

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

№ 3 (29)  
сентябрь 2018

I N N O T R A N S

Концепция  
«Идеальный терминал»  
С. 10



Практика применения  
системы менеджмента  
бизнеса ISO 9001:2015

Построение  
оптимальной траектории  
в неоднородной среде

Тепловые процессы и процессы  
изнашивания в дисковом тормозе  
с поворотом тормозной колодки





## Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА



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

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

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

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

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

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

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

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

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

### С НАМИ СОТРУДНИЧАЮТ:



Минтранс РФ



Министерство транспорта  
и дорожного хозяйства  
Волгоградской области



АЭРОФЛОТ

**СКОРОСТНЫЕ  
МАГИСТРАЛИ**



# Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 3 (29), 2018 г.

Издается с ноября 2011 г.

**Учредители:** Российская академия транспорта (РАТ),

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)

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

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

**Редактирование и корректура** — Елена Владимировна Чагина

**Верстка и дизайн** — Андрей Викторович Трубин

**Адрес редакции:** 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, каб. Б2-79. Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.

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

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

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.

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

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета в типографии ООО «АЛЕКС ПРИНТ».

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

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

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

DOI: 10.20291/2311-164X.

Дата выхода в свет 30.09.2018. Печать офсетная.

Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–160). Заказ № 5762

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

© Общероссийская общественная организация

«Российская академия транспорта», 2018

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

# Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 3 (29), 2018

Published since November 2011

**Founders:** Russian Academy of transport (RAT),

Ural state University of railway transport (USURT)

**Editor-in-chief** Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor,

Rector of USURT, Chairman of RAT Ural Department

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

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

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

**Address of the editorial office:** Office B2-79, 66 Kolmogorova Str.,

Ekaterinburg, 620034. Telephone: (343) 221-24-42, 221-24-90.

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

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

Subscription reference number of the issue in the All Russia Catalogue

“Russian Press” — 85022. Price 382,6 rub.

Date of issue 30.09.2018. Offset printing.

Circulation 500 copies.

© FGBOU VO Ural State University of Railway Transport, 2018

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

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

## EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

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

Покровская О. Д., Заболоцкая К. А. Рейтинговая методика комплексной оценки терминально-логистических комплексов .....	3
Покровская О. Д., Маликов О. Б. Концепция «Идеальный терминал» .....	10
Самуйлов В. М., Бронников С. А., Каргапольцева Т. А. Кластерная модель организации транспортного-логистического бизнеса в пригородном пассажирском комплексе .....	18

## Организация производства (транспорт)

Тарасян В. С. Построение оптимальной траектории в неоднородной среде .....	24
Аккерман Г. Л., Носкова А. С. Определение мест выброса пути по данным прохода вагонов-путеизмерителей .....	29
Горелов Ю. В., Горнева О. С., Горелова Л. С., Горелова Д. Ю. Результаты обследования железобетонного путепровода рамного типа .....	33
Паршин К. А., Паршина Е. В. Практика применения системы менеджмента бизнеса ISO 9001:2015 для повышения эффективности трудовых ресурсов предприятия железнодорожного транспорта .....	39
Харитонов А. С., Штрапенин Г. Л. Разработка программного обеспечения для моделирова- ния электронных устройств для транспортной отрасли на базе вычислительных алгоритмов SPICE .....	45
Лисниченко М. О., Линькова Н. А. Значимость здорового образа жизни для активной жизне- деятельности студентов железнодорожных специальностей .....	49
Шаюхов Т. Т. Определение лимитов потребления энергоресурсов в цехах по производству деталей для автомобильного транспорта .....	54

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Войтенко В. А. Комплексная модель тепловых процессов и процессов изнашивания в дисковом тормозе с плавающей тормозной колодкой .....	58
Антропова Т. А. Анализ повреждаемости корпусов букс трехосных тележек грузовых вагонов по результатам усталостных испытаний .....	66
Войтенко В. А. Тепловые процессы и процессы изнашивания в дисковом тормозе с поворотом тормозной колодки .....	70

# CONTENTS

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

Oksana D. Pokrovskaya, Kseniya A. Zabolotskaya. Rating methods of comprehensive assessment of terminal and logistics complex .....	3
Oksana D. Pokrovskaya, Oleg B. Malikov. "The Ideal terminal" concept .....	10
Valery M. Samuilov, Sergey A. Bronnikov, Tatiana A. Kargapoltseva. A cluster model of transport and logistics business organization in commuter service .....	18

## The organization of production (transport)

Vladimir S. Tarasyan. Construction of an optimal trajectory in heterogeneous environment .....	24
Gennady L. Akkerman, Anna S. Noskova. Designation of track buckling points according to geometry cars data. ....	29
Yuri V. Gorelov, Olga S. Gorneva, Ludmila S. Gorelova, Daria Y. Gorelova. Examination results of the reinforced framed crossover .....	33
Konstantin A. Parshin, Ekaterina V. Parshina. Application of ISO 9001:2015 business management system for human resources efficiency improvement at a railway enterprise. ....	39
Anton S. Kharitonov, Gennadiy L. Shtrapein. Elaboration of software for electronic devices simulation for transport industry on the basis of SPICE calculation algorithms. ....	45
Marina O. Lisnichenko, Natalia Linkova-Daniels. Significance of healthy lifestyle for vital activities of railway students .....	49
Timur T. Shayuhov. Evaluation of power resource limitations in workshops producing parts for automobile transport. ....	54

## Rolling stock, hauling operation and electrification

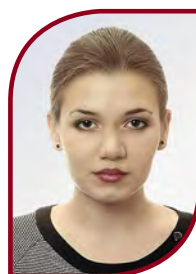
Vladimir A. Voytenko. Integrated model of thermal processes and wear processes in a disk brake with a floating brake shoe. ....	58
Tatiana A. Antropova. Analysis of damage rate of freight car three-axis bogies axle-box bodies according to the results of fatigue tests .....	66
Vladimir A. Voytenko. Thermal processes and wear processes in the disc brake with a brake shoe turnover .....	70





Оксана Дмитриевна  
Покровская

Oksana D. Pokrovskaya



Ксения Алексеевна  
Заболоцкая

Kseniya A. Zabolotskaya

## Рейтинговая методика комплексной оценки терминально-логистических комплексов

### Rating methods of comprehensive assessment of terminal and logistics complex

#### Аннотация

В статье предложена методика адекватной и комплексной оценки параметров работы современных транспортно-логистических комплексов различного типа на основе подсчета тотального рейтинга. Использован аналитический метод исследования, инструменты программирования в среде Scilab, диаграммы Исикавы, SWOT-анализ, ABC- и XYZ-анализ. Определены значимые при принятии решения параметры ТЛК. Проведен SWOT-анализ терминальной инфраструктуры Новосибирской области. Выполнен сравнительный анализ параметров работы ТЛК Новосибирской области. Рассмотрены целевые функции параметров ТЛК. Предложена система балльной оценки и классификации ТЛК. Методика позволяет учесть целый комплекс различных параметров и факторов работы ТЛК, что определяет эффективность принимаемых клиентом решений по включению того или иного ТЛК в цепь поставок. Автоматизированная версия расчетной методики позволяет проводить комплексную оценку максимально быстро и удобно.

**Ключевые слова:** транспортно-логистический комплекс, рейтинг, комплексная оценка, клиентоориентированный подход.

#### Annotation

The article sets forward the methods for adequate and comprehensive assessment of operational parameters of different modern transport and logistics complexes on the basis of calculation of total rating. The analytical method of studies, Scilab environment programming tools, Ishikawa diagrams, SWOT-analysis, ABC-and-XYZ analysis are used. Significant in decision making TLC parameters are determined. The SWOT-analysis of Novosibirsk region terminal infrastructure has been made. Objective functions of TLC parameters are overviewed. The TLC scoring system and classification are put forward. The methods make it possible to consider the whole complex of different TLC parameters and operational factors, this determining efficiency of the decisions made by a customer to include any TLC into the delivery chain. The automated calculation methods enable to carry out comprehensive assessment at the earliest possible and most convenient date.

**Keywords:** transport and logistics complex, rating, comprehensive assessment, customer-oriented approach.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-3-9

#### Авторы Authors

Оксана Дмитриевна Покровская, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск | Ксения Алексеевна Заболоцкая, аспирант-стажер ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск

Oksana Dmitrievna Pokrovskaya, Candidate of technical science, Associate Professor, FSBEI HE "Siberian state university of railway transport", Novosibirsk | Kseniya Alexeyevna Zabolotskaya, post graduate student-trainee, FSBEI HE "Siberian state university of railway transport", Novosibirsk

В настоящее время транспортно-логистические комплексы являются неотъемлемой частью любой логистической цепи. Это связано с их накопительно-распределительной ролью в логистических цепях. Размещаемые в местах излома транспортной сети, такие комплексы выполняют функции по преобразованию параметров грузовых и транспортных потоков для реализации доставки товаров согласно правилам логистики. Современная система доставки без них практически не существует [1].

Вместе с тем включение в логистическую цепь таких элементов, как транспортно-логистические комплексы (далее — ТЛК), существенно усложняет организацию и управление перевозочным процессом. Это связано с тем, что на ТЛК помимо трансформации грузовых, транспортных и сопутствующих потоков реализуется широкий перечень дополнительных услуг добавленной стоимости. Особенности изменения параметров входящих и исходящих потоков напрямую зависят от специфики, типологии и функциональности ТЛК, работающего в цепи [2]. При этом типология ТЛК разнообразна и представлена классификациями в различных аспектах.

Перечисленные обстоятельства лишь усложняют для клиента выбор ТЛК, подходящего для специфики его бизнеса.

