and most scientists focus on the reconstruction of existing railway station complexes and the creation of transport hubs based on them. Examples of transport interchange hubs in the city of Moscow are given. Based on the analysis, conclusions on the formation of intermodal transport interchange complexes in Russia are formulated.

**Keywords:** railway terminal, transport interchange hub, transport interchange complex, intermodal passenger transportation.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-3-10

#### 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 | **Илья Александрович Медовщиков**, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: imedovshikov@yandex.ru | **Татьяна Александровна Каргапольцева**, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: tanyafeliz@mail.ru

**Valeriy M. Samuylov**, DSc in Engineering, Full Member of the RAT, Professor, World Economy and Logistics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Ilya A. Medovshchikov**, graduate student of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: imedovshikov@yandex.ru | **Tatiana A. Kargapoltseva**, post graduate student, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: tanyafeliz@mail.ru

## Введение

Железные дороги и вокзалы оказали заметное влияние на развитие городов и населенных пунктов, «своим присутствием внесли значительные изменения в их структуру, создали предпосылки для появления и роста новых городских кварталов..., стали полем для широкой экономической, социально-культурной и политической деятельности» [2, с. 5].

«Железнодорожный вокзал как общественное образование ведет свою историю от начала промышленной эры. Большинство других общественных объектов — кинотеатры, автостанции, аэропорты, метрополитены и т.д. появились гораздо позднее» [2, с. 6].

Первый вокзал в виде одноэтажной постройки принял пассажиров в 1825 г. в Англии (Дарлингтонский вокзал).

В мае 1838 г. в Павловском парке была закончена постройка небольшого двухэтажного здания вокзала — точнее воксала (строительство вокзалов — зданий, предназначенных для увеселения публики, имело место и в других городах России). «В Павловске слово «воксал» стали со временем использовать применительно к железнодорожной станции. Позже воксалами называли станционные строения на всех русских железных дорогах. Произносить стали звонко — вокзал вместо воксал — под влиянием слова зал» [5, с. 2].

В 1933 г. Международным конгрессом современной архитектуры в «Афинской Хартии» было акцентировано внимание на «наступление эры машинизма». Это «вызвало огромное расстройство в поведении людей, в их размещении на земле и в их действиях: необузданное перемещение человеческих масс в городах по милости механических скоростей — резкая всеобщая небывалая эволюция в истории» [7, с. 95–96].

В 1945 г. французский архитектор, пионер архитектурного функционализма Ле Корбюзье констатирует: «В итоге эры промышленного развития города превращаются в города-спруты. «Великое расточительство» и хаос охватывают агломерации, потрясая обыденный, 24-часовой ритм человеческой жизни» [7, с. 29].

Выбор места строительства любого из вокзалов «отражает историю постоянной борьбы между городским самоуправлением, с одной стороны, и частными лицами — владельцами дорог, железнодорожными компаниями — с другой» [10, с. 9].

В 2020 г. можно констатировать, что с момента появления первого вокзала прошло 195 лет (в России 182 года). Что изменилось и каковы современные требования к железнодорожным вокзалам в мире и России?

## Зарубежный опыт правового регулирования и трансформации железнодорожных вокзалов

В Европе ключевым элементом современной транспортной системы является интермодальность или функциональная совместимость транспортных средств. «Интермодальность является предметом, который объединяет три основные компоненты: клиентов, операторов/менеджеров и политику/управление организованным сообществом (доступность для всех физических и юридических лиц)» [19, с. 4].

Общественные транспортные узлы включают в себя железнодорожные станции, станции скоростного транспорта, автобусные, трамвайные и троллейбусные остановки, аэропорты и паромные переправы и пр.

Интермодальные пассажирские транспортные узлы в общественном транспорте включают автобусные станции, железнодорожные станции и станции метро. Крупный транспортный узел (чаще всего автобусный и железнодорожный) может называться транспортным центром, а в США — транзитным центром.

За последние 20 лет под эгидой Европейской системы мониторинга транспортных исследований и инноваций (Transport Research and Innovation Monitoring and Information System, TRIMIS) в рамках Стратегического плана по транспортным технологиям «Горизонт 2020» были реализованы следующие проекты.

Проект 1999 г. «Мобильность, интермобильность и обмена» (Mobility, Intermodality and Interchanges, MIMIC), заключающийся в обеспечении эффективного обмена пассажирами и грузами между различными видами транспорта. По реализации проекта были сформулированы рекомендации:

- центральные и региональные органы власти должны совместно планировать и координировать обмен пассажирами и грузами посредством инвестиций;
- необходимо создать единый орган, который будет отвечать за координацию расписания, предоставление информации и выдачу билетов;
- создать рекомендации проектировщикам и операторам транспорта, чтобы они включали передовой опыт в проектировании транспортных развязок.

Проекты 1999, 2001 гг. «Повышение обоснованности обмена, доступности и эффективности трансферта» (Promoting Interchange Rationale, Accessibility and Transfer Efficiency, PIRATE), изучающие различия «подходов к планированию» между приоритетами разработчиков инфраструктуры и пользователями инфраструктуры.

Проекты 2004, 2011, 2012 гг. «На пути к пассажирской интермодальности в ЕС» (Towards Passenger Intermodality in the EU): создание европейской интермодальной информационной службы «от двери к двери» для интермодальных пассажирских перевозок на большие расстояния.

Проекты 2007, 2008, 2009 гг. «База знаний по интермодальным пассажирским перевозкам в Европе» (A Knowledge Base for Intermodal Passenger Travel in Europe, KITE).

Проект 2012 г. «Сити-хаб» (City-Hub) [18], который сконцентрировал лучшие полученные результаты по интермодальным пассажирским перевозкам и предъявил требования к качеству интеробменов для пользователей транспортных услуг. Интеробмен — это место, где пользователь перемещается между видами транспорта и где несколько сторон (транспорт, место перемещения и пр.) участвуют в реализации данного перемещения. Эти стороны могут иметь разные цели и взгляды на то, что может считаться хорошим обменом.

Примечательно, что разработчики проекта «Сити-хаб» в долгосрочной перспективе рассматривают железные дороги как основу формирования транспортно-пересадочных узлов, которые позволяют расширить координацию между различными видами транспорта, обеспечить мобильность пассажиров, новые логистические возможности для перевозчиков за счет глубокой интеграции транспортных потоков различных видов (железнодорожного, автомобильного, водного, воздушного и т.д.) [18, с. 10].

«Сити-хаб» фокусируется на крупных пересадочных станциях, а не в аэропортах или отдельных автобусных остановках.

Основные факторы для успешного интермодального обмена: время в пути/бюджет времени в пути и время ожидания; удобство и надежность; комфорт; расходы (тарифы на интегрированные билеты); безопасность; качество интегрированной интермодальной дорожной информации (quality of integrated multimodal travel information, IMTI). В «Сити-хаб» перемещение людей рассматривается «от двери к двери», при этом поездки должны быть доступны как физически (особенно для людей с ограниченными возможностями), так и в финансовом отношении.

Рассмотрим некоторые примеры. Сайт немецких национальных железных дорог имеет очень удобный планировщик маршрута, охватывающий практически всю железнодорожную сеть Европы (и далее), а также автобусы, метро и паромные сообщения в Германии. Это позволяет пользователю легко просматривать различные варианты передвижения и забронировать все путешествие, экономя время и деньги, включая выбор времени ожидания на разных развязках.

Удачным примером интермодального обмена называют центральный железнодорожный вокзал Лин-

ца (Австрия), который больше похож на крупный торговый центр, чем на вокзал. Железнодорожный вокзал Линца объединяет автовокзал, парковку машин и велосипедов, пункты общественного питания, камеры хранения и пр. Данный комплекс способствует увеличению спроса на транспортные услуги, а также на сопутствующие услуги: средние расходы на не связанные с транспортом товары и услуги были оценены около 9,8 евро на человека в день, добавляя до 180 тыс. евро в день к выручке железнодорожного вокзала [18, с. 52]. Проведенный в 2006 г. опрос посетителей железнодорожного вокзала Линца показал, что примерно 35 % всех посетителей пользуются услугами магазинов и ресторанов и около 15 % посетителей используют его исключительно как торговый центр или место встреч [24, с. 450].

Главный железнодорожный вокзал города Роттердама (Нидерланды) был реконструирован в 2014 г. с целью соединения со станциями метро, трамвайными и автобусными линиями города, надземной стоянкой для велосипедов на 5000 мест, подземной стоянкой для автотранспорта, супермаркетами и пр.

В конце 2019 г. в Великобритании состоялись четырехдневные публичные слушания о сносе автовокзала Воксхолл-Кросс (район центрального Лондона) и строительстве на этом месте интермодального комплекса с легким доступом и пересадками между автобусами, метро и железнодорожными службами, включая лестницу, ведущую прямо к станции метро, пешеходным переходам, проходам и пр.

Специалисты лаборатории транспортных исследований Великобритании выделяют специальную терминологию: транспортно-ориентированная политика развития территории (transport oriented development (TOD) policy) [20, с. 2]. Подробное изучение данными специалистами транспортной инфраструктуры девяти стран Европы позволило представить обобщенные результаты, отраженные в табл. 1.

Количество транспортных моделей составляло от 4 (минимальное значение) до 13 (максимальное значение) в железнодорожной станции Лилль, Франция). Виды транспорта:

- 1) ходьба;
- 2) езда на велосипеде;
- 3) прокат велосипедов;
- 4) мотоциклы (также скутеры и мопеды);
- 5) автобус;
- 6) междугородний автобус;
- 7) метро;
- 8) трамвай;
- 9) железнодорожный транспорт;
- 10) частные автомобили с парковкой;
- 11) частные автомобили с парковкой и поездкой;
- 12) такси;
- 13) трансфер до аэропорта.

**Количество видов транспорта, ежедневный пассажиропоток крупнейших интермодальных станций Европы [20, с. 6]**

Название станций, город, страна	Уровни обслуживания (М — местный, Р — региональный, Н — национальный, МР — международный)	Количество транспортных моделей	Ежедневно пассажиров, тыс. чел.
Интермодальная станция Монклоа, Мадрид, Испания	М, Р, Н, МР	8	582,0
Транспортно-пересадочный узел Плаза де Кастилья, Мадрид, Испания	М, Р	5	199,5
Интермодальный комплекс Мендес Альваро, Мадрид, Испания	М, Р, Н, МР	7	180,2
Станция Прага — Дейвицка, Прага, Чешская Республика	М, Р, Н	7	175,0
Железнодорожный вокзал Салоники, Греция	М, Р, Н	6	160,6
Железнодорожная станция Лилль, Франция	М, Р, Н, МР	13	88,6
Многофункциональный комплекс Камппи в Хельсинки, Финляндия	М, Р, Н, МР	8	84,0

Самые посещаемые в Европе интермодальные станции находятся в Испании в Мадриде.

**Монклоа** была реконструирована в 2008 г. и обслуживает около 582 тыс. человек в день (в некоторых изданиях указывается до 287 тыс. человек в день [23, с. 121]). Это первая интермодальная станция в Мадриде, построенная еще в 1995 г. Станция включает метро (2 линии), местные автобусы (20 линий), региональные автобусы (74 линии), междугородние автобусы (1 линия) и такси. К центру также легко добраться пешком и на велосипеде. В 2014 г. был проведен опрос пользователей интермодальной станции Манклоа, которые по важности выделили следующие факторы (из максимальных 100 % по каждому фактору): 80 % — информация (наличие, простота и надежность), 65 % — быстрая смена видов транспорта, 60 % — безопасность, 40 % — сервис (продажа билетов, туалеты и пр.), 25 % — качество зон ожидания, 10 % — магазины и кафе [21, с. 39].

**Плаза де Кастилья** обслуживает около 199 тыс. пассажиров в день. Различные виды транспорта, используемые на интермодальной станции: около 40 междугородних автобусов, которые едут в город, городские автобусы, три линии метро, а также такси и личный транспорт (парковка на 400 мест). Интермодальная станция имеет четыре уровня, три из которых под землей. Станция была введена в действие в 2005 г. региональным транспортным управлением Мадрида со стоимостью строительства 134 млн евро.

**Мендес Альваро** открыта в 1997 г. с ежедневным потоком пассажиров около 180 тыс. человек. Станция включает железнодорожный транспорт, международные, междугородние, межрегиональные и городские автобусы, метро, такси.

В основе строительства и функционирования интермодальных станций Испании заложена модель взаимодействия землепользования и транспорта (Land Use and Transport Interaction, LUTI model), которая является определяющей до 2031 г. [17, с. 2]. С 2005 г. на территории Испании реализуется «Стратегический генеральный план по инфраструктуре и транспорту», в основе которого лежит интеграция различных видов транспорта: развитие интермодальных транспортных систем.

Испания является страной с самой большой протяженностью высокоскоростных железных дорог в Европе и имеет вторую по величине такую сеть в мире после Китая. Ежедневно функционирует около 400 скоростных поездов, перевозящих почти 96 тыс. пассажиров. Испания в настоящее время имеет 47 высокоскоростных станций в 27 провинциях.

Шесть стран Европы (Греция, Финляндия, Венгрия, Франция, Великобритания, Испания) имеют нормативные правовые акты на национальном (региональном и муниципальном) уровне по созданию городских интермодальных транспортных систем.

В Азии одним из крупнейших вокзалов является новый южный железнодорожный вокзал Пекина (Китай), который открылся в 2008 г. (рис. 1).





Рис. 1. Южный железнодорожный вокзал Пекина, Китай [22, с. 54]

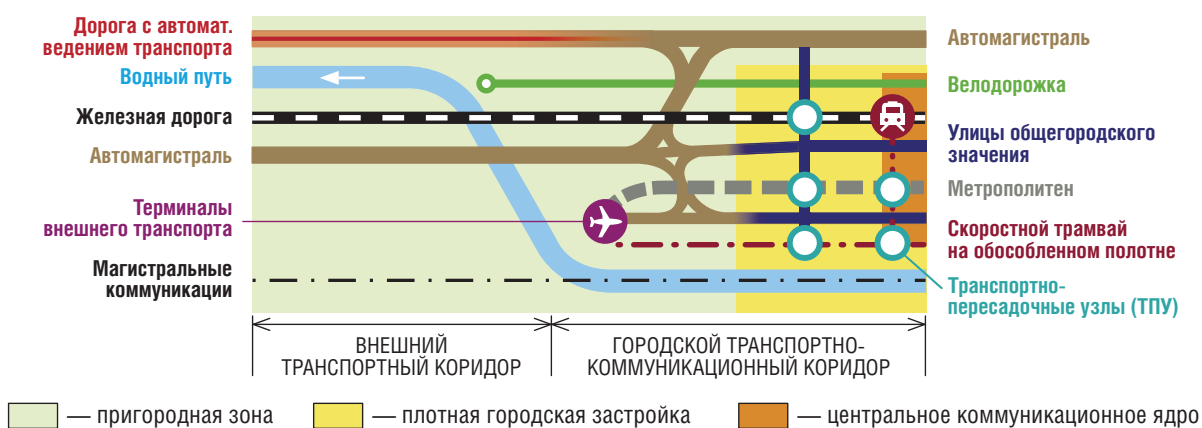


Рис. 2. Планировочные элементы региональных и городских транспортно-коммуникационных коридоров России [4, с. 154]

Вокзал объединяет две станции Пекинского метрополитена, автобусные станции (включая автобус-шаттл до аэропорта), стоянки такси, множество ресторанов, магазинов. С 2019 г. к железнодорожному вокзалу были подведены все линии общественного транспорта Пекина. Пропускная способность составляет около 30 тыс. пассажиров в час или 241 млн человек в год.

Развивая цитату профессора Лондонского университета, изучающего меняющуюся роль железнодорожных вокзалов в современных городах мира: «Ранее немыслимые объекты, такие как рестораны, кинотеатры, бизнес-центры, выставочные площадки, конференц-залы, театры, медицинские пункты, банки и пр., располагаются внутри железнодорожных станций» [25, с. 60], можно констатировать, что железнодорожные вокзалы «растворяются» в инфраструктуре современных интермодальных комплексов с принципом «от двери к двери».

## Российский опыт реконструкции вокзальных комплексов и создания транспортно-пересадочных узлов

В отечественной литературе имеются публикации по интермодальным транспортно-пересадочным узлам применительно к российским городам.

Так, в 2012 г. были разработаны концептуальные положения интермодальных транспортных систем в городах [9], в основе которых заложены городские транспортно-коммуникационные коридоры (ГТКК) (рис. 2).

Имеются немногочисленные научные публикации по интермодальности пассажирских перевозок: В. И. Апатцев, А. А. Бычкова (2011 г.) [1], А. Ю. Михайлов, Т. А. Копытова (2012 г.) [8], Е. П. Безверхая, А. В. Скопичев (2019 г.) [3] и др.

Так, например, Е. П. Безверхая, А. В. Скопинцев констатируют, что «интермодальный транспортно-пересадочный узел (ТПУ) в настоящее время является одной из самых распространенных форм трансформации вокзальных комплексов» [3, с. 136].

В Стратегии развития холдинга «РЖД» на период до 2030 г. нет ни строчки об интермодальных перевозках. Важным элементом стратегии является реконструкция существующих вокзальных комплексов и создание на их основе транспортно-пересадочных узлов, а также строительство новых ТПУ в агломерациях с интеграцией в них железнодорожной составляющей.

С целью развития вокзальной инфраструктуры ОАО «РЖД» в 2008 г. была принята Концепция эффективного использования и развития железнодорожных вокзалов Дирекции железнодорожных вокзалов — филиала ОАО «РЖД» до 2015 г., а в 2012 г. утверждена актуализированная концепция до 2030 г. и Программа комплексной модернизации и развития железнодорожных вокзалов до 2030 г. Так же, как и в Стратегии развития холдинга «РЖД», в концепции развития железнодорожных вокзалов речь идет только о транспортно-пересадочных узлах.

Интересным представляется нормативный правовой документ ОАО «РЖД» «Единые требования к формированию транспортно-пересадочных узлов и транспортно-пересадочных комплексов на сети железных дорог ОАО «РЖД», утвержденный 22 сентября 2016 г. № 1945 р. Согласно данному документу, «транспортно-пересадочный узел — комплекс объектов недвижимого имущества, включающий в себя земельный участок либо несколько земельных участков с расположенными на них, над или под ними объектами транспортной инфраструктуры, а также другими объектами, предназначенными для обеспечения безопасного и комфортного обслуживания пассажиров в местах их пересадок с одного вида транспорта на другой»; «транспортно-пе-

ресадочный комплекс — совокупность элементов транспортно-пересадочного узла, объединенных с объектами социальной, сервисной и торгово-развлекательной инфраструктуры с целью обеспечения комфортной пересадки пассажиров, а также оказания комплекса услуг пассажирам и посетителям» [6].

В России самое большое количество транспортно-пересадочных узлов расположено в г. Москве. В 2011 г. было принято Постановление Правительства Москвы «О формировании транспортно-пересадочных узлов в городе Москве», согласно которому до конца 2020 г. количество ТПУ должно составить 252 единицы. Проектирование и благоустройство ТПУ распределено следующим образом: 218 ТПУ возложено на Департамент капитального ремонта г. Москвы и 34 ТПУ на ОАО «РЖД» (Бибирево, Бульвар Дмитрия Донского, Выхино, Домодедовская, Медведково, Тушинская, Царицыно, Дмитровская, Павелецкий, Белорусский, Курская, Лужники, Казанский, Киевский, Ярославский и пр.).

Согласно градостроительным документам г. Москвы, «транспортно-пересадочный узел (ТПУ) — это общественное пространство, которое не только объединяет различные виды транспорта: метро, железную дорогу, Московское центральное кольцо и наземный городской транспорт, но и обеспечивает район необходимой социальной инфраструктурой» [11].

Среди ТПУ будут и плоскостные — в виде перехватывающих парковок, на которых можно оставить автомобиль и пересесть на метро, и капитальные. Последние предполагают строительство многофункциональных центров, гостиниц, спортивных комплексов и других объектов, необходимых жителям конкретного района.

**Плоскостные ТПУ** являются самым простым видом транспортно-перехватывающих узлов. Они менее затратны в исполнении и облегчают транспортную ситуацию в короткие сроки (рис. 3).

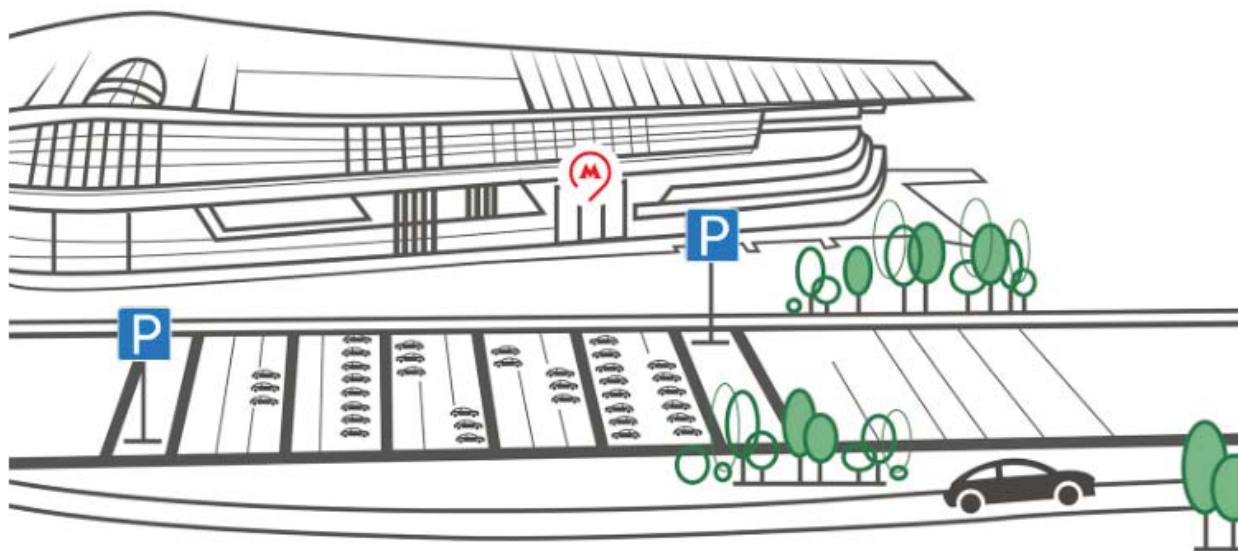


Рис. 3. Плоскостные ТПУ в г. Москве [11]



Основой плоскостных ТПУ являются перехватывающие парковки. Стоянка автомобилей на перехватывающей парковке бесплатна с 6:00 до 02:00 часов. Плата не взимается при совершении не менее двух поездок в метро с момента постановки автомобиля на парковку по одному проездному документу, действующему в метрополитене. Последний вход в подземку должен быть осуществлен на станции, отличной от той, вблизи которой располагается перехватывающая парковка.

**Капитальные ТПУ** строятся по принципу «сухие ноги» (рис. 4).

В капитальных ТПУ пассажиры защищены от капризов погоды. Пересестя с одного вида транспорта на другой они смогут, не выходя из помещения или по крытым пешеходным галереям. Такой принцип пересадки получил название «сухие ноги». Стандартного набора объектов, которые расположатся в транспортно-пересадочном узле, нет. Каждый ТПУ индивидуален.

При реализации только первых 16 ТПУ в бюджет Москвы поступили около 23 млрд в виде аренды за землю. Самым крупным ТПУ в Москве будет «Парк Победы» (рис. 5), срок ввода которого планируется в 2022 г. Ежедневная пропускная способность — около 80 тыс. человек в день (около 6 тыс. человек в час пик на станции метро «Победа»).

В состав комплекса ТПУ «Парк Победы» войдет четырехэтажный торгово-развлекательный центр, 35-этажный деловой центр и апартаменты с подземным паркингом.

В г. Екатеринбурге ТПУ, в соответствии с Генеральным планом развития города Екатеринбурга до 2025 г., будет построен на станции метрополитена «Ботаническая». Основными взаимодействующими элементами транспортно-пересадочного узла станут: станция метрополитена «Ботаническая», автовокзал «Южный» (междугородные и пригородные сообщения), участок срединного магистрального кольца с двумя транспортными развязками, остано-

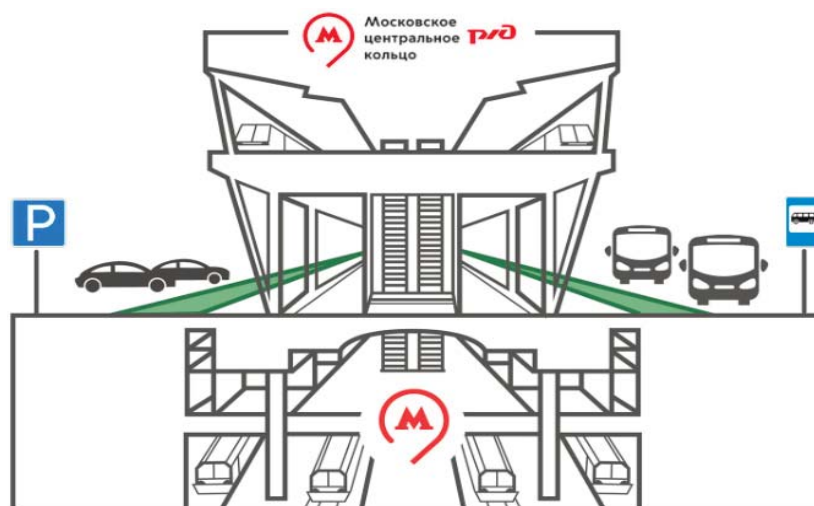


Рис. 4. Капитальные ТПУ в г. Москве [11]



Рис. 5. Проект ТПУ «Парк Победы», г. Москва

вочная платформа городской электрички «Ботаника», участок трамвайного кольца с конечной остановкой, остановки городского транспорта (как транзитные, так и конечные), автобус, троллейбус, маршрутное такси. Среднесуточный пассажирооборот ТПУ (без учета наземного городского общественного транспорта) планируется около 140 тыс. человек.

## Выводы

Нормативная правовая база ОАО «РЖД» в 2016 г. помимо транспортно-пересадочного узла сформулировала определение и требование к транспортно-пересадочному комплексу, который рассматривается

как совокупность элементов транспортно-пересадочного узла, но с дополнительными объектами социальной, сервисной и торгово-развлекательной инфраструктуры. Проработка теоретических и практических вопросов интермодальности или функциональной совместимости транспортных средств в транспортно-пересадочном комплексе позволит приблизить реалии транспортной системы России к европейской модели.

Железнодорожный вокзал будущего в нашем представлении — это транспортно-пересадочный узел на территории крупнейшего мультиинфраструктурного комплекса с социальной, сервисной и торгово-развлекательной составляющими. **ИТ**



Список литературы / Reference

1. Апатцев В. И., Бычкова А. А. Определение оптимального интермодального маршрута перемещения пассажира // Наука и техника транспорта. — 2011. — № 4. — С. 76–78. — ISSN 2074–9325.
2. Батырев В. М. Вокзалы. — М.: Стройиздат, 1988. — 216 с.
3. Безверхая Е. П., Скопинцев А. В. Функционально-технологические модели в архитектуре интермодальных транспортно-пересадочных узлов // АМІТ. — 2019. — № 3 (48). — С. 135–147. — eISSN 1998–4839. — URL: [https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/10\\_bezverhaja.pdf](https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/10_bezverhaja.pdf) (дата обращения: 07.01.2020).
4. Бочаров Ю. П., Петрович М. Л., Баранов А. С., Мирская Н. И., Жеблиенок Н. Н. Особенности функционирования транспортно-коммуникационных коридоров в крупнейших городах и агломерациях // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015 г.: сб. науч. тр. РААСН. — М.: Изд-во АСВ, 2016. — С. 154–160 с. — ISBN 978-54323-0157-4. — URL: [http://raasn.ru/news\\_docs/2016/Sbornik\\_RAASN15.pdf](http://raasn.ru/news_docs/2016/Sbornik_RAASN15.pdf) (дата обращения: 07.01.2020).
5. Васильев К. Б. Вокзал — вокзальный зал ожидания имени Вокса // Электронный философский журнал. — 2014. — Вып. 17. — 32 с. — ISSN 2077–6608. — (Электронный ресурс). — URL: <https://vox-journal.org/content/vox17/Vox17-VasilievKB.pdf> (дата обращения: 07.01.2020).
6. Единые требования к формированию транспортно-пересадочных узлов и транспортно-пересадочных комплексов на сети железных дорог ОАО «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» от 22.09. 2016 г. № 1945 р. — Электронный ресурс. Доступ из АСПИ ЖТ (дата обращения: 07.01.2020).
7. Ле Корбюзье. Три формы расселения. Афинская Хартия / пер. с франц. Ж. Розенбаума; послесл. Ю. Бочарова и А. Раппопорта. — М.: Стройиздат, 1976. — 136 с.
8. Михайлов А. Ю., Копытова Т. А. Система критериев оценки качества функционирования интермодальных узлов пассажирского транспорта // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2014. — № 6 (11). — С. 73–80. — ISSN 2227–2917.
9. Научные основы создания интермодальных транспортных систем в городах России: отчет НИР / ЦНИИП градостроительства. — ЗАО «Петербургский НИПИГрад», 2012.
10. Субботин О. С. Архитектура железнодорожных комплексов в системе города // Архитектура и строительство. — 2013. — № 2. — С. 9–13. — ISSN 0044–4472.
11. Транспортно-пересадочный узел // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. — URL: <https://stroim.mos.ru/tpu> (дата обращения 07.01.2020).
12. Самуйлов В. М., Цяо Цун, Каргапольцева Т. А. Современное состояние и развитие метрополитена г. Шанхая // Инновационный транспорт. — 2019. — № 3 (33). — С. 21–25. — ISSN 2311–164X.
13. Самуйлов В. М., Цяо Цун, Дрягина Ю. А. Городская транспортная система города Чуньцина (Китай) // Инновационный транспорт. — 2017. — № 1 (23). — С. 26–29. — ISSN 2311–164X.
14. Самуйлов В. М., Рачек С. В. и др. Региональный пассажирский комплекс: организация и управление. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005. — 224 с.
15. Samuylov V., Petrov M., Kargapol'tseva T. A model of cluster-modular development of passenger traffic in the Urals Federal District Russia // Springer «Advances in Intelligent Systems and Computing» Advances in Intelligent Systems and Computing, VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. — Vol. 2, Vol. 1116 (2020) — DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3. — URL: <https://www.springer.com/us/book/9783030379186>.
16. Petrov M., Samuylov V. Criterion of comparative efficiency in planning of the transport network // XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 403 (2019): 012196. — DOI 10.1088/1755–1315/403/1/012196.
17. Alonso A., Monzon A., Yang Wang. Modelling Land Use and Transport Policies to Measure Their Contribution to Urban Challenges: The Case of Madrid // Sustainability. 9 (2017): 378. — DOI: 10.3390/su9030378. — URL: <https://www.mdpi.com/2071–1050/9/3/378/htm> (дата обращения: 07.01.2020).
18. City-HUB Project. Innovative design and operation of new or upgraded efficient urban transport interchanges. Collaborative project Grant agreement no: 314262. 2012. — 81 p. — URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/fbc8/cd06ef48571054747e5127881cdd869ff189.pdf> (дата обращения: 07.01.2020).
19. Efthymiou M., Papatheodorou A. Travel Behaviour vis-à-vis Intermodality: Greece as a Case Study. — University of the Aegean, Greece, 2013. — 18 p. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/286109753\\_Travel\\_Behaviour\\_vis-a-vis\\_Intermodality\\_Greece\\_as\\_a\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/286109753_Travel_Behaviour_vis-a-vis_Intermodality_Greece_as_a_Case_Study) (дата обращения: 07.01.2020).
20. Heddebaut O., Palmer D. Multimodal city-hubs and their impact on local economy and land use// Transport Research Arena. — 2014. — 11 p. — URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01073030> Submitted on 8 Oct 2014 (дата обращения: 07.01.2020).
21. Hernandez S., Monzon A., de Ona R. Urban transport interchanges: A methodology for evaluating perceived quality // Transportation Research Part A: Policy and Practice. — Elsevier, 2016. — Vol. 84(C). — P. 31–43. — ISSN 0965–8564. — DOI: 10.1016/j.tra.2015.08.008. — URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/e2ee/b6f27708a00184d550c154184917c6dbce7a.pdf> (дата обращения: 07.01.2020).
22. Improving interchanges: Introducing best practices on multimodal interchange hub development in the People's Republic of China. — Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2015. — 106 p. — URL: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/175427/improving-interchanges-prc.pdf> (дата обращения: 07.01.2020).
23. Monzon-de-Caceres A., Florida Di Ciommo. Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges. — CRC Press, 2016. — 300 p.
24. Stark J., Uhlmann T. Railway Stations of the Future — Services supporting Intermodal Travelling and Promising Strategies for their Development // REAL CORP 2009: CITIES 3.0 — Smart, Sustainable, Integrative Strategies, concepts and technologies for planning the urban future. — P. 449–458. — URL: [https://programm.corp.at/cdrom2009/papers2009/CORP2009\\_13.pdf](https://programm.corp.at/cdrom2009/papers2009/CORP2009_13.pdf) (дата обращения: 07.01.2020).
25. Thammaruang Sri Khaisri Paksukcharern: Node and Place, a study on the spatial process of railway terminus area redevelopment in central London. — London, 2003. — 460 p.



Оксана Дмитриевна  
Покровская

Oksana D. Pokrovskaya



Юлия Александровна  
Мороз

Yuliya A. Moroz

## Расчет параметров контейнерной площадки

### Calculation of parameters of the container freight station

#### Аннотация

Работа посвящена разработке программного обеспечения по автоматизации расчета параметров контейнерной площадки. В статье дана краткая характеристика функциональных особенностей программы. Дано описание технического состава типового контейнерного терминала. Приведены развернутые блок-схемы реализации основных расчетных процедур. Сформулированы отличительные черты и области практического применения программы.

**Ключевые слова:** контейнерный терминал, контейнерная площадка, комплексное проектирование, программное обеспечение, технико-эксплуатационные параметры, компоновочные решения, экономическая оценка.

#### Abstract

This work is devoted to the development of software for automatic performance for the calculation of container freight station parameters. The article provides a brief description of the functional features of the program. The technical composition of a typical container terminal is described. Detailed flowcharts for implementing the main calculation procedures are presented. The distinctive features and areas of practical application of the program are formulated.

**Keywords:** container terminal, container freight station, concurrent engineering, software, technical and operational parameters, layout arrangements, economic assessment.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-11-17

#### Авторы Authors

*Оксана Дмитриевна Покровская, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург; e-mail: insight1986@inbox.ru | Юлия Александровна Мороз, студент 2-го курса Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург*

*Oksana Dmitrievna Pokrovskaya, Doctor of tech. sci., Associate Professor, "Railway stations and hubs" Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PSURT), Saint Petersburg | Yuliya Aleksandrovna Moroz, 2nd year student of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg*

## Введение

Функциональное значение контейнерных терминалов в организации мультимодальной доставки грузов в международных цепях поставок сегодня трудно переоценить. Стабильно растущие объемы контейнерных перевозок свидетельствуют об актуальности формирования и последующего наращивания терминальных мощностей для переработки контейнерных грузов и контейнеропотоков в целом. Известно, что основной функцией контейнерных накопительно-распределительных терминалов является преобразование контейнеропотоков по размеру партии груза, по интервальности и времени их отправления/прибытия с/на терминал.