Вместе с тем требования транспортно-логистического рынка к скорости принятия решений и их экономической обоснованности, расширение и усложнение структуры современных логистических цепей поставок, а также широкое «включение» элементов ТЛК в системы доставки определяют высокую актуальность рассматриваемого вопроса комплексной оценки ТЛК с позиций клиента как лица, принимающего решение [3].

Лица, принимающие решение о способе доставки грузов с использованием ТЛК, должны основываться в своем выборе на целом комплексе параметров ТЛК, от которых зависит эффективность и целесообразность его работы в логистической цепи. Принятие таких решений в сложных терминальных системах доставки грузов требует использования методики, позволяющей проводить такую комплексную оценку. При этом методика должна быть достаточно объективной и учитывающей максимальное количество факторов работы ТЛК.

Цель работы заключается в разработке методики адекватной и комплексной оценки параметров работы ТЛК.

Под транспортно-логистическим комплексом понимается территориально сконцентрированная совокупность транспортных коммуникаций (путей сообщения, инфраструктурных объектов, интермодальных транспортных модулей), складских объектов различной специализации (включая погрузочно-разгрузочную технику и складское оборудование), а также единого информационного поля (набор интегрированных автоматизированных систем) для оказания широкого спектра терминально-складских, транспортных и логистических услуг добавленной стоимости (составлено автором на основе [3–6]).

Комплексным исследованиям ТЛК посвящены работы таких зарубежных ученых, как Bowersox D. J. (Бауэрсокс Д.); Christopher M. (Кристофер М.); Higgins C. D. (Хиггинс С.); Kloss D. A. (Клосс Д.); Middendorf D. (Миддендорф Д.); Notteboom T. (Ноттебум Т.) [7]; Richards G. (Ричардс Г.) [4]; Pretorius M. P. (Преторэс М.) [8]; Rimienė K. (Римини К.) [9]; Rodrigue J.-P. (Родриге Ж.-П.) [10] и др.

В отечественной науке ТЛК с позиций логистики изучались Б. А. Аникиным, В. В. Дыбской [11], Л. Б. Миротинным, А. М. Гаджинским, Т. А. Прокофьевой, В. И. Сергеевым и др., с позиций технико-технологического проектирования — Н. П. Журавлевым и О. Б. Маликовым [12–14], Н. В. Правдиным [15], П. В. Куренковым [16–17] и др. Общеизвестные классификации [13, 15] напрямую связаны с технической и технологической составляющими работы ТЛК. Однако большинство подходов отражают лишь отдельные группы параметров и не ориентированы на комплексную оценку по выбору ТЛК с позиций клиента как лица, принимающего решения.

В качестве лиц, принимающих решения в сложных цепях доставки грузов, выступают:

- клиенты, обращающие внимание на такие показатели, как стоимость услуг, их ассортимент, комплексность и качество обслуживания;
- владельцы ТЛК (складские и логистические операторы), для которых значение имеют величина и динамика финансовых показателей: дохода от видов деятельности ТЛК, прибыли, рентабельности бизнеса в целом и отдельных пакетов услуг в частности;
- перевозчики (транспортно-логистические компании), которые принимают решение о выборе альтернативной схемы доставки грузов через ТЛК с учетом функциональной специфики ТЛК для участия в проектируемой цепи доставки;
- инвесторы, для которых главные показатели эффективности — это показатели дисконтированного дохода, эксплуатационных расходов, рентабельности и платежеспособности ТЛК;
- конкуренты, оценивающие степень добросовестности конкуренции, ценовой политики, эффективность инноваций ТЛК;
- поставщики материальных ресурсов и иные участники перевозочного процесса, считающие деятельность ТЛК эффективной в тех случаях, когда отсутствуют отказы во взаимодействии: имеется надежность поставок, исполнение договорных обязательств, реализация принципов логистики [18].

В виде диаграммы Исикавы (рис. 1) приведены результаты анализа влияющих на выбор клиента ТЛК параметров, требующих комплексной оценки. С помощью диаграммы Исикавы выявлено, что выбор клиентом транспортно-логистического комплекса осуществляется по трем ключевым группам, касающимся



Рис. 1. Диаграмма Исикавы по анализу значимых параметров ТЛК

непосредственно перевозки, дополнительных услуг и репутации ТЛК [19]. К определяющим характеристикам выбора отнесены:

- **Перевозка:** соответствие особенностям перевозки (температурный режим, негабарит, хрупкие и др.), «география» перевозки, использование различных видов транспорта (железнодорожный, водный, авиа- и автотранспорт).
- **Дополнительные услуги:** информационное сопровождение (возможность отслеживания, извещение о прибытии); страхование груза (возможность выбора компании или перечня страховых случаев), дополнительные операции с грузом (упаковка в транспортную тару, обрешетка, опломбирование и др.), складирование груза (в пункте отправления, в пункте назначения, по типам складов, по температурным режимам), экспедирование.
- **Репутация и реклама транспортно-логистического комплекса:** сайт и его особенности, сроки и регулярность, отзывы о работе и пр.

Все значимые для принятия решения показатели работы ТЛК были разбиты по функциональным группам:

1. **Транспортная группа** — здания и сооружения для обслуживания ТС: пассажирские и грузовые терминалы, автотранспортные и железнодорожные депо, гаражи, механические и ремонтные мастерские, а также транспортные коммуникации.

2. **Информационная группа** — «интеллектуальные» терминалы. Они включают центры управления, телекоммуникационные центры, офисы компаний-операторов перевозок.

3. **Складская группа** — складские терминалы и сопутствующие им сооружения хранилищ, административно-бытовых корпусов и прочих вспомогательных объ-

ектов. Складские терминалы имеют разное назначение: хранение готовой продукции, создание запасов, сглаживание неравномерностей при партионной поставке товаров и в сезонном потреблении.

4. Торговую функциональную группу составляют торговые, выставочные, офисные здания и сооружения. К ним относятся коммерческие центры и бизнес-центры, здания банков и др. Элементы этой группы многочисленны и многофункциональны [2].

Анализ функционально-технических характеристик современных ТЛК и их элементов показывает следующее. Для обеспечения производственно-технологических задач и формирования их структуры необходимы элементы следующих типологических групп: транспортной, информационной, складской и торговой. При этом каждому элементу в решении свойственна инвариантность.

Различные сочетания и соотношения этих элементов в процессе организации ТЛК предопределяют разнообразие его архитектурно-планировочных и объемно-пространственных параметров [20].

Однако следует помнить: наличие многочисленных зависимостей между факторами вызывает значительные трудности при решении общей задачи оптимизации режимов его функционирования.

Так, увеличение времени работы грузового фронта и зоны хранения в течение суток позволяет сократить приведенные затраты за счет снижения расходов на погрузо-разгрузочные машины, а также расходов, связанных с ожиданием транспортных средств, выполнения погрузочно-разгрузочных операций, увеличить значение критерия, выражающего перерабатывающую способность грузового фронта, но в то же время увеличить потребность в трудовых ресурсах и расходы электроэнергии на освещение.

Уменьшение количества погрузочно-разгрузочных машин ведет к увеличению значения критерия, характеризующего использование машин по времени в течение суток, но снижает перерабатывающую способность грузового фронта и т.д. [21].

SWOT-анализ состояния терминально-складской инфраструктуры Новосибирской области показал следующее.

## 1. Сильные стороны:

- транзитное положение относительно зарубежья РФ и крупных городов;
- хорошо развитая транспортная и торговая инфраструктура;
- близость к субъектам РФ, добывающим различные виды экспортируемого сырья;
- стабильный инвестиционный рейтинг предприятий региона.

## 2. Слабые стороны:

- удаленное положение от столицы РФ и стран Европы;
- высокие экспортные тарифы на перевозки;
- климатические особенности региона.

## 3. Возможности:

- эффективное использование геополитического положения города в Азии;
- привлечение инвесторов по статусу НСО как центра СФО;
- развитие региональной сети ТЛК;
- увеличение объема экспорта;
- сопряженность с направлениями ключевых транспортных коридоров, в том числе с маршрутом «Новый Шелковый путь»;
- привлечение на сеть ТЛК области внешнеторговых потоков.

## 4. Угрозы:

- недостаток инвестиций, требующихся для реализации мер по развитию широкой сети ТЛК.

Очевидно, что Новосибирская область имеет больше сильных сторон и возможностей, чем слабых сторон и угроз.

В работе предлагается новая методика комплексной оценки деятельности ТЛК на основе расчета рейтинга по каждому значимому параметру. При разработке методики учитывались результаты, полученные в работах [14], [18] и [20].

Проведена следующая укрупненная процедура рейтинговой оценки ТЛК:

1) определение перечня показателей, влияющих на деятельность ТЛК;

2) уточнение, выявление важнейших показателей с помощью сравнительных таблиц, диаграмм Исикавы, SWOT-, ABC-, XYZ-анализов;

3) выявление функциональных зависимостей между основными характеристиками ТЛК;

4) формирование формулы рейтинговой оценки;

5) определение основных проблем («узких мест») ТЛК;

6) программирование решения задачи автоматизированной оценки ТЛК по предложенным методикам.

Эта процедура была полностью реализована в ходе дальнейшего исследования.

Так, по результатам проведенной работы в MS Office Excel была сформирована сравнительная таблица по выборке из шести ТЛК Новосибирской области, в которой учтены важнейшие критерии, рис. 2.

На рис. 3 представлены результаты ABC- и XYZ-анализа, проведенного по объемам грузооборота ТЛК Новосибирской области.

Сайты	https://tolmachevo.ru	http://plp-nso.ru	http://www.sibgt.ru	http://www.eurosib.biz	http://www.longrun.ru	https://www.railcontinent.ru		
Критерий	Авиационный карго-центр «Толмачево»	Сибирский терминал	Терминал «Евросиб»	Терминал «Клещиха»	«Лонгран-Логистик»	ТЛК «Континент»	Коэффициент приоритетности	max
Линейка видов транспорта	5	5	5	5	5	5	1,00	5
Отслеживание груза	5	4	0	5	4	0	0,80	5
Специальный режим перевозок	5	2,5	5	5	2,5	5	0,50	5
Страхование	5	5	1	5	5	5	1,00	5
Обработка документов	5	5	4	5	5	5	1,00	5
Упаковка и крепление	4	2	5	5	2,5	5	0,50	5
«От двери до двери»	5	4	0	4	3,2	5	0,80	5
Экспедирование	5	2,5	0	5	2,5	5	0,50	5
Разработка оптимального маршрута	5	5	1	4	4	5	1,00	5
Онлайн-заявка	1	0,5	0	4	2	5	0,50	5
Гибкая тарифная политика	3	3	5	5	5	5	1,00	5
Международные перевозки	5	2,5	5	5	2,5	5	0,50	5
Сайт	3	3	1	4	4	5	1,00	5
Репутация, известность	4	4	3	3	3	2	1,00	5
Дешевизна перевозок	1	1	3	3	3	3	1,00	5
Складирование	5	5	5	5	5	5	1,00	5
<b>Итого</b>	<b>66</b>	<b>54</b>	<b>43</b>	<b>58,2</b>	<b>71</b>	<b>56,5</b>	<b>80</b>	<b>65,5</b>

Рис. 2. Результаты анализа параметров деятельности ТЛК региона



Наименование ТЛК	Годовая прибыль по средней стоимости перевозки	$q_i$	$\Sigma q_i$	Распределение	Наименование ТЛК	Коэффициент вариации	$q_i$	$\Sigma q_i$	Распределение
Терминал «Клещиха»	7238548800	66,37823	66,37823	A	Терминал «Клещиха»	98,94096	26,43693	26,43693	Z
Промышленно-логистический парк (Толмачево)	3635711450	33,33985	99,71808	B	Промышленно-логистический парк (Толмачево)	88,18549	23,56307	50	
Сибирский терминал	7760000	0,07116	99,78924	C	Сибирский терминал	37,79263	10,09815	60,09815	
Авиационный карго-центр «Толмачево»	22822810,41	0,209288	99,99853		ТЛК «Континент»	37,79262	10,09815	70,1963	
«Лонгран-Логистик»	112080	0,001028	99,99955		«Лонгран-Логистик»	37,78139	10,09515	80,29145	
ТЛК «Континент»	20727,032	0,000186	99,99974		Авиационный карго-центр «Толмачево»	37,00561	9,887861	90,17931	
Сибирский экспедитор	28440	0,000261	100		Сибирский экспедитор	36,75421	9,820687	100	

Рис. 3. Результаты ABC- и XYZ-анализов:

$q_i$  — объем грузооборота, тыс. т/год;  $\Sigma q_i$  — величина объема грузооборота нарастающим итогом, тыс. т/год

Затем была разработана 5-балльная оценочная система параметров работы ТЛК, при этом для более объективного расчета был принят поправочный коэффициент приоритетности, который учитывает важность критерия при выборе клиентом ТЛК. Оценка производилась по следующим критериям: линейка видов транспорта; отслеживание груза; специальный режим перевозки; страхование; обработка документов; упаковка и крепление груза; «от двери до двери»; экспедирование; разработка оптимального маршрута; онлайн-заявка; гибкая тарифная политика; международные перевозки, таможенное оформление; сайт; репутация, известность; дешевизна перевозки; складирование.

С точки зрения клиента оптимальным будет выбор таких ТЛК, как «Клещиха», «Евросиб», ТЛК «Континент» и авиационный карго-центр «Толмачево». Был проведен совмещенный анализ XYZ и ABC, по которым лидирует терминал «Клещиха» по объему грузооборота в Новосибирской области. Таким образом, в группу AZ попадает терминал «Клещиха», BZ — ПЛП «Толмачево», CZ — «Сибирский терминал», авиационный карго-центр «Толмачево», «Лонгран-Логистик», ТЛК «Континент», «Сибирский экспедитор».

Как показывает анализ, ТЛК характеризуются большим количеством показателей, имеющих различную природу. Ограничиться одним глобальным показателем, адекватно отражающим множество целей функционирования ТЛК, не представляется возможным. Цели функционирования ТЛК можно описать несколькими (часто противоречивыми) критериями, причем в большинстве случаев отсутствует доступная клиенту информация, которая позволила бы свести несколько локальных критериев в один обобщенный [22].

Задача оптимального проектирования и определения оптимальных условий функционирования ТЛК является многокритериальной: чем больше критериев вводится в рассмотрение, тем более полное представление можно получить об исследуемой системе. При выборе параметров лишь по одному критерию оптимальное решение в большинстве случаев находится на границе ре-

сурсных ограничений, нарушение которых не допускается даже в незначительной степени [21].

Ключевыми целевыми функциями оптимизируемых параметров ТЛК будем считать: количество ПРМ, ПРМ; время работы грузового фронта,  $t(гф)$ ; время простоя ТС, механизмов,  $t(пр)$ ; время хранения груза,  $t(хр)$ ; вместимость зоны хранения,  $B$ ; время подачи, уборки транспортных единиц,  $t(п/у)$ ; работа по прямому варианту,  $K(пв)$ ; затраты ресурсов,  $E$ ; производительность труда и механизмов,  $M$ ; время в ожидании работ,  $t(ож)$  [10]. Указанные показатели составляют расчетную основу для математического обеспечения рейтинговой оценки ТЛК.

Показатели, стремящиеся к минимуму или максимуму, в соответствии с таблицей, учитываются таким образом: если показатель равен минимуму (по нормам и технико-эксплуатационным расчетам), к которому и должен стремиться, то принимаем его рейтинговое значение как 1. В реальной практике это практически невозможно, поэтому показатель будет равен минимальному с неким коэффициентом  $K$ . Для показателей, стремящихся к минимуму, принимаем рейтинговое значение как  $11-K1$ . Для показателей, стремящихся к максимуму, принимаем рейтинговое значение  $1K-11$ . Показатели рассчитываются с применением поправочного коэффициента для повышения объективности расчета. Поправочный коэффициент введен с применением метода экспертных оценок.

Затем была сформирована таблица оценок по пятибалльной шкале по следующим критериям: линейка предоставляемых перевозочных услуг по видам транспорта, Л; отслеживание груза, О; предоставление специализированного подвижного состава и особого режима перевозки, Срп; страхование, Ст; безбумажная обработка документов, Од; упаковка и крепление груза, У; «от двери до двери», От; экспедирование, Э; разработка оптимального маршрута доставки, Р; онлайн-заявка и консалтинг, он; гибкая тарифная политика, г; международные перевозки и таможенные услуги, М; клиентоориентированность сайта компании, С; дешевизна перевозки, Д; ассортимент складских услуг с учетом классности помещений, Скл, оформленные в виде формулы (1).

$$PO1 = \frac{ПРМ1}{ПРМ2} + \frac{t(гф)1}{t(гф)2} + \frac{t(хр)1}{t(хр)2} + \frac{B1}{B2} + t(n/y) + t(пр)t(ож) + E + N + K(пв) \rightarrow 10 \text{ т.}$$

$$PO1 = Л + О + СРП + Ст + Од + У + От + \text{Э} + Р + он + г + М + с + Д + \text{Скл.} \rightarrow 65,5 \text{ б.}$$

Первая формула дает оценку параметрам, связанным с работой грузовых фронтов в частности и людей, механизмов по транспортно-логистическим комплексам в целом, максимальная оценка 10 баллов. Вторая формула дает комплексную рейтинговую оценку транспортно-логистического комплекса, максимальная оценка 65,5 баллов. Это показано на рис. 4.

Параметр	Выгода при соответствии		Оценка в долях от 1
	1	2	
Количество ПРМ, ПРМ	max (для более быстрой ПРР)	min (по эксплуатационным расходам)	1
Время работы грузового фронта, $t(гф)$	max (для клиентов)	min (по расходам на ЗП рабочим)	1
Время простоя ТС, механизмов, $t(пр)$	min		1
Время хранения груза, $t(хр)$	max (для клиентов)	min (по расходам, связанным с хранением)	1
Вместимость зоны хранения, В	max (для хранения грузов всех клиентов)	min (по расходам на обслуживание больших площадей)	1
Время подачи, уборки, $t(n/y)$	min		1
Работа по прямому варианту, $K(пв)$	max		1
Затраты ресурсов, $E$	min		1
Производительность труда и механизмов, $И$	max		1
Время в ожидании работ, $t(ож)$	min		1

Рис. 4. Параметрическая таблица по целевым направлениям расчетных функций

Была разработана классификация типов ТЛК и выделены границы рейтинговой оценки по транспортно-логистическим комплексам. Низкому рейтингу соответ-

ствуют значения PO2 до 16 баллов, среднему — до 32 баллов, выше среднего — от 48 до 50 баллов, высокому рейтингу — от 51 балла.

На рис. 5 приведена классификация с учетом полученных границ рейтинговой оценки ТЛК [18].

Рейтинг	До, баллов	Проценты
Низкий	16	25%
Средний	32	от 25 до 50%
Выше среднего	48	от 50 до 75%
Высокий	66	от 75 до 100%
Всего	66	100%

Рис. 5. Классификация типологии ТЛК по комплексной рейтинговой оценке

В результате данная методика была применена для расчета по терминалу «Клещиха». Получено значение 56,4 балла, что в соответствии с классификацией характеризует терминал «Клещиха» как ТЛК высокого рейтинга. Такой результат адекватен реальным условиям: терминал «Клещиха» входит в ТОП-5 лучших ТЛК РФ и в опорную сеть ТЛК ОАО «РЖД».