Особую важность эта функция контейнерных терминалов приобретает при организации передачи контейнеропотока с одного вида транспорта на другой. Подобная грузоперерабатывающая функция терминалов необходима для физической реализации последующей эффективной перевозки (составлено авторами на основе методического материала, изложенного в работах [1–7]).

Контейнерным терминалом называется сложный мультимодальный комплекс сооружений и устройств, предназначенных для выполнения широкого спектра грузовых и коммерческих операций с контейнерами, включая погрузку-выгрузку, хранение, перевалку, формирование/расформирование партий, таможенное оформление и др., обладающий специализированным оборудованием для организации приема/выдачи, размещения на хранение, штабелирования, ремонта и подзарядки контейнеров.

Вышеизложенное говорит о достаточной сложности необходимых расчетов при организации работы терминала по переработке контейнеров и определяет постановку цели данного исследования — разработать программное обеспечение для автоматизации расчета комплекса технико-эксплуатационных параметров контейнерных площадок, входящих в состав контейнерного терминала по вариантам компоновочных схем и оборудования грузовой техникой.

## Общие сведения о программном продукте

Программа предназначена для комплексного проектирования контейнерного терминала, в частности для автоматизации расчета ключевых технико-эксплуатационных параметров контейнерной площадки и ее грузовых фронтов.

Комплексное проектирование — это процесс установления рациональных значений технико-технологических, эксплуатационных и экономических параметров контейнерного терминала как сложной логистиче-

ской системы, включая принятие экономических и технических решений при организации его работы [8–10].

Программа позволяет рассчитать вместимость контейнерной площадки, провести рациональное зонирование территории по секторам площадки с учетом подхода автомобильных и железнодорожных путей, определить интервал подач и подхода транспортных средств под грузовые операции.

Программа полезна при выборе терминального оператора и вида грузовой техники (погрузочно-разгрузочных машин), поскольку позволяет определить рациональную величину себестоимости хранения и терминальной переработки / перегрузки контейнеров на открытой площадке.

Результаты расчета могут быть применены для экономической оценки работы отдельных контейнерных площадок и при определении разумной цены на услуги по передаче контейнеров между автомобильным и железнодорожным транспортом [11–14].

Программа реализует следующий функционал: ввод исходных данных, выбор к расчету одного или нескольких вариантов компоновки контейнерной площадки по типу погрузочно-разгрузочных машин, проведение расчета элементов эксплуатационных расходов и технических параметров контейнерной площадки, выгрузка полученных результатов, их визуализация в сравнительных таблицах (в случае, если рассматривались несколько вариантов компоновки площадок), выдача пользователю итогового значения себестоимости переработки одного контейнера. Программа написана в среде Python.

В частности, программа позволяет рассчитать для различных видов компоновки и для различных вариантов технического оснащения погрузочно-разгрузочной техникой такие технико-эксплуатационные показатели контейнерной площадки, как:

- число мест для грузовых автомобилей на автостоянках в пределах контейнерного терминала;
- количество автомобильных полос движения;
- коэффициент застройки территории;
- коэффициент полезного использования территории контейнерного терминала;
- число контейнеров с учетом занимаемого места одним контейнером (единовременная емкость контейнерной площадки);
- число ярусов хранения контейнеров по высоте;
- коэффициент оборачиваемости контейнеров;
- число фитинговых платформ в подаче вагонов на терминал;
- габариты контейнерной площадки;
- перерабатывающая способность и грузооборот контейнерного терминала;
- длина участка погрузки-разгрузки железнодорожных вагонов;
- время разгрузки/подачи вагонов;
- количество подъемно-транспортных машин на контейнерной площадке и др.



Расчеты выполняются по методикам, изложенным в работах [4, 8, 11, 15–26]. Компоночные решения контейнерных площадок, учитываемые при расчетах в данном программном продукте, показаны на рис. 1.

Программа позволяет выбрать к расчету один или к сравнению несколько типов грузового оборудования и в результате подобрать рациональный тип основного технологического оборудования для переработки, перегрузки и хранения контейнеров (краны, погрузчики, грузозахватные устройства, по вариантам).

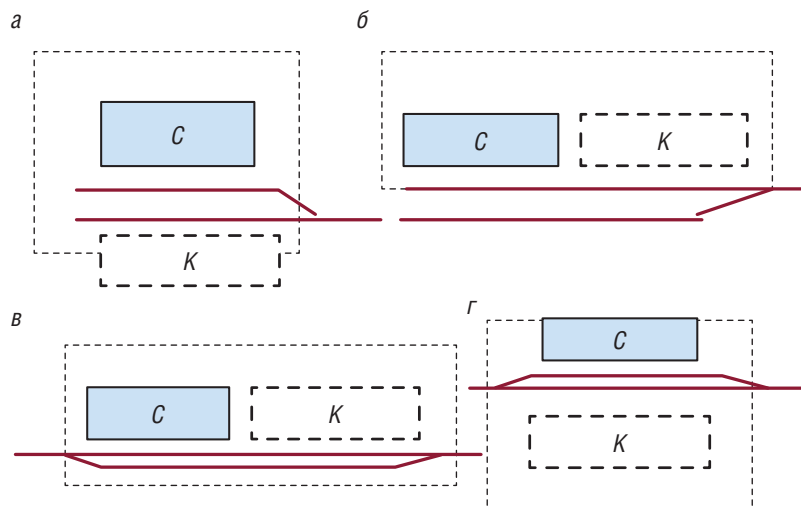


Рис. 1. Выбор типа компоновочного решения контейнерной площадки: тупиковый тип (а — поперечный вариант, б — продольный) и проходной тип (в — продольный вариант, г — поперечный); К — контейнерные площадки; С — складские комплексы

## Описание программного продукта и особенностей работы с ним

Алгоритм расчетов предусматривает два варианта работы с программой:

1 вариант — если размеры контейнерной площадки известны (длина, ширина, конфигурация, площадь), то требуется определить ее емкость и возможную перерабатывающую способность (применяется при реконструкции существующего терминала).

2 вариант — при известном требуемом годовом грузопотоке контейнеров нужно определить емкость и размеры площадки для переработки этого грузопотока (применяется при строительстве нового терминала).

Принципиальная блок-схема рабочих процедур, реализуемых программой, показана на рис. 2.

На рис. 3 представлена блок-схема расчета емкости контейнерной площадки в прямой постановке (размеры площадки известны).

На рис. 4 показан расчет емкости контейнерной площадки в обратной постановке (размеры площадки неизвестны).

Общий вид интерфейса программы при проведении основных расчетных процедур представлен на рис. 5.

Результаты расчетов могут быть выгружены в MS Excel (рис. 6).

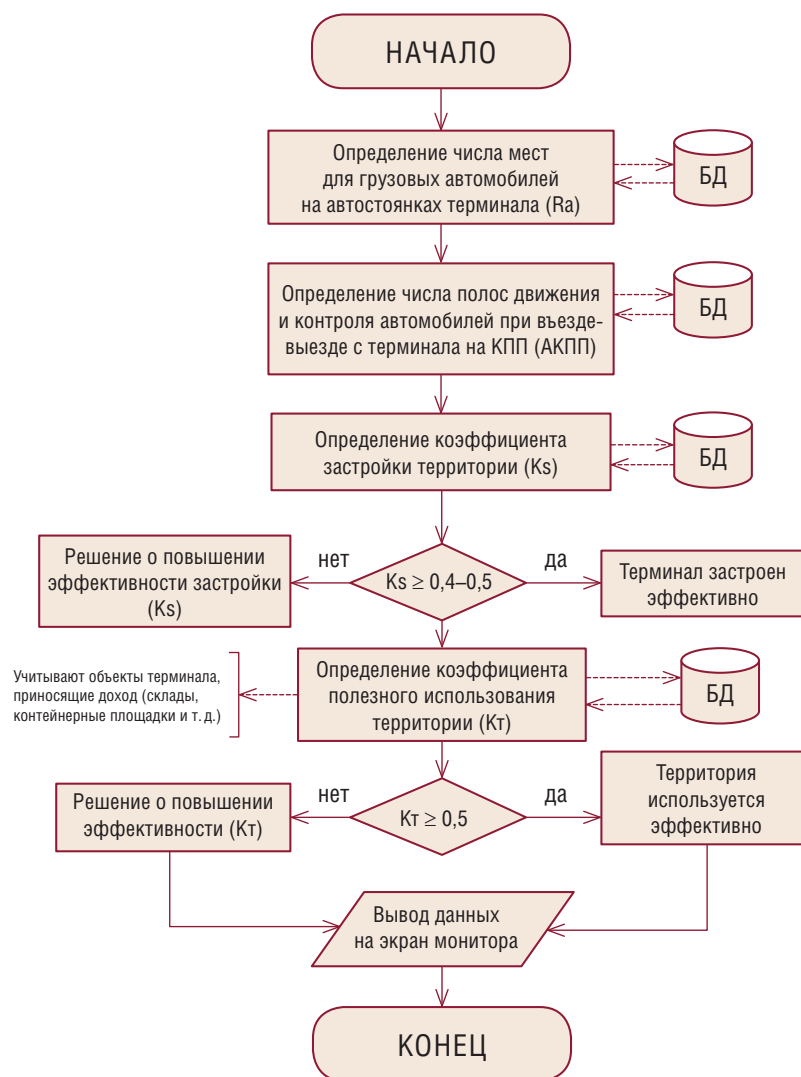
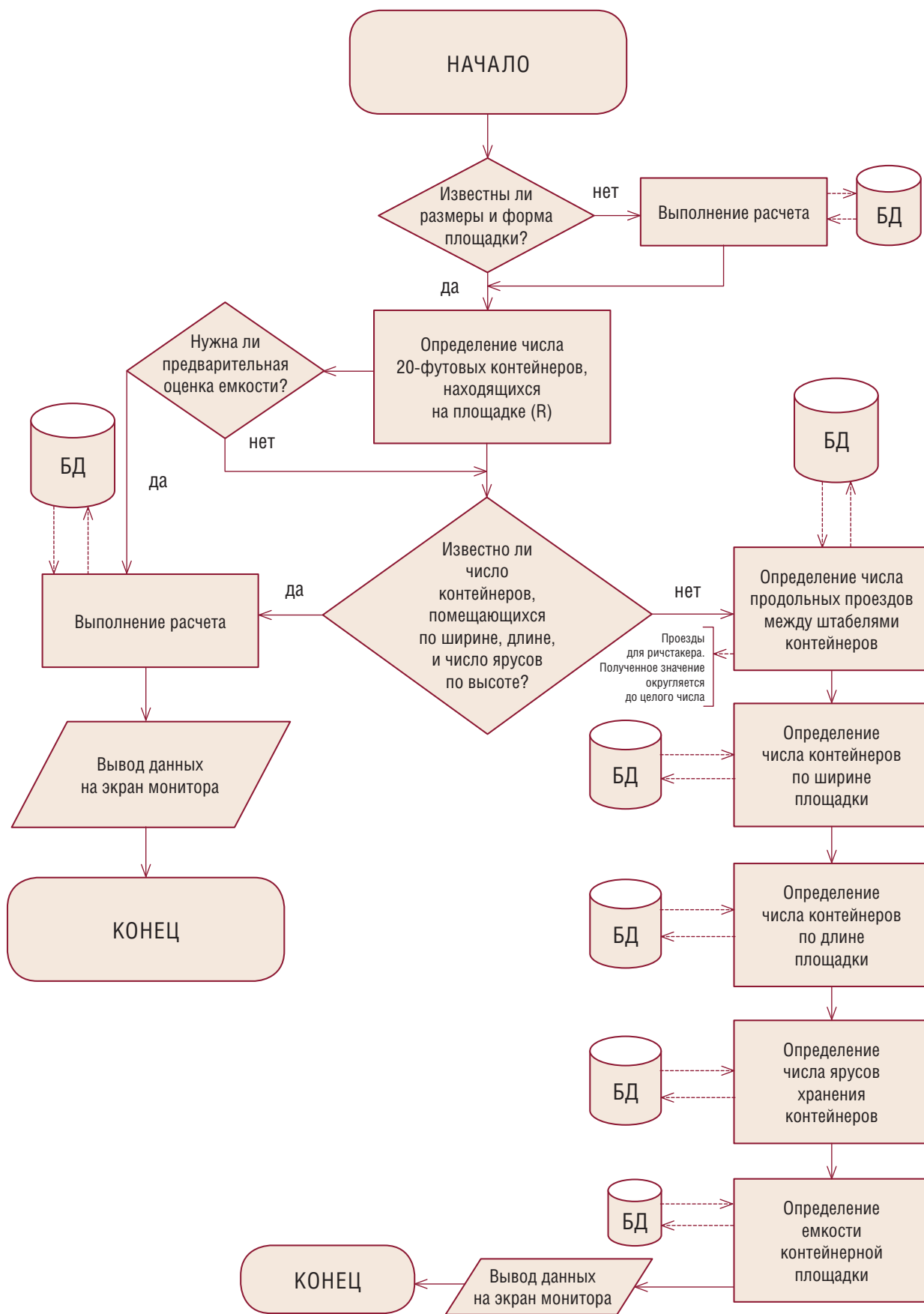


Рис. 2. Блок-схема работы программы



О. Д. Покровская, Ю. А. Мороз | Расчет параметров контейнерной площадки

Рис. 3. Блок-схема работы программы в прямой постановке задачи

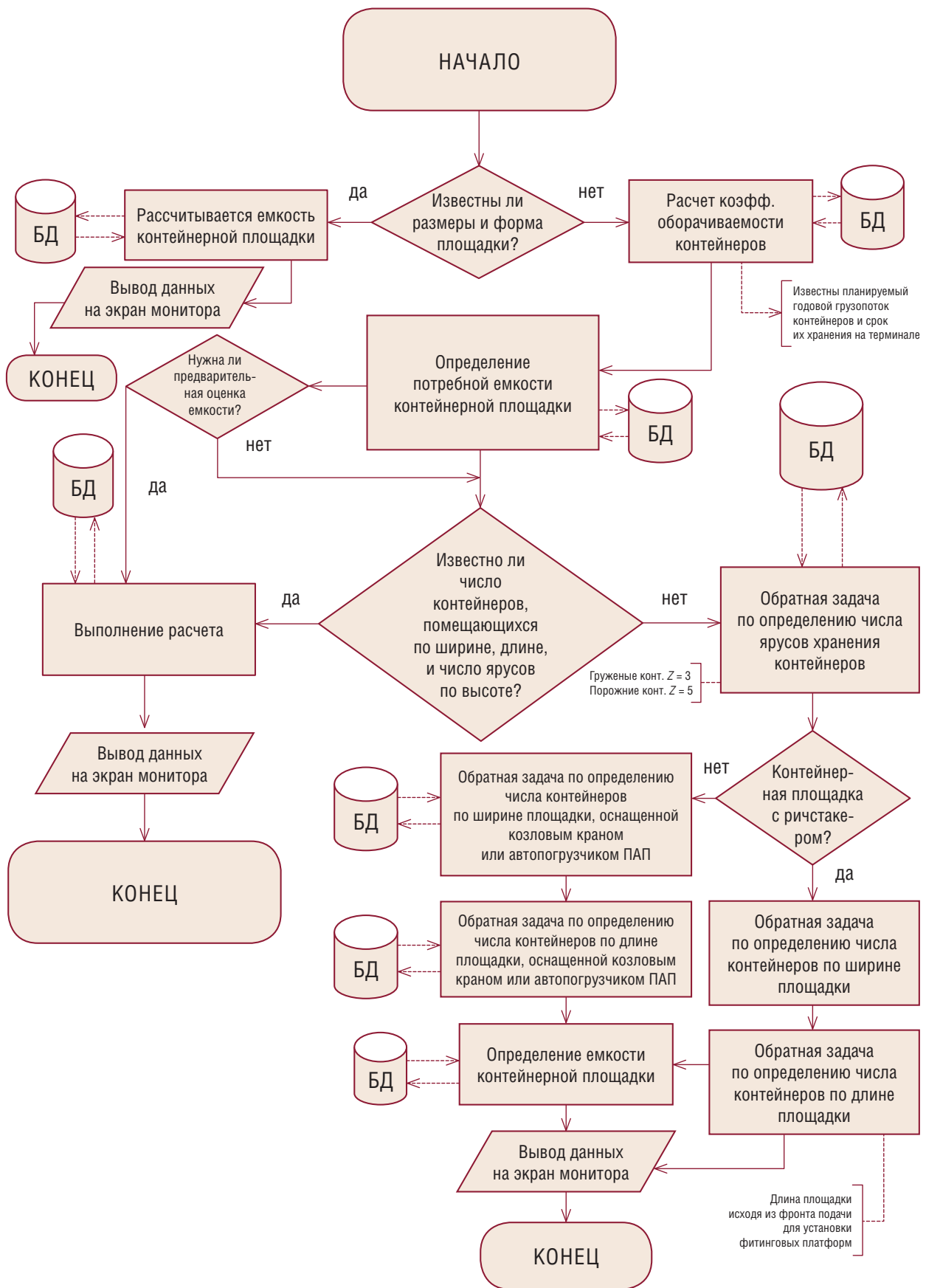


Рис. 4. Блок-схема работы программы в обратной постановке задачи



## Заключение

Таким образом, в работе предложена пилотная версия программного обеспечения по расчету параметров грузового терминала.

Результаты расчета могут быть применены для экономической оценки работы отдельных контейнерных площадок и при определении разумной цены на услуги по передаче контейнеров между автомобильным и железнодорожным транспортом. Подготовлена и подана заявка в Роспатент на государственную регистрацию программы для ЭВМ (правообладатель: ПГУПС Императора Александра I). В дальнейшем возможно усложнение расчета путем дополнения исходного кода вложенными циклами по расчету параметров:

- экологичности (с использованием результатов работ [27–39]);
- генерального планирования;

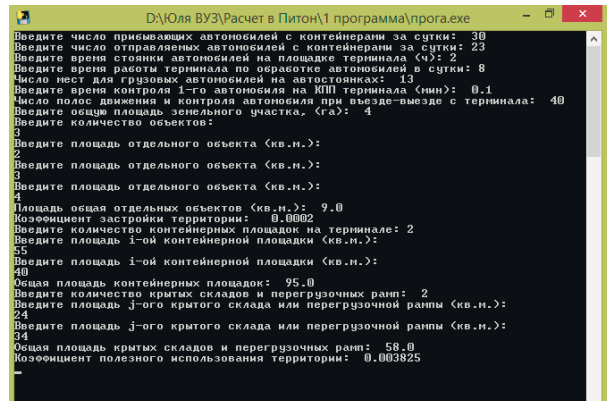


Рис. 5. Рабочее окно программы

- логистического управления запасами контейнерного терминала;
- организации политранспортных перевозок с использованием терминала [40–41] и др. ИТ

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	К	Л	М	О						
расчет по формуле 4.1																		
Расчет емкости контейнерной площадки при известных ее размерах, (вариант №1)																		
общее колич. ДФЭ на конт.площадке, R	число ДФЭ по ширине площадки*, x	число ДФЭ по длине площадки, y	число ярусов хранения конт. по высоте, z															
20865,09148	530,0861079	13,12056738	3	для грузовых конт. z=3, для порожних z=5														
$R_{\text{конт}} \cdot x \cdot y \cdot z$ (4.1)																		
расчет по формуле 4.2																		
Число контейнеров по ширине площадки с автопогрузчиком, x				ширина конт. площадки, B (метров)				расчет по формуле 4.3										
348,3257919				700				число продольных проездов между штабелями контейнеров для одного штабеля, (n)										
				значение определяется пользователем				22,80392157										
$x = \lfloor (B - n \cdot A - 2) / 2.6 \rfloor$ , где $\lfloor \dots \rfloor$ — целая часть числа, полученного в (...) (4.2)																		
расчет по формуле 4.4																		
длина конт. площадки, L (метров)		ширина проезда, A		число поперечных проездов по площадке, m (в метрах)			число контейнеров по длине площадки с автопогрузчиком, y											
100		15		1,613172542			12,03212887											
значение определяется пользователем																		
значение определяется изменением формулы 4.3																		
целая часть числа принимается аналогично формуле 4.2																		
расчет по формуле 4.5. Предварительная оценка емкости контейнерной площадки, выполненная с использованием удельного показателя площади 1 конт. ДФЭ ( $\Delta S$ )																		
площадь контейнерной площадки, S (в м.кв.)			Размеры прямоугольника			Размеры трапеции			емкость контейнерно									
в форме прямоугольника			в форме трапеции			ширина, B (метров)			длина, L1 (метров)		длина, L2		ширина, B		в форме прямоугольника			
50000			70000			100			500		400		300		200		2500	
значение определяется пользователем																		
для расчетов принимаем																		
принимаемые значения $\Delta S$ - удельный показатель необходимой площади для размещения одного контейнера ДФЭ (м.кв.)																		
площадка с автопогрузчиком-ринкстакером, 3 яруса по высоте			площадка с портальным автопогрузчиком			площадка с козовым контейнерным перегрузчиком												
20 21 22			13 14 15 16 17 18			8 9												
площадка с безрыльсовым пневмоколовым краном ППК									10									
6 7 8																		

Рис. 6. Вариант оформления выгрузки результатов расчета в файл MS Excel

## Список литературы / Reference

1. Журавлев Н.П. Транспортно-грузовые системы : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н. П. Журавлев, О. Б. Маликов. — М. : УМНЦ, 2005. — 438 с.
2. Журавлев Н. П. Экономика и организация промышленного транспорта : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / под ред. Н. П. Журавлева и И. С. Беседина. — М. : ИПК «Желездориздат», 2001. — 440 с. — ISBN 5-94069-009-2.
3. Маликов О. Б. Грузовые терминалы в системе организации поездопотоков / О. Б. Маликов // Железнодорожный транспорт. — 2011. — № 9. — С. 74–76.
4. Маликов О. Б. Контейнерные терминалы: устройство, оборудование, проектирование, исследования. — Саарбрюкен, Германия, Lambert Academic Publishing, 2014. — 257 с.
5. Маликов О. Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок. — М. : УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. — 536 с.
6. Маликов О. Б. Склады и грузовые терминалы. — СПб. : Бизнес-Пресса, 2005. — 648 с.
7. Маликов О. Б. Склады промышленных предприятий : справочник / О. Б. Маликов, А. Р. Малкович : под. ред. О. Б. Маликова. — Л. : Машиностроение, 1989. — 672 с.
8. Экономика России: прошлое, настоящее, будущее : коллективная монография / под общ. ред. Н. А. Адамова. — М. : Институт исследования товародвижения и конъюнктуры оптового рынка, 2014. — 248 с. — ISBN 978-5-00082-006-3.
9. Брутян М. М. Инновационный потенциал национальной экономики: приоритетные направления реализации : монография / М. М. Брутян, Е. Э. Головачанская, Т. Е. Даниловских и др.; под общ. ред. С. С. Чернова. — Новосибирск, ЦРНС, 2015. — 164 с.
10. Покровская О. Д. «Сбитый прицел» клиентоориентированности // РЖД-Партнер. — 2016. — URL: <https://www.>

- ezd-partner.ru/logistics/news/sbityi-pritsel — klientoorientirovannosti-414174.
11. Покровская О. Д. Алгоритмизация задачи комплексного расчета параметров терминальной сети региона / О. Д. Покровская, И. В. Воскресенский // Транспорт Урала. — 2011. — № 1 (28). — С. 10–13. — ISBN 1815–9400.
  12. Покровская О. Д. Методика построения сетевого графа структуры логистического объекта / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15, № 1. — С. 18–27. — ISSN 1992–3252.
  13. Pokrovskaya O. D. Chi terminologica reale come una nuova direzione scientifica / O. D. Pokrovskaya // Italian Science Review. — 2016. — N 1(34). — P. 112–116.
  14. Покровская О. Д. Организация международной доставки груза через распределительный центр : учеб. пособие. — Новосибирск, ЦРНС, 2015. — 102 с.
  15. Покровская О. Д. Организация работы складской распределительной системы : учеб. пособие. — Новосибирск, ЦРНС, 2015. — 72 с.
  16. Покровская О. Д. Понятийный аппарат терминалистики / О. Д. Покровская, Т. С. Титова // Бюллетень результатов научных исследований. — 2018. — № 2. — С. 29–43. — eISSN 2223–9987.
  17. Покровская О. Д. Вопросы логистической иерархии железнодорожных объектов / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Известия ПГУПС. — 2016. — № 4 (49). — С. 521–531. — ISSN 1815–588X.
  18. Самуйлов В. М., Покровская О. Д., Цяо Ц. Концепция «Новый шелковый путь» (Китай, Россия, Германия) // Инновационный транспорт. — 2017. — № 4 (26). — С. 26–28. — ISSN 2311–164X.
  19. Самуйлов В. М. Покровская О. Д. Практика и эффективность формирования транспортно-логистических кластеров // Вестник УРГУПС. — 2016. — № 4 (32). — С. 76–88. — ISSN 2079–0392.
  20. Соколов И. А. Прорывные инновационные технологии для инфраструктур. Евразийская цифровая железная дорога как основа логистического коридора нового Шелкового пути / И. А. Соколов, В. П. Куприяновский, О. Н. Дунаев, С. А. Снягов, П. В. Куренков, Д. Е. Намиот, А. П. Добрынин, А. Н. Колесников, М. М. Гоник // International Journal of Open Information Technologies. — 2017. — Т. 5, № 9. — С. 102–118.
  21. Котляренко А. Ф. Взаимодействие на транспортных стыках при внешнеторговых перевозках / А. Ф. Котляренко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. — 2002. — № 2. — С. 48–52.
  22. Полянский Ю. А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю. А. Полянский, П. В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление : сб. НТИ / ВНИТИ РАН. — 2003. — № 7. — С. 8–18.
  23. Елисеев С. Ю., Котляренко А. Ф., Куренков П. В. Стратегия логистического управления внешнеторговыми перевозками // Транспорт: наука, техника, управление : сб. ОИ / ВНИТИ. — 2004. — № 3. — С. 26–35.
  24. Куренков П. В., Нехаев М. А. Задачи ситуационно-процессного управления сортировочной станцией // Железнодорожный транспорт. — 2012. — № 4. — С. 29–31.
  25. Куренков П. В. Логистический подход к управлению грузопотоками / П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. — 1997. — № 3. — С. 13–15.
  26. Стеценко В. В. Коммерческое взаимодействие транспортных систем / В. В. Стеценко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. — 1998. — № 10. — С. 31–36.
  27. Титова Т. С., Подходы к обеспечению техносферной и экологической безопасности объектов транспорта / Т. С. Титова, Р. Г. Ахтямов, А. Н. Елизарьев, Е. Н. Елизарьева. — Уфа, 2017. — 72 с.
  28. Titova T. S., Longobardi A., Akhtyamov R. G., Nasyrova E. S. Lifetime of earth dams / Инженерно-строительный журнал. — 2017. — № 1 (69). — С. 34–43.
  29. Titova T. S., Akhtyamov R. G., Nasyrova E. S., Elizarev A. N. Accident at river-crossing underwater oil pipeline // MATEC Web of Conferences electronic edition. — 2018. — P. 06003.
  30. Титова Т. С., Ахтямов Р. Г. Методы управления техногенным риском. — СПб., 2017. — 21 с.
  31. Сватовская Л. Б., Титова Т. С., Русанова Е. В. Новые технологии утилизации отработанных деревянных шпал // Наука и техника транспорта. — 2005. — № 3. — С. 16–18. — ISSN 2074–9325.
  32. Титова Т. С. Использование в строительстве автоклавного шумозащитного пенобетона / Т. С. Титова, Е. И. Макарова, Е. П. Дудкин // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — № 2 (54). — С. 35–39. — eISSN 2071–7342.
  33. Пат. 2255074 Российская Федерация, МПК 7 С 04 В 38/10. Автоклавный пенобетон / Сватовская Л. Б., Соловьева В. Я., Ковалев В. И., Сапожников В. В., Елизаров С. В., Мартынова В. Д., Хитров А. В., Сычева А. М., Титова Т. С., Чернаков В. А. — № 2004110065/03; заявл. 26.03.2004; опубл. 27.06.2005, Бюл. № 18. — 6 с.
  34. Ахтямов Р. Г., Титова Т. С. Геоэкологические проблемы обеспечения безопасности при обращении с отходами. — Saarbrücken, 2016. — 109 с.
  35. Ахтямов Р. Г., Титова Т. С. Производственная и промышленная безопасность при обращении с отходами. — Saarbrücken, 2016. — 145 с.
  36. Титова Т. С. Система управления техносферной безопасностью / Т. С. Титова, Р. Г. Ахтямов. — СПб. : ПГУПС, 2017. — 23 с.
  37. Титова Т. С. Методология комплексной оценки влияния новых технологий на геоэкологическую обстановку // Вестник Всерос. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. — 2005. — № 5. — С. 2–5.
  38. Титова Т. С. Технические решения по снижению шума от высокоскоростных железнодорожных магистралей / Т. С. Титова, А. Е. Шашурин, Ю. С. Бойко // Транспорт Российской Федерации. — 2015. — № 2 (57). — С. 30–35. — ISSN 1994–831X.
  39. Титова Т. С. Экологические проблемы транспортного строительства / Т. С. Титова, А. А. Степанова // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБ-ТРАНС-2014) : материалы IV Междунар. науч.-практ. конференции. — СПб. : ПГУПС, 2014. — С. 202–204.
  40. Куренков П. В., Сафронова А. А., Кахриманова Д. Г. Логистика международных интермодальных грузовых перевозок // Логистика. — 2018. — № 3 (136). — С. 24–27. — ISSN 2219–7222.
  41. Куренков П. В., Преображенский Д. А., Астафьев А. В., Сафронова А. А., Кахриманова Д. Г. Перспективные направления развития политранспортной логистики // Железнодорожный транспорт. — 2019. — № 3. — С. 36–41.

Объем статьи: 0,7 авторских листа



**Валерий Михайлович Самуйлов**

**Valeriy M. Samuylov**



**Валентина Сергеевна Паршина**

**Valentina S. Parshina**



**Кирилл Дмитриевич Серов**

**Kirill D. Serov**

## Особенности логистической организации мультимодальных перевозок Россия — Китай

### Features of the logistic organization of multimodal Russia-China transportation

#### Аннотация

Современная транспортная логистика предлагает массу решений, позволяющих доставлять грузы оптимальным способом. Достаточно сложными с организационной точки зрения являются мультимодальные перевозки. В данной статье рассматриваются особенности и основные проблемы смешанных видов перевозок в международном сообщении. Также приведено описание сервиса мультимодальных перевозок Россия — Китай компании АО «РЖД Логистика».

**Ключевые слова:** интермодальные перевозки, мультимодальные перевозки, терминально-складские системы, контейнерные перевозки, Россия, Китай.

#### Abstract

Modern transport logistics offers a lot of solutions allowing to deliver goods in an appropriate way. Multimodal transportation is quite institutionally complex. Features and main problems of mixed modes of transport in international traffic are discussed in this article. The description of the multimodal Russia-China transportation service of JSC «Russian Railways logistics» is also given.

**Keywords:** intermodal transportation, multimodal transportation, terminal and warehouse systems, container transportation, Russia, China.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-18-23

#### 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 | **Валентина Сергеевна Паршина**, д-р экон. наук профессор кафедры «Управление в социальных и экономических системах, философия и история» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Кирилл Дмитриевич Серов**, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: kir-se2009@yandex.ru

**Valeriy Mikhailovich Samuylov**, DSc in Engineering, Full Member of the RAT, Professor, World Economy and Logistics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Valentina Sergeevna Parshina**, Doctor of Economics, Chair professor "Social and economic systems control, philosophy and history", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Kirill Dmitrievich Serov**, post graduate student, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: kir-se2009@yandex.ru



Современный мир невозможно представить без грузоперевозок. Транспортировка грузов играет ключевую роль в развитии экономики всех стран. Но сам процесс организации, управления и контроля транспортных потоков — задача сложная и требует огромных технических, информационных и финансовых ресурсов. А проблема взаимодействия видов транспорта друг с другом является одной из ключевых позиций в логистике, поскольку большинство грузов перевозятся при участии нескольких видов транспорта, такие транспортировки называются смешанными или мультимодальными.

В терминологии логистики возникла ситуация, когда некоторые определения используются как синонимы, а именно интермодальные, комбинированные, мультимодальные и смешанные перевозки. Следовательно, необходимо разобраться в данных определениях и понять суть их трактовки, чтобы избежать дальнейших трудностей.

В западных странах перевозки с использованием нескольких видов транспорта носят название мультимодальных или комбинированных. А перевозки, выполняемые одним видом транспорта в прямом сообщении, именуются унимодальными.

Мультимодальная перевозка — это транспортировка товаров, выполняемая по одному договору с использованием двух или более видов транспорта: морского, автомобильного, железнодорожного, авиационного, включая терминальную обработку товаров.

Отличительные характеристики данного вида перевозок:

- сопроводительные перевозочные документы оформляются на каждый вид транспорта отдельно;
- на перевалочных терминалах необходимо присутствие грузовладельца или его представителя для оказания необходимых организационных работ;
- нет единого координатора перевозочного процесса на всем маршруте следования.

Интермодальная перевозка — это транспортировка груза, осуществляемая от начального пункта до конечного в одной транспортной (интермодальной) единице. Это может быть паллет, контейнер, съемный кузов, контейнер или автотранспорт (рис. 1), при этом дополнительные перевалки грузов не производятся.

Основное отличительное свойство интермодальной технологии перевозочного процесса от остальных видов в том, что сам продукт (товар) не перегружается, не перекладывается по отдельности с одного вида транспорта на другой, а переносится непосредственно сама транспортная единица: контейнер, контейнер или другая емкость, необходимая для перевозки грузов целиком. Важная составляющая такой технологии в том, что остаются целыми пломбы и другие запорные устройства, предотвращающие непосредственный доступ к грузу, таким образом вероятность повреждения и порчи груза в разы сокращается [1].



Рис. 1. Интермодальные транспортные единицы

Сравнивая термины «мультиmodalная» и «интерmodalная перевозка», можно сделать вывод о том, что «интерmodalная перевозка» — это улучшенная «мультиmodalная перевозка», которая позволяет получить дополнительный экономический эффект от уменьшения терминальных расходов по обработке груза и сокращения общего срока доставки.

Как было сказано выше, до сих пор нет согласованной терминологии по видам транспортировки, это касается как международной практики, так и России. Необходимо продолжать работу над стандартизацией терминологии смешанных перевозок и формированием законодательной базы. Некоторые основные определения в области международного транспортного права, касающиеся способов транспортировки, приведены в табл. 1.

На сегодняшний день практически любая технология перевозочного процесса в логистической цепи связана с использованием терминальных комплексов, особенно это характерно для мультиmodalных и интерmodalных перевозок. Перевозки такого типа называются терминальными. Одним из ключевых объектов логистической инфраструктуры являются грузовые терминалы — специализированные комплексы сооружений, технологических и технических устройств, которые согласованно взаимодействуют друг с другом с целью выполнения логистических операций, таких как погрузка-выгрузка, сортировка, грузопереработка, приемка, хранение и т.д.