На основе вышеизложенного в среде Scilab разработан программный продукт, автоматизирующий предложенную методику расчета комплекса показателей и оценки работы ТЛК. Программа проходит регистрацию в Роспатенте.

Таким образом, в ходе работы были оценены факторы, влияющие на выбор транспортно-логистического комплекса клиентом, с помощью диаграммы Исикавы; выявлены параметры ТЛК, представлены в виде схемы с зависимостями между параметрами; проведен SWOT-анализ терминальной инфраструктуры Новосибирской области; сформирована сравнительная таблица характеристик транспортно-логистических комплексов Новосибирской области; проведены ABC- и XYZ-анализы ТЛК по грузообороту; определены целевые функции параметров транспортно-логистических комплексов; предложена система балльной оценки и классификации ТЛК.

В дальнейшем предложенная методика может быть реализована в более глубокой разработке, направленной на снижение субъективности оценки. **ИТ**

## Список литературы

1. Складская недвижимость России: аналитический отчет 2016 / сост. О. Ясько, В. Холопов. — Knight Frank LLP, 2016. — 6 с. // Аналитические отчеты компании Knight Frank. — URL: <http://www.knightfrank.ru/research>.
2. Покровская О. Д. Организационно-технические решения при проектировании грузовых терминалов в составе международных транспортных коридоров / О. Д. Покровская, В. М. Самуйлов // Инновационный транспорт. — 2015. — № 4. — С. 13–24. — ISSN 2311–164X.
3. Маликов О. Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок. — М.: УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. — 536 с.
4. Richards G. Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse / G. Richards // Kogan Page Publishers. — 2011. — 334 p.
5. Прокофьева Т. А. Логистические центры в транспортной системе России: учеб. пособие / Т. А. Прокофьева, В. И. Сергеев. — М.: Экономическая газета, 2012. — 522 с.

6. Kondratowicz L. NeLoC: planning of logistics centres: Work Package 1: final report / Ludwik Kondratowicz. — Gdansk : Department of Scientific Publications of the Maritime Institute, 2003. — 133 p.
7. Notteboom T. Inland terminals within North American and European supply chains / T. Notteboom and J-P. Rodrigue // Transport and Communications. Bulletin for Asia and the Pacific. — 2009. — № 78. — P. 1–39.
8. Pretorius M.P. Logistical cities in peripheral areas / M.P. Pretorius // University of the Free State. — 2013. — 291 p.
9. Rimienė K. Logistics Centre Concept through Evolution and Definition / Kristina Rimienė, Dainora Grundey // Engineering Economics. — 2007. — № 4 (54). — P. 87–95.
10. Rodrigue J.-P. The geography of transport systems. Chapter 5. International Trade and Freight Distribution. — Third edition. — New York : Routledge, 2013. — 416 p. — ISBN 978-0-415-82254-1.
11. Дыбская В.В. Управление складированием в цепях поставок / В.В. Дыбская. — М. : Альфа-Пресс, 2009. — 720 с.
12. Журавлев Н.П. Транспортно-грузовые системы : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Журавлев, О.Б. Маликов. — М. : УМНЦ, 2005. — 438 с.
13. Маликов О.Б. Склады и грузовые терминалы. — СПб. : Бизнес-Пресса, 2005. — 648с.
14. Покровская О.Д. Методика построения сетевого графа структуры логистического объекта / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Мир транспорта. 2017. — № 1. — Т. 25. — С. 18–27.
15. Правдин Н.В. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Головнич и др.; под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко. — М. : ФГБОУ «УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте», 2012. — 1086 с. — ISBN 978-5-89035-619-2.
16. Мохоныко В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Система поддержки принятия экономически обоснованных решений // Экономика железных дорог. — 2005. — № 1. — С. 18–26.
17. Мохоныко В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление : Сб. ОИ / ВИНТИ. — 2004. — № 11. — С. 14–16.
18. Покровская О.Д. Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики / О.Д. Покровская // Вестник транспорта Поволжья. — 2016. — № 5 (59). — С. 77–86.
19. Покровская О.Д. Эволюционно-функциональный подход к развитию транспортных узлов / О.Д. Покровская // Политранспортные системы: Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири : материалы IX Межд. науч.-техн. конференции. — Новосибирск : СГУПС, 2016. — С. 233–237.
20. Pokrovskaya O. D. Chi terminelistica reale come una nuova direzione scientifica / O. D. Pokrovskaya // Italian Science Review. — 2016. — 1 (34). — P. 112–116.
21. Покровская О.Д. Выбор наилучшего варианта терминальной сети и проверка его устойчивости / О.Д. Покровская // Транспорт Урала. — 2012. — № 2 (33). — С. 70–74. — ISSN 1815–9400.
22. Покровская О.Д. Формирование терминальной сети для организации перевозок грузов / О.Д. Покровская : дисс. ... канд. техн. наук / Уральский государственный университет путей сообщения. — Новокузнецк, 2011. — 235 с.

Объем статьи: 0,88 авторских листа





Оксана Дмитриевна  
Покровская  
Oksana D. Pokrovskaya



Олег Борисович  
Маликов  
Oleg B. Malikov

## Концепция «Идеальный терминал»

### “The Ideal terminal” concept

#### Аннотация

Цель статьи: охарактеризовать концепцию и сформулировать теоретическое понятие «идеальный терминал» с учетом принципов организации его работы и параметрической структуры типового логистического объекта. Применяются методы системного анализа, теории множеств, теории складских систем профессора О. Б. Маликова. Предложено развернутое параметрическое и теоретическое описание сущности концепции «идеальный терминал» как наилучшего желаемого режима работы логистического объекта с учетом его параметрической структуры. Разработано математическое описание режима «идеальный терминал». Методика позволяет учесть целый комплекс различных параметров и факторов, влияющих на режим работы и состояние типичного логистического объекта, и может применяться для совершенствования управленческих решений при проектировании и эксплуатации, а также при планировании и оценке деятельности объектов терминально-складской инфраструктуры. Использование концепции «идеальный терминал» повысит прибыльность терминального бизнеса за счет гибкого управления режимами функционирования грузовых терминалов, при которых достигаются наилучшие показатели их деятельности.

**Ключевые слова:** логистический объект, транспортно-складская система, терминально-складская инфраструктура, суперкритерий, комплексная оценка.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-10-17

#### Авторы Authors

Оксана Дмитриевна Покровская, канд. техн. наук, доцент Сибирского государственного университета путей сообщения, г. Новосибирск | Олег Борисович Маликов, д-р техн. наук, профессор Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург

Oksana Dmitrievna Pokrovskaya, Candidate of technical science, Associate Professor, FSBEI HE “Siberian state university of railway transport”, Novosibirsk | Oleg Borisovich Malikov, Doctor of technical science, Professor, Emperor Alexander I Petersburg state university of railway transport, St Petersburg

#### Annotation

The article objective: to characterize the concept and formulate theoretical notion of “the ideal terminal” considering its operation organization principles and parametrical structure of a representative logistic unit. The system analysis methods, set theories, theories of Professor Malikov’s warehousing systems are applied. A large-scale parametrical and theoretical description of the “ideal terminal” concept as the best desired operational mode of the logistic unit with due consideration of its parametrical structure is suggested. The mathematical description of “the ideal terminal” mode is elaborated. The methods make it possible to take into account the whole complex of different parameters and factors influencing its operational mode and condition of a representative logistic unit. They may be used for improvement of managerial decisions in project development and exploitation as well as in planning and assessment of terminal and warehousing infrastructure units activities. The use of “the ideal terminal” concept will increase profitability of terminal business thanks to flexible management modes of freight terminal functioning where the best operational performance is attained.

**Keywords:** logistic unit, transport and warehousing system, terminal and warehousing infrastructure, super criterion, comprehensive assessment.

## Актуальность введения понятия «идеальный терминал», его теоретическое описание

Понятие «идеального терминала» необходимо для установления граничных стадий работы любого логистического объекта, в основе которого лежит грузовой терминал. Цель применения данного понятия состоит в однозначном определении идеальных (наилучших) условий режима работы логистических объектов, что будет полезным при планировании и формировании новых и при оценке существующих объектов терминально-складской инфраструктуры ОАО «РЖД».

Вопросами оптимизации структуры логистического объекта любой сложности в разной постановке занимались такие известные отечественные ученые, как Б. А. Аникин, В. Г. Галабурда, В. А. Гудков, В. С. Лукинский, Л. Б. Миротин, Ю. М. Неруш (логистические системы в управлении перевозками); В. М. Николашин, О. Б. Маликов (транспортно-грузовые системы); С. Ю. Елисеев, А. С. Балалаев, А. А. Смехов (системный подход в логистике); А. Э. Александров, П. А. Козлов (математическое моделирование); А. М. Гаджинский, В. В. Дыбская (организация работы терминалов); К. Л. Комаров, Б. М. Лапидус, Т. А. Прокофьева, В. М. Самуйлов (регионально-экономический аспект формирования логистических систем); а также зарубежные ученые Д. Бауэрсокс, Д. Клосс, Д. Ламберт, М. Линдерс, Д. Сток, Д. Шехтер, Р. Шредер (управление цепями поставок) и другие.

В частности, в транспортной литературе наблюдаются следующие подходы к типологии ЛО с учетом их дефиниций: железнодорожный (транспортный узел) [1–7]; технический проектировочный (транспортно-складской объект) [8–12]; экономико-логистический (географический объект, поставщик логистических услуг) [13–19].

Вместе с тем недостаточно исследований, определяющих свою задачу как построение комплексной, интегрированной системы анализа, оценки параметров работы ЛО для наилучшего проектирования.