Смешанные перевозки от начального до конечного пункта («от двери до двери») более сложные и требуют особого внимания, чем перевозки, осуществля-

Таблица 1

## Способы перевозки и сопутствующие термины, применяющиеся в международной практике [2]

Термин	Определение	Источник
Униmodalная перевозка	Перевозка грузов одним видом транспорта одним или несколькими перевозчиками. Если участвует только один перевозчик, то он выдает собственный документ перевозки, например, коносамент, транспортную накладную, накладную на авиаперевозку и т.д. Если перевозчиков несколько, то один из них может выдавать сквозной коносамент на всю перевозку от порта до порта или только на свою часть	Рекомендации ФИАТА (FIATA)
Интерmodalная перевозка	Перевозка грузов несколькими видами транспорта, причем один из перевозчиков организует всю перевозку из пункта (или порта) отправки до пункта (или порта) назначения через все промежуточные пункты (или порты). В зависимости от того, как разделяется ответственность за перевозку, выдаются различные виды документов перевозки	Правила ЮНКТАД (UNCTAD)
Сегментированная перевозка	Перевозчик, организующий перевозку, берет на себя ответственность только за свою часть. Он может выписать коносамент на интерmodalную или комбинированную перевозку	Правила ЮНКТАД (UNCTAD)
Мультиmodalная перевозка	Оператор, организующий перевозку, берет на себя ответственность за всю перевозку. При этом он выдает документ мультиmodalной перевозки	Правила ЮНКТАД (UNCTAD)
Комбинированная перевозка	Перевозка грузов в одном и том же контейнере или транспортном средстве последовательно различными видами транспорта (автомобильным, железнодорожным и т.д.) с использованием сквозного документа, например коносамента FIATA	Правила ЮНКТАД (UNCTAD)
Договор смешанной перевозки	Один договор на перевозку грузов по крайней мере двумя различными видами транспорта	Правила ЮНКТАД/МТП в отношении документов смешанных перевозок
Оператор смешанных перевозок (ОСП)	Любое лицо, заключившее договор смешанной перевозки. Подразумевает ответственность за осуществление указанного договора в качестве перевозчика	Правила ЮНКТАД/МТП в отношении документов смешанных перевозок
Документ смешанной перевозки	Документ, удостоверяющий договор смешанной перевозки, может быть заменен сообщениями электронного обмена данными: в виде оборотного документа; в виде необоротного документа с указанием имени грузополучателя	Правила ЮНКТАД/МТП в отношении документов смешанных перевозок

емые каждым видом транспорта по отдельности. Но в то же время такой вид перевозок более прост для клиента, поскольку экспедитор осуществляет взаимодействие только с одним оператором, предлагающим комплекс услуг с учетом всех необходимых требований. В данном случае оператор комбинированной перевозки создает для клиента выгодную обстановку, способствующую более быстрому осуществлению сделки, и отправителю и получателю не приходится договариваться по отдельности с каждым перевозчиком, участвующим в транспортной цепи. Дополнительный плюс такой технологии для клиента заключается в оплате услуги, так как оплачивается она, как правило, одной суммой, за доставку «от двери до двери», а не за комплекс мелких услуг, которые в сумме стоили бы гораздо дороже.

Доставка груза по принципу «от двери до двери» осуществляется в интермодальной перевозке в основном за счет использования автомобильного транспорта в транспортной цепи. При этом не стоит в прямом смысле воспринимать иностранный термин «door to door». В действительности под данным термином понимается доставка груза от склада отправителя до склада получателя.

Со временем, управляя перевозочным процессом в смешанном сообщении, экспедиторы, а после железнодорожники и моряки поняли, что гораздо экономичнее и рациональнее укомплектовывать мелкие партии грузов в сборные отправки, так как главным преимуществом доставки сборных грузов является экономия денежных средств за счет оптимальной загрузки грузового отсека транспортного средства. При этом оплата такой услуги производится только за использование того полезного объема транспортного средства, которому соответствует его товар [3].

Основная часть времени нахождения груза в процессе перевозки приходится именно на терминаль-



Рис. 2. Контейнерные маршруты АО «РЖД Логистика» [5]

ные операции, подвоз и вывоз груза в начальных и конечных пунктах, а также на перевалочные работы. В связи с этим наилучшим вариантом является непрерывный процесс транспортировки «от двери до двери», и ставится задача поиска дополнительных резервов ускорения доставки и получения максимального эффекта при организации работы в транспортных узлах.

За последние годы транспортно-экспедиционная деятельность в России получила значительное развитие. Созданы тысячи экспедиторских компаний на всех видах транспорта, при этом очень многие взаимодействуют с железными дорогами. Процесс перевозки груза состоит из двух главных составляющих: перемещение потока и преобразование потока. Преобразование потока осуществляется на стыке производство — транспорт, транспорт — производство и между двумя перевозчиками. И, как правило, транспортный поток не может бесперебойно следовать через стык без трансформации. При укрупнении или дроблении единиц грузового потока не обойтись без складов, в которых возникает особый вид преобразования. Экспедиционная фирма мо-

жет грамотно увязать работу отдельных складов и перевозчиков и создать единую транспортно-складскую систему [4].

Одним из лидеров российского логистического рынка является транспортно-экспедиционная компания АО «РЖД Логистика» — крупнейший на территории СНГ и стран Балтии мультимодальный логистический оператор. На примере данной компании можно увидеть реальные тенденции и перспективы развития международных мультимодальных перевозок, а именно сотрудничество России и Китая. Данное сотрудничество стало особенно актуальным для России после введения санкций в 2014 г., ведь именно Китай и его финансовые ресурсы способны нивелировать эффект санкций. С того времени прошло уже более пяти лет, и за этот период страны научились хорошо понимать друг друга и участвовать в масштабных взаимовыгодных проектах.

АО «РЖД Логистика» организует регулярные импортные и экспортные контейнерные отправки по различным маршрутам из Китая в Россию и из России в Китай за 14–16 суток (рис. 2).



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

Основные экспортные маршруты:  
 Москва — Чунцин (через Монголию) (от 14 суток).  
 Москва — Сучжоу / Циндао / Шилун / Тяньцзинь / Далань (через Забайкальск) (от 16 суток).  
 Иркутск / Новосибирск / Красноярск — Чунцин / Шанхай (от 10 суток).

Основные импортные маршруты:  
 Сучжоу / Нанкин / Шилун / Гуанчжоу / Далянь / Иу — Москва (через Забайкальск) (от 16 суток).

Тяньцзинь — Москва (через Монголию) (от 14 суток).  
 Чунцин — Москва (через Монголию) (от 14 суток).

В целом по России большая часть экспортных и импортных перевозок с Китаем осуществляется с использованием морского транспорта. Однако за последние четыре года объем перевозок контейнеров по железной дороге на маршруте Китай — Россия вырос практически в пять раз (рис. 3).

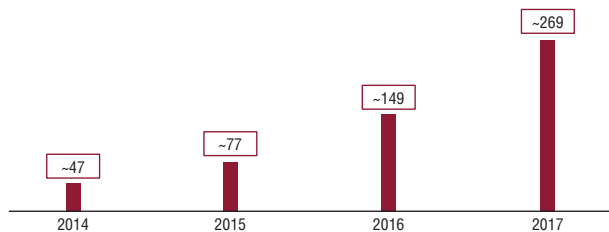


Рис. 3. Перевозки контейнеров между Китаем и Россией по железной дороге, тыс. TEU

Помимо маршрутов из России в Китай и обратно, «РЖД Логистика» активно развивает сервис транзитных перевозок. Так, в мае 2019 г. компания договорилась о развитии транзитных перевозок из Китая в Европу с одним из логистических гигантов Китая — Sinotrans. Стороны договорились об отправке контейнерных поездов в Европу из многих китайских провинций: Циндао, Чанши, Шилуна, Шэньяня и других. Объемы существующих транзитных перевозок говорят о реальной тенденции роста и перспективах сотрудничества с Китаем (рис. 4).

Протяженная совместная граница и длительная история экономических, политических и культурных связей между Россией и Китаем способствуют развитию взаимодействия в области транспорта [6, 7]. Тем не менее до настоящего времени оно не переросло в масштабное сотрудничество. Необходимо понимать особенности сложных мультимодальных перевозок и постоянно решать задачи по улучшению технологии взаимодействия видов транспорта. Это позволит ускорить логистические процессы и решить множество транспортных задач в сфере международного сотрудничества. А взаимодействие с крупными логистическими компаниями Китая открывает для России новые перспективы и широкие возможности для привлечения новых грузоотправителей как из Китая, так и из Европы. **ИТ**

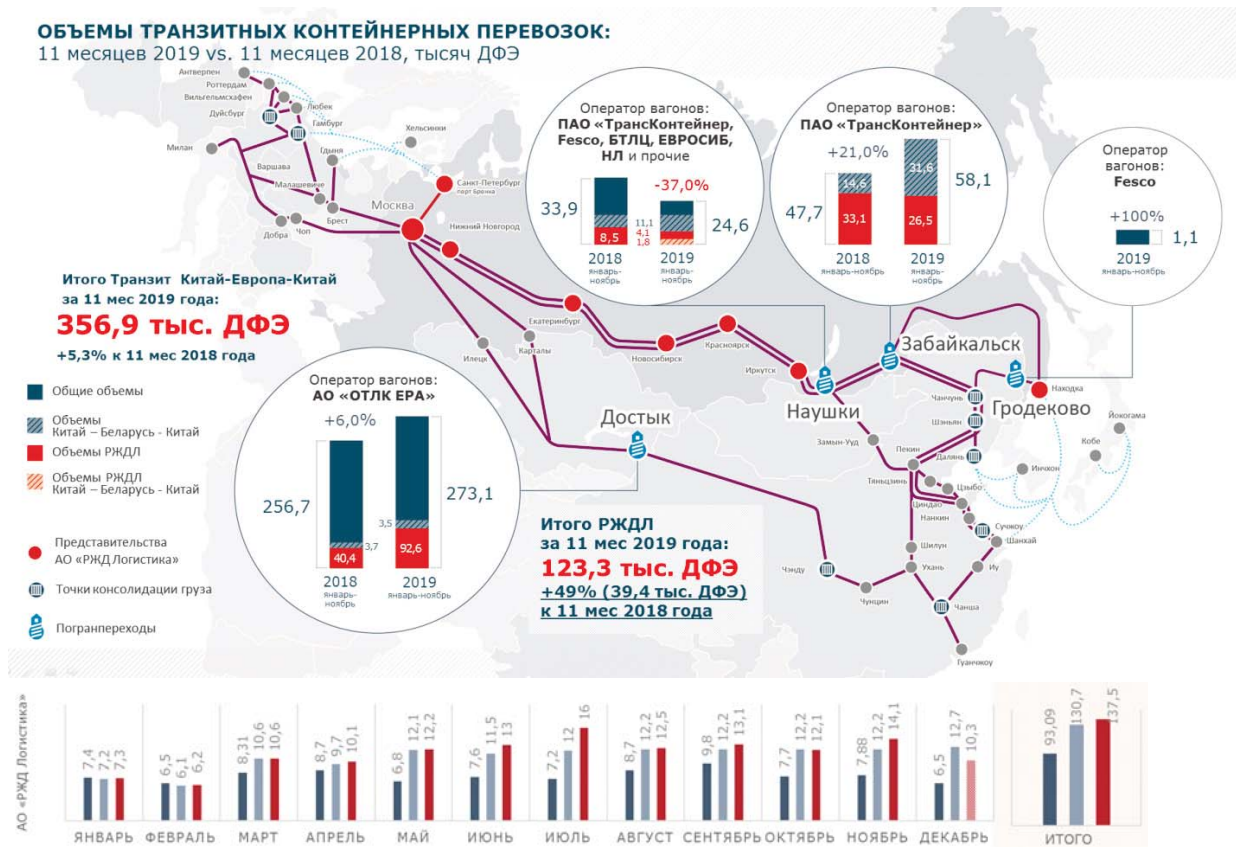


Рис. 4. Объем контейнерных транзитных перевозок АО «РЖД Логистика» в 2019 г. в сравнении с 2018 г. [5]



## **Список литературы / Reference**

1. Балалаев А. С. Транспортно-логистическое взаимодействие при мультимодальных перевозках : монография / А. С. Балалаев, Р. Г. Леонтьев. — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. — 268 с. — ISBN 978-5-994-0072-7.
2. Сергеев В. И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов. — М. : ИНФРА-М. — 2005. — 976 с.
3. Никифоров В. С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика : учебное пособие. — М. : ТрансЛит, 2007. — 272 с.
4. Резер С. М. Логистические центры как организационная основа новых форм взаимодействия // Железнодорожный транспорт. — 2007. — № 6. — С. 44–47. — ISSN 0044–4448.
5. Официальный сайт компании АО «РЖД Логистика» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.rzdlog.ru>.
6. Самуйлов В. М., Чернова Н. В. Перспективы образования транспортного коридора с Китаем и его экономическая оценка // Инновационный транспорт. — 2018. — № 1 (27). — С. 8–11. — ISSN 2311–164X.
7. Самуйлов В. М., Дружинина Д. Н., Цяо Цун, Каргапольцева Т. Н. Основные тенденции и перспективы развития российско-китайских торгово-экономических отношений // Инновационный транспорт — 2018. — № 2 (28). — С. 18–22. — ISSN 2311–164X.

*Объем статьи: 0,6 авторских листа*



Оксана Дмитриевна  
Покровская  
Oksana D. Pokrovskaya



Евгений Сергеевич  
Куликов  
Evgeny S. Kulikov

## Экономическое обоснование решений по организации работы грузового терминала

### Economic feasibility of decisions on the workflow management of the cargo terminal

#### Аннотация

Работа посвящена анализу существующих направлений цифровизации железнодорожной отрасли в сегменте терминально-складских услуг. Разработано прикладное программное обеспечение по экономическому обоснованию принятия решений по организации работы грузового терминала. Отмечены элементы новизны, описаны основные рабочие процедуры, выполняемые программой. Дана характеристика интерфейса, приведена укрупненная блок-схема работы программы. Программа позволяет рассчитать стоимость складирования груза с учетом занимаемой площади. Результаты расчета могут быть применены при проектировании грузовых терминалов и обосновании целесообразности привлечения дополнительных грузопотоков.

**Ключевые слова:** транспортно-складская система, грузовой терминал, цифровизация, цифровые решения, программное обеспечение, экономическое обоснование, грузопереработка, стоимость хранения.

#### Abstract

The work is devoted to the analysis of existing directions of digitalization of the railroad industry in the segment of terminal and warehousing services. Application software has been developed for the economic feasibility of decision-making on the workflow management of the cargo terminal. The novelty elements are noted and the main working procedures, performed by the program are described. The characteristic of the interface is given, and macro flowchart of the program operation is given. The program allows calculating the cost of warehousing cargo, taking into account the occupied area. The results of the calculation can be applied in the design of cargo terminals and justifying the feasibility of attracting additional cargo flows.

**Keywords:** storage-retrieval system, cargo terminal, digitalization, digital solutions, software, economic feasibility, cargo handling, storage expenses.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-24-28

#### Авторы Authors

*Оксана Дмитриевна Покровская, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург; e-mail: insight1986@inbox.ru | Евгений Сергеевич Куликов, студент 3-го курса Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург*

*Oksana Dmitrievna Pokrovskaya, Doctor of tech. sci., Associate Professor, "Railway stations and hubs" Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PSURT), Saint Petersburg | Evgeny Sergeevich Kulikov, 3rd year student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg*

## Введение

Современные темпы цифровизации бизнеса холдинга «РЖД» объективно требуют от науки и практики прикладного программного обеспечения для принятия отдельных решений по управлению транспортно-складскими системами [1, 2].

К транспортно-складским системам относятся прежде всего грузовые терминалы как ключевые элементы терминально-складской инфраструктуры холдинга [3, 4]. От успешности организации их работы зависит эффективность функционирования всей цепи поставок, выстраиваемой ОАО «РЖД» [5].

О значимости грузовых терминалов в транспортно-логистической деятельности железнодорожного транспорта и о требуемой эффективности управленческих решений в сфере терминально-складских услуг свидетельствуют приоритеты, отмеченные в документах [6–10]. Именно поэтому практическому бизнесу холдинга сегодня необходимы цифровые продукты, способные дать экспресс-оценку экономической целесообразности того или иного управленческого решения. Это повысит как качество, так и скорость принятия таких решений, а также упростит все расчетные процедуры. Подобные цифровые продукты при этом должны быть компактны, мобильны и гибки (т.е. должны «уметь подстраиваться» под задачи конкретного пользователя) [11].

Анализ научной литературы [12–18] и текущего состояния рынка транспортно-логистических услуг [6–10, 19] позволил сформулировать некоторые особенности отечественной цифровой трансформации железнодорожной отрасли.

1. На место управления цепями поставок приходит Supply Chain 2.0, с активной компонентой, позволяющей быстро («со скоростью клика») принимать решения. Ориентир цифровой логистики сегодня: «тотально управляемая цепь поставок 2.0 есть прямой путь к прибыли».

2. Бизнесу зачастую нужен быстрый ответ на какой-то конкретный, узкоспециализированный вопрос. Именно для реализации оперативных задач ситуационного управления и программного обеспечения «умной» логистики требуются «легкие» цифровые решения, которые не занимают много компьютерной памяти и могут достаточно просто трансформироваться в клиентоориентированные мобильные приложения.

3. Цифровые решения должны быть направлены не только на задачи ОАО «РЖД», но прежде всего на упрощение взаимодействия с клиентом. Только тогда будет реализован и механизм блокчейн-контрактов, и высокий уровень гибкости и клиентоориентированности транспортно-логистических продуктов ОАО «РЖД».

В развитии железнодорожной отрасли можно выделить три вектора потенциальной цифровизации:

- «легкие» компактные прикладные решения;
- клиентоориентированные решения;

- решения по обеспечению контроля, учета и оценки логистических цепей.

*Цель данного исследования* — разработать программное обеспечение, удовлетворяющее первому вектору — оперативно принимать управленческие решения для конкретных задач терминально-складского бизнеса.

## Общая характеристика программного обеспечения

Язык: Visual Basic 6.0. Объем программы: 28 Кб («легкий» формат).

Программа предназначена для расчета тотального дохода грузового терминала при различных способах складирования грузов и при увеличении грузопотоков. Программа позволяет рассчитать стоимость складирования одной тонны груза с учетом занимаемой грузом площади на складе. Имеется возможность варьирования таких параметров, как арендная ставка, размер складского помещения, величин годового грузопотока и срока хранения.

Результаты расчета могут быть применены при рациональном проектировании грузовых терминалов, в частности при обосновании целесообразности привлечения дополнительных грузопотоков на терминал.

Программа обеспечивает выполнение следующих функций: ввод исходных данных, проведение расчета тотального дохода склада с учетом площади, занимаемой грузом, и стоимости терминальной переработки груза, выгрузка полученных результатов, выдача пользователю управленческого решения об оптимальности расчетного варианта по критерию максимизации доходности терминала от услуг по складированию грузов.

## Особенности интерфейса и расчетных процедур

Рассмотрим функционал разработанного программного продукта.

Программный продукт позволяет наблюдать за образованием дохода по площади и общего дохода терминала, имеющего (для иллюстрации): крытый склад высотой 10 м с современными способами складирования в 6-ярусных въездных стеллажах.

Интерфейс программы отражает каждый из этапов ценообразования с учетом варьирования как площади склада, так и площади, занимаемой грузом.

При запуске программы появляется диалоговое окно, которое предупреждает пользователя о правиле ввода значений в специальные числовые окна: вводить дробные числа нужно через точку, а не через запятую.

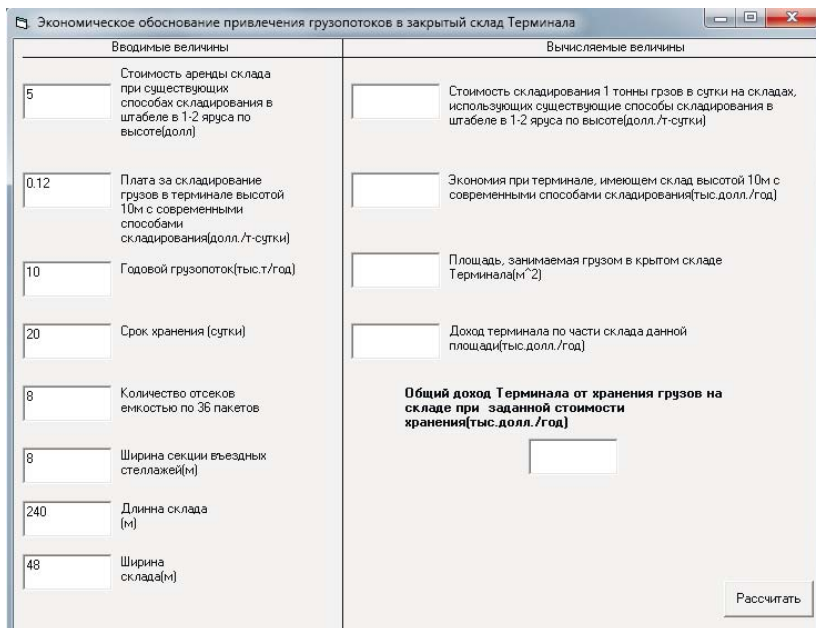


Рис. 1. Общий вид начального окна программы

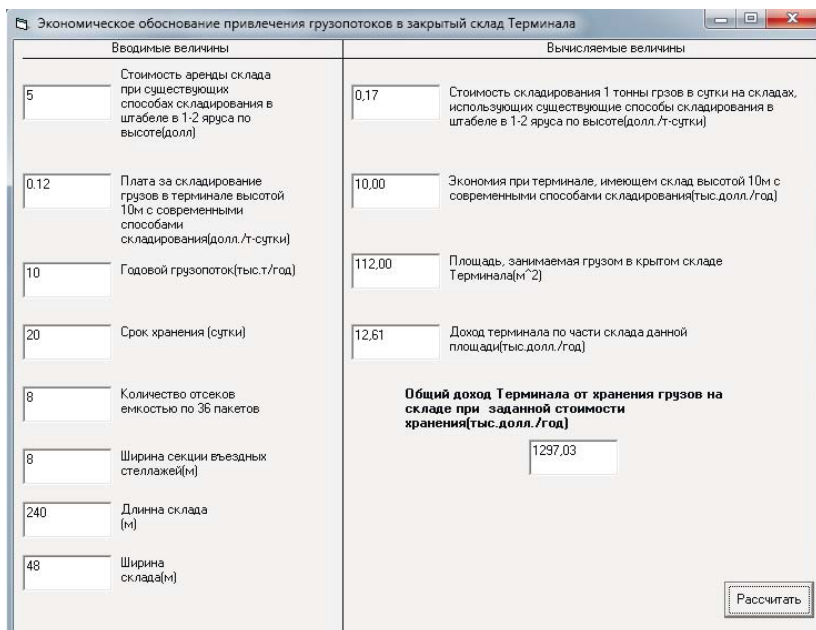


Рис. 2. Вариант окна выдачи результатов

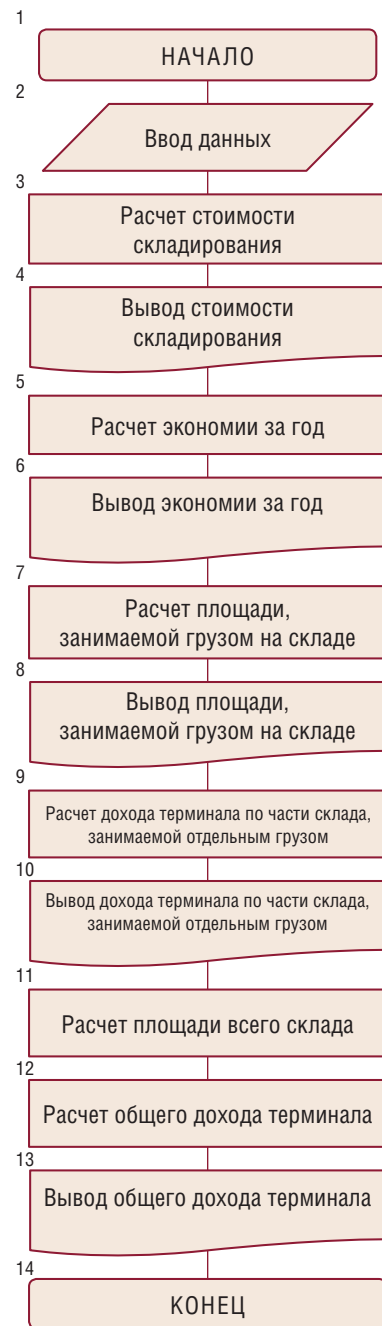


Рис. 3. Принципиальная последовательность реализации расчета (по этапам)

Интерфейс программы разделен на два столбца. В первом вводятся величины, о чем говорит заголовок данного блока «Вводимые величины», а во втором столбце выдаются готовые результаты, где последний результат является основным, отчего он и занимает отдельную позицию в данном блоке (рис. 1).

После ввода значений нажатие на исполняемую кнопку запускает вычисления, и все окна в блоке «Вычисляемые величины» будут автоматически заполнены результатами (рис. 2).

В случае необходимости в повторных вычислениях с иными значениями пользователем просто вводятся новые значения в числовые окна соответствующего блока: надо стереть старые значения и повторить действия, указанные выше.

На рис. 3 показана принципиальная последовательность реализации методик расчета, подробно описанных в работах [20–25], по этапам.

На рис. 4 представлен общий вид блок-схемы работы программы.



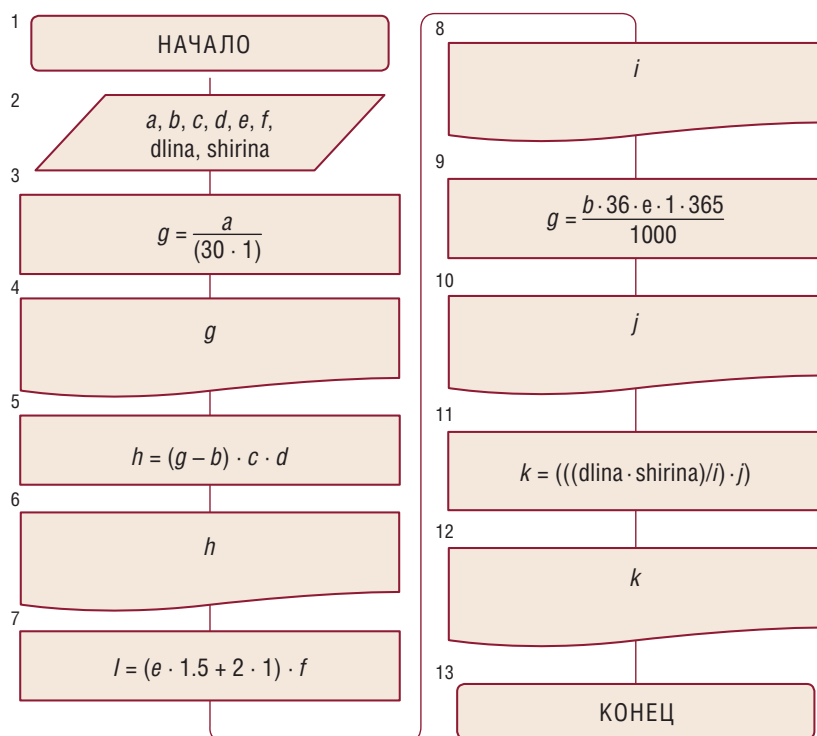


Рис. 4. Блок-схема работы программы

## Заключение

Таким образом, в работе было разработано программное обеспечение, позволяющее автоматизировать принятие управленче-

ских решений по экономическому обоснованию организации работы грузового терминала, а также определять целесообразность привлечения дополнительных грузопотоков.

Направлением дальнейшего совершенствования программного продукта может стать интеграция в его функциональный состав программного модуля по оценке экологической составляющей работы терминала как техносферной системы [26–32], в котором будут реализованы расчеты платы за загрязнение окружающей среды [33–36] и оценки экологической устойчивости грузового терминала [37–38].

Кроме того, для обеспечения клиентоориентированности и мобильности данного программного обеспечения предполагается создать его версию в формате мобильного приложения на языке JAVA, в которое будет интегрирован модуль оценки действий клиента по сценариям «уменьшение/увеличение арендной платы на  $l$  процентных пунктов», «уменьшение/увеличение складской площади/площади хранения на  $l$  кв. метров» и т.п.

В настоящее время программа проходит регистрацию в Роспатенте (правообладатель: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I). **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Брутян М. М. Инновационный потенциал национальной экономики: приоритетные направления реализации : монография / М. М. Брутян, Е. Э. Головчанская, Т. Е. Даниловских и др.; под общ. ред. С. С. Чернова. — Новосибирск, ЦРНС, 2015. — 164 с.
2. Экономика России: прошлое, настоящее, будущее : коллективная монография / под общ. ред. Н. А. Адамова. — М. : Институт исследования товародвижения и конъюнктуры оптового рынка, 2014. — 248 с. — ISBN 978-5-00082-006-3.
3. Покровская О. Д. Понятийный аппарат терминалистики / О. Д. Покровская, Т. С. Титова // Бюллетень результатов научных исследований. — 2018. — № 2. — С. 29–43. — eISSN 2223–9987.
4. Покровская О. Д. Вопросы логистической иерархии железнодорожных объектов / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Известия ПГУПС. — 2016. — № 4 (49). — С. 521–531. — ISSN 1815–588X.
5. Покровская О. Д. «Сбитый прицел» клиентоориентированности // РЖД-Партнер. — 2016. — URL: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/news/sbityi-pritsel—klientoorientirovannosti-414174>.
6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 года № 1734-р [Электронный ресурс]. — URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3771&layer\\_id=5104&STRUCTURE\\_ID=704](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3771&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704) (дата обращения: 22.11.2019).
7. Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге ОАО «РЖД». — М., 2012. — 78 с.
8. Концепция создания терминально-логистических центров на территории РФ. — М., 2012. — 96 с.
9. Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». — М., 2017. — 92 с. [Электронный ресурс]. — URL: [https://www.irgups.ru/sites/default/files/irgups/science/document/konceptsiya\\_realizacii\\_kompleksnogo\\_nauchno\\_tehnicheskogo\\_proekta\\_cifrovaya\\_zheleznaya\\_doroga.pdf](https://www.irgups.ru/sites/default/files/irgups/science/document/konceptsiya_realizacii_kompleksnogo_nauchno_tehnicheskogo_proekta_cifrovaya_zheleznaya_doroga.pdf) (дата обращения: 06.11.2019).
10. Стратегические приоритеты: транспорт и логистика [Электронный ресурс]. URL: <http://ar2012.rzd.ru/development-strategy/strategy-key-trends/strategy-transportation-and-logistics/> (дата обращения: 22.11.2019).
11. Pokrovskaya O. D. Chi terminelistica reale come una nuova

- direzione scientifica / O. D. Pokrovskaya // Italian Science Review. — 2016. — N 1(34). — P. 112–116.
12. Полянский Ю. А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю. А. Полянский, П. В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление : сб. НТИ / ВИНТИ РАН. — 2003. — № 7. — С. 8–18.
  13. Соколов И. А. Прорывные инновационные технологии для инфраструктур. Евразийская цифровая железная дорога как основа логистического коридора нового Шелкового пути / И. А. Соколов, В. П. Куприяновский, О. Н. Дунаев, С. А. Синягов, П. В. Куренков, Д. Е. Намиот, А. П. Добрынин, А. Н. Колесников, М. М. Гоник // International Journal of Open Information Technologies. — 2017. — Т. 5, № 9. — С. 102–118.
  14. Елисеев С. Ю., Котляренко А. Ф., Куренков П. В. Стратегия логистического управления внешнеторговыми перевозками // Транспорт: наука, техника, управление : сб. ОИ / ВИНТИ. — 2004. — № 3. — С. 26–35.
  15. Куренков П. В., Нехаев М. А. Задачи ситуационно-процессного управления сортировочной станцией // Железнодорожный транспорт. — 2012. — № 4. — С. 29–31.
  16. Куренков П. В. Логистический подход к управлению грузопотоками / П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. — 1997. — № 3. — С. 13–15.
  17. Стеценко В. В. Коммерческое взаимодействие транспортных систем / В. В. Стеценко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. — 1998. — № 10. — С. 31–36.
  18. Котляренко А. Ф. Взаимодействие на транспортных стыках при внешнеторговых перевозках / А. Ф. Котляренко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. — 2002. — № 2. — С. 48–52.
  19. «Цифровая логистика»: цифровые РЖД [Электронный ресурс]. — URL: <https://digitalrzd.ru/> (дата обращения: 06.11.2019).
  20. Покровская О. Д. Алгоритмизация задачи комплексного расчета параметров терминальной сети региона / О. Д. Покровская, И. В. Воскресенский // Транспорт Урала. — 2011. — № 1 (28). — С. 10–13. — ISBN 1815–9400.
  21. Покровская О. Д. Методика построения сетевого графа структуры логистического объекта / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15, № 1. — С. 18–27. — ISSN 1992–3252.
  22. Покровская О. Д. Организация международной доставки груза через распределительный центр : учеб. пособие. — Новосибирск, ЦРНС, 2015. — 102 с.
  23. Покровская О. Д. Организация работы складской распределительной системы : учеб. пособие. — Новосибирск, ЦРНС, 2015. — 72 с.
  24. Самуйлов В. М., Покровская О. Д., Цяо Ц. Концепция «Новый шелковый путь» (Китай, Россия, Германия) // Инновационный транспорт. — 2017. — № 4 (26). — С. 26–28. — ISSN 2311–164X.
  25. Самуйлов В. М., Покровская О. Д. Практика и эффективность формирования транспортно-логистических кластеров // Вестник УрГУПС. — 2016. — № 4 (32). — С. 76–88. — ISSN 2079–0392.
  26. Титова Т. С. Система управления техносферной безопасностью / Т. С. Титова, Р. Г. Ахтямов. — СПб. : ПГУПС, 2017. — 23 с.
  27. Титова Т. С. Методология комплексной оценки влияния новых технологий на геоэкологическую обстановку // Вестник Всерос. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. — 2005. — № 5. — С. 2–5.
  28. Титова Т. С. Технические решения по снижению шума от высокоскоростных железнодорожных магистралей / Т. С. Титова, А. Е. Шашурин, Ю. С. Бойко // Транспорт Российской Федерации. — 2015. — № 2 (57). — С. 30–35. — ISSN 1994–831X.
  29. Титова Т. С. Экологические проблемы транспортного строительства / Т. С. Титова, А. А. Степанова // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБ-ТРАНС-2014) : материалы IV Междунар. науч.-практ. конференции. — СПб. : ПГУПС, 2014. — С. 202–204.
  30. Сватовская Л. Б., Титова Т. С., Русанова Е. В. Новые технологии утилизации отработанных деревянных шпал // Наука и техника транспорта. — 2005. — № 3. — С. 16–18. — ISSN 2074–9325.
  31. Титова Т. С. Использование в строительстве автоклавного шумозащитного пенобетона / Т. С. Титова, Е. И. Макарова, Е. П. Дудкин // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — № 2 (54). — С. 35–39. — eISSN 2071–7342.
  32. Пат. 2255074 Российская Федерация, МПК 7 C 04 B 38/10. Автоклавный пенобетон / Сватовская Л. Б., Соловьева В. Я., Ковалев В. И., Сапожников В. В., Елизаров С. В., Мартынова В. Д., Хитров А. В., Сычева А. М., Титова Т. С., Чернаков В. А. — № 2004110065/03; заявл. 26.03.2004; опубл. 27.06.2005, Бюл. № 18. — 6 с.
  33. Титова Т. С., Подходы к обеспечению техносферной и экологической безопасности объектов транспорта / Т. С. Титова, Р. Г. Ахтямов, А. Н. Елизарьев, Е. Н. Елизарьева. — Уфа, 2017. — 72 с.
  34. Titova T. S., Longobardi A., Akhtyamov R. G., Nasyrova E. S. Lifetime of earth dams / Инженерно-строительный журнал. — 2017. — № 1 (69). — С. 34–43.
  35. Titova T. S., Akhtyamov R. G., Nasyrova E. S., Elizarev A. N. Accident at river-crossing underwater oil pipeline // MATEC Web of Conferences electronic edition. — 2018. — P. 06003.
  36. Титова Т. С., Ахтямов Р. Г. Методы управления техногенным риском. — СПб., 2017. — 21 с.
  37. Ахтямов Р. Г., Титова Т. С. Геоэкологические проблемы обеспечения безопасности при обращении с отходами. — Saarbrucken, 2016. — 109 с.
  38. Ахтямов Р. Г., Титова Т. С. Производственная и промышленная безопасность при обращении с отходами. — Saarbrucken, 2016. — 145 с.

Объем статьи: 0,47 авторских листа



Яна Владимировна  
Чуб  
Yana V. Chub

## Внутренние ресурсы повышения качества высшего образования

### Internal resources for improving the higher education quality

#### Аннотация

В статье проведен анализ ресурсов современной системы высшего образования в направлении повышения качества подготовки студента к профессиональной деятельности, в том числе на железнодорожном транспорте. Выявлен программный разрыв между дисциплинами профессионального (технологического) модуля и модулями общих дисциплин основной профессиональной образовательной программы Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. Определена идентичность структуры профессиональной и какой-либо другой (познавательной, бытовой, социокультурной и др.) деятельности человека. Установлена связь рациональной деятельности и технологического мышления. Обоснованы предложения по построению учебных дисциплин профессионального модуля и модуля гуманитарных дисциплин на основе формирования рационального технологического мышления по проектированию и осуществлению деятельности, основой которых может стать ориентация самостоятельной работы студентов на поиск решений проблем жизнедеятельности.

**Ключевые слова:** образовательный стандарт, гуманитарные дисциплины, профессиональные качества, рациональная деятельность, технологическое мышление.

#### Abstract

The article analyzes the resources of the modern higher education system in the direction of improving the quality of student training for professional activities, including the railway transport. Gaps in educational programs between professional disciplines (technological) module and general subjects modules of the basic professional educational programs of Federal State Educational Standard of higher education. The identity of the structure of professional and any other (cognitive, household, socio-cultural, etc.) human activity is determined. The connection between rational activity and technological thinking is established. The author substantiates the proposals for the development of educational disciplines of the professional module and the module of humanitarian disciplines, based on the formation of rational technological thinking on the design and implementation of activities, which can be based on the orientation of students' individual work to finding solutions to problems for life-sustaining activities.

**Keywords:** educational standard, humanitarian subjects, professional competencies, rational activity, technological thinking.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-29-32

#### Авторы Authors

Яна Владимировна Чуб, канд. пед. наук, доцент кафедры «Физическое воспитание» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: uralbasket@bk.ru

Yana Vladimirovna Chub, PhD in Pedagogy, assistant professor of Physical education chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: uralbasket@bk.ru



Высшее образование исторически сложилось как система подготовки специалистов, во-первых, в контексте культуры и общественных связей и, во-вторых, соответственно сформировавшейся научной парадигме. Эта система высшего образования закреплена в качестве универсальной образовательной конструкции в форме Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО).

Повышение качества подготовки студентов, в том числе транспортных вузов, является основной задачей, на решение которой направлен образовательный стандарт. Для достижения высокой степени соответствия результатов вузовского образования и реальной профессиональной деятельности вводятся новые учебные дисциплины, совершенствуется учебный материал, актуализируется самостоятельная работа студентов, повышается их мотивация и стимулирование, совершенствуется система производственных практик и др. Ведется активный поиск других ресурсов совершенствования высшего образования. Однако эти подходы не всегда обеспечивают достижение требуемого качества подготовки студентов.

Одним из факторов недостаточного качества подготовки студентов к профессиональной деятельности является то, что циклы учебных дисциплин и их отдельные модули не в полной мере обладают свойством системного единства, целостности [1]. Особой оторванностью от профессиональной подготовки отличается модуль гуманитарных, математических и естественнонаучных дисциплин, называемый модулем общих дисциплин. Каждая учебная дисциплина этого модуля реализуется во всех программах высшего образования независимо от направления подготовки, специальности и профессии, для которых сформирован ФГОС ВО [2]. Этот общекультурный модуль является, по существу, универсальным (инвариантным), а его цели и содержание не связаны непосредственно с целями профессиональной подготовки студентов по конкретному направлению и специальности [3].

С другой стороны, совокупность дисциплин профессионального (технологического) модуля также выступает как самодостаточная система, автономно существующая реальность, слабо связанная с ценностями, принципами, нормами общественной и личной жизни. У студента в процессе освоения дисциплин профессионального модуля складывается образ профессионального мира и деятельности, который живет по своим правилам и принципам как своеобразная закрытая система. В стандартизированной системе профессионального образования «профессиональный мир» предстает, по существу, самодостаточным и относительно автономным, имеющим слабые связи с другими «мирами» и общей «надпрофессиональной» культурой. Однако представление о том, что профессиональные качества формируются только в профессиональном модуле дисциплин,

и о том, что содержание профессионального образования не воспринимается обучающимися иначе, чем это записано в ФГОС ВО и рабочих программах, не вполне обосновано.

Иначе говоря, профессиональный модуль учебных дисциплин строится и реализуется вне контекста культуры (культура как контекст, как среда профессиональной деятельности и профессионального образования), без учета скрытого влияния многих других видов непрофессиональной и профессиональной деятельности на данный конкретный вид, обозначенный терминами «профессия» и «специальность», «направление подготовки».

В то же время у человека в процессе его внеобразовательной жизнедеятельности формируются определенные привычки, стереотипы, традиции, которые закрепляются, как правило, на уровне подсознания и становятся компонентами его культуры. В других видах (областях) активности студента — бытовой, досуговой, оздоровительной, социальной и т.д. — возникают качества, которые не учитываются в профессиональном образовании. Эти качества латентно (косвенно, опосредованно) переносятся человеком на профессиональную деятельность, на специальность, на компетенции, компетентность, профессиональные метакачества. Одновременно складывается «надпрофессиональная» картина мира (его образ), формируется некоторое собственное субъективное представление о врожденности профессиональной сферы и отношений к ней в культурный контекст общества. Но эти представления, во-первых, формируются стохастически и не под влиянием системы высшего образования, а часто вопреки ей, и, во-вторых, связи профессиональной субкультуры с другими субкультурами и культурой общества носят скорее поверхностный и фрагментарный характер, а не глубинный и системообразующий. Латентное, часто не осознаваемое развитие личности происходит в процессе переноса мыслей, действий, движений, связей, отношений из разных деятельностей в данную и в данной культуре, но не находит достаточной поддержки в профессиональном образовании.

Глубина и полнота понимания системности мира, прочности связей и неразрывного единства профессиональных и непрофессиональных сфер жизни в процессе развития человека может быть достигнута в направлении формирования его рационального мышления, которое является, по сути, технологическим. Рациональное мышление человека может служить основой, связывающей культуру и реальность, профессиональную и непрофессиональную деятельность. Формирование технологического мышления связано с развитием способности человека анализировать состояние какой-либо социокультурной системы и созданием целостных образов существующей и возможной будущей реальности соответственно своим потребностям [5]. Технологическое

мышление может рассматриваться и как атрибут культуры человека, и как основа профессиональных компетенций, и как условие успешности его профессиональной деятельности, которая становится все более динамичной, изменяющейся. Кроме того, развитое технологическое мышление способствует осознанию человеком своего отношения к миру, то есть рефлексии собственной культуры.

Успешность усвоения студентом образовательной программы, дисциплин профессионального модуля и модуля общих дисциплин, развитие собственной компетентности и формирование профессиональных компетенций непосредственно зависят от степени развитости технологического мышления. На этом основании для повышения качества высшего образования может быть задействован внутренний резерв образовательной системы, суть которого заключается в «приобщении» учебных дисциплин гуманитарного модуля к формированию технологического мышления студента и профессионально значимых качеств выпускника вуза. Технологическое мышление может рассматриваться в качестве интегрирующего фактора междисциплинарного взаимодействия разных учебных дисциплин.

Рациональное мышление как общекультурная и личностная характеристика человека и в том числе технологическое мышление специалиста являются одним из основных ориентиров и критериев качества профессионального образования. Технологическое мышление в соответствии с принципом единства сознания и деятельности основано на деятельности человека во внешнем мире, во всех его сферах и одновременно направлено на осуществление этой деятельности. Упреждая деятельность, технологическое мышление продуцирует образы результата этой деятельности, способов и средств их получения, а также управляет деятельностью в конкретных условиях среды жизнедеятельности на всех этапах ее осуществления [5].

Технологическое мышление включает совокупность признаков, тождественно совпадающих с признаками, этапами и процедурами технологии проектной деятельности. Технологическое мышление определяется [4] как рациональный, упорядоченный процесс выработки образа решения профессиональной задачи (проблемы) путем мысленного преобразования и/или создания образа некоторого объекта, его состава, структуры, принципа действия, формы и т.д. Процесс технологического мышления состоит из этапов анализа проблемной ситуации, сложившейся в социокультурной и/или профессиональной среде, формулирования проблемы, поиска аналогов и прототипа, определения конкретной задачи, поиска возможных вариантов ее решения и принятия решения о реализации наиболее приемлемого в данной ситуации в ходе профессиональной деятельности [5]. Технологическое мышле-

ние является универсальным личностным атрибутом человека. Оно связано с мысленным преобразованием объекта любой природы — материального, энергетического, информационного, социального, ресурсного — и последующим его реальным преобразованием в деятельности.

Структура и состав профессионального и непрофессионального технологического мышления обладают тождественными признаками и последовательностью мыслительных процедур, но отличаются содержанием и предметом мысли. Мыслительный потенциал, компетенция и компетентность человека тем выше, чем разнообразнее спектр решаемых им проблем, как в профессиональной, так и в любой другой сфере деятельности. Несмотря на то, что разные виды деятельности отличаются содержанием, то есть объектом воздействия и его свойствами, структура деятельности в целом определяется мышлением, тождественна ему и имеет универсальный характер.

Учитывая, что технологии мыслительной деятельности по своей структуре идентичны, необходимо привлекать все имеющиеся в системе высшего образования ресурсы для формирования технологического мышления. Следовательно, кроме профессионального модуля учебных дисциплин основной профессиональной образовательной программы для формирования профессионально значимых качеств студента должен использоваться мыследеятельностный потенциал дисциплин гуманитарного модуля. Данный подход в организации модуля общих дисциплин увеличит эффективность профессионального образования за счет формирования профессионального технологического мышления в тех сферах, которые ранее не учитывались как возможные.

Построение учебных дисциплин профессионального модуля и гуманитарного модуля дисциплин на основе формирования рационального технологического мышления по проектированию и осуществлению деятельности может рассматриваться как внутренний ресурс образовательной системы по повышению качества подготовки студентов. Но он не является единственным.

В условиях переменчивой профессиональной деятельности специалисту необходимо обладать готовностью и способностью жить и действовать в условиях нестационарной, динамично и непредсказуемо изменяющейся среды. Поэтому существенно значимым в высшем образовании является процесс формирования привычки студента к непрерывному самообразованию, самосовершенствованию. При этом основой процесса самообразования также является рациональное мышление, структура которого тождественна технологическому мышлению. Формирование такой привычки возможно за счет ориентации самостоятельной работы студентов на поиск решений каких-либо личных или

социальных проблем в реальной действительности, которые возникли вновь или «достались в наследство» от прошедшей социокультурной и профессиональной деятельности. Воплощение ситуаций, направленных на воспитание готовности студента к переменам, возможно в любой сфере познавательной и преобра-

зовательной учебной деятельности. Ориентация самостоятельной работы студентов на поиск решений проблем жизнедеятельности также может рассматриваться в качестве внутреннего ресурса повышения качества подготовки студентов в сложившейся системе высшего образования. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Гусинский Э. Н. Построение теории образования на основе междисциплинарного системного подхода. — М. : Школа, 1994.
2. Новоселов С. А., Чуб Я. В. Методика формирования технологического мышления студентов технического вуза в процессе их физкультурно-спортивной деятельности // Образование и наука. — Екатеринбург, 2012. — № 4 (93). — С. 61–72. — ISSN 1994–5639.
3. Овечкин В. П., Чуб Я. В. Интердисциплинарный подход к формированию общепрофессиональной технологической компетенции студентов // Вестник ИжГТУ. — Ижевск, 2012. — № 2 (54). — С. 184–186.
4. Чуб Я. В. Системное взаимодействие учебных дисциплин в формировании общепрофессиональной технологической компетентности студентов / Я. В. Чуб, А. Ю. Чуб // Наука, образование, общество. — 2016. — № 1. — С. 198–208. — ISSN 2411–2224. — URL: <http://ucom.ru/doc> (дата обращения: 24.01.2020).
5. Чуб Я. В. Формирование общепрофессиональной технологической компетентности студентов в условиях контекстно-компетентностного обучения : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. канд. пед. наук. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — 23 с.

Объем статьи: 0,34 авторских листа





Наталья Анатольевна  
Линькова

Natalia A. Linkova

## Современная концепция физического воспитания студентов оздоровительного отделения в транспортном вузе

### Modern concept of physical education of students of the Health Department at Transport University

#### Аннотация

В статье рассмотрена концепция программы физического воспитания студентов в оздоровительном отделении транспортного вуза. Цель концепции заключается в укреплении здоровья студентов, осознанном привитии здорового образа жизни (ЗОЖ), широком привлечении молодежи к массовым занятиям физкультурой и оздоровлением, в развитии и совершенствовании их физических качеств.

**Ключевые слова:** физическое воспитание, студенты, методика, физическая подготовка, здоровье.

#### Abstract

The article considers the concept of the physical education program for students in the Health Department at Transport University. The purpose of the concept is to strengthen the health of students, to cognitively cultivate healthy lifestyle, to attract young people to mass physical education and health improvement, to develop and improve physical qualities.

**Keywords:** students, innovation, methodology, physical training, health.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-33-35

#### Авторы Authors

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

*Natalia A. Linkova, PhD in Pedagogy, assistant professor, Ural State University of Railway Transport, professor RAE, Ekaterinburg, Russia; Register Nurse, Brisbane, Australia*

### Актуальность

Специалистами по физическому воспитанию определено, что в настоящее время назрела необходимость пересмотра существующих программ по данной дисциплине. Несмотря на то, что со стороны государства принимаются меры по развитию физической культуры и спорта в высших учебных заведениях, современные методики не позволяют достичь достаточного уровня в области физической культуры у современного специалиста [1–5].

Кроме того, физическое воспитание в вузах зачастую привязано к сдаче контрольных нормативов и поэтому так или иначе носит принудительный характер. Специалисты придерживаются мнения, что необходимо разрабатывать рациональную модель физического воспитания студентов [1–3].

### Анализ и результаты исследования

Студенческий возраст благоприятен в формировании интереса к двигательной активности. На наш взгляд, для полноценного физического развития студентов оздоровительного отделения нужно ориентировать курс физического воспитания на специализированное, образовательно-оздоровительное воздействие, не только с учетом функционального состояния, но и с учетом личности будущего специалиста. В данном направлении в Уральском государственном университете путей сообщения начали разрабатывать программы с учетом интересов студентов. С этой целью рассматривается как всероссийский, так и зарубежный опыт.

Физкультурно-оздоровительное подразделение — структурная единица кафедры, деятельность которой имеет коррегирующую, оздоровительную и общую физкультурную направленность. В зависимости от функциональной и физической подготовки в работе используется индивидуальный, дифференцированный подход.

Целью подразделения является формирование в студенте его физической культуры. Предполагается, что будущие специалисты смогут использовать свои знания и умения, полученные в период обучения в вузе, для профилактики и укрепления собственного здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни, а также в профессиональной деятельности.

В соответствии с целью были обозначены следующие задачи подразделения:

- улучшить качество учебного процесса, повысить ответственность студентов за собственное обучение благодаря использованию современной технологии по самоуправлению учебной деятельностью «Blackboard learning management system»;
- разработать учебные программы элективных оздоровительных курсов по видам спортивно-

оздоровительной деятельности на основе модульно-проектной технологии с использованием элементов самоуправления учебно-познавательной деятельностью студентов;

- повысить мотивационную составляющую к занятиям физической культурой, внедряя различные элективные курсы в учебный процесс, тем самым предоставляя студентам право выбора вида деятельности;
- активно развивать научно-исследовательскую студенческую деятельность, проводить студенческие научно-практические конференции, круглые столы, мастер-классы молодых ученых и студентов;
- привлекать студентов к участию в спортивно-массовых оздоровительных мероприятиях как университета, так и города;
- использовать в образовательном процессе инновационные технологии, передовой российский и международный опыт в области физкультурно-оздоровительных технологий;
- постоянно повышать квалификацию преподавательского состава;
- укреплять материально-техническую базу для учебной, научной и научно-методической деятельности студентов (инвентарь, диагностическое и лабораторное оборудование).

При организации учебного процесса большое значение имеют принципы самоуправления учебной деятельностью:

1. *Осмысленный подход к выбору вида физкультурно-оздоровительной деятельности* повышает внутреннюю мотивацию к учебным занятиям. Процесс освоения знаний является обязательным для будущей производственной деятельности и социального благополучия студентов [6–8].

2. *Доверительные отношения между студентом и преподавателем*, свобода выбора преподавателя создают комфортные условия, а также здоровую атмосферу, что помогает увлечь студентов, повысить мотивацию к занятиям, а также вести самоконтроль за своей учебной деятельностью [6–8].

3. Необходим постоянный *доступ к информационным материалам*, регулярное использование организационных методик и технологий в «Blackboard» [7–8].

4. Важную роль играет *индивидуальный подход* к каждому студенту. С этой целью преподаватели организуют занятия в малых группах, мотивируют студентов к научной деятельности, что способствует развитию коммуникативной культуры [7–8].

5. *Получение квалифицированных знаний и навыков* для поддержания собственного здоровья дает возможность всем желающим контролировать и укреплять свое функциональное и физическое состояние [1, 2].

6. *Имея доступ ко всем спортивным сооружениям* на территории спорткомплекса, студенты могут активно

заниматься в группах по интересам в свободное от учебы время, встречаться в неформальной обстановке — это оказывает влияние на общий настрой, раскрепощает, улучшает психоэмоциональное здоровье, способствует развитию межличностных отношений, дает возможность проявить себя всесторонне [7, 8].

### Выводы

Таким образом, представленная технология базируется на прогрессивных методах педагогики, эф-

фективность которых подтверждена практикой. Данный подход и организация обучения позволят студентам научиться управлять своей познавательной деятельностью, помогут сформулировать собственную программу здорового образа жизни. Кроме того, технология помогает формировать профессиональные компетенции для будущей профессии, она успешно интегрирована в образовательный процесс университета, легко трансформируется, сохраняя свою главную идею и открывая большие возможности для творческой деятельности. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Линькова-Даниелс Н. А., Ершова А. В. Анализ депрессивного состояния студентов очной формы обучения // Проблемы качества физкультурно-оздоровительной здоровьесберегающей деятельности образовательных учреждений : матер. междунар. науч.-практ. конф. — Екатеринбург : РГППУ, 2015. — С. 97–100
2. Канишевский С. М., Ямалетдинова Г. А., Краснов В. П. Основные положения концепции физического воспитания и самосовершенствования студенческой молодежи в современных условиях // Материалы XV международной научно-практической конференции Гуманитарного университета. — Екатеринбург, 2015. — 526 с.
3. Ямалетдинова Г. А. Модульное обучение как средство самоуправления в сфере физической культуры // Высшее образование в России. — 2012. — № 7. — С. 173–177.
4. Казантинова Г. М. К вопросу о соматическом и психоэмоциональном здоровье студентов, освобожденных по состоянию здоровья от практических занятий по физической культуре // Физическая культура и здоровье студентов вузов : матер. междунар. науч.-практ. конф. : СПб., 2009. — С. 98–99.
5. Казантинова Г. М. Психологические аспекты учебного труда студентов // Современные технологии формирования активной жизненной позиции у студентов как средство реализации государственной молодежной политики : матер. междунар. науч.-практ. конф. — Волгоград, 2009. — Т. 2. — С. 241–245.
6. Сиразеева А. Ф. Человеко-центрированная технология обучения Карла Роджерса // Фундаментальные исследования. — 2007. — № 6. — С. 54–55. — ISSN 1812–7339.
7. Линькова-Даниелс Н. А. Человеко-центрированная технология организации учебного процесса в высшем учебном заведении на примере австралийского университета // Инновационный транспорт. — 2013. — № 1 (7). — С. 48–52. — ISSN 2311–164X.
8. Линькова-Даниелс Н. А. Международный опыт по организации учебного процесса в высшем учебном заведении на примере Технологического университета, Штат Квинсленд, Австралия // Российский человек в «разломе эпох»: quo vadis?: материалы XV Международной научно-практической конференции Гуманитарного университета, 26–27 апреля 2012 года: доклады / редкол. : Л. А. Закс и др. : в 2 т. — Екатеринбург : Гуманитарный ун-т, 2012. — Т. 2. — С. 573–579. — ISBN 978-5-7741-0186-3.

Объем статьи: 0,22 авторских листа



**Ольга  
Леонидовна  
Скутина**  
**Olga L.  
Skutina**



**Антон  
Игоревич  
Скурихин**  
**Anton I.  
Skurihin**



**Людмила  
Владимировна  
Федянина**  
**Lyudmila V.  
Fedyanina**

## Конструктивно-технологические решения по сооружению земляного полотна в зоне вечномерзлых грунтов

### Structural and technological solutions for roadway construction in the zone of permanently frozen soil

#### Аннотация

В статье рассмотрены основные принципы сооружения земляного полотна на вечномерзлых грунтах, конструктивные решения, позволяющие управлять тепловыми процессами в грунтах. Предложена принципиально новая конструкция основания для верхнего строения пути на вечномерзлых грунтах. Конструкция основана на применении горизонтальной естественно действующей трубчатой системы и пластиковой дороги. Выявлены достоинства данной конструкции.

**Ключевые слова:** вечномерзлые грунты, принципы строительства, термосифоны, горизонтальная естественно действующая трубчатая система, пластиковая дорога.

#### Abstract

The article discusses the basic principles of roadway construction in the zone of permanently frozen soils, design solutions that allow to control thermal processes in the soils. A conceptually new design of the base for the upper structure of the track on permanently frozen soil is proposed. The design is based on the use of a horizontal naturally acting pipelike system and a plastic road. The advantages of this design are revealed.

**Keywords:** permanently frozen soils, construction principles, thermic syphons, horizontal naturally acting pipelike system, plastic road.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-36-42

#### Авторы Authors

*Ольга Леонидовна Скутина, канд. техн. наук, доцент кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: skutina59@mail.ru | Антон Игоревич Скурихин, заместитель начальника отдела инженерных сооружений службы пути Свердловской дирекции инфраструктуры, Екатеринбург; e-mail: aiskurihin@svrw.ru | Людмила Владимировна Федянина, инженер по подготовке кадров Челябинской дистанции пути Южно-Уральской железной дороги; e-mail: lvfedyanina@mail.ru*

*Olga Leonidovna Skutina, PhD in Engineering Science, assistant professor of Railway engineering chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: skutina59@mail.ru | Anton Igorevich Skurihin, Deputy Head of Engineering Constructions Department at line service of Sverdlovsk managerial infrastructure board, Ekaterinburg; e-mail: aiskurihin@svrw.ru | Lyudmila Vladimirovna Fedyanina, engineer at Sothern Ural Railroad; e-mail: lvfedyanina@mail.ru*



В настоящее время около 63 % территории России занимает криолитозона, или зона многолетнемерзлых и вечномерзлых грунтов (рис. 1). При этом следует учесть, что северные регионы играют важную роль в экономике страны, так как именно здесь находится около 80 % разведанных запасов нефти, более 70 % природного газа, а также значительные запасы каменного угля и других полезных ископаемых.

Необходимость освоения северных месторождений полезных ископаемых, строительство Северного широтного хода ставит перед проектировщиками и конструкторами новые актуальные задачи по разработке технологичных, экологичных и экономически целесообразных конструкций земляного полотна и железнодорожного пути в целом. Особые природно-климатические, геологические, гидрологические и гидрогеологические условия Крайнего Севера предъявляют свои требования к организации и технологии производства работ и определяют конструктивные решения при проектировании и расчете земляного полотна транспортных магистралей.

Общеприняты и оправданы практикой два принципа сооружения земляного полотна на вечномерзлых грунтах [1].

Первый принцип основан на консервации или сохранении вечномерзлого состояния грунтов, при котором основание земляного полотна остается в мерзлом состоянии не только во время строительства, но и в период эксплуатации сооружения. Этот принцип применяют при строительстве на глинистых льдонасыщенных грунтах, осадка которых при оттаивании может достигать нескольких десятков сантиметров и привести к недопустимым просадкам и деформациям сооружения.

Второй принцип, с деградацией вечномерзлого состояния, предусматривает оттаивание грунтов основания до начала возведения земляного полотна, в процессе строительства или эксплуатации. Этот принцип используют, как правило, при сооружении земляного полотна в дренирующих грунтах, при наличии относительно неглубокого залегания скальных пород, островном распространении вечномерзлых грунтов. Можно возводить земляное полотно по этому принципу и на пластичномерзлых или твердомерзлых фильтрующих при оттаивании грунтах, если их осадка в пределах расчетной глубины протаивания не превышает допустимой.



Рис. 1. Распространение многолетнемерзлых и вечномерзлых грунтов на территории Российской Федерации

Оба принципа основаны на управлении тепловыми процессами, происходящими в грунтах. Общая классификация методов управления тепловыми режимами приведена в трудах В. А. Кудрявцева, Э. Д. Ершова, А. А. Цернанта, В. В. Воронцова и подразумевает разделение всех известных и вновь разрабатываемых методов на четыре типа: «тепловые экраны, тепловые амортизаторы, тепловые диоды и тепловые трансформаторы» [2]. Каждая из этих групп включает, соответственно, 3–4 типа методов и устройств, позволяющих сохранить вечную мерзлоту или ускорить ее деградацию.

Тепловые экраны выполняют в виде одно- или многослойных навесов; светоотражающих покрытий (ТЭ-1); пленочных покрытий, состоящих из замкнутых полостей, образованных прозрачной пленкой покрытия и грунтом и заполненных любым газом (ТЭ-2); различных препятствий, регулирующих скорость ветра в приземном слое и теплоотдачу с поверхности грунта в атмосферу (ТЭ-3); геотекстильных покрытий или растительного покрова, отражающих солнечную радиацию и не препятствующих испарению влаги (ТЭ-4).

Тепловые амортизаторы — это системы или устройства, позволяющие регулировать процесс теплопередачи в грунтовом массиве. К ним относятся: пенопласт, торф, снег и другие теплоизоляционные материалы (ТА-1), укладываемые на поверхность грунта или в деятельный слой и изменяющие величину коэффициента теплопроводности; прослойки или блоки материалов с большой теплоемкостью, увеличивающие инерционность процесса изменения температуры (ТА-2); замкнутые емкости или полосы, заполненные жидкостью (ТА-3).

Тепловые диоды — это устройства в грунтовых массивах, которые в ходе годового теплооборота оказывают избирательное влияние на величину теплового потока в грунт и осуществляют преимущественно одностороннюю передачу тепла. К тепловым диодам относятся: конструктивные элементы грунтовых массивов, например, прослойки, призмы и т. д., выполненные из торфа, глины, суглинка, нетканого иглопробивного геотекстиля и других влагоемких природных и геосинтетических материалов (ТД-1). Такие материалы достаточно легко впитывают влагу, при испарении которой грунт охлаждается. Диоды, имеющие вид пазух или связанных между собой каналов, «по которым под действием силы тяжести циркулирует теплоноситель (воздух, керосин и т. д.)» [3], относятся ко второму типу ТД-2. Такие диоды наиболее эффективны при охлаждении грунтов, менее эффективны при их нагревании. Конструктивно ТД-2 — крупнопористые скальные призмы и обсыпки, а также емкости, заполненные незамерзающей жидкостью и крупнообломочным грунтом. Широко известны тепловые диоды ТД-3 — термосифоны, термосваи, термостабилизаторы, которые представляют со-

бой сложные инженерные устройства с замкнутыми полостями, заполненными хладагентами с низкой температурой испарения.

Примеры конструктивных решений по сооружению земляного полотна с применением различных методов и устройств, регулирующих тепловые процессы в грунтах, приведены на рис. 2.

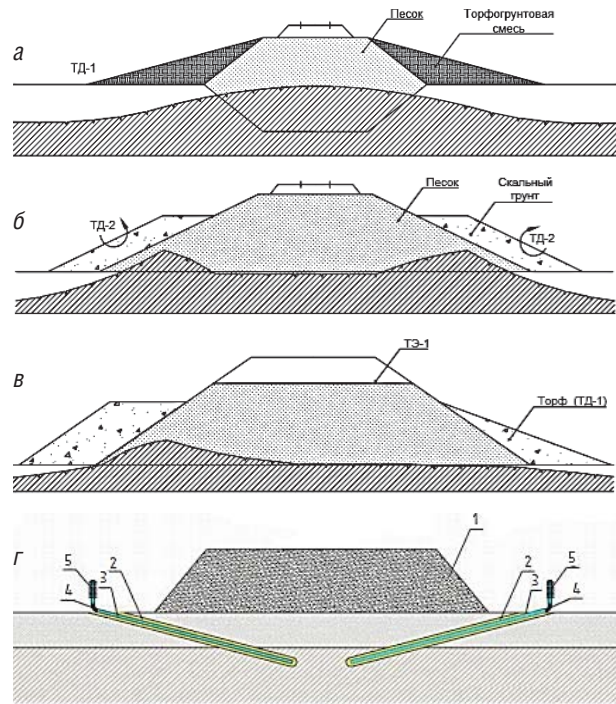


Рис. 2. Некоторые конструкции земляного полотна в зоне вечномерзлых грунтов:

а — применение тепловых диодов 1-го типа ТД-1 (торфяные присыпки переменной толщины); б — применение диодов 2-го типа ТД-2 (откосные присыпки из взорванной скальной породы); в — применение тепловых экранов ТЭ-1, тепловых диодов ТД-1 для регулирования уровня вечномерзлых грунтов; г — применение тепловых диодов 3-го типа ТД-3 (наклонные термостабилизаторы); 1 — земляное полотно; 2 — буровая скважина; 3 — испаритель термостабилизатора; 4 — сифон; 5 — конденсатор термостабилизатора

Все перечисленные устройства действуют за счет утилизации естественных источников энергии. В отличие от них работа тепловых трансформаторов основана на использовании дополнительной механической, электрической, химической или тепловой энергии [2]. При использовании тепловых трансформаторов в каналах или полостях массива грунта происходит принудительная вентиляция воздуха (ТТ-1), отвод тепла от массива с помощью теплообменника (ТТ-2) или замораживание грунтов, например жидким азотом (ТТ-3).

Длинномерные термостабилизаторы (термосифоны) представлены в основном в виде тепловых труб, размещенных под насыпью, в которых при циркуляции пара и жидкости происходит отвод тепла от грунтов основания. Установки работают только в холодный период го-

да (отводя тепло от основания земляного полотна), когда температура в земляном полотне ниже, чем в основании, и прекращают работу в теплое время года, не прогревая грунты основания.

Парожидкостные термостабилизаторы (рис. 3) — герметичные системы, сваренные из металлических труб, имеющих разный диаметр, частично заполненных легкокипящим хладагентом и функционально состоящих из трех участков:

- испаритель — это участок, погруженный в грунт, где происходит теплообмен между жидкой фазой хладагента и грунтом основания через стенки испарителя. В процессе теплообмена хладагент переходит в парообразную фазу и поднимается в воздушный конденсатор;
- транспортный участок, где реализуется транспортировка раздельных потоков жидкой и парообразной фаз хладагента. Для минимизации теплопотерь в слое сезонного промерзания/оттаивания грунта транспортный участок изолируется, что отражается в условном обозначении литерой «И»;
- воздушный конденсатор — это участок, располагаемый на открытом воздухе, состоящий из одной или нескольких теплообменных труб с развитой внешней поверхностью для повышения теплообмена [5].

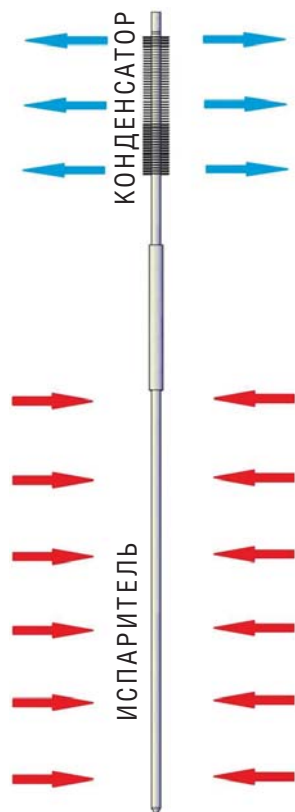


Рис. 3. Парожидкостный термостабилизатор (термосифон)

Термостабилизаторы начинают работу при снижении на 8–10 °С температуры наружного воздуха по отношению к температуре грунта. Возникающий при этом перепад давлений между конденсатором и испарителем вызывает кипение жидкого хладагента, который находится в испарителе. Процесс кипения сопровождается поглощением теплоты в ходе эндотермической реакции. Образовавшиеся пары хладагента поднимаются в воздушный конденсатор, где оседают на его внутренней поверхности. Далее конденсат хладагента остывает до температуры, примерно равной температуре воздуха, и под действием силы тяжести спускается обратно в испаритель. Здесь жидкий хладагент при движении вниз нагревается и вновь закипает. При этом наличие разности температуры хладагента и температуры стенок испарителя приводит к тому, что хладагент опять испаряется и поднимается в конденсатор. Описанные процессы носят циклический характер и повторяются до тех пор, пока давление в конденсаторе не станет выше давления в испарителе. Это явление наблюдается в весенне-летний период, когда термостабилизатор переходит в «спящий» режим.

Установка термосифонов должна производиться по ходу километров, причем бурение скважин и монтаж термосифонов на каждом установочном месте выполняется отдельно: по окончании бурения скважины буровой станок перемещается к следующему установочному месту, а в пробуренную скважину немедленно устанавливается очередной термосифон. Устанавливаются они вручную, при этом возможно применение подъемных средств малой механизации.

Термосифоны устанавливаются с обеих сторон насыпи. Наклонные части длинномерных сифонов располагают в основании насыпи под углом к ее продольной оси. Расстояние от продольной оси пути до вертикальной части термосифонов должно составлять не менее 7,0 м. Вертикальную часть размещают вблизи подошвы откоса земляного полотна. Горизонтальная проекция расстояния от оси пути до конца наклонной части термосифона должна быть не менее 2,5 м. Расстояние от вертикальной части устройства до конца наклонной части (в проекции) принимается равным 4,5 м.