Об актуальности принятия клиентоориентированных решений при обеспечении высокого качества транспортно-логистического сервиса свидетельствует устойчивый рост объектов терминально-складской инфраструктуры ОАО «РЖД», а также повышение требований клиентов к комплексности оказываемых услуг.

## Постановка задачи

Задачей исследования, исходя из вышеизложенного, является характеристика концепции и формулирование понятия «идеальный терминал» с учетом принципов организации его работы и параметрической структуры типового логистического объекта.

**Логистический объект (ЛО)** — логистический объект любого формата — это сложная транспортно-складская система (ТСС), состоящая из взаимосвязанных модулей.

Понятие «идеальный терминал» предполагает соответствие состояния (режима функционирования) любого логистического объекта ряду обязательных условий.

## Метод решения задачи

В работе использованы методы и средства теории множеств, управления запасами, системного анализа, математического и логистического моделирования, теории принятия решений, теории множеств.

## Обсуждение результатов

Введение термина «идеальный терминал» обусловлено следующим.

1. Установление граничных стадий работы любого логистического объекта, в основе которого лежит грузовой терминал.

2. Концептуальное обеспечение планирования, формирования новых и оценки существующих объектов терминально-складской инфраструктуры железных дорог.

3. Математическое выражение (экономико-математическая модель) ЛО позволяет реализовать (имитационно или субоптимально в реальных условиях) режим работы, необходимый и достаточный для высококачественной переработки грузов на терминальной сети.

4. Разработка принципов функционирования логистических объектов с позиции «идеального терминала» позволит сформулировать те необходимые и достаточные условия, при которых любой объект терминально-складской инфраструктуры будет приносить прибыль компании-владельцу.

Существуют два подхода к решению многокритериальных оптимизационных задач, к которым относится и задача проектирования логистического объекта с наилучшими параметрами: использование обобщенного критерия оптимизации и «пороговая оптимизация».

Использование обобщенного критерия оптимизации не является эффективным способом решения многокритериальных оптимизационных задач в силу следующих причин:

- требуется приведение всех критериев к относительно безразмерному виду, что предполагает знание пределов изменения их значений, которые в большинстве случаев при структурной оптимизации неизвестны (т.е. не ясны пределы изменения);
- использование весовых коэффициентов, экспертно назначаемых критериями оптимизации, вносит повышенный субъективизм в решение задач;

- сведение оптимизационной задачи к однокритериальному виду снижает ее гибкость при поиске вариантов, поскольку в однокритериальном понимании с точки зрения поиска экстремума не существует оптимума в многокритериальной постановке из-за противоречивости критериев.

Не лишен недостатков и еще один метод — пороговой оптимизации. Так, реализация пороговой оптимизации при поиске структурного решения предполагает поиск решения перебором всех элементов множества решений, что является нереальным в силу большого количества допустимых решений [20]. Известны также экспертные методы, сложность применения которых заключается в установлении весов и баллов для каждого неформализуемого критерия. Очевидно, что любое решение, принятое с применением любого из указанных подходов, будет субоптимальным.

Но зачастую практическому бизнесу и не нужны оптимальные решения, тем более что нередко они просто нереализуемы в условиях рыночной турбулентной экономики. Обеспечить максимальную прибыль при минимальных издержках — вот то, что является измерителем успешности любого технического, проекторочного, компоновочного, транспортного, логистического решения.

В исследовании предпринята попытка создания интегрированного метода, универсально применимого для разных случаев оптимизации, причем лишённого ряда перечисленных недостатков. Основное назначение — формулирование ключевых параметров, определяющих однозначное понимание параметров наилучшего, идеального терминала, что позволяет изучать его работу и оценивать успешность, эффективность его отдельных элементов с позиций логистики и принципов клиентоориентированности.

Понятие «идеальный» используется в качестве теоретического понятия «суперкритерия» для свертки критериев в один с рядом условий. Данное понятие позволяет приблизить состояние железнодорожного логистического объекта к целевому в фокусе потребностей именно ОАО «РЖД».

«Идеальность» режима работы означает отсутствие у терминала всех типичных недостатков работы, которые на практике эксплуатации присутствуют у подобных объектов. Безусловно, что в реальных рыночных условиях достижение объектом состояния «идеального терминала» практически невозможно. Именно поэтому большинство критериев «идеальности» являются желательными, т.е. их удовлетворение даже не на 100 %, а, к примеру, на 65–80 % уже значительно улучшит результаты его функционирования.

Понятие «идеальный терминал» может существовать в аспектах:

1. Идеальный терминал — это целевая функция, которой подчинено эволюционно-функциональное развитие и работа любого ЛО.

2. Идеальный терминал — это теоретико-формализованная модель, универсально применимая для разных подходов к типологии ЛО.

3. В эволюционно-функциональной теории [21] идеальный терминал является той движущей силой, которая является необходимым и достаточным условием для перехода любого логистического объекта на качественно новый уровень своего развития.

## Классификация и особенности понятия «идеальный терминал»

Модель может быть широко применима при решении задач оптимального проектирования, эффективной эксплуатации и стратегического планирования развития терминально-складской инфраструктуры на любом виде транспорта. Это обеспечит принятие высокоэффективных решений в масштабе экономики всей страны. В частности, для сложных транспортно-складских систем, какими и являются ЛО. Однако для полноценной оценки эффективности и состояния конкретного ЛО требуется проведение дополнительного расчета по другим авторским методикам в реальных условиях.

Применение теории эволюции и идеального терминала позволит усовершенствовать проектирование и эксплуатацию логистических объектов транспортной инфраструктуры любого формата, а также полноценно анализировать их работу с позиций соответствия реальных параметров параметрам режима «идеального терминала», что позволит выявлять «узкие места» и проводить системное совершенствование всех аспектов работы ЛО.

В эволюционно-функциональной теории, предложенной автором в [21], «идеальный терминал» является той движущей силой, которая является необходимым и достаточным условием для перехода любого логистического объекта на качественно новый уровень своего развития. Иными словами, стремление к соответствию всем или любому из 14 условий режима «идеальный терминал» определяет направление развития функциональной (основной) и технической (обеспечивающей) подсистем логистического объекта, по которому идет его морфологическое, количественное и качественное изменение.

С позиций синергетики «идеальный терминал» соответствует точке бифуркации, в которой реализуется установление «нового порядка» всех элементов самоорганизующейся системы, переход системы на качественно новый уровень.

С позиций системного подхода «идеальный терминал» выступает переходным моментом от системы низшего к системе высшего иерархического порядка в силу действия эволюционно-функциональных движущих факторов.

С позиций теории принятия решений «идеальный терминал» — точка невозврата к предыдущему состо-



янию, создание предпосылок для метаморфозы в новый формат.

Существует общепринятый термин «оптимальный терминал», параметры которого, как подразумевается, оптимизированы с помощью некоторых математических методов. Терминальная сеть представляет собой сложную технико-экономическую систему, оптимизация которой — сложная, многоэтапная задача. Такие системы оптимизируют реже на основании одного критерия, чаще как многокритериальную задачу. При использовании одного критерия обычно в соответствии с теорией принятия решений предлагают некоторые комплексные критерии, которые так или иначе включают также и влияние всех возможных факторов и обстоятельств (в том числе вероятностного характера) на результаты оптимизации сложной технической системы. Эти факторы могут быть технического, экономического или более сложного комплексного характера. Многокритериальная задача оптимизации решается на основе теории принятия решений, при этом набор критериев требует своего обоснования и систематизации.

Поиск «идеального терминала» может включать в себя эти методы оптимизации и дополняться еще некоторыми дополнительными эвристическими методами и просто описательными моделями. Поскольку при оптимизации ограничиваются рассмотрением только части факторов и критериев, а именно тех, которые сравнительно легко формализовать, т.е. выразить в виде некоторых формул, математических зависимостей, то получается не совсем полное представление о поиске наиболее эффективного решения.

В этом отношении понятие «идеальный терминал» может включать более полное рассмотрение различных факторов и обстоятельств, характерных для экономики страны, для обслуживания нужд которой и используют транспортные системы доставки грузов.

Идеальный терминал — это такое состояние компонента транспортно-логистической инфраструктуры, которое наилучшим образом отвечает требованиям всех участников цепей поставок, функционирующих в данном регионе.

Идеальный терминал должен удовлетворять сочетаниям требований всех участников системы доставки грузов: грузовладельцев, администрации региона, торговых сетей, цепей поставок, промышленных предприятий, железнодорожного и автомобильного транспорта, морских и речных портов, аэропорта, государственных контролирующих организаций, операторов подвижного состава, населения региона и т.д.

В отношении пожеланий клиентов профессионально созданный грузовой терминал должен их учитывать без анкетирования партнеров по бизнесу. Общий принцип деловой логистики и формирования цепей поставок состоит в том, что клиенты должны получать максимальное логистическое обслуживание по приемле-

мым конкурентоспособным ценам на любом логистическом терминале или просто складе, а уж тем более — на «идеальном терминале».

Методика приближения к состоянию идеального терминала позволит вырабатывать обоснованные проектные решения по рациональному строительству новых и развитию существующих ЛО железнодорожного транспорта. Поскольку даже соответствие нескольких параметров из множества значимых для состояния ЛО целевой функции позволит перейти ЛО на новый эволюционно-функциональный уровень работы.

«Идеальный» означает такое состояние ЛО, в котором ЛО работает в максимальных величинах всех характеристик состояния, что не всегда практически осуществимо с одной стороны и не всегда оптимально с другой. Введению данного понятия поспособствовало ошибочное мнение многих грузовладельцев и владельцев ЛО, стремящихся к гигантомании при застройке территории, строительстве складских комплексов, привлечении клиентов, закупке дорогостоящего оборудования, применении последних версий автоматизированных систем и др.