Вертикальные части термосифонов с обеих сторон земляного полотна располагаются на расстоянии, равном 5,0 м.

Конструкцию, поддерживающую термосифоны, изготавливают из стальных труб диаметром 0,11 м. Трубы длиной 5 м используют как сваи, погружаемые в грунт в местах установки вертикальных частей охлаждающих устройств.

Верх свай-труб механическим способом или сваркой соединяют с охлаждающим устройством [4].

Опыт применения термосифонов имеется на 489-м километре Коротчаевской дистанции пути Свердловской железной дороги (рис. 4).





Рис. 4. Применение термосифонов на 489-м километре Коротчаевской дистанции пути Свердловской железной дороги

Установка термосифонов позволяет стабилизировать просадочные грунты основания земляного полотна, поднять верхнюю границу вечномерзлого грунта и на отдельных участках даже завести вечную мерзлоту в тело земляного полотна. В то же время работы по установке термосифонов достаточно трудозатратны, требуют высокой квалификации рабочих, наличия специальной техники и оборудования.

Альтернативой термосифонам может послужить система ГЕТ — горизонтальная естественно действующая трубчатая система, состоящая из герметично выполненного теплопередающего устройства, действующего автоматически в зимний период. Работа устройства осуществляется за счет сил гравитации и разницы температуры воздуха и температуры грунта.

Система ГЕТ включает два базовых элемента: испарительную часть (охлаждающие трубы) и блок внешних конденсаторов.

Охлаждающие трубы располагаются в основании сооружения. В них происходит циркуляция хладагента, за счет чего температура грунта понижается и происходит его замораживание.

Конденсаторы, объединенные в общий блок, располагаются над поверхностью грунта и соединены с охлаждающими трубами (испарительной частью) (рис. 5).

Производитель ООО НПО «Фундаментстройаркос» утверждает, что данная система ГЕТ позволяет поддерживать необходимый температурный режим вечномерзлых грунтов и устранять нежелательные и непредвиденные тепловыделения на основании земляного полотна железных и автомобильных дорог и под фундаментами зданий и сооружений.

Система ГЕТ способна работать в автоматическом режиме и без использования электроэнергии. При этом в зимний период при отрицательных температурах наружного воздуха в охлаждающих трубах (испарительной части) тепло переносится от грунта к хладагенту, который испаряется и переходит из жидкости в пар. Пар поднимается в конденсаторный блок, где остывает, конденсируется и снова переходит в жидкость, выделяя тепло в атмосферу. Под действием сил гравитации хладагент стекает в трубы испарительной системы, и цикл повторяется. Необходимое для заполнения всей системы количество хладагента заправляется в конденсаторный блок на заводе заранее. Давление в системах составляет около 4 атмосфер. Другие технические характеристики системы ГЕТ приведены в табл. 1.

В летний период при положительных температурах наружного воздуха система автоматически прекращает работу. Это связано с тем, что температура грунта

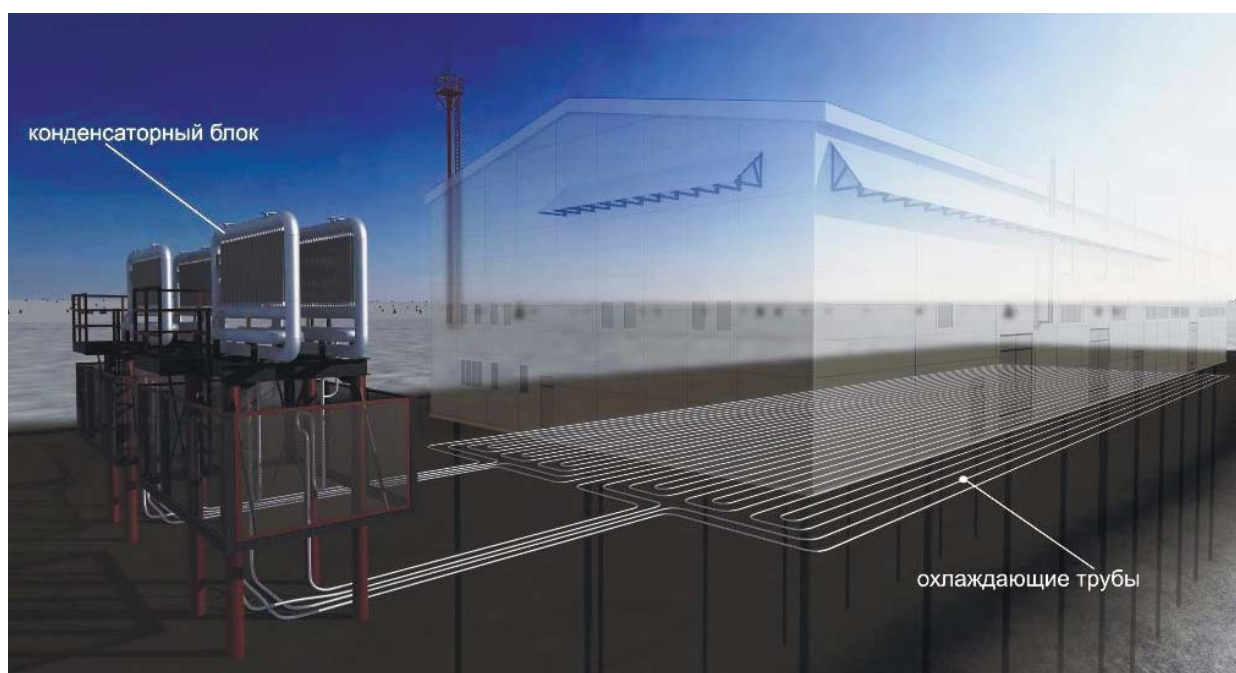


Рис. 5. Горизонтальная естественно действующая трубчатая система (ГЕТ)



становится ниже температуры воздуха. Скопившегося в грунте за зиму «холода», как правило, вполне достаточно для сохранения грунта в мерзлом состоянии до наступления следующей зимы.

Систему ГЕТ в дорожном строительстве используют при термостабилизации вечной мерзлоты сливающегося типа, расположенной под насыпями высотой не более 4 м. Если необходимо замораживание грунтов и в летнее время, то к холодильной машине подключаются резервные трубы.

При проектировании земляного полотна на льдонасыщенном грунтовом основании можно использовать данную систему в качестве устройства для поддержания температурного режима грунта.

Система ГЕТ легла в основу разработанной на кафедре «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС конструкции железнодорожного земляного полотна на вечномёрзлых грунтах (патент № 2687723 «Способ устройства основания для верхнего строения пути на вечномёрзлых грунтах» [8]).

Недостатком данной системы является ее незащищенность от динамических воздействий, поэтому было принято решение об укладке труб с хладагентом в полости «пластиковой дороги», разработанной голландской компанией Royal VolkerWessels Stevin (рис. 6). Компания считается ведущей в Европе проектной конторой по крупным спортивным объектам, портовому, дорожному и мостовому строительству, энергоснабжению, телекоммуникациям [6]. Компания предложила заменить пришедшие в негодность асфальтобетонные покрытия (дорожные одежды) на пластиковые, отливающиеся из смеси, полученной в результате переработки бытовых отходов [6].

Основным преимуществом пластиковых дорог является то, что для их укладки не требуется многослойная сложная основа, даже в регионах с нестабильным климатом, как,

Таблица 1

Основные технические характеристики системы ГЕТ

Показатель	Значение
Площадь охлаждения	200–500 м <sup>2</sup>
Поверхность конденсаторного блока	110 м <sup>2</sup>
Экономическая эффективность	снижение затрат на 20–50 %
Затраты электроэнергии	не требует
Режим работы	октябрь — апрель



Рис. 6. Пластиковые плиты дорожного покрытия из переработанного мусора

например, в высоких широтах. Для этого, по уверениям авторов проекта, достаточно песчаной подушки, что в разы упрощает, ускоряет и удешевляет дорожное строительство. При этом пластиковые дороги будут служить без существенного изменения свойств при температуре от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ , не бояться ни горючего, ни масел, ни электролита, ни других технических жидкостей. Полости внутри таких дорог позволяют размещать любые виды коммуникаций: газо-, водо- и электроснабжение, линии связи. Дорожное полотно будет состоять из одинаковых литых панелей, собираемых «стык в стык» [6]. Комбинация системы ГЕТ и пластиковой дороги с соответствующей доработкой позволила получить новую модернизированную конструкцию основания пути на вечномёрзлых грунтах (рис. 7).

Плита из полимерных материалов 1 устанавливается на песчаную подушку 5, снабжена бортиками 3 высотой 0,4–0,6 м в зависимости от типа верхнего строения пути [7]. По всей длине бортик 3 снабжен дренажными отверстиями 9 для отвода воды из балласта 10, для того чтобы дренажные отверстия не засорились, их защищают геотекстилем 4. Пространство между бортиками 2 заполняют балластом 10, а для его устойчивого положения поверхность плиты между бортиками 2 выполняют ребристой. Трубки с хладагентом подключены к конденсаторному блоку. После утрамбовки балласта 10 на него укладываются шпалы 11 и рельсы 12 согласно технологическому процессу.

Использовать данную конструкцию для сохранения вечномёрзлых грунтов можно в том случае, если

решить несколько дополнительно возникших проблем, а именно:

- расползание балластного материала с плит;
- скольжение балластного слоя по поверхности плит (в горизонтальной плоскости вдоль линии укладки плит);
- отвод воды с поверхности плит.

Для эффективной работы предложенной конструкции в условиях льдонасыщенных грунтовых оснований возникшие проблемы предлагается решить следующим образом:

1. При производстве пластиковых плит предусмотреть боковые выступы-консоли, которые предотвратят расползание балластного материала, как это делают на мостовом полотне с ездой на балласте.

2. Выполнить поверхность плит ребристой, чтобы предотвратить скольжение балластного слоя в горизонтальной плоскости и угон пути.

3. Предусмотреть дренажные трубки с отверстиями в консолях для отвода воды с поверхности плит и от балластного материала, количество и диаметр которых установить расчетным способом в зависимости от объема выпадаемых осадков, характерного для участка местности, где будут использованы конструкции данного типа (уклон трубок 0,02–0,04).

4. Чтобы дренажные отверстия не засорились, предлагается по боковой грани внутренней поверхно-

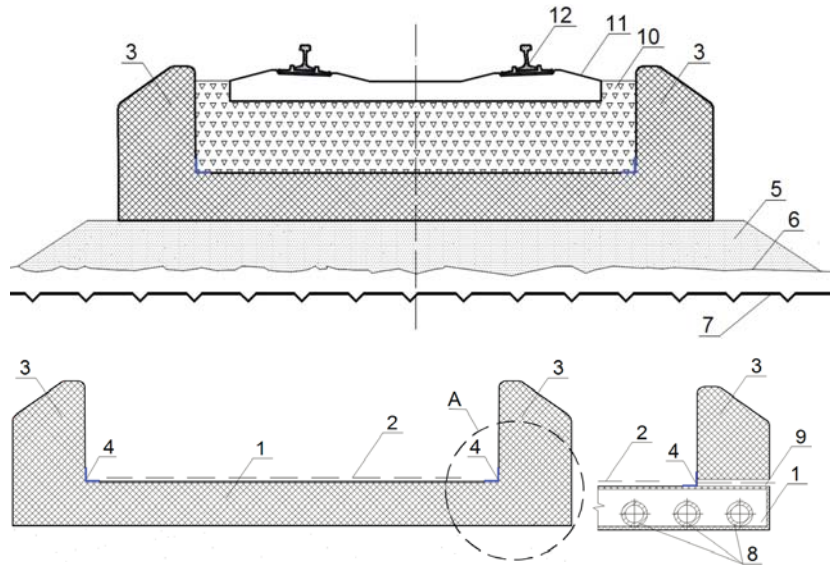


Рис. 7. Схема основания для верхнего строения пути на вечномёрзлых грунтах: а — общий вид; б — схема плиты из полимерных материалов; в — вид А

сти консолей плит уложить слой геотекстиля.

Достоинства использования конструкции земляного полотна на льдонасыщенных грунтах, представленной на рис. 7:

- использование конструкции в любых земляных сооружениях (насыпь, выемка);
- возможность вынесения конденсаторного блока на удобную площадку в стороне от железнодорожного пути;
- не увеличивает полосу отвода железной дороги;
- изготавливается из переработанных бытовых отходов;

- не подвержена деформациям при перепаде температур, а также коррозии и воздействию технических жидкостей;
- не требует затрат электроэнергии, работает в естественных природных условиях;
- простота доступа к дренажным отверстиям позволяет прочистить их в случае засорения.

Предлагаемая конструкция земляного полотна не допустит деградации вечной мерзлоты и, как следствие, деформации земляного полотна и железной дороги в целом, что будет способствовать повышению безопасности движения поездов. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. ВСН 61–89. Изыскание, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты. Ведомственные строительные нормы. — М.: ЦНИИС, 1990. — 208 с.
2. Воронцов В. В. Вертикальное армирование деятельного слоя в основании дорожной конструкции: дис. ... канд. техн. наук. — Тюмень, 2006.
3. Спиридонов Э. С., Призмозонов А. М., Аккуратов А. Ф., Шепитько Т. В. Технология железнодорожного строительства / под ред. А. М. Призмозонова, Э. С. Спиридонова. — М.: Желдориздат, 2002. — 631 с.
4. ЦПИ-40. Технические указания по устранению осадков насыпей на вечной мерзлоте замораживанием оттаивающих грунтов длинномерными термосифонами. Информационный материал. — М.: ОАО «РЖД», 2009. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/471813468>.
5. Актуальность применения термостабилизаторов грунта в криолитозоне. Информационный материал. — М.: НПО «Север», 2014. — URL: <http://www.nponorth.ru/aktualnost-primeneniya-termostabilizatorov-grunta>.
6. Мусорный хайвей: из чего лучше строить дороги // Архив журнала «Рейс» — URL: <https://www.zr.ru/content/articles/848428-musornyj-xajvej-iz-chego-luchshe-stroit-dorogi/>
7. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013, ред. от 17.07.2017. — М.: ОАО «РЖД», 2017. — URL: <https://zddoc.ru/normdoc>.
8. Пат. 2687723 Российская Федерация, МПК Е 01С 3/06. Способ устройства основания для верхнего строения пути на вечномёрзлых грунтах / Скутина О. Л., Федянина Л. В., Скурихин А. И.; заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС). — № 2018125409; заявл. 10.07.18; опублик. 15.05.19, Бюл. № 14. — 8 с.

Объем статьи: 0,76 авторских листа



Инна Леонидовна  
Парахненко  
Inna L. Parahnenko

## Влияние лубрикации на безопасность движения грузовых поездов

### Impact of lubrication on the safety of cargo traffic

#### Аннотация

Устойчивость колеса в рельсовой колее при прохождении кривых участков пути является перво-степенным фактором безопасности движения. Этот параметр определяется отношением поперечной силы, увеличивающейся при прохождении экипажем кривого участка, к динамической вертикальной нагрузке от подвижного состава на рельс. Путем математического моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм» доказано, что применение лубрикации на дорожках катания обеих рельсовых нитей снижает продольные силы до 60 % в кривых малого радиуса и до 30 % при радиусах до 1000 м. Уменьшить поперечные силы не менее чем на 15 % можно нанесением смазочного материала на дорожку катания внутренней рельсовой нити [1, 2]. Применение классического способа (лубрикации боковой поверхности наружного рельса) значительного снижения рассматриваемых сил не выявило.

**Ключевые слова:** коэффициент устойчивости, лубрикация, силы, кривая, скорость, смазывание.

#### Abstract

The wear hardness of the wheel in the gauge when passing curved sections of the track is a primary factor for traffic safety. This parameter is determined by the ratio of the transverse force that increases when the crew passes the curved section to the dynamic vertical load from the rolling stock on the rail. Using mathematical modeling in the software package «Universal mechanism», it is proved that the use of lubrication on the tracks of both track rails reduces the longitudinal forces by up to 60% in curves of small radius and up to 30% at radius up to 1000 m. It is possible to reduce the transverse forces by at least 15% by applying a lubricant to the track of the inner track rails [1, 2]. The use of the classical method (lubrication of the side surface of the outer rail) did not reveal a significant reduction of the forces.

**Keywords:** coefficient of stability, lubrication, forces, curve, speed, lubricating.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-43-45

#### Авторы Authors

*Инна Леонидовна Парахненко, старший преподаватель кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС); Екатеринбург; e-mail: Iparakhnenko@usurt.ru*

*Inna Leonidovna Parahnenko, senior lector of Railway engineering chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: Iparakhnenko@usurt.ru*

Таблица 1

Характеристика рассматриваемых кривых

№	Радиус кривой, м	Длина входной кривой, $l_1$ , м	Длина круговой кривой, $l$ , м	Длина выходной кривой, $l_2$ , м	Возвышение наружного рельса, $h$ , мм
1	Круговая кривая: $R = 990$ м	110	285	100	35
2	Круговая кривая: $R = 630$ м	80	281	80	85
3	Круговая кривая: $R = 540$ м	100	79	100	100
4	Круговая кривая: $R = 380$ м	110	148	70	70

Применение лубрикации для снижения продольных сил ведет к уменьшению вертикальных сил, которые препятствуют повороту тележки в рельсовой колее и набеганию колеса на головку рельса, что способно вызвать сход подвижного состава с рельсовой колеи. Безопасность предлагаемых вариантов лубрикации (смазывание дорожек катания) можно проверить, рассчитав величину коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельса и сравнив с минимальным значением.

Набегание колеса на рельс в кривой происходит, когда боковые силы, прижимающие гребень колеса к рельсу, и коэффициент трения в этом контакте возрастают и «выдавливают» колесо на поверхность катания головки рельсовой нити. При этом вертикальные силы не прижимают колесо к поверхности катания рельсовой нити, что приводит к сходу подвижного состава. Величина критического соотношения вертикальных и боковых сил зависит от коэффициента трения в контакте колесо — рельс:

$$\left( \frac{P_{\text{вер}}}{P_{\text{бок}}} \right)_{\text{крит}} = \frac{1 + f \cdot \tan \beta}{\tan \beta - f},$$

где  $P_{\text{вер}}$  — вертикальная нагрузка, действующая от колеса на рельс, кН;  $P_{\text{бок}}$  — боковая сила, кН;  $\beta$  — угол наклона, образующийся конусообразной поверхностью гребня колеса с горизонталью. Для новых колес с профилем по ГОСТ 10791–2011 [4]  $\tan \beta = 1,73$ ;  $f$  — коэффициент трения между колесом и рельсом.

$$K_{\text{уст}} = \frac{(\tan \beta - f) \cdot P_{\text{вер}}}{(1 + f \cdot \tan \beta) \cdot (P_{\text{бок}} + P_{\text{вер}} \cdot f)} > 1,2,$$

где  $K_{\text{уст}}$  — допускаемое значение коэффициента запаса устойчивости (для грузовых вагонов  $K_{\text{уст}} = 1,2$ ) в соответствии с ГОСТ 33211–2014 [3].

Значения вертикальной и боковой сил получены по результатам математического моделирования в программном комплексе «Универсаль-

ный механизм» для кривых с параметрами, представленными в табл. 1.

В ходе исследований [1, 2] были выявлены варианты лубрикации, снижающие действие продольных и боковых сил:

- 1) смазывание дорожки катания наружного рельса, коэффициент трения на дорожке катания 0,25;
- 2) смазывание дорожки катания внутреннего рельса с коэффициентом трения 0,25;
- 3) смазывание дорожек катания обеих рельсовых нитей.

Коэффициент устойчивости от вкатывания колеса на рельс рассчитан для принятых вариантов, а также для сухого трибологического состояния рельсовой нити.

Рассмотрены 4 скоростных варианта движения — 40, 50, 60 и 80 км/ч.

На первой диаграмме (рис. 1) представлены полученные коэффициенты устойчивости для рассматриваемых кривых при скорости 40 км/ч.

По полученным при расчетах результатам можно сделать вывод, что коэффициент устойчивости в кривых  $R > 500$  м без применения лубрикации имеет значение выше минимально критического. В кривой  $R = 380$  м без смазывания возможность схода подвижного состава возрастает на 3,5 %. Максимальные значения коэффициента устойчивости получены при смазывании дорожек катания внутреннего рельса.

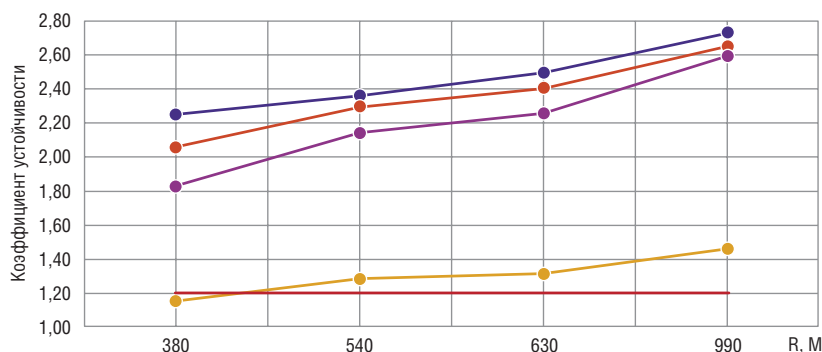


Рис. 1. Диаграмма изменения  $K_{уст}$  для рассматриваемых трибологических состояний рельсовых нитей при  $V = 40$  км/ч:

- лубрификация дорожки катания наружного рельса;
- лубрификация дорожки катания внутреннего рельса;
- лубрификация дорожек катания обеих рельсовых нитей;
- сухое состояние; — минимальное значение  $K_{уст}$



С увеличением скорости подвижного состава на 10 км/ч (рис. 2) в кривой  $R = 380$  м  $K_{уст}$  имеет критическое значение, равное 1,14 (на 2 % меньше, чем при  $V = 40$  км/ч). Это свидетельствует о необходимости применения средств лубрикации для снижения силового воздействия. Смазывание дорожек катания обеих рельсовых нитей увеличивает коэффициент устойчивости в кривых всех радиусов до 45 %.

Анализируя влияние скорости на устойчивость колеса в рельсовой колее (рис. 1–3), можно сделать вывод, что опасность схода повышается с увеличением скорости движения подвижного состава. На высоких скоростях движения грузовой состав подвержен сходу в кривых  $R \leq 500$  м, а при малых скоростях — в кривых радиусом менее 400 м. Лубрикация снижает риск схода подвижного состава во всех кривых. Смазывание дорожки катания внутренней рельсовой нити за счет снижения действия продольных и боковых сил увеличивает устойчивость колеса на рельсе до 45 % при всех рассматриваемых скоростях движения и радиусах кривых. Применение других предложенных вариантов лубрикации эффективно препятствует сходу подвижного состава.

Данное исследование, проведенное для реального участка с существующими характеристиками (возвышением, длинами переход-

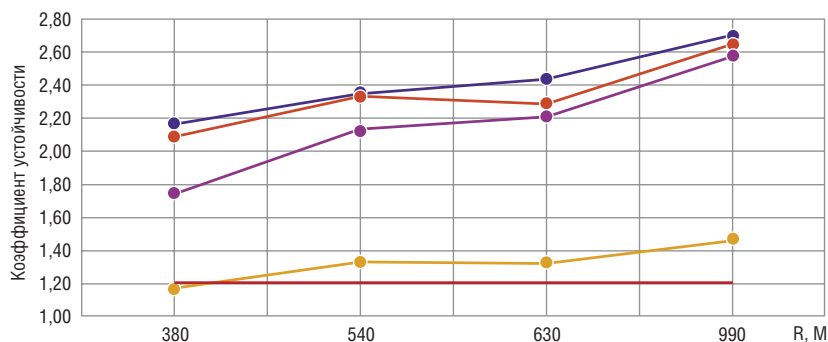


Рис. 2. Диаграмма изменения  $K_{уст}$  для рассматриваемых трибологических состояний рельсовых нитей при  $V = 50$  км/ч:

- лубрикация дорожки катания наружного рельса;
- лубрикация дорожки катания внутреннего рельса;
- лубрикация дорожек катания обеих рельсовых нитей;
- сухое состояние; — минимальное значение  $K_{уст}$

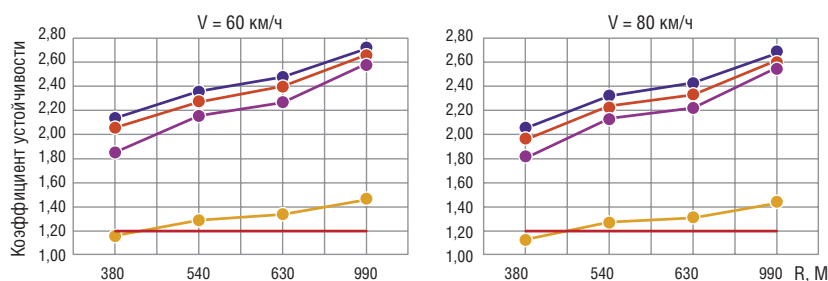


Рис. 3. Диаграммы изменения  $K_{уст}$  для рассматриваемых трибологических состояний рельсовых нитей при  $V = 60$  км,  $V = 80$  км:

- лубрикация дорожки катания наружного рельса;
- лубрикация дорожки катания внутреннего рельса;
- лубрикация дорожек катания обеих рельсовых нитей;
- сухое состояние; — минимальное значение  $K_{уст}$

ных и круговых кривых) при движении грузового состава с нагрузкой на ось 23,5 тс, позволило сделать вывод о влиянии радиуса кривой и скорости движения на коэффициент устойчивости колеса на рельсовой нити.

Новый подход к системе лубрикации, т.е. выбор наиболее рационального варианта нанесения смазывающего материала, повысит безопасность движения поездов, что является основным направлением всех исследований. **ИТ**

## Список литературы / Reference

- Парахненко И. Л., Аккерман С. Г. Эффективность управления трением в контакте «колесо — рельс» // Транспорт Урала. — 2014. — № 2 (41). — С. 58–61. — ISSN 1815–9400.
- Парахненко И. Л. Анализ сил взаимодействия в контакте «колесо — рельс» при различных трибологических вариантах // Транспорт Урала. — 2019. — № 2 (61). — С. 54–57. — ISSN 1815–9400.
- ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам (с поправкой). — М. : Стандартинформ, 2016. — 57 с.
- ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатаные. Технические условия (с поправкой). — М. : Стандартинформ, 2011. — 43 с.

Объем статьи: 0,23 авторских листа

УДК 656.25



**Шамиль Касымович  
Валиев**  
Shamil K. Valiev



**Игорь Александрович  
Дубров**  
Igor A. Dubrov

## Инновационные тренажеры систем автоматизации и телемеханики

### Innovative simulators for automation and telemechanics systems

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы обучения в учебных заведениях и на предприятиях железнодорожного транспорта с использованием тренажеров, построенных на основе реальной аппаратуры железнодорожной автоматизации и телемеханики, и виртуальных тренажеров, имитирующих работу реальной аппаратуры путем аналогового либо цифрового моделирования. Рассматриваются недостатки и преимущества реальных и виртуальных тренажеров. Указываются направления дальнейшего их совершенствования. Одним из направлений является разработка инновационных тренажеров, сочетающих в одном лабораторном макете реальную аппаратуру и ее виртуальную среду. Первым инновационным тренажером на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» УрГУПС является автоматизированное рабочее место поездного диспетчера (АРМ ДНЦ). Дальнейшим совершенствованием инновационных тренажеров является разработка и внедрение в лаборатории станционных систем автоматизации и телемеханики кафедры комплекта дистанционного задания неисправностей (КДЗН) с автоматизированным рабочим местом преподавателя. В статье описываются структурные схемы комплекта дистанционного задания неисправностей и его основных блоков. К инновационным тренажерам также относится имитатор проследования поезда по участку контроля КТСМ-02, который позволяет имитировать срабатывание напольных датчиков в той же самой последовательности, как и при проследовании реального поезда. В статье описывается виртуальный тренажер, к которому относится лабораторный макет по изучению нейтральных электромагнитных реле в 3D. Указаны преимущества интеграции инновационных тренажеров с виртуальными образовательными средами университета.

**Ключевые слова:** обучение, виртуальные тренажеры, виртуальная и дополненная реальность, поиск отказов, комплект дистанционного задания неисправностей, блок сопряжения с компьютером, системы железнодорожной автоматизации и телемеханики, дистанции сигнализации, централизации и блокировки.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-46-50

#### Авторы Authors

**Шамиль Касымович Валиев**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Valiev@usurt.ru | **Игорь Александрович Дубров**, инженер кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: IDubrov@usurt.ru

**Shamil Kasymovich Valiev**, PhD in Technical Sciences, assistant professor of chair «Automation, telemechanics and communications on railway transport» at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: Valiev@usurt.ru | **Igor Aleksandrovich Dubrov**, engineer at chair «Automation, telemechanics and communications on railway transport» in Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: IDubrov@usurt.ru

Более всего отказов в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) ранее давали полные устройства: рельсовые цепи, схемы управления стрелочными электроприводами и светофорами. С внедрением сложных релейных, релейно-процессорных и микропроцессорных систем ЖАТ основное число отказов происходило из-за аппаратуры этих систем. В ОАО «РЖД» эксплуатируется много разновидностей сложных станционных систем железнодорожной автоматики и телемеханики, систем интервального регулирования на перегонах, технической диагностики и мониторинга, диспетчерской централизации, автоматизации процесса расформирования составов на сортировочных горках [1–6]. Вследствие увеличения количества и усложнения систем ЖАТ в последнее время значительное число отказов происходит из-за «человеческого фактора». К таким последствиям приводит низкий уровень подготовленности специалистов и некачественное техническое обслуживание систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Для обучения в учебных заведениях и на предприятиях железнодорожного транспорта используются учебные тренажеры (макеты реальных систем железнодорожной автоматики и телемеханики). После теоретического изучения вопроса с использованием учебной и справочной литературы, электронных учебников, электронных курсов системы дистанционного обучения, компьютерных обучающих программ полученные знания закрепляются на лабораторных занятиях в учебных заведениях и на технических занятиях в дистанциях сигнализации, централизации и блокировки. На этих занятиях с помощью тренажеров отрабатываются технологии поиска отказов в устройствах и системах ЖАТ и технологии их обслуживания.

Традиционно для выполнения лабораторных работ используются макеты двух типов:

1. Построенные на основе реальной аппаратуры ЖАТ, доработанной для целей учебного процесса. В макеты систем железнодорожной автоматики и телемеханики добавляются индикаторы режима работы, контрольные и измерительные гнезда, тумблеры или кнопки, позволяющие искусственно вносить те или иные неисправности и т.п.

2. Имитирующие работу реальной аппаратуры путем аналогового либо цифрового моделирования (виртуальные тренажеры).

Основным неоспоримым преимуществом макетов первого типа является то, что студенты уже в лаборатории кафедры знакомятся с аппаратурой и могут в стенах университета осваивать навыки работы с реальным оборудованием.

В то же время этот тип макетов обладает целым рядом недостатков:

- как правило, очень высокая стоимость;
- большие габариты и электропотребление;

- недостаточная информативность — невозможно наблюдать внутренние физические процессы, происходящие при работе устройств;
- невозможность изучения всех режимов работы аппаратуры в отсутствие реального подвижного состава, климатического и механического влияния окружающей среды, электромагнитной совместимости различной релейной и полупроводниковой аппаратуры;
- невозможность внесения в аппаратуру любых отказов без риска ее необратимого повреждения либо без риска для окружающих;
- невозможность внесения неисправностей втайне от обучающегося с целью проверки его теоретических знаний и практических навыков;
- высокие трудозатраты на поддержание аппаратуры в работоспособном состоянии.

Виртуальные тренажеры лишены вышеперечисленных недостатков, но и обладают гораздо меньшими дидактическими возможностями. Картинки с экрана компьютера воспринимаются студентами как некий «мультик» или компьютерная игра, они в лучшем случае дают новые знания, но не способны сформировать устойчивые умения и навыки.

Под инновационными тренажерами в данном случае подразумевается сочетание в одном лабораторном макете и реальной аппаратуры, и дополняющей ее виртуальной среды.

Первой разработкой в этом направлении на кафедре была замена аппаратуры центрального поста частотного диспетчерского контроля ЧДК (ввиду ее полной неремонтопригодности и морального устаревания) виртуальным автоматизированным рабочим местом поездного диспетчера (АРМ ДНЦ) с сохранением реальных устройств на промежуточных станциях и на сигнальных точках автоблокировки. Кроме отображения поездной ситуации на моделируемом участке железной дороги, программа АРМ ДНЦ позволяет средствами цифровой обработки сигналов наблюдать в реальном времени форму импульсов, передаваемых в линию связи тактовым генератором и линейными генераторами промежуточных станций (виртуальный цифровой осциллограф).

Скриншот АРМ ДНЦ приведен на рис. 1.

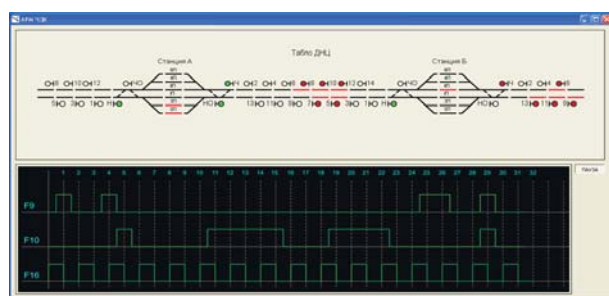


Рис. 1. Автоматизированное рабочее место поездного диспетчера

Следующим этапом была разработка и внедрение совместно с НПЦ «НовАТранс» в лаборатории станционных систем автоматики и телемеханики комплекта дистанционного задания неисправностей (КДЗН) [7, 8]. Комплект КДЗН состоит из аппаратных и программных средств, позволяющих с автоматизированного рабочего места преподавателя по радиоканалу вносить неисправности типа «обрыв», «короткое замыкание», «перепутывание проводов» или «перепутывание полюсов питания» в изучаемые реальные устройства и системы ЖАТ, аппаратуру рельсовых цепей, схемы управления стрелками и светофорами.

Структурная схема КДЗН приведена на рис. 2.

Основными элементами схемы являются:

- персональный компьютер (ПК) с установленной на него программой «АРМ Преподавателя»;
- блок сопряжения с компьютером (БСК), подключенный к разьему USB персонального компьютера;
- блоки задания неисправностей (БЗН), подключенные к существующим аппаратным тренажерам станционных систем автоматики и телемеханики, аппаратуры рельсовых цепей, схемам управления стрелками и светофорами.

Связь между БСК и БЗН осуществляется по радиоканалу общегражданского диапазона широкополосного доступа на частотах 2,4...2,5 ГГц, чем обеспечивается скрытность передачи информации об имитируемой неисправности.

Подключение БЗН к схемам тренажеров осуществляется контактами электромагнитных реле.

Структурная схема БСК приведена на рис. 3.

БСК состоит из управляющего микроконтроллера с интерфейсом USB и модуля радиочастотного приемопередатчика со встроенной планарной антенной ISM диапазона.

Структурная схема БЗН приведена на рис. 4.

В состав БЗН входят:

- радиочастотный приемопередатчик со встроенной антенной;
- управляющий микроконтроллер;
- устройство гальванической развязки (УГР), позволяющее контролировать выключенное состояние тумблеров или кнопок, имитирующих отказы;
- микропереключатель, с помощью которого задается логический адрес макета в тренажерном классе и адрес БЗН на макете;
- десять электромагнитных реле, контактами которых коммутируются электрические цепи аппаратного тренажера.