Поясним применение термина «идеальный», а не «оптимальный». Оптимум достигим при определенных реальных условиях, а идеальный — это случай совершенства, зачастую недостижимый в реальных условиях.

Отметим при этом, что понятие «идеальный терминал» будет трансформироваться для разных цепей поставок, грузов, условий перевозки и складирования. С понятием «идеального терминала» напрямую связаны вопросы: как расположить, как связать с экономической региона, как терминал соответствует потребностям торговли в регионе и ее размещению.

## Эволюционный подход к развитию логистических объектов

Ключевые параметры, определяющие свойство «идеальности» терминала:

- 1) характер питающих терминал грузопотоков (закон их распределения — нормальный, пуассоновский, Стюдента и др.);
- 2) тип логистической цепи с учетом рода груза и особенностей организации перевозок;
- 3) режим работы терминала;
- 4) экономико-географическая дислокация.

Функционирование ЛО — это его действия, направленные на достижение поставленной цели. Эффективность зависит от того, насколько целесообразно выбраны и спроектированы элементы и структура ЛО. В процессе своей работы ЛО переходит из одних состояний в другие — в зависимости от характера и объема выполняемых в это время работ. Это позволяет формализовать процесс функционирования ЛО (рис. 1).

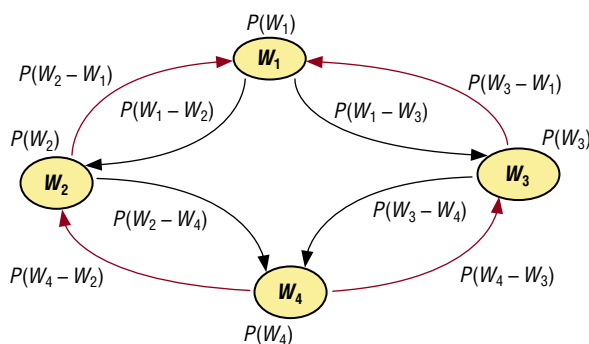


Рис. 1. Граф состояний и переходов ЛО  
(в качестве примера приведены 4 состояния  $W_1, W_2, W_3, W_4$  и 8 переходов из одних состояний в другие)  
и вероятности этих состояний и переходов [9]

На рис. 1  $W_1, W_2, W_3, W_4$  — вероятности четырех наиболее обычных состояний ЛО (табл. 1), а  $P(W_1-W_2), P(W_1-W_3)$  и т.д. — вероятности переходов складской системы из одних состояний в другие (например, из первого во второе или из первого в третье и т.д.). Использование такой математической модели функционирования складской системы позволяет проанализировать и оптимизировать работу склада с помощью ее моделирования на ЭВМ. Функционирование ЛО можно представить в виде матрицы переходных вероятностей:

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1i} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2i} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{j1} & P_{j2} & \dots & P_{ji} & \dots & P_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{ni} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix} \quad (1)$$

По главной диагонали матрицы стоят вероятности того, что ЛО не выйдет из состояний 1-го, 2-го, ...  $n$ -го. Элементами матрицы являются вероятности переходов ЛО из одних состояний в другие. Например,  $P_{12}$  — это вероятность того, что ЛО из состояния 1 перейдет в состояние 2 [9].

Достижение стадии развития ЛО «идеальный терминал» предполагает следующую градацию (табл. 1):

- 1) 10 % — неоптимальный (спонтанные решения бизнеса);
- 2) 20 % — рациональный (решения имеют экономическое обоснование, но не реализуют плановых объемов прибыли);
- 3) 60 % — частично оптимальный (решения отдельных вопросов организации работы ЛО решены на высоком уровне с достижением оптимума, однако имеются недостатки в работе ЛО);
- 4) не менее 80 % решений на ЛО достигают оптимума — оптимальный;
- 5) идеальный терминал — 100 % достижение оптимума всеми модулями (элементами структуры) ЛО.

При этом ЛО переходит из одних состояний в другие не самопроизвольно, а под воздействием внешних систем (другие виды транспорта, грузоотправители и грузополучатели, государственные органы и местная администрация, вышестоящие организации, экспедиторские компании, партнеры, конкуренты, банки, страховые компании и т.д.) при передаче материальных и информационных потоков.

По результату работы ЛО в течение периода времени судят о достижении им поставленной цели эволюционно-функционального развития, о правильности принятых при его создании организационно-технических решений, о целесообразности внесения изменений в его элементы, структуру, работу, взаимодействие с внешней средой. Таковы основные этапы и направления совершенствования или создания нового ЛО как сложной транспортно-складской системы.

Таблица 1

Состояния ЛО при эволюции к режиму «Идеальный терминал»

№	Описание состояний (режимов) работы ЛО	Обозначение состояния ЛО	Вероятности состояний ЛО
1	10 % — неоптимальный (спонтанные решения)	$W^1$	$P(W^1)$
2	20 % — рациональный (решения имеют экономическое обоснование, но не реализуют плановых объемов прибыли)	$W^2$	$P(W^2)$
3	60 % — частично оптимальный (решения отдельных вопросов организации работы ЛО решены на высоком уровне с достижением оптимума, однако имеются недостатки в работе ЛО)	$W^3$	$P(W^3)$
4	не менее 80 % решений на ЛО достигают оптимума — оптимальный	$W^4$	$P(W^4)$

Зачастую не всегда на практике нужен 100 % идеальный терминал — достаточно и 60 % удовлетворения требований «идеальности». Но это то состояние, к которому надо стремиться для совершенствования проектирования и эксплуатации склада.

Очевидно, что режим идеального терминала не всегда будет обеспечивать экстремум целевых функций при эксплуатации ЛО, поскольку, например, использование мощностей ПРМ и площадей хранения практически на 100 % приведет к отсутствию страховых запасов и работе ПРМ на предельных характеристиках. В свою очередь, это может привести к росту эксплуатационных расходов владельца ЛО и потере клиентов при несвоевременности поставки груза, т.е. при срыве выполнения хотя бы одного из правил логистики.

Иными словами, под термином «идеальный терминал (the best terminal, функция IT)» будем понимать такое состояние логистического объекта  $X$   $i$ -го типа,  $X(ЛО_i)$ , характеризующее множеством параметров, при котором реализуется максимальная общая эффективность его работы.

## Формализация теоретического понятия «идеальный терминал»

Вид состояния ЛО, общий вид:

$$IT = [X(ЛО_i) \in \{F_C^T; F_C^K\}] \rightarrow \max(E), \quad (2)$$

$$IT' = [X(ЛО_i) \in \{F_C^\Phi\}] \rightarrow \min(E'), \quad (3)$$

где  $IT$  — целевая функция идеального терминала по максимизации составляющих — эффективность  $E$ ;  $IT'$  — целевая функция идеального терминала по минимизации составляющих — эффективность  $E'$ ;  $F_C^T$  — целевая функция технического вида для ЛО;  $F_C^K$  — целевая функция качественного вида для ЛО;  $F_C^\Phi$  — целевая функция финансового вида для ЛО.

Если рассматривать эффективность ЛО с позиций достижения идеального режима работы, соответствующего текущему фактическому параметрическому состоянию того типа ЛО,

$$IT = X(ЛО_i) \parallel E \rightarrow IT, \quad (4)$$

то  $E$  — эффективность ЛО — будет достаточно описана следующим множеством параметров состояния «идеального терминала»:

$$E \in \{L_{ITi}; Q_{ITi}; A_{ITi}; Z_{qsITi}; WT_{ITi}; SU_{ITi}; G_{ITi}; S_{хрполITi}; R_{ПРМ}; R_{гp}; E_{скл}; T_{раб}; T_{гp}; Fr\}, \quad (5)$$

где  $L_{ITi}$  — расположение ЛО, работающего в режиме «идеального терминала», координаты, км;  $Q_{ITi}$  — предельная грузоперерабатывающая способность ЛО (базовой станции), работающего в режиме «идеального терминала», т/сут. (конт./сут., подд./сут.);  $A_{ITi}$  — уровень автоматизации складских процессов (если будет очень дорогим, то дорогой будет и грузопереработка);  $Z_{qsITi}$  — техническое оснащение ЛО, количество эффективно работающих ПРМ на ЛО, ед.;  $WT_{ITi}$  — обеспечение своевременности приемки-выдачи грузов и соответствующего режима их хранения (warehousing, timeliness);  $SU_{ITi}$  — уникальность сервиса для каждого груза/клиента;  $G_{ITi}$  — равенство среднего завоза и вывоза груза с/на ЛО, т/сут. (конт./сут., подд./сут.);  $S_{хрполITi}$  — полнота использования полезной площади хранения;  $R_{ПРМ}$  — полнота загрузки ресурса и грузоподъемности ПРМ;  $R_{гp}$  — минимальный запас груза на ЛО;  $E_{скл}$  — полнота использования складского объема ЛО;  $T_{раб}$  — прибытие и отправление подвижного состава видов транспорта по расписанию (работа без очередей транспортных средств и без простоя техники ПРМ);  $T_{гp}$  — минимальный простой подвижного состава под грузовыми операциями;  $Fr$  — рациональное количество страхового запаса на складе с одной стороны и наличие резервов площади хранения с другой.

Режим «идеальный терминал» предполагает реализацию следующих характеристик в состоянии ЛО  $X(ЛО_i)$  (наличие для целевой функции  $IT$  ряда ограничений), сформулированных с учетом работ [22–25]:

1. Соответствие потребности рынка (региона). ЛО располагается вблизи зоны обслуживания (множества клиентов).

2. Нахождение в месте зарождения, или в месте максимального раздробления грузопотока, или в промежуточном месте: на удалении 2/3 расстояния от производства или 1/3 от места потребления — зависит от распределения грузопотоков на товаропроводящей сети.