Программное обеспечение «АРМ Преподавателя» позволяет выбирать тренажер, за которым работают обучающиеся, вводить и протоколировать фамилии студентов, задавать либо отменять неисправности аппаратуры (до 2500 неисправностей на 1 тренажерный класс), отслеживать время, затраченное обучающимися на поиск

отказов, просматривать фрагмент схемы, в которой возник отказ, и его краткое описание. Кроме того, программа автоматически оценивает работу студента по времени, затраченному на устранение отказа, с занесением оценки в протокол работы с программой. К сервисным возможностям программы относится способность контролировать работоспособность основных элементов КДЗН.

Дальнейшим развитием явилась разработка имитатора проследования поезда по участку контроля КТСМ-02.

При отсутствии в лаборатории реального подвижного состава невозможно наблюдать за работой аппаратуры КТСМ в ее основном режиме — режиме контроля поезда. Подключение же небольшого аппаратного блока между напольным оборудованием и перегонной стойкой аппаратуры КТСМ-02 и установка дополнительного программного обеспечения на компьютер АРМ линейного поста контроля позволяет имитировать срабатывание напольных датчиков в той же самой последовательности, как и при проследовании реального поезда при скоростях движения до 40 км/ч.

Программа имитатора позволяет задавать количество секций и тип локомотива, количество и тип вагонов, наличие и вид неисправностей ходовых частей подвижного состава, с указанием номера локомотива и/или вагона и неисправной колесной пары.

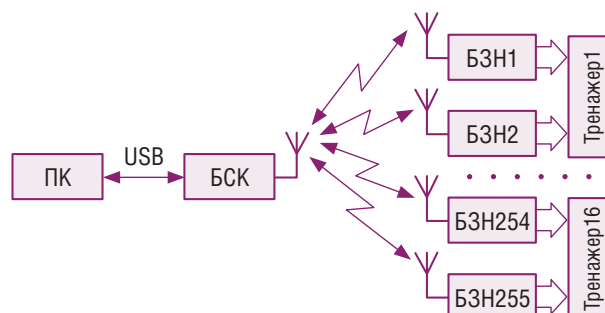


Рис. 2. Структурная схема КДЗН



Рис. 3. Структурная схема БСК

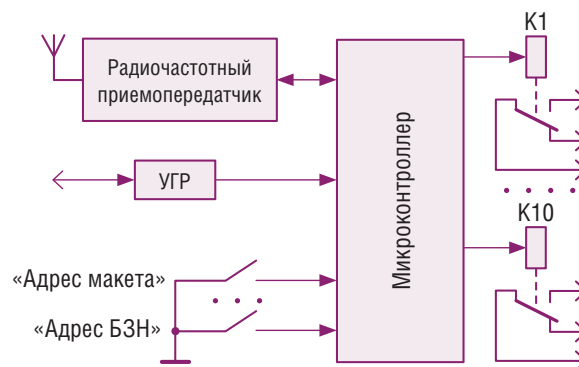


Рис. 4. Структурная схема БЗН



Кроме того, программа позволяет имитировать отказы в самом напольном оборудовании системы КТСМ-02, такие как ложная занятость или низкая шунтовая чувствительность рельсовой цепи наложения, отказы датчиков прохода осей и вибродатчиков подсистемы КТСМ-02К, неисправность болометра либо его засветка от постороннего источника ИК-излучения, а также неисправности подсистемы контроля волочащихся и провисающих деталей подвижного состава.

Скриншот программы имитатора приведен на рис. 5.

К чисто виртуальным тренажерам следует отнести используемую на кафедре программу по изучению нейтральных электромагнитных реле в 3D. Несмотря на появление современных микропроцессорных систем, реле до сих пор остается основным элементом построения устройств ЖАТ.

В условиях стопроцентного износа аппаратных макетов по изучению реле в лаборатории ТОАТ (срок службы более 35 лет) виртуальный тренажер является незаменимым устройством в руках преподавателя. Программа, разработанная в НПЦ «НовАТранс», позволяет визуально наблюдать электрические и электромагнитные процессы, происходящие в магнитной и контактной системах реле, что абсолютно невозможно на аппаратном макете.

Изучение конструкции и принципа действия реле начинается с простого видеоролика в 2D-анимации. В дальнейшем процессы, происходящие в реле, можно подробно рассмотреть на его интерактивной 3D-модели. При этом пользователь может выбирать тип реле, изменять масштаб и угол обзора, управлять режимом просмотра и пр. Следующий раздел программы — «Интерактивный классификатор», отображающий всю номенклатуру малогабаритных электромагнитных реле. Еще одной функцией программы является так называемый «Трансформер», позволяющий наглядно отобразить отличия разных типов реле. Кроме этого, электронный курс содержит интерактивную диаграмму запасных частей электромагнитных реле, также выполненную в 3D, дополнительный теоретический материал об электрических и временных характеристиках реле, режимах работы контактов, тестовые вопросы для проверки и закрепления полученных знаний.

Скриншот одного из окон программы по изучению электромагнитных реле приведен на рис. 6.

Перспективным направлением развития учебно-лабораторной базы кафедры является разработка тренажеров, построенных по принципу виртуальной и дополненной реальности. При этом наиболее удовлетворяет потребностям образования именно технология дополненной реальности. Она менее затратна — может быть реализована на обычном смартфоне или планшетном компьютере и позволяет наилучшим образом сочетать в одном макете и реальную аппаратуру, и современную программную среду.

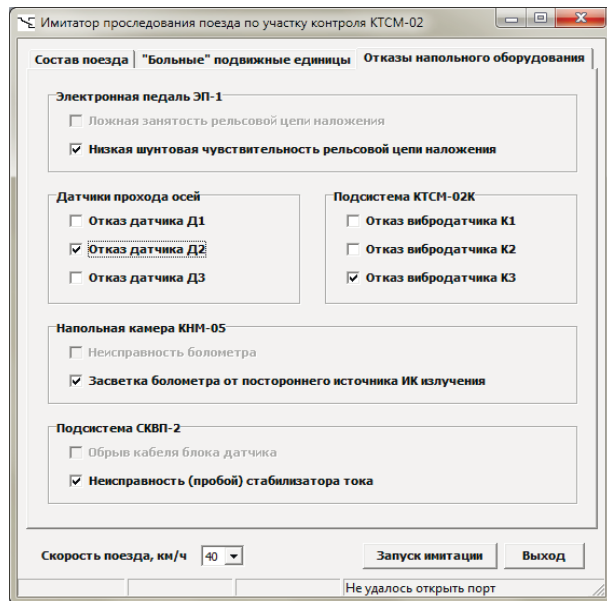


Рис. 5. Имитатор преследования поезда по участку контроля КТСМ-02



Рис. 6. Программа по изучению нейтральных электромагнитных реле в 3D

Например, дополненная реальность может вносить в изучаемые устройства виртуальные повреждения, имитирующие механический излом, задымление, возгорание, электрическую дугу, взрез стрелки, сход подвижного состава с рельсов и др. Кроме того, средствами дополненной реальности можно производить и виртуальные измерения в реальных устройствах, соответствующие заданным условиям эксплуатации и необратимым отказам.

Еще одним перспективным направлением является интеграция инновационных тренажеров с виртуальной образовательной средой университета, аналогичной Blackboard Learn, но имеющей возможность работы по стандарту Experience API (TinCan), что избавит преподавателей от необходимости вручную заносить результаты выполнения лабораторных работ в центр оценок [9]. ИТ

## Список литературы / Reference

1. Сапожников Вл. В., Елкин Б. Н., Кокурин И. М. и др. Станционные системы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / под ред. Вл. В. Сапожникова. — М. : Транспорт, 1997. — 423 с.
2. Валиев Р. Ш., Валиев Ш. К. Блочная маршрутно-релейная централизация. — Екатеринбург : ООО «Вебстер», 2011. — 176 с.
3. Валиев Р. Ш., Валиев Ш. К. Двухпроводная схема управления стрелкой с пусковым блоком ПС с центральным питанием. — Екатеринбург : ООО «Вебстер», 2011. — 50 с.
4. Валиев Р. Ш., Валиев Ш. К. Пятипроводная схема управления стрелкой с пусковым блоком ПСТ с центральным питанием. — Екатеринбург : ООО «Вебстер», 2012. — 50 с.
5. Валиев Р. Ш., Валиев Ш. К. Пятипроводная схема управления стрелочным электроприводом с двукратным переводом. — Екатеринбург : ООО «Вебстер», 2016. — 66 с.
6. Валиев Ш. К., Валиев Р. Ш. Электрическая централизация промежуточных станций ЭЦ — 12–2000 : учеб.-метод. пособие. — Екатеринбург : УрГУПС, 2010. — 80 с.
7. ООО «НПЦ «НовАТранс». Комплект дистанционного задания неисправности. — URL: <http://necat.ru/catalog/apparatnye-trenazhernye-komplekсы/komplekt-distanционного-zadaniya-neispravnosti-kdzn> (дата обращения: 22.11.2019).
8. ООО «НПЦ «НовАТранс». 3D-атлас «Нейтральное малогабаритное реле». — URL: <http://necat.ru/catalog/elektronnye-obuchayuschie-produkты/3d-atlasы/3d-atlas-neytralnoe-malogabaritnoe-rele> (дата обращения: 22.11.2019).
9. Спецификация Experience API. Версия 1.0.1 / пер. с английского А. Д. Копилов, А. В. Лямин. — СПб. : Университет ИТМО, 2015. — 120 с.

Объем статьи: 0,48 авторских листа

УДК 621.331.3.024



Ирина Анатольевна  
Баева

Irina A. Baeva

## Влияние снижения времени межпоездного интервала на технико-энергетические показатели системы тягового нерегулируемого и регулируемого электроснабжения

### The effect of time reducing of train-to-train margin on the technical and energy indicators of the system of traction unregulated and regulated power supply

#### Аннотация

В статье рассматривается влияние снижения времени межпоездного интервала на удельный расход электрической энергии и уровень напряжения на токоприемнике электровоза. Моделирование работы системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ осуществляется в программном комплексе КОРТЭС. Для исследования взят участок Свердловской железной дороги с эксплуатируемой системой бесконтактного автоматического регулирования напряжения (БАРН). В статье определено рациональное время межпоездного интервала для нерегулируемой и регулируемой системы тягового электроснабжения. Проведена оценка энергетической эффективности системы БАРН.

**Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, потери и расход электрической энергии, регулирование напряжения, КОРТЭС, БАРН.

#### Abstract

The article considers the effect of reducing the time of train-to-train margin on the specific consumption of electric energy and the voltage level on the current-collecting gear of an electric locomotive. Simulation of the operation of the DC 3.0 kV traction power supply system is carried out in the KORTES software package. The section of the Sverdlovsk railway with an operating system of contactless automatic voltage control was taken for the study. The article defines the rational time of the train-to-train margin for an unregulated and regulated system of traction power supply. The energy efficiency of the system of contactless automatic voltage control was evaluated.

**Keywords:** traction power supply system, losses and consumption of electric energy, voltage regulation, KORTES, system of contactless automatic voltage control.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-51-55

#### Авторы Authors

*Ирина Анатольевна Баева, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург*

*Irina Anatolevna Baeva, senior lector of «Electric power supply» chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg*

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

В связи растущими объемами грузовых перевозок появляется необходимость увеличивать пропускную способность участков (направлений), с этой целью уменьшают время межпоездных интервалов (МПИ). Как следствие, возрастает токовая нагрузка на систему тягового электроснабжения (СТЭ), снижается напряжение на токоприемнике электровоза и скорость движения. В качестве одного из вариантов повышения энергетической эффективности СТЭ применяется система бесконтактного автоматического регулирования напряжения БАРН, образующая систему тягового регулируемого электроснабжения (СТРЭ) [1–4].

Для оценки влияния изменения времени МПИ на расход электрической энергии электровозами и потери электрической энергии в тяговой сети проведены электрические расчеты системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ в программном комплексе КОРТЭС на примере реального участка Войновка — Богданович при движении двух одиночных поездов массой по 6000 т со временем межпоездного интервала, равным ∞ (20П6), и отдельно двух одиночных поездов ОП с различным межпоездным интервалом.

По результатам электрических расчетов для двух режимов нерегулируемой СТЭ (режим I) и регулируемой СТРЭ (режим II) определяется рациональное время межпоездного интервала. За критерии оценки приняты:

1. Напряжение на токоприемнике электровоза должно быть выше 2700 В [5].
2. Удельный расход электрической энергии на тягу, с учетом потерь электрической энергии в тяговой сети, в головном и преобразовательном трансформаторах, а также расход ЭЭ АПС должен быть наименьшим.

После определения рационального времени МПИ определяется рациональный режим работы системы (нерегулируемая СТЭ и регулируемая

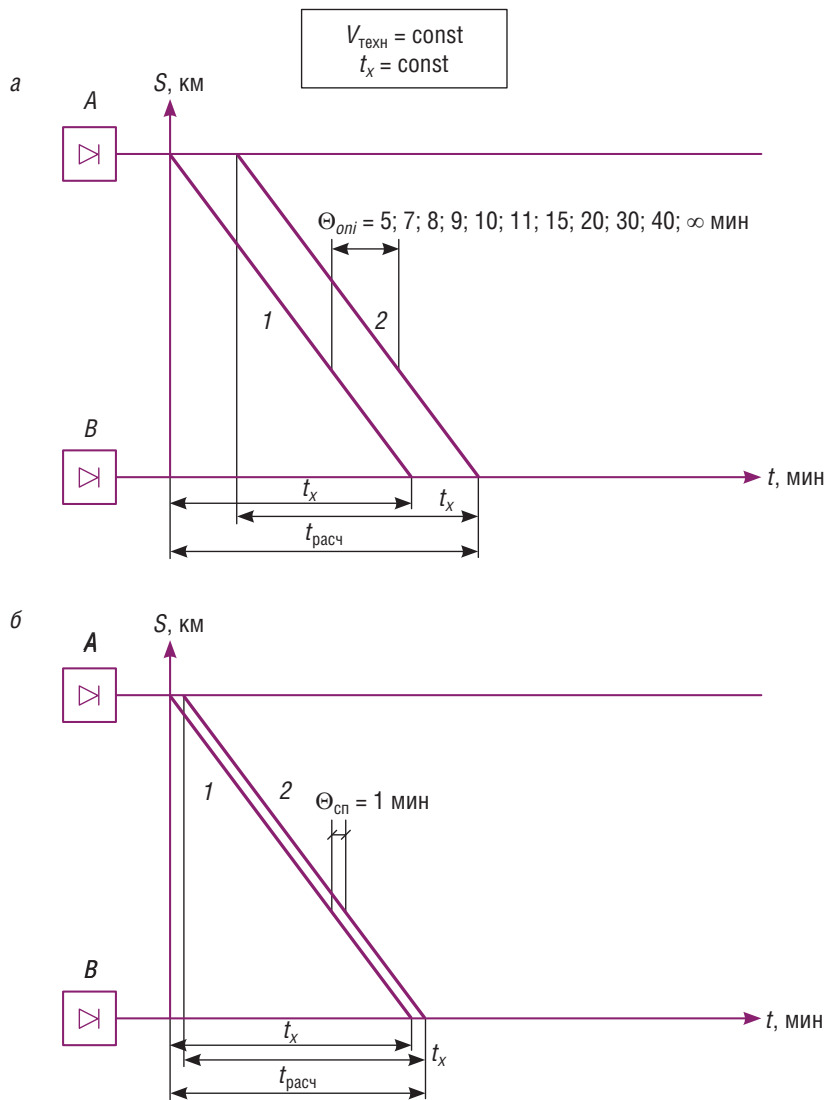


Рис. 1. Расчетный график движения двух одиночных и одного соединенного грузового поезда: а — движение ОП с различным межпоездным интервалом; б — движение СП

СТРЭ) по наименьшему полученному времени МПИ.

Условия расчета:

1. Участок Войновка — Богданович Свердловской железной дороги.
2. Отсутствие движения в четном направлении; движение в нечетном направлении двух грузовых поездов массой по 6000 т с межпоездным интервалом 1; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 15; 20; 30; 40; ∞ минут.
3. Продолжительность расчета — от момента отправки первого поезда со станции отправления до момента прихода последнего вагона на станцию прибытия.
4. Локомотив 2ЭС6.

5. Регулирование скорости движения поездов от 50 км/ч до 100 км/ч с интервалом 10 км/ч.

6. Естественная внешняя характеристика тяговых подстанций с напряжением холостого хода 3500 В.

7. Стабилизированная внешняя характеристика системой БАРН на уровне 3700 В.

На рис. 1 представлен расчетный график движения, где под буквой а представлено движение ОП с межпоездным интервалом, под буквой б — движение СП (пропуск двух одиночных поездов с МПИ 1 минута). Время хода  $t_x$  и техническая скорость движения  $V_{техн}$  по участку,



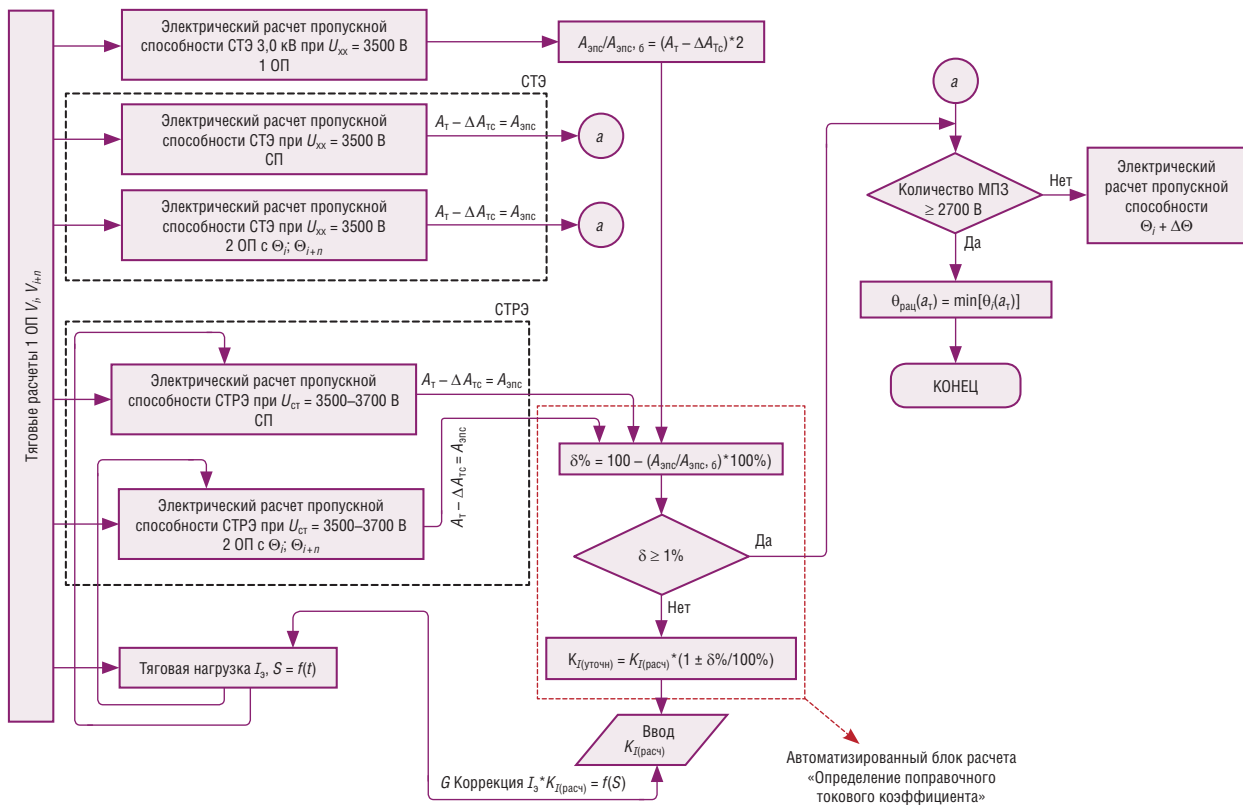


Рис. 2. Методика проведения электрических расчетов по оценке пропускной способности СТЭ и СТЭ при пропуске двух ОП с различным временем межпоездного интервала

полученные из тягового расчета, одинаковые для поездов № 1 и № 2. Расстояние от подстанции А до подстанции В для поездов № 1 и № 2 также одинаковое. Расчетное время  $t_{\text{расч}}$  проведения электрических расчетов для двух поездов массой 6000 т различное для вариантов МПИ, так как продолжительность расчета составляет от момента отправки первого поезда со станции отправления до момента прихода последнего вагона на станцию прибытия.

Методика проведения электрических расчетов по оценке пропускной способности СТЭ и СТЭ при пропуске двух ОП представлена на рис. 2.

Методика заключается в следующем:

1. На рассматриваемых участках для каждой скорости движения (от 50 км/ч до 100 км/ч) при напряжении на токоприемнике электровоза 3000 В проводятся тяговые расчеты с одним одиночным поездом ОП массой 6000 т с локомотивом 2ЭС6 для получения величины тока электровоза на каждом элементе участка при заданной скорости используемого при электрических расчетах.

2. Для каждой скорости движения проводятся электрические расчеты нерегулируемой СТЭ участка при напряжении на тяговых подстанциях 3500 В для одного ОП с массой состава 6000 т (обозначим ОП б). Снижения скорости движения от влияния напряжения соседних поездов (в силу их отсутствия) не происходит. Отсутствует влияние на расход ЭЭ на тягу  $A_{\text{эпс,оп}}$ .

3. После проведения электрических расчетов полученный расход ЭЭ  $A_{\text{эпс,оп}}$  одного одиночного поезда (ОП б) удваивается (т.е. двух поездов 2ОП б с временем межпоездного интервала, равного  $\infty$ ) и принимается за базовый расход ЭЭ двух ЭПС, не влияющих на напряжение друг друга  $A_{\text{эпс, б}} = 2 A_{\text{эпс,оп}}$ .

4. Далее для каждой скорости движения проводятся электрические расчеты нерегулируемой СТЭ при напряжении на тяговых подстанциях 3500 В для двух поездов с временем межпоездного интервала 1 минута (СП). Скорость движения снижается, расход ЭЭ  $A_{\text{эпс}}$  по сравнению с базовым  $A_{\text{эпс, б}}$  снижается.

5. После этого проводятся электрические расчеты для двух ОП также для каждой скорости движения, но с временем межпоездного интервала 5 минут.

6. Электрические расчеты для времени МПИ 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 20, 30, 40 минут выполняются аналогично п. 5.

7. Аналогично п. 3–6 проводятся электрические расчеты для регулируемой СТЭ с напряжением  $U_{\text{дст}} = 3700$  В.

8. По результатам расчета для конкретного участка с различным временем МПИ  $\Theta$  определяется количество межподстанционных зон (МПЗ) с напряжением в контактной сети менее 2700 В. Если напряжение выше минимально допустимого, то определяется расход электрической энергии по счетчикам ЭПС и удельный расход электрической энергии, в противном случае необходимо увеличивать время межпоездного интервала  $\Theta_i$ .

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

9. Аналогично п. 8 определяется минимальное время межпоездного интервала для каждой скорости движения поездов.

10. Для наглядности строятся таблицы результатов расчета и графики зависимости расхода  $A_{\text{элс}}$ , количества МПЗ с напряжением менее 2700 В и удельного расхода электрической энергии от изменения времени МПИ.

По результатам расчетов построены графики зависимости расхода  $A_{\text{элс}}$ , количества МПЗ с напряжением менее 2700 В и удельного расхода электрической энергии от изменения времени МПИ для нерегулируемой СТЭ (рис. 3) и регулируемой СТРЭ (рис. 4).

Скорости движения от 50 до 100 км/ч (рис. 3, 4) отмечены на всех графиках одинаковыми цветами (рис. 3 и 4, а, б, в). На рис. 3, а видно, что с увеличением времени межпоездного интервала расход  $A_{\text{элс}}$  остается постоянным. С увеличением времени МПИ (рис. 3, б) снижается нагрузка и повышается напряжение в контактной сети. На рис. 3, а, б, в видно, что скорость:

- 50 км/ч — напряжение в контактной сети при  $\Theta$  от 1 мин до 40 мин выше 2700 В [5], наименьший расход ЭЭ ЭПС составил при  $\Theta = 15$  мин ( $A_{\text{элс}} = 24922$  кВт·ч), тогда удельный расход ЭЭ  $a_{\text{т}}$  при  $\Theta = 15$  мин составит 110,80 кВт·ч/10<sup>4</sup>т·км;
- 60 км/ч ограничивает пропускную способность — время МПИ  $\Theta = 1$  мин (наличие двух МПЗ с напряжением в контактной сети менее 2700 В [5]), тогда наименьшие  $A_{\text{элс}}$  и  $a_{\text{т}}$  рассматриваются среди  $\Theta$  от 5 до 40 мин и равны при  $\Theta = 15$  мин ( $A_{\text{элс}} = 25296$  кВт·ч и  $a_{\text{т}} = 110,58$  кВт·ч/10<sup>4</sup>т·км);
- 70 км/ч ограничивает пропускную способность — время МПИ  $\Theta = 1$  мин (наличие трех МПЗ с напряжением в контактной сети менее 2700 В [5]), тогда наименьшие  $A_{\text{элс}}$  и  $a_{\text{т}}$  рассматриваются из  $\Theta$  от 5 до 40 мин и равны при  $\Theta = 15$  мин ( $A_{\text{элс}} = 25129$  кВт·ч и  $a_{\text{т}} = 108,72$  кВт·ч/10<sup>4</sup>т·км);
- 80 км/ч ограничивает пропускную способность — время МПИ  $\Theta = 1, 5, 6$  и 7 мин (наличие при  $\Theta = 1$  мин четырех МПЗ с напряжением в контактной сети менее 2700 В [5], при  $\Theta = 5$  мин двух МПЗ и при  $\Theta = 6$  и 7 мин одной МПЗ), тогда наименьшие  $A_{\text{элс}}$  и  $a_{\text{т}}$  рассматриваются из  $\Theta$  от 8 до 40 мин и равны при  $\Theta = 15$  мин ( $A_{\text{элс}} = 26990$  кВт·ч и  $a_{\text{т}} = 115,75$  кВт·ч/10<sup>4</sup>т·км);
- 90 км/ч ограничивает пропускную способность — время МПИ  $\Theta = 1, 5, 6$  и 7 мин (наличие при  $\Theta = 1$  мин шести МПЗ с напряжением в контактной сети менее 2700 В [5], при  $\Theta = 5$  мин двух МПЗ и при  $\Theta = 6$  и 7 мин одной МПЗ), тогда наименьшие  $A_{\text{элс}}$  и  $a_{\text{т}}$  рассматриваются из  $\Theta$  от 8 до 40 мин и равны при  $\Theta = 15$  мин ( $A_{\text{элс}} = 28648$  кВт·ч и  $a_{\text{т}} = 121,60$  кВт·ч/10<sup>4</sup>т·км);
- 100 км/ч ограничивает пропускную способность — время МПИ  $\Theta = 1, 5, 6$  и 7 мин (наличие при  $\Theta = 1$  мин шести МПЗ с напряжением в контактной сети

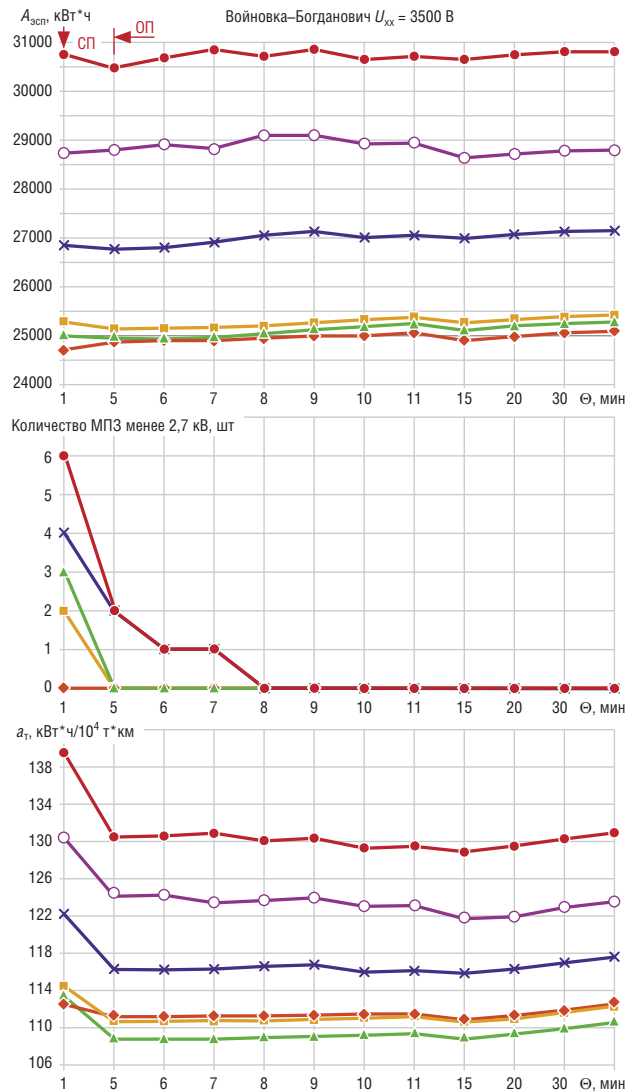


Рис. 3. Графики зависимости расхода ЭЭ по счетчикам ЭПС  $A_{\text{элс}}$  (а), количества МПЗ с напряжением в контактной сети менее 2700 В (б), удельного расхода электрической энергии  $a_{\text{т}}$  (в) от времени МПИ  $\Theta$  с естественными внешними характеристиками тяговых подстанций с напряжением холостого хода  $U_{\text{дхх}} = 3500$  В:

—♦— 50 км/ч; —■— 60 км/ч; —▲— 70 км/ч;  
—×— 80 км/ч; —○— 90 км/ч; —●— 100 км/ч

менее 2700 В [5], при  $\Theta = 5$  мин двух МПЗ и при  $\Theta = 6$  и 7 мин одной МПЗ), тогда наименьшие  $A_{\text{элс}}$  и  $a_{\text{т}}$  рассматриваются из  $\Theta$  от 8 до 40 мин и равны при  $\Theta = 15$  мин ( $A_{\text{элс}} = 30665$  кВт·ч и  $a_{\text{т}} = 128,96$  кВт·ч/10<sup>4</sup>т·км).

Выше приведен анализ результатов электрических расчетов нерегулируемой СТЭ, рациональное время межпоездного интервала (за критерии оценки взято: отсутствие МПЗ с напряжением в контактной сети менее 2700 В, минимальный удельный расход ЭЭ) составило 15 минут. Далее рассматриваются результаты электрических расчетов регулируемой СТРЭ (рис. 4), и определяется рациональное время МПИ.

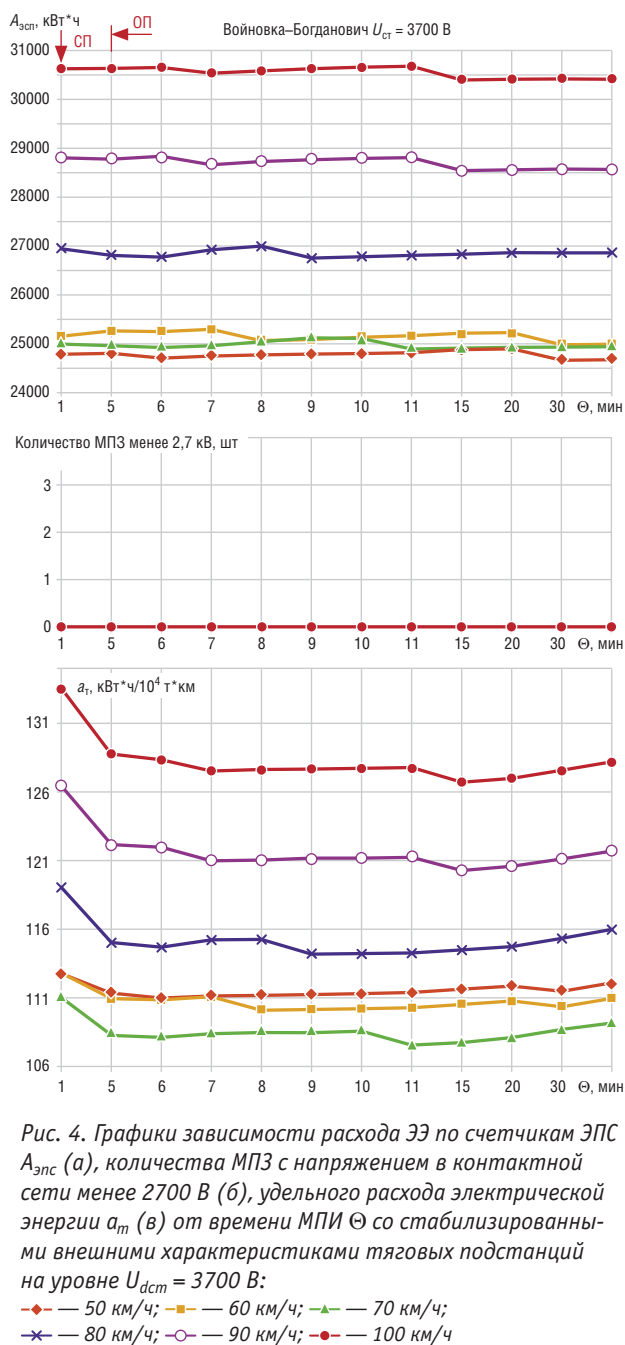


Рис. 4. Графики зависимости расхода ЭЭ по счетчикам ЭПС  $A_{эпс}$  (а), количества МПЗ с напряжением в контактной сети менее 2700 В (б), удельного расхода электрической энергии  $a_t$  (в) от времени МПИ  $\Theta$  со стабилизированными внешними характеристиками тяговых подстанций на уровне  $U_{дсм} = 3700 В$ :

Из рис. 4, а следует, что с увеличением времени межпоездного интервала расход  $A_{эпс}$  остается постоянным. Напряжение в контактной сети (рис. 4, б) при  $\Theta$  от 1 до 40 минут выше 2700 В [5] для всех скоростей движения. Удельный расход ЭЭ  $a_t$  регулируемой СТРЭ ниже, чем  $a_t$  нерегулируемой СТЭ, за счет снижения потерь ЭЭ в тяговой сети и трансформаторах ТП. Тогда из всех вариантов электрического расчета рациональное время межпоездного интервала составит 7 мин.

Анализ результатов электрического расчета нерегулируемой СТЭ (рис. 3) и регулируемой СТРЭ (рис. 4) участка Войновка — Богданович с движением только в нечетном направлении двух грузовых поездов массой по 6000 т показал, что со снижением времени межпоездного интервала расход ЭЭ по счетчикам электроподвижного состава  $A_{эпс}$  остается неизменным. Напряжение на токоприемнике электровоза увеличивается с увеличением времени МПИ и введением регулируемой СТРЭ, проходят все МПЗ по уровню напряжения 2700 В. Рациональное время МПИ по расходу ЭЭ ЭПС, по напряжению на токоприемнике электровоза и удельному расходу ЭЭ при нерегулируемой СТЭ составляет 15 минут, а при регулируемой СТРЭ — 7 минут, что подтверждает энергетическую эффективность применения системы БАРН.

## Выводы

С уменьшением времени межпоездного интервала с 40 до 1 мин снижается напряжение в контактной сети, увеличиваются потери ЭЭ в тяговой сети и трансформаторах тяговых подстанций, следовательно, повышается удельный расход электрической энергии. Если увеличение пропускной способности достигается за счет уменьшения времени межпоездного интервала, то рациональным с точки зрения энергетической эффективности режимом работы системы является регулируемая система тягового электроснабжения. По указанной методике возможно проведение электрических расчетов для остальных типов профилей пути нерегулируемой СТЭ и регулируемой СТРЭ и определение рационального времени межпоездного интервала. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Аржанников Б. А. Тяговое электроснабжение постоянного тока скоростного и тяжеловесного движения поездов : монография / Б. А. Аржанников. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. — 207 с.
2. Аржанников Б. А. Концепция усиления системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ : монография / Б. А. Аржанников, И. О. Набойченко. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — 258 с.
3. Аржанников Б. А. Совершенствование системы электроснабжения постоянного тока на основе автоматического регулирования напряжения тяговых подстанций / Б. А. Аржанников, А. А. Пышкин. — Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та путей сообщения, 2006. — С. 118.
4. Аржанников Б. А. Energy efficiency electrified section with automatic voltage regulation // Б. А. Аржанников, И. А. Баева, Т. С. Тарасовский // VIII International Scientific Siberian Transport Forum — TransSiberia. — 2019. — Vol. 1.
5. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. — Екатеринбург : ИД «Урал Юриздат», 2013. — 240 с.

Объем статьи: 0,51 авторских листа



**Александр  
Геннадьевич  
Галкин**

**Aleksandr G.  
Galkin**



**Андрей  
Вадимович  
Бунзя**

**Andrey V.  
Bunzya**



**Дмитрий  
Валентинович  
Лесников**

**Dmitrij V.  
Lesnikov**

## Использование силового электронного ключа при борьбе с гололедом на контактной сети импульсно-резонансным методом

### The use of a high-power electronic switch in the deicing on the overhead line network using the pulse-resonance method

#### Аннотация

Произведена оценка возможности технической реализации удаления гололеда с двойных контактных проводов импульсно-резонансным методом с использованием силового электронного ключа. Для конкретного двухпутного участка контактной сети выполнен расчет параметров необходимого понижающего трансформатора, работающего в импульсном режиме и обеспечивающего прогрев контактных проводов до положительных температур. Определен возможный диапазон изменения плотности тока контактных проводов, контролируемый скважностью импульсов.

**Ключевые слова:** контактная сеть, удаление гололеда, импульсно-резонансный метод, силовой электронный ключ.

#### Abstract

The possibility of technical implementation for deicing of double contact wires by pulse-resonance method using a high-power electronic switch is evaluated. For a specific double-track road section of overhead line network, the parameters of the necessary step-down transformer operating in pulse mode and providing heating of the contact wires to positive temperatures are calculated. A possible range of changes in the current density of the contact wires, controlled by the relative pulse duration, is determined.

**Keywords:** overhead line network, deicing, pulse-resonance method, high-power electronic switch.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-56-59

#### Авторы Authors

*Александр Геннадьевич Галкин, д-р техн. наук, профессор, председатель Уральского межрегионального отделения Российской академии транспорта, ректор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Андрей Вадимович Бунзя, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Дмитрий Валентинович Лесников, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: dlesnikov@usurt.ru*

*Aleksandr Gennadievich Galkin, Doctor of Engineering Science, Professor, Chairman at Ural multi-region branch of the Russian Academy of Transport, Rector of Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Andrey Vadimovich Bunzya, candidate of technical science, associate Professor of "Electrical machine chair", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Dmitrij Valentinovich Lesnikov, PhD in Technical Sciences, assistant professor of "Electric power supply" chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: dlesnikov@usurt.ru*



Одним из опасных состояний контактной подвески является образование на ее проводах гололедных отложений. Наиболее частым следствием гололеда является пережог контактного провода при наезде токоприемника на гололедную пленку, особенно в местах трогания электроподвижного состава с места. Восстановление контактной подвески требует значительных капитальных вложений и продолжительных окон.

Наиболее эффективными способами борьбы с гололедом на контактной подвеске являются профилактический подогрев и плавка гололеда методом короткого замыкания [1]. Оба способа требуют существенных энергозатрат, причем последний требует продолжительных окон в движении и может привести к отжигу контактных проводов.

В 1999 г. для повышения эффективности и скорости удаления гололеда с двойных проводов контактной сети в УрГУПС был предложен импульсно-резонансный метод (ИРМ), согласно которому через контактные провода пропускают импульсы тока с частотой, близкой к механическому резонансу, и амплитудой, достаточной для преодоления внешних и внутренних сил трения [2]. Под действием периодической силы Ампера провода начинают раскачиваться и ударяться друг о друга, что приводит к ускоренному разрушению гололедных образований.

Одним из вариантов реализации ИРМ является разработанное в УрГУПС устройство удаления гололеда (УУГ), содержащее управляемый преобразователь, который располагается на подстанции и обеспечивает протекание импульсов тока по петле контактных подвесок двухпутного участка от подстанции до поста секционирования. Для возникновения поперечных колебаний частота импульсов изменяется по определенному алгоритму, обеспечивая вхождение колебаний контактных проводов в резонанс в пролетах с различными параметрами. Удаление гололеда таким способом резко снижает затраты электроэнергии, исключает риск отжига контактных проводов, сокращает время удаления гололеда. Опытный образец УУГ ИРМ успешно прошел эксплуатационные испытания [3].

Одним из технических решений для реализации импульсно-резонансного метода удаления гололеда с двойных контактных проводов является установка силового электронного ключа в разрез петли контактных подвесок в схеме плавки гололеда способом короткого замыкания.

Силовая часть может быть выполнена на базе мощного запираемого тиристора с системой защиты и управления, включающей программное устройство, выполненное на базе микроконтроллера. Последний должен определять и задавать моменты открытия и запираания тиристора, обеспечивая частоту импульсов тока, подаваемых в контактную сеть. Частота импульсов должна плавно изменяться в пределах резонансных частот всех пролетов перегона с задержками на резонансной частоте каждого пролета.

Устройство располагается на тяговой подстанции, источником питания петли служит тяговый преобразователь, при необходимости подключаемый к дополнительному трансформатору. Величина тока в импульсе не должна превышать значения допустимой перегрузки преобразователя, эффективное значение тока контролируется скважностью импульсов. При этом поддерживается плотность тока, исключающая риск отжига контактных проводов, но обеспечивающая их прогрев до положительных температур для создания жидкой прослойки между основной массой льда и проводом для снижения адгезии.

Реализация такого решения возможна с применением запираемых IGCT тиристорov, способных коммутировать ток до 2200 А при напряжении 2800 В постоянного тока и более.

При небольшой продолжительности участка контактной сети для ограничения тока в петле возможно применение специального понижающего трансформатора (ПТ), снижающего напряжение, подаваемое на вход выпрямителя. Вариант его подключения представлен на принципиальной схеме (рис. 1).

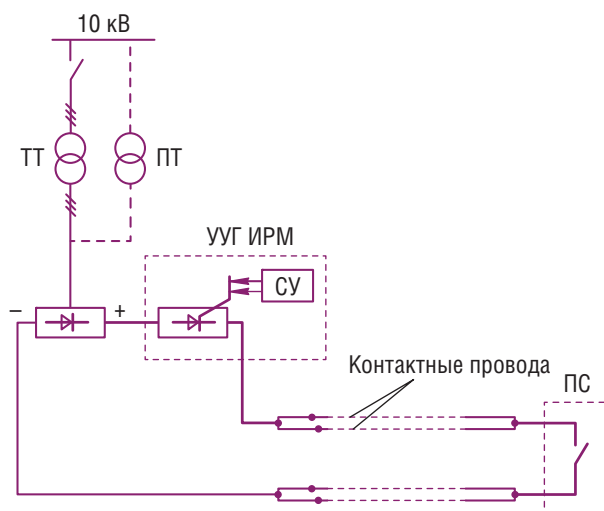


Рис. 1. Принципиальная схема УУГ ИРМ в виде силового электронного ключа

Предложенная схема является типовой — она применяется при профилактическом подогреве контактной сети. В качестве специального трансформатора могут использоваться типовые трансформаторы, способные понизить напряжение до нужного уровня.

Для оценки возможности реализации такого решения проведем предварительный расчет параметров предлагаемого устройства.

Пусть удаление гололеда производится на двухпутном участке длиной 10 км с контактной подвеской М120 + 2МФ100.

Для определения сопротивления петли контактной подвески воспользуемся значениями удельного

сопротивления при 20 °С (0,177 Ом/км и 0,156 Ом/км для контактного провода и несущего троса соответственно), так как в процессе удаления гололеда температура проводов ориентировочно будет соответствовать этому значению.

Тогда удельное сопротивление подвески  $r$  составит 0,0565 Ом/км, и сопротивление петли длиной  $l = 20$  км равно:

$$R_d = r \cdot l. \quad (1)$$

$$R_d = 0,0565 \cdot 20 = 1,129 \text{ Ом.}$$

Для обеспечения водяной прослойки, необходимой для эффективного удаления гололеда, выберем среднюю плотность тока, используемую при профилактическом подогреве, обеспечивающую прогрев контактного провода до положительной температуры,  $J = 3,0 \text{ А/мм}^2$ .

Для обеспечения такой плотности тока при работе УУГ в импульсном режиме определим ток контактного провода при среднем значении коэффициента заполнения импульса  $\varepsilon = 0,5$ :

$$I_{\text{кп}} = \frac{S_{\text{кп}} \cdot J}{\sqrt{\varepsilon}}. \quad (2)$$

$$I_{\text{кп}} = \frac{100 \cdot 3,0}{\sqrt{0,5}} = 425 \text{ А.}$$

Ток контактной сети в организуемой петле найдем из выражения

$$I_{\text{КС}} = \frac{I_{\text{кп}} \cdot S_{\Sigma}}{S_{\text{кп}}}. \quad (3)$$

$$I_{\text{КС}} = 425 \cdot 320/100 = 1360 \text{ А.}$$

Напряжение петли контактной подвески

$$U_d = I_{\text{КС}} \cdot R_d. \quad (4)$$

$$U_d = 1360 \cdot 1,129 = 1536 \text{ В.}$$

Мощность, потребляемую устройством удаления гололеда при непрерывном режиме работы, определим соотношением

$$P_d = \frac{I_{\text{КС}} \cdot U_d}{1000}. \quad (5)$$

$$P_d = 1360 \cdot 1536 / 1000 = 2089 \text{ кВт.}$$

Тогда необходимая мощность устройства в повторно-кратковременном режиме:

$$P_{d\text{ПВ}} = P_d \cdot \sqrt{\varepsilon}. \quad (6)$$

$$P_{d\text{ПВ}} = 2089 \cdot \sqrt{0,5} = 1477 \text{ кВт.}$$

Далее определим мощность повторно-кратковременного режима с учетом возможной перегрузки трансформатора, оцениваемой коэффициентом перегрузки  $K_{\text{П}}$ . Учитывая, что время удаления гололеда не превышает 10 минут [4], мощность установки вычислим по формуле

$$P_{d\text{ПВн}} = \frac{P_{d\text{ПВ}}}{K_{\text{П}}}. \quad (7)$$

$$P_{d\text{ПВн}} = 1477/2 = 739 \text{ кВт.}$$

Исходя из полученных значений мощности в непрерывном и в повторно-кратковременном режиме с учетом перегрузки, можно определить коэффициент перегрузки в импульсе по формуле

$$K_{\text{Пимп}} = \frac{P_d}{P_{d\text{ПВн}}}. \quad (8)$$

$$K_{\text{Пимп}} = 2089/739 = 2,83.$$

С учетом полученного значения коэффициента перегрузки в импульсе можно найти номинальный ток выпрямителя:

$$I_{d\text{Н}} = \frac{I_{\text{КС}}}{K_{\text{Пимп}}}. \quad (9)$$

$$I_{d\text{Н}} = 1360/2,83 = 481 \text{ А.}$$

Далее найдем величину напряжения холостого хода тягового выпрямителя, которое для трехфазной мостовой схемы определим из выражения:

$$U_{d0} = \frac{U_d}{1 - 0,5 \cdot \frac{u_k}{100} \cdot K_{\text{Пимп}}}, \quad (10)$$

где  $u_k$  — напряжение короткого замыкания трансформатора, примем равным 6,5 %.

$$U_{d0} = 1536 / (1 - 0,5 \cdot 6,5/100 \cdot 2,83) = 1691 \text{ В.}$$

Тогда номинальное напряжение выпрямителя составит

$$U_{d\text{Н}} = U_{d0} \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{u_k}{100}\right). \quad (11)$$

$$U_{d\text{Н}} = 1691 \cdot (1 - 0,5 \cdot 6,5/100) = 1636 \text{ В.}$$

Зная номинальный ток и напряжение выпрямителя, найдем его номинальную мощность

$$P_{dH} = I_{dH} \cdot U_{dH}. \quad (12)$$

$$P_{dH} = 481 \cdot 1636 = 787 \text{ кВт.}$$

Мощность холостого хода выпрямителя

$$P_{d0} = I_{d0} \cdot U_{d0}. \quad (13)$$

$$P_{d0} = 481 \cdot 1691 = 813 \text{ кВт.}$$

Исходя из полученного значения мощности холостого хода, найдем минимальное значение мощности предполагаемого понижающего трансформатора

$$S_T = 1,05 \cdot P_{d0}. \quad (14)$$

$$S_T = 1,05 \cdot 813 = 854 \text{ кВА.}$$

Найдем вторичное линейное напряжение, а также вторичный линейный и фазный ток трансформатора, принимая схему соединения обмоток «звезда»:

$$U_{2л} = \frac{U_{d0}}{1,35}. \quad (15)$$

$$U_{2л} = 1691 / 1,35 = 1253 \text{ В.}$$

$$I_{2л} = I_{2ф} = I_{dH} \cdot 0,816. \quad (16)$$

$$I_{2ф} = 481 \cdot 0,816 = 392.$$

Ориентируясь на полученные расчетные значения мощности, напряжения и тока, выбираем трансформатор с ближайшей типовой мощностью  $S_H = 1000$  кВА, питающим линейным напряжением  $U_{1л} = 10$  кВ, схемой соединения обмоток У/У и рассчитанным вторичным линейным напряжением  $U_{2л} = 1,25$  кВ.

Поверочный расчет с таким трансформатором ТМ-1000/10-1,25 показывает, что в импульсном режиме установка УУГ обеспечивает величину тока контактного провода в импульсе 430 А, при этом для коэффициента заполнения импульса  $\epsilon = 0,5$  эффективное значение тока контактного провода составляет 304 А, что соответствует средней плотности тока профилактического подогрева  $J = 3,0$  А/мм<sup>2</sup>. При этом коэффициент перегрузки трансформатора составляет 1,72, что является допустимой величиной. Коммутация тока ИКС = 1360 А при напряжении  $Ud = 1636$  В вполне реальна для такого тиристора, как 5SHX 26L4510 GCT Diode part.

Варьируя коэффициент заполнения импульса в пределах от 0,3 до 0,7, что не снижает эффективности соударений двойных контактных проводов, можно изменить плотность тока в диапазоне от 2,4 до 3,6 А/мм<sup>2</sup>, т.е. в пределах применяемой плотности тока профилактического подогрева. При этом коэффициент перегрузки трансформатора не выходит из допустимой двукратной перегрузки.

Таким образом, рассматриваемое УУГ ИРМ может быть применено для борьбы с гололедом на участках контактной сети постоянного тока с двойным контактным проводом. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Голев В. А. Профилактический подогрев проводов контактной сети постоянного тока. — М. : Транспорт, 1988. — 76, [3] с. — ISBN 5-277-00193-X.
2. Пат. 2166826 Российская Федерация, МПК7 Н 02 G 7/16, В 60 М 1/12. Способ удаления гололеда с проводов контактной сети и линий электропередачи / Ефимов А. В., Галкин А. Г. ; заявитель и патентообладатель Уральская государственная академия путей сообщения. — № 99114706/09 ; заявл. 05.07.99 ; опубл. 10.05.01. — 5 с.
3. Ефимов А. В., Галкин А. Г., Бунзя А. В. Разработка и испытание опытного образца устройства удаления гололеда с двойных контактных проводов импульсно-резонансным методом // Транспорт Урала. — 2007. — № 1 (12). — С. 105–112. — ISSN 1815–9400.
4. Бунзя А. В., Ефимов А. В., Галкин А. Г. О сокращении времени удаления гололеда с двойных контактных проводов импульсно-резонансным методом // Вестник УрГУПС. — 2009. — № 3–4. — С. 72–76. — ISSN 2979–0392.

Объем статьи: 0,32 авторских листа



Андрей Владимирович  
Архипов

Andrej V. Arhipov



Константин Михайлович  
Колясов

Konstantin M. Kolyasov

## Напряженно-деформированное состояние в зоне увода сварного шва котла цистерны с учетом переменной толщины обечайки

### Strain-stress state in the breakaway zone of tank boiler welded seam taking into account the variable thickness of boiler shell ring

#### Аннотация

В статье приведены результаты теоретических исследований напряженно-деформированного состояния котла цистерны в зоне увода кромок продольного сварного шва обечайки. По разработанной аналитической методике получены уточненные результаты напряженно-деформированного состояния в зоне увода сварного шва с учетом локального утолщения поперечного сечения обечайки.

**Ключевые слова:** вагон-цистерна, напряженно-деформированное состояние, увод сварного шва, недовальцовка, некруговой профиль обечайки.

#### Abstract

The article presents the results of theoretical studies of the strain-stress state in the breakaway zone of boiler shell ring. According to the developed analytical method, the refined results of the strain-stress state in the breakaway zone of tank boiler welded seam are obtained, taking into account the local thickening of the cross profile of the boiler shell ring.

**Keywords:** reservoir truck, strain-stress state, removal of the welded seam, underexpanding, non-circular profile of the boiler shell ring.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-60-64

#### Авторы Authors

**Андрей Владимирович Архипов**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Константин Михайлович Колясов**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Andrej Vladimirovich Arhipov**, PhD in Technical Sciences, assistant professor of Wagon chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Konstantin Mihajlovich Kolyasov**, PhD in Technical Sciences, assistant professor of Wagon chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg



В ряде работ, выполненных ранее [1–3], отмечалось, что при изготовлении котлов цистерн неизбежно наличие начальных геометрических несовершенств формы обечайки котла. Несовершенства изменяют форму профиля обечайки таким образом, что она становится некруговой. Наличие регулярных или периодических неровностей негативно сказывается на напряженно-деформированном состоянии (НДС) котла.

Авторами ранее по оригинальной методике была проведена оценка такого влияния при различных сочетаниях параметров увода кромок продольного сварного шва [4]. В данной работе приведены результаты оценки НДС котла цистерны в зоне увода кромок продоль-

ного сварного шва с учетом локального утолщения стенок котла из-за наплавки в сварном шве.

В результате недовальцовки поперечное сечение обечайки котла может принимать форму, показанную на рис. 1.

Увод кромок сварного шва (угловатость) характеризуем двумя параметрами: центральным углом  $\alpha$  и углом  $\beta$  в вершине угловатости к вертикальной оси (рис. 1). Угловатость считаем одинаковой вдоль всей образующей котла.

Согласно [4], оценку влияния на НДС цилиндрической оболочки такого типа неровностей можно производить по следующему алгоритму (рис. 2).

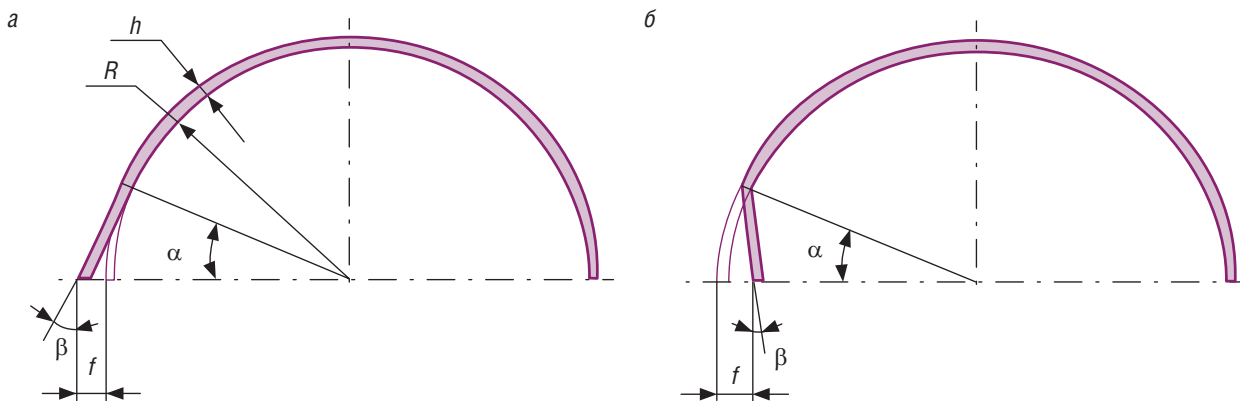


Рис. 1. Поперечное сечение котла с уводом кромок сварного шва наружу обечайки (а); с уводом кромок сварного шва внутрь обечайки (б)

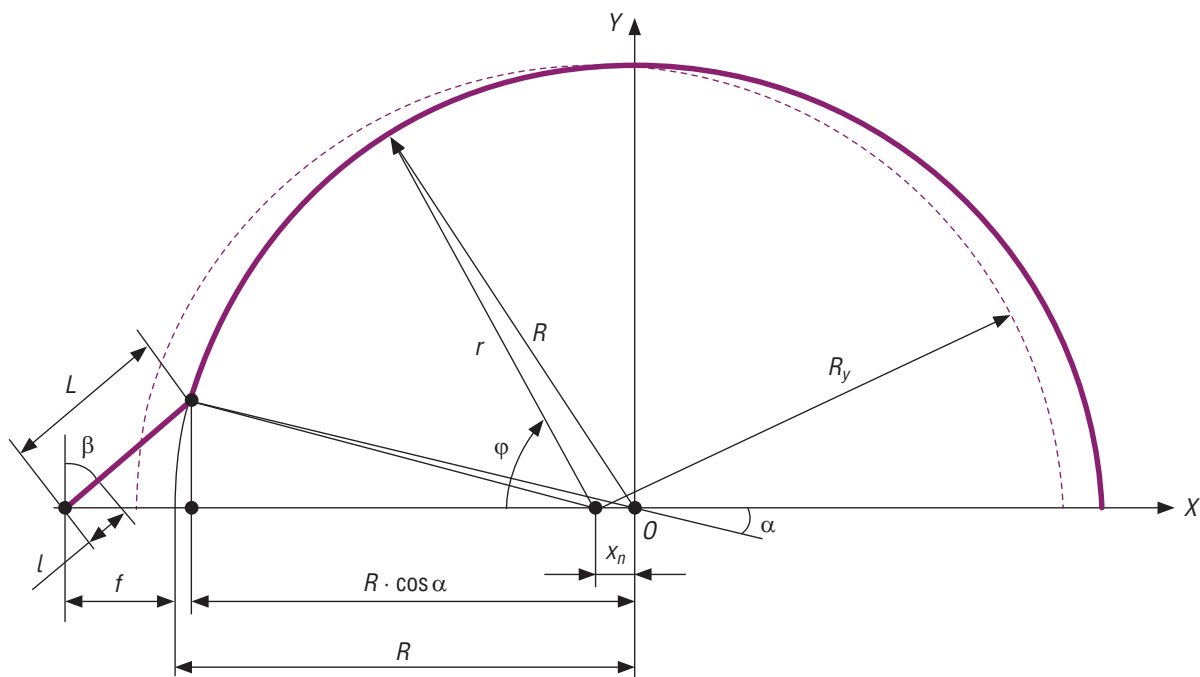


Рис. 2. Схема расчета обечайки с угловатостью:

$R$  — радиус обечайки;  $f$  — амплитудное значение отклонения;  $2\alpha$  — угол раствора поперечного сечения уклона;  $\beta$  — угол между вертикальной осью и прямолинейным участком сечения;  $l$  — текущая координата прямолинейного участка сечения;  $L$  — длина прямолинейного участка;  $\varphi$  — текущая координата по дуге;  $R_y$  — радиус узлового круга;  $r$  — радиус-вектор из центра сил;  $x_n$  — координата центра сил по оси  $X$

Равнодействующую внутренних поперечной и нормальной сил в сечении можно определить по формуле:

$$N = q \cdot r, N \perp r, \quad (1)$$

где  $q$  — равномерно распределенная нагрузка;  $r$  — радиус-вектор из центра сил.

Изгибающий момент в сечении:

$$M = q(r^2 - R_y^2)/2, \quad (2)$$

где  $R_y$  — радиус узлового круга.

Соответственно, значение радиуса узлового круга:

$$R_y^2 = \frac{\oint r^2 ds / EI}{\oint ds / EI}, \quad (3)$$

где  $EI$  — жесткость профиля при изгибе.

При постоянной жесткости, как в принятом случае, выражение (3) примет вид

$$R_y^2 = \frac{\oint r^2 ds}{\oint ds}. \quad (4)$$

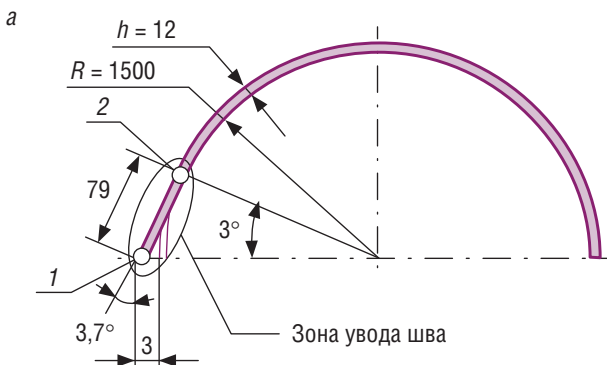
Для профиля, показанного на рис. 2, значения квадрата радиус-вектора  $r$  на прямолинейном и криволинейном участках обечайки равны [4].

$$\left. \begin{aligned} r^2 &= R^2(B-a)^2 - 2RI(B-a)\sin\beta + I^2; & 0 < l < L; \\ r^2 &= R^2(1-2a\cos\varphi + a^2\cos 2\varphi). & \alpha < \varphi < \pi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $B = \cos(\beta - a)/\cos\beta$  — коэффициент;  $a = x_n/R$  — относительная координата центра гибкости.

Радиус узлового круга равен

$$R_y^2 = R^2 \frac{\pi - \alpha + (B-a)L/R[(B-a) - \sin\alpha \tan\beta]}{L/R + \pi - \alpha} + \frac{L^3/3R^3 + a\sin\alpha(2 - a\cos\alpha)}{L/R + \pi - \alpha}. \quad (6)$$



Подставив значения выражений (5) и (6) в формулы (1) и (2), получим значения кольцевой силы  $N_1$  и кольцевого изгибающего момента  $M_1$  в любом поперечном сечении профиля.

Будем вести расчеты согласно предположению, что начальная и конечная формы профиля обечайки одинаковы, т.е. деформации малы, и задача является геометрически линейной.

Для определения суммарных кольцевых и продольных напряжений в произвольном сечении профиля в работе использованы известные формулы

$$\sigma_1 = \frac{N_j}{h} \pm \frac{6M_j}{h^2}; \quad \sigma_2 = \sigma_{2M} \pm \frac{6\mu M_j}{h^2}, \quad (7)$$

где  $N_j$  и  $M_j$  — соответственно сила и изгибающий момент в данном кольцевом сечении, равные  $N_l$  и  $M_l$  для прямого участка или  $N_\varphi$  и  $M_\varphi$  для криволинейного участка обечайки;  $h$  — толщина обечайки;  $\sigma_{2M} = q \cdot R/2h$  — мембранные напряжения на поперечных площадках обечайки;  $\mu$  — коэффициент Пуассона.

Эквивалентные напряжения, принятые по гипотезе Губера-Мизеса, с учетом общих гипотез теории оболочек Кирхгофа-Лява ( $\sigma_3 = 0$ ), определяются из выражения

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2}.$$

Геометрические параметры сечения котла приведены на рис. 3. В качестве нагрузки выбрано внутреннее испытательное давление  $q = 0,4$  МПа. Задача решалась для двух вариантов увода кромок сварного шва: увод кромок наружу обечайки и увод кромок внутрь обечайки.

Увод кромок шва  $f = 3$  мм принят равномерным по длине всей образующей.

В точке стыковки 1 недовальцованных листов (рис. 3) выполняют двусторонний сварной шов, в результате чего сечение обечайки в зоне недовальцовки локально утолщается (рис. 4).

Согласно ГОСТ 8713-79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные эле-

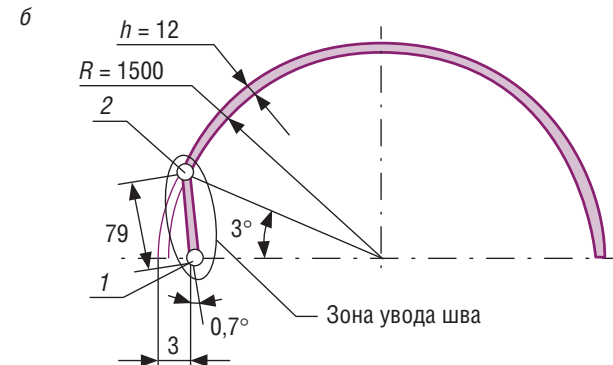


Рис. 3. Варианты профиля обечайки котла

менты и размеры», максимальная ширина двустороннего сварного шва при толщине свариваемых деталей 12 мм может достигать 24 мм, а высота шва — 3 мм (рис. 4). Таким образом, на прямолинейном участке увода шва длиной 79 мм суммарная толщина обечайки составит 18 мм на длине 12 мм.

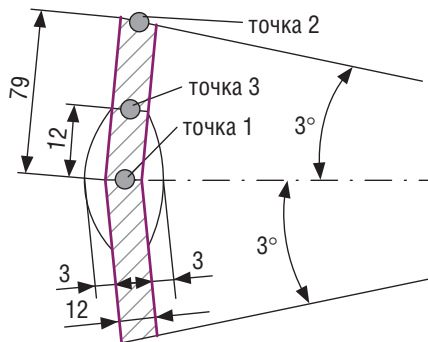
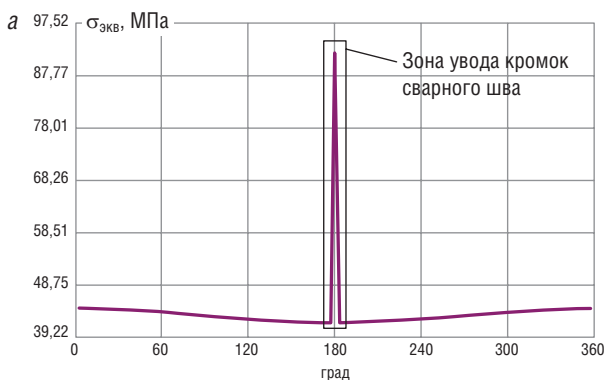


Рис. 4. Локальное утолщение сечения обечайки

На рис. 5, а приведена эпюра распределения эквивалентных напряжений на внутренних волокнах обечайки для случая увода кромок шва наружу котла. На рис. 5, б в увеличенном масштабе показаны эквивалентные напряжения непосредственно в зоне увода кромок шва на прямолинейном участке. На рис. 6 приведены анало-



гичные эпюры эквивалентных напряжений на наружных волокнах для случая увода кромок шва внутрь обечайки.

В табл. 1 приведены значения напряжений в вершине увода кромок шва (точка 1, рис. 4, 5, 6), в точке сопряжения прямого и дугового участков (точка 2, рис. 4, 5, 6) и в точке окончания локального утолщения обечайки (точка 3, рис. 4, 5, 6) для двух рассмотренных случаев увода кромок. Также приведены значения коэффициента концентрации напряжений  $k$ , определенные по формуле:

$$k = \frac{\sigma_{\text{ЭКВ}}^1}{\sigma_{\text{ЭКВ}}^2},$$

где  $\sigma_{\text{ЭКВ}}^1$  — эквивалентные напряжения в зоне окончания локального утолщения обечайки (точка 3, рис. 3, 4);  $\sigma_{\text{ЭКВ}}^2$  — эквивалентные напряжения в точке сопряжения прямолинейного и криволинейного участков (точка 2, рис. 3, 4).

Анализ эпюр, приведенных на рис. 5 и 6, и значений в табл. 1 показал, что в целом характер распределения напряжений в обечайке котла хорошо коррелируется с результатами, полученными в работе [4]. Однако есть и качественные отличия. В связи с учетом локального утолщения сечения обечайки в зоне наплавки сварного

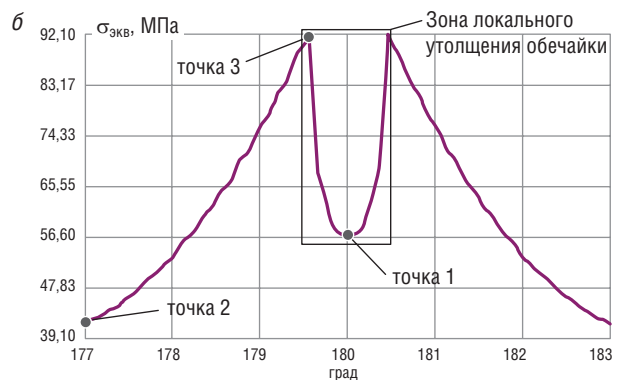


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений для случая увода кромок шва наружу котла: по периметру сечения обечайки (а), на участке увода шва (б)

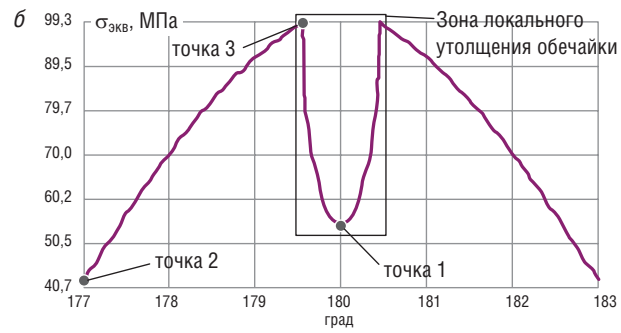
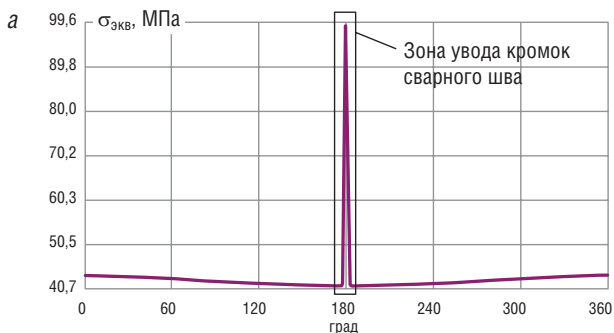


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений для случая увода кромок шва внутрь котла: по периметру сечения обечайки (а), на участке увода шва (б)

Таблица 1

### Экстремальные эквивалентные напряжения в обечайке котла

Точки определения напряжений	Эквивалентные напряжения $\sigma_{экр}$ , МПа	Коэффициент концентрации напряжений $k$
Увод кромок сварного шва наружу обечайки		
В зоне окончания локального утолщения (точка 3)	91,81	2,2
В точке сопряжения прямого и дугового участков (точка 2)	41,72	
Увод кромок сварного шва внутрь обечайки		
В зоне окончания локального утолщения (точка 3)	98,74	2,3
В точке сопряжения прямого и дугового участков (точка 2)	42,23	

шва точка максимальных напряжений на участке недовальцовки смещается из вершины сварного шва (точка 1, рис. 5, 6) в точку окончания локального утолщения обечайки (точка 3, рис. 5, 6). При этом коэффициент концентрации напряжений  $k$  остается достаточно высоким и составляет  $k = 2,2 \div 2,3$ .