Все элементы структуры ЛО имеют необходимую грузоперерабатывающую способность, что говорит о структурной целостности ЛО как сложной транспортно-складской системы.

3. Умеренная автоматизация складских процессов (если будет очень дорогим, то дорогой будет и грузопереработка).

Уровень автоматизации ЛО — это отношение величины всех выполняемых складских технологических процессов и логистических операций без автоматизации процесса к количеству полностью автоматизированных операций с учетом комплексной интегрированной информатизации процесса.

4. Соответствующее объемам и функциям техническое оснащение.

Техническая оснащенность ЛО и всех его внутри-складских технологических процессов по параметрам эксплуатационной производительности, полезной



грузоподъемности, габаритам, расходу топлива (энергии), количества и типологии применяемых ПРМ должна быть необходимой и достаточной для выполнения всего ассортимента логистических операций  $S_{\text{лог}}$  со всем объемом грузопотоков, своевременно, качественно, в полном объеме и без очередей.

5. Обеспечение для каждого груза соответствующего режима хранения и своевременной приемки/выдачи груза клиентам в установленные сроки.

6. Предоставление уникальной услуги с индивидуальным обеспечением клиента информационной и сопроводительной транспортно-логистической поддержкой при доставке груза от начального отправителя до конечного получателя.

Пакет комплексного транспортно-логистического обеспечения, состоящий из  $n$  количества логистических услуг (или отдельных операций)  $S_1; S_2; S_3; \dots; S_n$  процесса перевозки  $i$ -го груза для  $j$ -го клиента является *уникальным*, равно как и  $k$ -я цепь поставок, реализуемая через ЛО определенного типа.

7. Равенство среднего завоза и вывоза груза с/на терминал. Одно из необходимых и достаточных условий функционирования любой ТСС.

8. Не менее 80 % использования полезной площади хранения.

9. Не менее 80 % загрузки ресурса и грузоподъемности ПРМ,  $R_{\text{ПРМ}}$ .

10. Минимальный запас груза,  $R_{\text{гр}}$ .

11. Полное использование складского объема,  $E_{\text{скл}}$ .

12. Прибытие и отправление подвижного состава видов транспорта по расписанию (работа без очередей транспортных средств и без простоя техники ПРМ),  $T_{\text{раб}}$ . Одно из необходимых и достаточных условий функционирования любой ТСС.

13. Минимальный простой подвижного состава под грузовыми операциями.

14. Наличие свободного места на ЛО для комплектации по заявке клиента (быстрый отклик на запрос).

## Практическое приложение результатов

Модель ИТ может быть широко применима: 1) при решении задач оптимального проектирования, эффективной эксплуатации и стратегического планирования развития терминально-складской инфраструктуры на любом виде транспорта; 2) как оценочный инструмент по выявлению «узких мест» и системного совершенствования всех аспектов работы ЛО.

Исходя из математического вида параметрической структуры ЛО, можно однозначно определить тип ЛО, его функциональную роль и иерархическое положение в логистической цепи доставки грузов. Понятие «идеального терминала» определяет наилучший режим функционирования логистических объектов и позволяет адекватно планировать формирование и работу отдельных объектов терминально-складской инфраструктуры [26].

## Выводы

1. В исследовании предпринята попытка определить «идеальный терминал» как наилучший режим работы любого ЛО. Рассмотрены принципы режима работы «идеального терминала». Охарактеризована параметрическая структура ЛО, на основе которой могут быть реализованы классификационные подходы [27] и [28] с учетом [29].

2. Разработка принципов проектирования и эксплуатации ЛО с позиции «идеального терминала» позволит сформулировать те необходимые и достаточные эволюционно-функциональные условия [30], при которых любой объект терминально-складской инфраструктуры будет приносить прибыль компании-владельцу — ОАО «РЖД».

3. Предметом дальнейших исследований может стать совершенствование теории построения сетевых графов структуры ЛО и выбора альтернатив развития различных ЛО железнодорожного транспорта [31]. **ИТ**

## Список литературы

1. Ефименко Ю. И. Железнодорожные станции и узлы / Ю. И. Ефименко, В. И. Апатцев, Н. В. Правдин и др.; под ред. В. И. Апатцева, Ю. И. Ефименко. — М.: ФБГОУ УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. — 450 с.
2. Правдин Н. В. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Н. В. Правдин, С. П. Вакуленко, А. К. Головинич и др.; под ред. Н. В. Правдина, С. П. Вакуленко. — М.: Маршрут, 2014. — 1086 с.
3. Бройтман Э. З. Железнодорожные станции и узлы / Э. З. Бройтман. — М.: Маршрут, 2004. — 372 с.
4. Числов О. Н. Научно-методический комплекс классификации железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказской железной дороги — филиала ОАО «РЖД») / О. Н. Числов, В. В. Хан // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6. — С. 24–28. — URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16956> (дата обращения: 20.08.2016).
5. Савченко И. Е. Железнодорожные станции и узлы / И. Е. Савченко, С. В. Земблинов, И. И. Страковский. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1967. — 467 с.
6. Земблинов С. В. Основы построения транспортных узлов / С. В. Земблинов, В. А. Бураков, А. М. Обермейстер, А. А. Поляков, В. А. Персианов, К. К. Таль, В. П. Ходатаев; под общ. ред. С. В. Земблинова. — М.: Транспорт, 1959. — 447 с.
7. Стыковые пункты транспортных узлов / под ред. К. Ю. Скалова, Г. С. Молярчук. — М.: Транспорт, 1977. — 184 с.

8. Балалаев А. С. Транспортно-грузовые системы железных дорог : учеб. пособие / А. С. Балалаев, И. А. Чернышова, А. Ю. Костенко. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. — 108 с.
9. Маликов О. Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок : монография / О. Б. Маликов. — М. : ФБГОУ УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. — 536 с.
10. Журавлев Н. П., Маликов О. Б. Транспортно-грузовые системы : учебник для вузов ж.-д. транспорта. — М. : ФБГОУ УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте, 2005. — 438 с.
11. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте / А. А. Смехов, В. В. Повороженко, А. Т. Дерибас и др.; под ред. А. А. Смехова. — М. : Транспорт, 1990. — 351 с.
12. Гаджинский А. М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика. М. : ТК Велби; Проспект, 2007. — ISBN 978-5-482-01313-7.
13. Елисеев С. Ю. Система логистического управления взаимодействием с морскими и речными портами и другими видами транспорта : монография / С. Ю. Елисеев. — М. : ВИНТИ РАН, 2005. — 96 с.
14. Прокофьева Т. А. Логистические центры в транспортной системе России : учеб. пособие / Т. А. Прокофьева, В. И. Сергеев. — М. : Издат. дом «Экономическая газета», 2012. — 522 с.
15. Миротин Л. Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов / Л. Б. Миротин, А. В. Бульба, В. А. Демин. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 408 с.
16. Шабарова Э. В. Транспортно-логистический центр и логистическое взаимодействие железных дорог и морских портов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — Луганськ, 2010. — № 10 (152). — Ч. 2. — С. 254–268.
17. Дыбская В. В. Управление складированием в цепях поставок. — М. : Альфа-Пресс, 2009. — 720 с.
18. Логистика : учеб. пособие / под ред. Б. А. Аникина. — М. : ИНФРА-М, 1999. — 327 с. — ISBN 5-86225-958-9.
19. Балалаев А. С., Леонтьев Р. Г. Транспортно-логистическое взаимодействие при мультимодальных перевозках. — М. : УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте, 2012. — 268 с.
20. Попов А. П., Попова Т. А. Оптимизация технологических процессов // Мир транспорта. — 2015. — Т. 13, № 5. — С. 16–25.
21. Покровская О. Д. Эволюционно-функциональный подход к развитию транспортных узлов / О. Д. Покровская // Политранспортные системы: Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири : материалы IX Межд. науч.-техн. конференции. — Новосибирск : СГУПС, 2016. — С. 233–237.
22. Маликов О. Б. Деловая логистика. — СПб. : Политехника, 2003. — 223 с. : ил. — ISBN 5-7325-0663-2.
23. Козлов П. А., Пермикин В. Ю., Кашеева Н. В. К теории транспортных узлов // Транспорт Урала. — 2013. — № 4 (39). — С. 3–5. — ISSN 1815-9400.
24. Микони С. В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив. — СПб. : Лань, 2009. — 156 с.
25. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. — М. : Дрофа, 2004. — 208 с. — ISBN 5-7107-7770-6.
26. Покровская О. Д. Выбор наилучшего варианта терминальной сети и проверка его устойчивости // Транспорт Урала. — 2012. — № 2 (33). — С. 70–74. — ISSN 1815-9400.
27. Покровская О. Д. Вопросы логистической иерархии железнодорожных объектов / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Известия ПГУПС. — 2016. — № 4 (49). — С. 521–531.
28. Покровская О. Д. Классификация, иерархия и идентификация объектов терминально-складской инфраструктуры / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2017. — № 8. — С. 13–21.
29. Покровская О. Д. Анализ системы нормирования на железнодорожном транспорте с позиций логистики и клиентоориентированности / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Известия ПГУПС. — 2017. — № 2 (51). — С. 187–199.
30. Покровская О. Д. Эволюционно-функциональный подход к классификации транспортных узлов / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Известия ПГУПС. — 2017. — № 3 (52). — С. 406–419.
31. Покровская О. Д. Методика построения сетевого графа структуры логистического объекта / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Мир транспорта. — 2017. — № 1. — Т. 25. — С. 18–27.