Очевидно, что в процессе нагружения котла внутренним давлением несовершенства профиля будут выправляться, т.е. количественно величина увода  $f$  будет меньше, чем в недеформированной конструкции. При меньшем значении  $f$  напряжения в зоне недовальцовки также уменьшатся.

В результате проведенных исследований по разработанной аналитической методике проведена оценка НДС котла цистерны в зоне увода кромок сварного шва с учетом локального утолщения обечайки. С использованием этой методики получены следующие выводы и результаты:

1. Наличие несовершенства обечайки котла в виде увода кромок сварного шва оказывает существенное влияние на общее напряженно-деформированное состояние кот-

ла. В зоне увода кромок шва полученный коэффициент концентрации напряжений составляет  $k = 2,2-2,3$ .

2. В результате локального утолщения обечайки котла в зоне наплавки сварного шва максимальные эквивалентные напряжения зафиксированы на границе сварного шва (точка 3, рис. 4) и составляют  $\sigma_{экр} = 91,81$  МПа

для увода кромок сварного шва наружу котла и  $\sigma_{экр} = 98,74$  МПа для увода кромок сварного шва внутрь котла.

3. При одинаковых параметрах модели для случаев увода кромок шва наружу и внутрь котла значения максимальных напряжений несколько выше (около 7 %) для увода кромок шва внутрь котла. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Котуранов В. Н. О напряженном состоянии котла цистерны // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — М. : Транспорт, 1966. — Вып. 1. — С. 34–37.
2. Котуранов В. Н., Болотин М. М. Оценка напряжений в зоне сливного уклона котла цистерны // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — М. : Транспорт, 1969. — Вып. 7. — С. 31–33.
3. Болотин М. М. Исследование напряженного состояния котлов цистерн с учетом основных конструктивных особенностей их оболочек и узлов : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИИТ, 1971. — 171 с.
4. Архипов А. В., Смольянинов А. В. Концентрация напряжений в зоне геометрических отклонений формы котла цистерны // Транспорт Урала. — 2007. — № 1 (12). — С. 53–64. — ISSN 1815–9400.

Объем статьи: 0,43 авторских листа





Анатолий Александрович  
Пышкин

Anatolij A. Pyshkin



Дмитрий Валентинович  
Лесников

Dmitrij V. Lesnikov

## К оценке надежности выпрямительного агрегата тяговой подстанции постоянного тока

### Assessment of the reliability of the rectifier unit on DC current traction substation

#### Аннотация

На полигоне электрифицированных железных дорог постоянного тока используются выпрямительные агрегаты начиная с 1968 года выпуска, в которых применяются вентили с 8 до 42 класса, с током в прямом направлении от 200 до 4000 ампер. Расчет надежности таких агрегатов позволяет определить число запасных вентилях для успешного функционирования системы. В статье используется теория марковских процессов гибели и размножения, описываемых с помощью дифференциальных уравнений А. Н. Колмогорова.

**Ключевые слова:** выпрямительный агрегат, тяговая подстанция, вероятность безотказной работы, уравнения А. Н. Колмогорова, граф изменения состояний одной фазы агрегата, вероятность отказа фазы агрегата.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-65-68

#### Авторы Authors

*Анатолий Александрович Пышкин, канд. техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: APyshkin@usurt.ru | Дмитрий Валентинович Лесников, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: dlesnikov@usurt.ru*

*Anatolij Aleksandrovich Pyshkin, PhD in Technical Sciences, Professor of «Electric power supply» chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: APyshkin@usurt.ru | Dmitrij Valentinovich Lesnikov, PhD in Technical Sciences, assistant professor of «Electric power supply» chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; email: dlesnikov@usurt.ru*

Произведенные расчеты для тяговых подстанций постоянного тока [1–3] показали, что менее надежными блоками являются блок выпрямительного агрегата и питающей линии постоянного тока. В связи с этим произведем оценку надежности выпрямительного агрегата. Условно все оборудование агрегата можно разбить на следующие подсистемы, отказ которых приводит к отказу агрегата в целом: фазы, разрядники, контуры RC, система охлаждения, устройства управления [2].

Считая отказы подсистемы событиями случайными и независимыми, имеющими основное соединение, вероятность безотказной работы агрегата за время  $t$  [3] можно рассчитать по формуле:

$$P_A(t) = P_\Phi(t) \cdot P_P(t) \cdot P_{RC}(t) \cdot P_O(t) \cdot P_Y(t), \quad (1)$$

где  $P_\Phi(t)$  — вероятность безотказной работы фаз выпрямителя;  $P_P(t)$  — вероятность безотказной работы разрядников;  $P_{RC}(t)$  — вероятность безотказной работы контуров RC;  $P_O(t)$  — вероятность безотказной работы системы охлаждения;  $P_Y(t)$  — вероятность безотказной работы устройства управления.

Определение вероятности безотказной работы разрядников, контуров RC, системы охлаждения и устройства управления дано в [3]. Подсистема фаз определяется исходя из надежности шести одинаковых состав-

ляющих, отказ которых ведет к отказу всей подсистемы в целом. Согласно теореме умножения вероятностей, считая отказы в каждой фазе событиями независимыми, получаем:

$$P_\Phi(t) = \prod_{i=1}^6 P_{i\Phi}(t) = P_{i\Phi}^6(t), \quad (2)$$

где  $P_{i\Phi}(t)$  — вероятность безотказной работы одной фазы в течение времени  $t$ .

При расчете надежности фазы будем считать, что система находится в работоспособном состоянии при пробое одного вентиля в ветви. Если произошел пробой двух вентилях в параллельной ветви или отказ типа обрыв хотя бы одного вентиля, то фаза переходит в поглощающее состояние. Допустим, что отказы шунтирующих резисторов и контуров RC в фазе происходят гораздо реже и надежность фазы определяется надежностью вентилях.

Для исследования надежности такой системы с дискретными состояниями наиболее удобно применять теорию марковских процессов гибели и размножения, описываемую с помощью дифференциальных уравнений А. Н. Колмогорова и основанную на предположении, что состояние агрегата в некоторый момент времени не зависит от состояния в прошедший момент [2, 4].

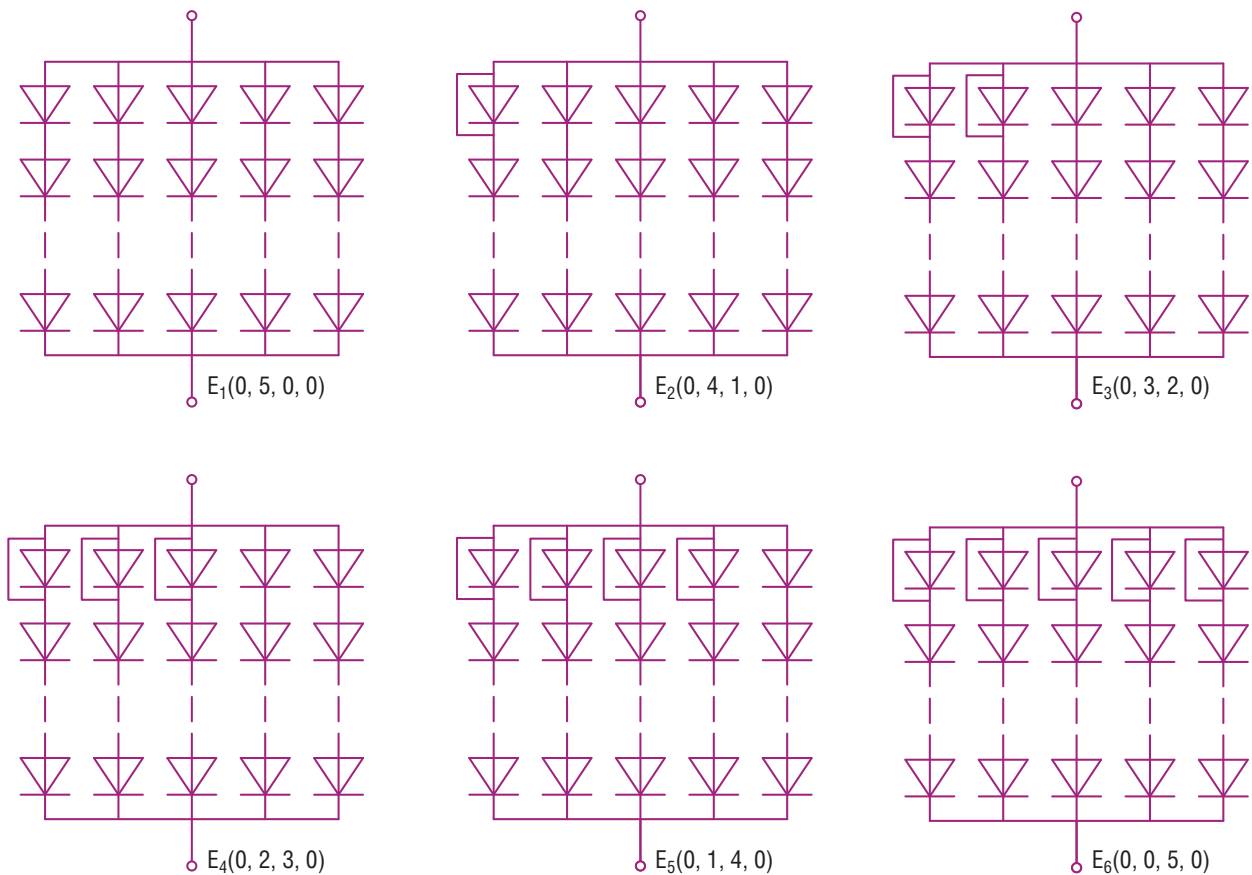


Рис. 1. Возможные рабочие состояния одной фазы агрегата

Возможные рабочие состояния одной фазы в примере для агрегата, соединенного по схеме «две обратные звезды с уравнительными реакторами», имеющие пять параллельных ветвей по 14 включенных последовательно вентилей в каждой ветви, представлены на рис. 1 [2, 5].

На основании рис. 1 можно построить граф изменения состояния одной фазы выпрямительного агрегата (рис. 2).

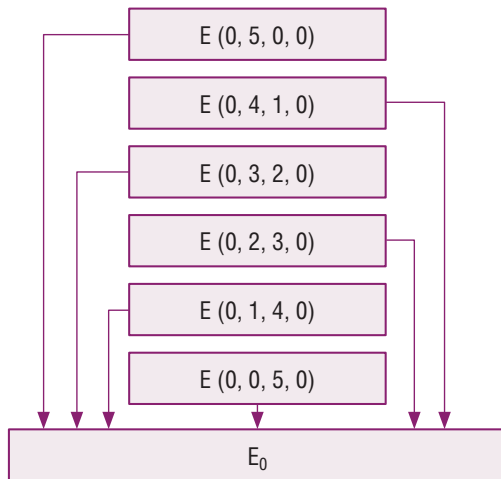


Рис. 2. Граф изменения состояния одной фазы агрегата

На рис. 2 состояние фазы  $E(a_1, a_2, a_3, a_4)$  означает следующее:

- $a_1$  — число оборванных ветвей, при обрыве хотя бы одной ветви фаза переходит в отказовое состояние  $E_0$ ;
- $a_2$  — число ветвей с непробитыми вентилями;
- $a_3$  — число ветвей с одним пробитым вентиляем;
- $a_4$  — число ветвей, имеющих два пробитых вентиля.

Согласно условиям, рабочие состояния фазы характеризуются значениями  $a_1 = 0$  и  $a_4 = 0$ , а значения  $a_2$  и  $a_3$  могут изменяться в пределах от 0 до 5.

$\lambda_{1,2}$  — интенсивность перехода из рабочего состояния  $E_1(0,5,0,0)$  в рабочее состояние  $E_2(0,4,1,0)$ ;

$\lambda_{1,0}$  — интенсивность перехода из рабочего состояния  $E_1(0,5,0,0)$  в отказовое состояние  $E_0$ .

Определим число различных рабочих состояний, предполагая, что при обрыве хотя бы одной ветви агрегат переходит в отказовое состояние:

$$C_{m+n-s}^m = \frac{(m+n-s)!}{m!(n-s)!}, \quad (3)$$

где  $m$  — число параллельных ветвей,  $m = 5$ ;  $n$  — число вентиляей, включенных последовательно в ветвь,  $n = 14$ ;  $s$  — число непробитых вентиляей,  $s = 13$ .

Тогда число рабочих состояний одной фазы

$$C_{m+n-s}^m = \frac{(5+14-13)!}{5!(14-13)!} = 6. \quad (4)$$

В соответствии с общим правилом составления дифференциальных уравнений Колмогорова, обозначая рабочие состояния фазы через  $E_1, E_2, E_3 \dots E_6$ , а отказовое состояние через  $E_0$ , имеем [6]:

$$\begin{aligned} P_1' &= -(\lambda_{1,0} + \lambda_{1,2}) \cdot P_1(t); \\ P_2' &= \lambda_{1,2} \cdot P_1(t) - (\lambda_{2,0} + \lambda_{2,3}) \cdot P_2(t); \\ P_3' &= \lambda_{2,3} \cdot P_2(t) - (\lambda_{3,0} + \lambda_{3,4}) \cdot P_3(t); \\ P_4' &= \lambda_{3,4} \cdot P_3(t) - (\lambda_{4,0} + \lambda_{4,5}) \cdot P_4(t); \\ P_5' &= \lambda_{4,5} \cdot P_4(t) - (\lambda_{5,0} + \lambda_{5,6}) \cdot P_5(t); \\ P_6' &= \lambda_{5,6} \cdot P_5(t) - \lambda_{6,0} \cdot P_6(t); \\ P_0' &= \lambda_{1,0} \cdot P_1(t) + \lambda_{2,0} \cdot P_2(t) + \lambda_{3,0} \cdot P_3(t) + \\ &+ \lambda_{4,0} \cdot P_4(t) + \lambda_{5,0} \cdot P_5(t) + \lambda_{6,0} \cdot P_6(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $P_1(t) \dots P_6(t)$  — вероятность пребывания фазы агрегата в рабочем состоянии  $E_1 \dots E_6$ ;  $P_0(t)$  — вероятность пребывания фазы в отказовом состоянии.

Исходя из (5), находим вероятность пребывания фазы агрегата в рабочем состоянии

$$P_{i\Phi}(t) = \prod_{i=1}^6 P_i(t), \quad (6)$$

где  $P_i(t)$  — вероятность пребывания фазы агрегата в одном из рабочих состояний.

Возможен несколько иной путь решения поставленной задачи, с использованием непосредственных количественных характеристик надежности вентиля. Тогда вероятность того, что все вентили будут находиться в рабочем состоянии [состояние фазы  $E_1(0,5,0,0)$ ]:

$$P_1(t) = (e^{-14\lambda t})^5, \quad (7)$$

где  $\lambda$  — интенсивность отказов вентиля;  $t$  — рассматриваемый промежуток времени.

Вероятность того, что будет пробит один вентиль в какой-либо из параллельных ветвей [состояние фазы  $E_2(0,4,1,0)$ ], предполагая, что поток отказов вентиляей и всей фазы является простейшим:

$$P_2(t) = C_5^1 (e^{-14\lambda t}) \cdot 14 \cdot e^{-13\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \varphi_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где  $\varphi_{\text{пр}}$  — вероятность отказа вентиля типа пробой.

Вероятность того, что будут пробиты соответственно два, три, четыре, пять вентиляей в разных параллельных ветвях состояния  $E_3(0,3,2,0)$ ,  $E_4(0,2,3,0)$ ,  $E_5(0,1,4,0)$ ,  $E_6(0,0,5,0)$ , определится исходя из следующих соотношений:

$$P_3(t) = C_5^2 (e^{-14\lambda t})^3 \cdot [14 \cdot e^{-13\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \varphi_{\text{пр}}]^2; \quad (9)$$

$$P_4(t) = C_5^3 (e^{-14\lambda t})^2 \cdot [14 \cdot e^{-13\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \Phi_{\text{ПР}}]^3; \quad (10)$$

$$P_5(t) = C_5^4 e^{-14\lambda t} \cdot [14 \cdot e^{-13\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \Phi_{\text{ПР}}]^4; \quad (11)$$

$$P_6(t) = [14 \cdot e^{-13\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \Phi_{\text{ПР}}]^5. \quad (12)$$

Подставляя значения  $P(t)$  из выражений (7–12) в (6), можно определить интересующую вероятность безотказной работы в течение заданного промежутка времени.

При более точной оценке надежности подсистем фаз, как и других подсистем, необходимо учитывать в расчете реальные режимы эксплуатации вентиляей пу-

тем ввода дополнительных коэффициентов, корректирующих номинальную интенсивность отказов. Расчеты по формулам (6–12) показали достаточно высокую вероятность безотказной работы подсистем фаз в течение года. Безусловно, для повышения надежности работы фаз необходимо перейти на вентили более высокого класса, с большим током в прямом направлении.

Следует заметить, что отказ отдельных элементов изменяет структуру силовой цепи преобразователя в связи с тем, что нагрузка и напряжение перераспределяются по работоспособным элементам силовой цепи агрегатов. Также в агрегатах возможно развитие повреждений с выходом из строя одновременно нескольких элементов, поэтому в расчете надежности выпрямительного агрегата в дальнейшем необходимо учитывать вышеуказанные причины. **ИТ**

### Список литературы / Reference

1. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1982. — 528 с.
2. Галкин А. Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог: учебник для вузов ж.-д. транспорта / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин. — М., 2000. — 510 с.
3. Тер-Оганов Э. В. Электроснабжение железных дорог: учебник для студентов университета (УрГУПС) / Э. В. Тер-Оганов, А. А. Пышкин. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. — 432 с. — ISBN 978-94614-299-7.
4. Гук Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике. — Л.: Энергоатомиздат, 1990. — 208 с.
5. Ефимов А. В., Галкин А. Г. Надежность, диагностика и техническое обслуживание устройств электроснабжения электрических железных дорог. Ч. 3: конспект лекций. — Екатеринбург: УрГАПС, 1997. — 120 с.
6. Пышкин А. А. Надежность систем электроснабжения электрических железных дорог: учебное пособие. Ч. 1 / А. А. Пышкин. — Свердловск: УЭМИИТ, 1977. — 50 с.

Объем статьи: 0,28 авторских листа





Тимофей Сергеевич  
Тарасовский  
Timofej S. Tarasovskij

## Моделирование переходных процессов тиристорно-реакторного устройства регулирования напряжения под нагрузкой

### Simulation of transient processes of a thyristor-reactor device for voltage regulation on load

#### Аннотация

В статье представлена созданная в программе Matlab Simulink имитационная модель тиристорно-реакторного переключающего устройства (ТРПУ). Создана модель одной фазы ТРПУ, подключенного к однофазному трансформатору, рассмотрены и проанализированы переходные процессы, возникающие при регулировании напряжения в однофазной цепи. Введено дополнение в методику расчета тиристорных ТРПУ. Разработанная модель одной фазы ТРПУ может быть использована для создания моделей преобразовательных трансформаторов тяговых подстанций с ТРПУ.

**Ключевые слова:** тяговое электроснабжение, регулирование напряжения под нагрузкой, тиристорно-реакторное переключающее устройство, структурное моделирование, Matlab Simulink.

DOI:10.20291/2311-164X-2020-1-69-72

#### Авторы Authors

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

Timofej Sergeevich Tarasovskij, Ph.D. student, teaching assistant of «Electric power supply» chair at Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: tar-tima@yandex.ru

Повышение энергетической эффективности электрифицированных железных дорог является одной из важнейших задач для обеспечения конкурентоспособности перевозочного процесса. С этой целью в системе тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ широко применяются различные устройства регулирования напряжения, обеспечивающие ее усиление.

Актуальной задачей также является разработка и проектирование устройств регулирования напряжения в контактной сети, обладающих высокими технико-энергетическими показателями. Создание адекватных имитационных компьютерных моделей является неотъемлемой частью проектирования таких устройств.

Одним из таких устройств является тиристорно-реакторное переключающее устройство (ТРПУ).

Принципиальная электрическая схема соединений ТРПУ с однофазным трансформатором показана на рис. 1.

Первичная обмотка трансформатора состоит из последовательно соединенных нерегулируемой части с числом витков  $w_\beta$  (сетевая обмотка СО) и регулируемой части с числом витков  $w_\alpha$  (регулирующая обмотка РО) (рис. 1).

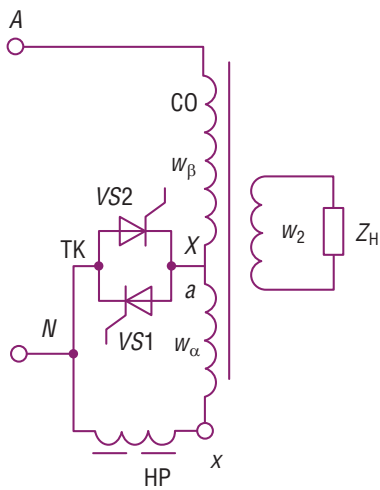


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема соединений ТРПУ с однофазным трансформатором

К отводу первичной обмотки (в месте соединения СО и РО) подключен тиристорный ключ ТК. Неуправляемый реактор НР подключен к концу РО. Концы тиристорного ключа и НР объединены между собой в одном узле, который соединяется с источником питания.

В зависимости от состояния тиристорного ключа ТК работа ТРПУ может быть рассмотрена в двух режимах.

При закрытом тиристорном ключе напряжение приложено к СО и РО трансформатора и НР. Напряжение на нагрузке минимально.

При открытом тиристорном ключе ТК напряжение приложено только к СО трансформатора, при этом напряжение на нагрузке наибольшее, а в контуре РО – НР – ТК протекает циркулирующий ток  $I_{Ц}$ .

Подробно режимы работы трансформатора с ТРПУ рассмотрены в [1–3].

Для моделирования электротехнических устройств применялась система динамического моделирования *Matlab Simulink* с пакетом расширения *SimPowerSystem*.

Для моделирования трансформаторов использовалась модель нелинейного трансформатора *Saturable Transformer*, которая позволяет учитывать нелинейные свойства сердечника и взаимоиндуктивные связи об-

моток с учетом рассеяния потоков и потерь в обмотках. В качестве исходных данных для расчета схемы замещения взяты параметры одной фазы преобразовательного трансформатора ТРСРН-12500/10 [4].

Для моделирования тиристорных ключей ТРПУ устройств РПН применяется модель тиристора *Detailed Thyristor*, которая состоит из последовательно включенных резистора  $R_{оп}$ , индуктивности  $L_{оп}$ , источника постоянного напряжения  $U_f$  и ключа.

Параметры схемы замещения тиристорных ключей соответствуют параметрам тиристорных 20 класса напряжения.

Сопrotивление НР  $Z_{НР} = 3$  Ом, индуктивность которого равна  $L_{НР} = 0,0018$  Гн.

Модель однофазного трансформатора с ТРПУ, созданная из элементов библиотеки *Simulink-SimPowerSystem*, соответствующая схеме на рис. 1, показана на рис. 2.

Модель включает в себя трехобмоточный однофазный трансформатор Т, НР, тиристорный ключ ТК, систему управления тиристорами *Control System*, нагрузку  $Z_H$ . Выводы 1+ и 1 трансформатора Т соответствуют началу и концу СО, выводы 2+ и 2 — началу и концу РО, выводы 3+ и 3 — началу и концу вторичной обмотки.

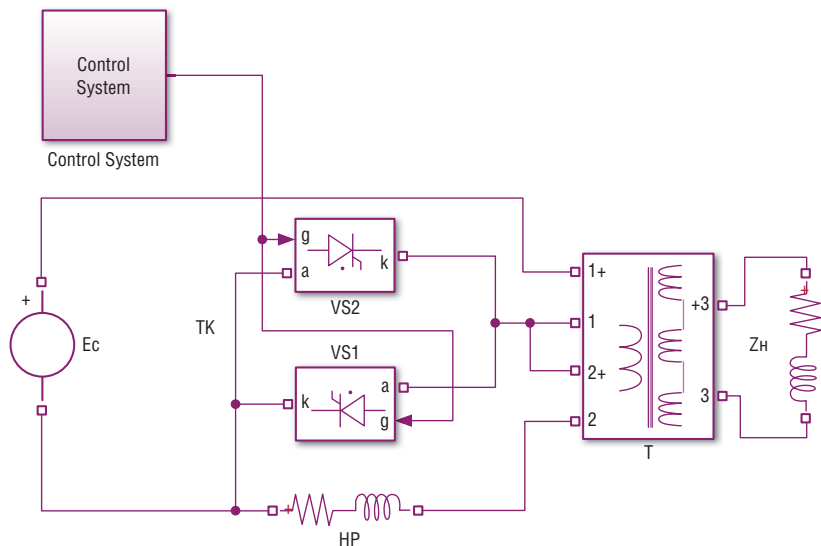


Рис. 2. Модель однофазного трехобмоточного трансформатора с ТРПУ

Нагрузка принимается линейной, имеющей активно-индуктивный характер.

Рассмотрим переходные процессы, возникающие при переключении режимов работы ТРПУ при активно-индуктивной нагрузке ( $\varphi_H = 30^\circ$ ).

Пусть в исходном состоянии ТРПУ работает в режиме с закрытыми тиристорными ключами.

На рис. 3 показаны переходные процессы в трансформаторе с ТРПУ при повышении и понижении напряжения в момент перехода из отрицательной в положительную полуволну питающего напряжения.

При повышении напряжения в момент времени  $t = 0,02$  с подается импульс  $U_y$  на электроды управления тиристоров  $VS1$  и  $VS2$ . Под действием ЭДС РО открывается тиристор  $VS1$ , и через него начинает протекать циркулирующий ток  $I_{\text{ц}}$ , ток разряда  $I_{\text{разр}}$  запасенной НР энергии и ток нагрузки  $I_1$ . В первый полупериод коммутационного процесса ток разряда НР  $I_{\text{разр}}$  складывается с циркулирующим током  $I_{\text{ц}}$ , током нагрузки  $I_1$ , тем самым увеличивая амплитуду тока, протекающего через тиристор  $VS1$  в 2 раза. В следующий полупериод напряжение сети меняет свой знак, в результате чего меняет свое направление циркулирующий ток  $I_{\text{ц}}$  и ток нагрузки  $I_1$ , которые начинают протекать навстречу току разряда НР  $I_{\text{разр}}$ .

Величина тока разряда больше номинального значения циркулирующего тока  $I_{\text{ц}}$ , поэтому при смене полярности напряжения тиристор  $VS1$  не закрывается в течение  $t = 0,018$  с. Лишь только когда величина тока  $I_{\text{ц}}$  достигает своего наибольшего значения в момент  $t = 0,04$  с, происходит коммутация тиристоров, и тиристор  $VS2$  открывается на короткий промежуток времени (около 0,005 с), через него начинает протекать ток, равный отношению  $I_{\text{ц}} - I_{\text{разр}}$ . Такой режим называется срывом коммутации тиристоров тиристорного ключа ТК. По мере разряда НР величина тока разряда  $I_{\text{разр}}$  уменьшается, амплитуда тока, протекающего в контуре НР — тиристорный ключ ТК — РО трансформатора, уменьшается, коммутация тиристоров  $VS1$  и  $VS2$  ключа ТК нормализуется. Процесс разряда НР может длиться около 0,08 с.

При понижении напряжения в момент времени  $t = 0,12$  с импульсы управления  $U_y$  снимаются с тиристоров  $VS1$  и  $VS2$ , и тиристор  $VS1$  закрывается под действием ЭДС РО. Ток нагрузки  $I_1$  начинает протекать через СО и РО трансформатора и НР.

Переходные процессы в трансформаторе с ТРПУ при повышении и понижении напряжения в момент перехода из положительной в отрицательную полуволну питающего напряжения аналогичны переходным процессам в трансформаторе с ТРПУ при повышении и понижении напряжения в момент перехода из отрицательной в положительную полуволну питающего напряжения.

Чтобы определить, во сколько раз величина тока в первый полупериод питающего напряжения, после открытия тиристорного ключа ТК, превышает устано-

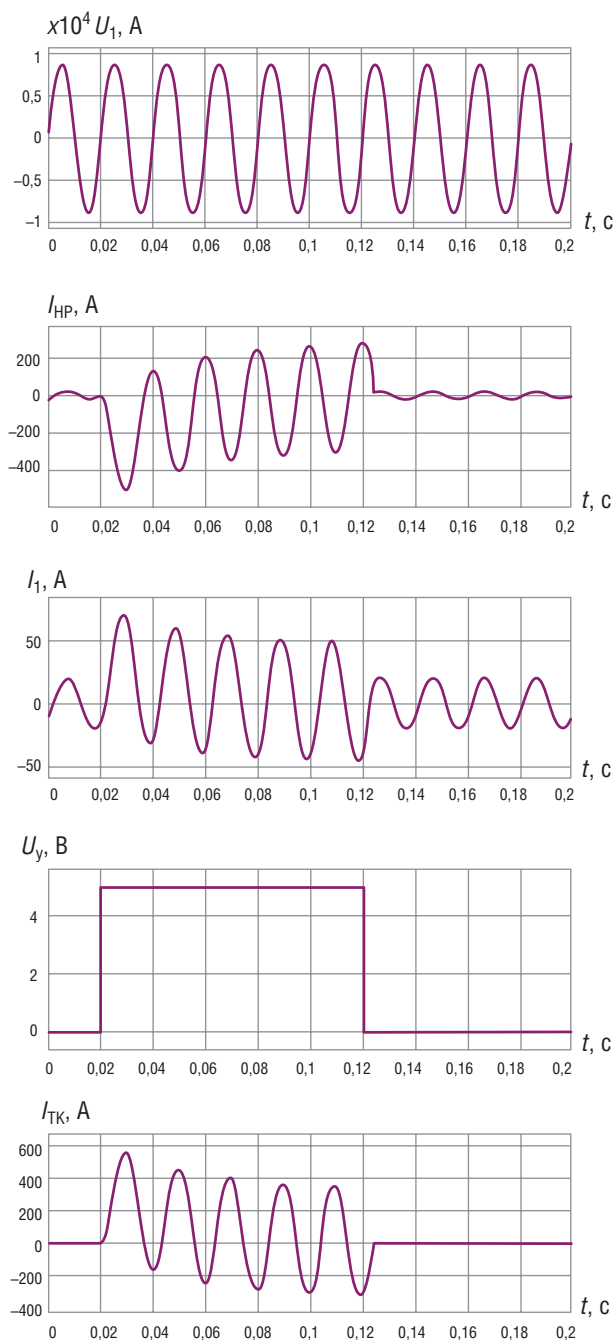


Рис. 3. Переходные процессы в трансформаторе с ТРПУ при повышении и понижении напряжения в момент перехода из отрицательной в положительную полуволну питающего напряжения

вившееся значение тока, протекающего через тиристорный ключ ТК, введем коэффициент разряда НР  $K_{\text{разрТК}}$ :

$$K_{\text{разрТК}} = \frac{I_{\text{ц}} + I_{\text{разр}} + I_1}{I_1}. \quad (1)$$

На рис. 4 показан график зависимости коэффициента разряда  $K_{\text{разрТК}}$  от коэффициента нагрузки  $K_H$  трансформатора.

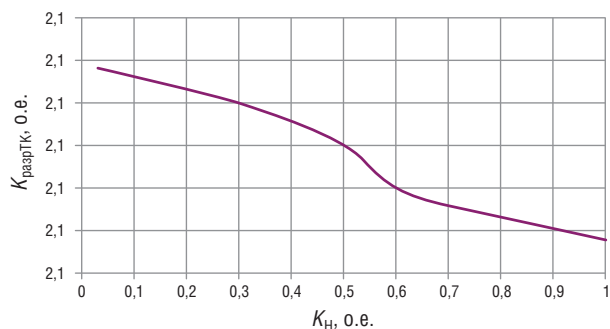


Рис. 4. График зависимости коэффициента разряда  $K_{разрТК}$  от коэффициента нагрузки  $K_n$  трансформатора

С увеличением коэффициента нагрузки трансформатора  $K_n$  величина тока, протекающего через ключ ТК, в первый полупериод питающего напряжения после открытия тиристорного ключа ТК превышает установившееся значение тока нагрузки  $I_1$  в 1,58–1,98 раза.

В соответствии с приведенными результатами экспериментальных исследований, при проектировании ТРПУ максимальное среднее значение тока через тиристоры тиристорного ключа ТК ТРПУ необходимо определять по формуле:

$$I_{max} = \sqrt{2} K_{разрТК} I_1. \quad (2)$$

Выводы:

1. Разработанная имитационная модель трансформатора с ТРПУ может быть использована для создания моделей преобразовательных трансформаторов тяговых подстанций с ТРПУ.
2. Представлены результаты анализа переходных процессов в однофазном трехобмоточном трансформаторе с ТРПУ.
3. Внесено дополнение в методику расчета тиристорных ключей ТРПУ. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. Аржанников Б. А. Устройства регулирования напряжения преобразовательных трансформаторов под нагрузкой : учеб. пособие / Б. А. Аржанников. — Екатеринбург : УрГУПС, 2017. — 101, [1] с. — ISBN 978-5-94614-409-4.
2. Аржанников Б. А., Тарасовский Т. С. Методика расчета напряжений и токов преобразовательного трансформатора с тиристорно-реакторным переключающим устройством при пофазном регулировании напряжения // Транспорт Урала. — 2019. — № 1 (60). — С. 101–107. — ISSN 1815–9400.
3. Тарасовский Т. С. Тиристорно-реакторное устройство регулирования напряжения под нагрузкой РПН преобразовательного трансформатора ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 // Транспорт Урала. — 2017. — № 3 (54). — С. 87–91. — ISSN 1815–9400.
4. Аржанников Б. А., Бадер М. П., Бурков А. Т., Котельников А. В., Набойченко И. О. Совершенствование основных требований к системе и устройствам тягового электроснабжения постоянного тока // Электротехника. — 2016. — № 9 (60). — С. 51–57. — ISSN 0013–5860.

Объем статьи: 0,33 авторских листа



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

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

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

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

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

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

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

**Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!**

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

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

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

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

<b>Извещение</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893 <b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192 <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795 <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>Плательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: « ____ » _____ 2020 г.</p>
<b>Квитанция</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893 <b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192 <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795 <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>Плательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: « ____ » _____ 2020 г.</p>

**Подписка на 2020 год.**

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.

Периодичность — 4 номера в год.

ф. СП-1



**АБОНЕМЕНТ**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Количество комплектов:

на 2020 год по месяцам:

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

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

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

на 2020 год по месяцам:

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

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)

# Технические требования и рекомендации к оформлению статей

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

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

## 2. Материалы подготавливаются в редакторе MS Word.

## 3. Объем статьи не более 15 страниц.

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

## 5. Требования к разметке и форматированию текста.

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

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

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

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

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

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

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



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



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

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



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



## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

### «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ»

#### Основные направления работы

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

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



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

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