Объем статьи: 0,93 авторских листа



**Валерий  
Михайлович  
Самуйлов**

**Valery M.  
Samuilov**



**Сергей  
Александрович  
Бронников**

**Sergey A.  
Bronnikov**



**Татьяна  
Александровна  
Каргапольцева**

**Tatiana A.  
Kargapoltseva**

## Кластерная модель организации транспортно-логистического бизнеса в пригородном пассажирском комплексе

### A cluster model of transport and logistics business organization in commuter service

#### Аннотация

В статье обосновано, что наиболее высокая конкурентоспособность территорий держится на сильных позициях взаимодействующих групп компаний, создаваемых на основе кластерных форм и моделей совместной деятельности. Приводится экономическое обоснование и преимущество кластерного подхода и системы государственно-частного партнерства, предложена кластерная модель транспортного бизнеса.

**Ключевые слова:** транспорт, кластер, конкуренция, инновация, регион, государственно-частное партнерство, модель, форма, логистика, структура.

#### Annotation

The article states that the highest competitiveness of territories is based on strong positions of interacting companies founded on cluster forms and models of joint activities. Economic reasoning and advantage of cluster approach and governmental and private partnership is given, a cluster model of transport business is suggested.

**Keywords:** transport, cluster, competitiveness, innovation, region, governmental and private partnership, model, form, logistics, structure, models.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-18-23

#### 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; e-mail: VSamuilov@mail.ru | **Сергей Александрович Бронников**, старший преподаватель кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: 7sigma2007@mail.ru | **Татьяна Александровна Каргапольцева**, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: tanyafeliz@mail.ru

**Valery Mikhaylovich Samuilov**, doctor of technical science, professor of chair for "World Economy & Logistics", Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg, Russia, e-mail: vsamuilov@convex.ru | **Sergey Alexandrovich Bronnikov**, Senior teacher, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: 7sigma2007@mail.ru | **Tatiana Alexandrovna Kargapoltseva**, post graduate student, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: tanyafeliz@mail.ru



Мировой и российский опыт показывает, что в экономике нового времени высокая конкурентоспособность территории держится на новых формах и моделях транспортно-логистических кластеров (ТЛК). В Уральском регионе это недостаточно развито, тем более в транспортном бизнесе, поэтому особую научную и практическую значимость имеют исследования, посвященные разработке инструментария эффективного сотрудничества участников региональных кластерных структур.

Данный подход весьма актуален для транспортного бизнеса, который сталкивается с большим количеством организационных проблем. В России ОАО «Российские железные дороги» осуществляет программу структурной реформы на железнодорожном транспорте, что способствует развитию транспортного рынка. В Свердловской области пригородный железнодорожный пассажирский комплекс является самым доступным и популярным видом транспорта, выбираемым населением в качестве средства передвижения на короткие расстояния. Пригородный пассажирский кластер включает в себя существующие и потенциальные пассажиропотоки. Он выполняет функции:

- управления уровнем конкуренции;
- регулирования емкости рынка;
- поиска путей повышения эффективности использования ресурсов транспортных организаций.

В пригородном сообщении железнодорожный транспорт занимает первое место по пассажирообороту (64 %) и второе, после автомобильного транспорта, по числу перевезенных пассажиров (44 %). Удельный вес пригородных перевозок в общем пассажирообороте ОАО «РЖД» составляет 27 %, а доля в общем количестве перевезенных пассажиров достигает 90 % [1].

Тем не менее в пригородном железнодорожном транспортном кластере в РФ существуют некоторые системные проблемы.

Во-первых, это убыточность и, как следствие, инвестиционная непривлекательность.

Во-вторых, перекрестное финансирование пригородных перевозок за счет финансового результата деятельности ОАО «РЖД».

В-третьих, несоответствие законодательной базы нынешнему этапу развития рынка пригородных железнодорожных перевозок.

В-четвертых, правительства субъектов РФ, как правило, полностью не компенсируют льготные перевозки населения.

В-пятых, с середины 2000-х гг. произошло сокращение маршрутной сети, что привело к падению количества перевезенных пассажиров и пассажирооборота в пригородном сообщении. Подобные проблемы характерны и для Свердловской области (табл. 1) [2].

Правительством Свердловской области принято постановление от 25 января 2018 г. № 28-ПП «О развитии транспортного комплекса Свердловской области до 2024 года», в котором предусмотрено увеличение дотации со стороны федерального и областного бюджетов до 16 млрд руб. в год и увеличение объемов перевозки пассажиров в 2,5 раза по сравнению с показателями 2018 г. На основании этого постановления должно быть обеспечено удовлетворение потребностей пассажиров железнодорожного транспорта, тем более что в Свердловской области ожидается постоянный приток населения в связи с проведением международных мероприятий.

Во исполнение принятого постановления разработана кластерная модель организации пригородного пассажирского комплекса позволит эффективно формировать рынок пригородных железнодорожных перевозок Уральского федерального округа (УрФО) и функционировать организациям на безубыточной основе.

В научной литературе дается понятие транспортно-логистического кластера (ТЛК) как сети поставщиков, производителей, потребителей элементов промышленной инфраструктуры, исследовательских институтов, взаимосвязанных в процессе создания добавочной стоимости.

Таблица 1

**Количество перевезенных пассажиров  
(по данным Свердловской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» [2])**

Перевозчик	Количество перевезенных пассажиров по годам, млн пас.												
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	По май 2018
СвЖД	55	49	47	33	27	26	28	25,6	24,0	23,8	24,4	23,7	8,2
СПК	30	28	28	22	19	17	18	25,5	21,04	20,9	21,5	20,8	—

В. М. Самуйлов и А. Д. Покровская в работе [3] дают более конкретное определение понятия ТЛК: «Транспортно-логистический кластер — это территориально локализованная, обособленная в отрасли группа предприятий, сочетающая формальную самостоятельность и внутреннюю конкуренцию с кооперацией, наличие единого центра и системы сервисных услуг. Цель функционирования ТЛК заключается в реализации наиболее эффективным способом ключевых компетенций на территории присутствия и достижения синергетических эффектов от взаимосвязанной работы. Под ТЛК в современной экономической литературе понимается также сеть поставщиков, производителей, потребителей, элементов промышленной инфраструктуры, исследовательских институтов, взаимосвязанных в процессе создания добавочной стоимости» [3]. Основные признаки ТЛК:

- совокупность предприятий;
- географическая локализация;
- наличие между предприятиями взаимных связей;
- инновационная направленность.

Цель функционирования ТЛК заключается в реализации всех эффективных способов, компетенций на территории присутствия и достижении синергетического эффекта от взаимосвязанной работы.

Кластер не является юридическим лицом. Структура транспортно-логистического кластера не объединена единым для всех соглашением. Она предполагает долгосрочные и достаточно устойчивые отношения между отдельными предприятиями, нацеленные на пассажиров конкретной территории, и обслуживает конкретный сектор рынка.

В состав кластера должны входить (структура кластера):

- производители и поставщики;
- инжиниринговые и консалтинговые фирмы;
- научно-исследовательские организации и вузы;
- кредитные организации и банки;
- администрация регионов;
- профессиональные и общественные организации.

Формы кластеров могут быть различными:

- отдельная система с четко определенной стратегией и выделенным бюджетом, которая охватывает ряд промышленных секторов и различные аспекты развития кластеров;
- система, сфокусированная на некоторых аспектах развития кластеров, таких как сетевые взаимодействия среди бизнеса или между бизнесом и исследовательскими организациями;
- система, которая является элементом других стратегий экономического развития;
- общая цель в серии других несогласованных мероприятий, нацеленных на конкретную отрасль [9].

К характерным особенностям кластера можно отнести:

- наличие крупного предприятия-лидера, определяющего долгосрочную хозяйственную, инновационную и иную стратегию кластера в целом;
- территориальную локализацию основной массы предприятий-участников кластера;
- устойчивость и доминирующее значение хозяйственных связей между предприятиями;
- долгосрочную координацию взаимодействия участников системы в рамках основных систем управления, производственных программ, инновационных процессов, контроля качества и пр. [10].

Кластеры обеспечивают возможность ведения конструктивного и эффективного диалога между государством и регионами. Они не имеют четких границ и все время находятся в движении. Основная конкуренция происходит через формирование структур эффективных кластеров [9].

Успешно развивающаяся региональная система, функционирующая на базе кластерных технологий, широко развитой кооперации внутри кластеров, индуцирует объединение ресурсов участников для продвижения технологий, инноваций, повышения квалификации персонала, что делает эту форму выгодной как для бизнеса, так и для органов власти региона.

Основная задача субъектов региональной власти при реализации стратегий кластерного развития региона состоит в создании благоприятной инфраструктуры и поддержке процессов развития кластеров [8].

Для примера может быть предложена возможная структура транспортно-логистического кластера УрФО. Он занимает уникальное географическое положение, находясь на пересечении маршрутов международных перевозок в направлениях «север — юг» и «запад — восток». Стратегической задачей является создание в регионе одного из основных центров применения и консолидации транзитных пассажиропотоков. Ведущая роль в его деятельности будет отведена таким предприятиям, как ПАО «Международный аэропорт Кольцово», Свердловская железная дорога — филиал ОАО «РЖД», «Федеральная пассажирская компания», «Свердловская пригородная компания» и другим (рис. 1).

Сегодня существующие пассажирские компании имеют ограниченные ресурсы. Для развития пассажирских перевозок необходимы крупные инвестиции и поддержка со стороны государства и правительства регионов. Капиталоемкие проекты, имеющие государственное значение, окупаются в течение нескольких десятилетий, и, естественно, частный инвестор не согласен на участие в них без гарантированной эффективности и надежности вложения собственных средств.

При рассмотрении данного кластера участниками в решении вопросов постоянно обнаруживается ограниченность ресурсов. С этой целью предполагается управление пассажирскими компаниями в форме государственно-частного партнерства (ГЧП). Схема концессионного механизма предложена на рис. 2.

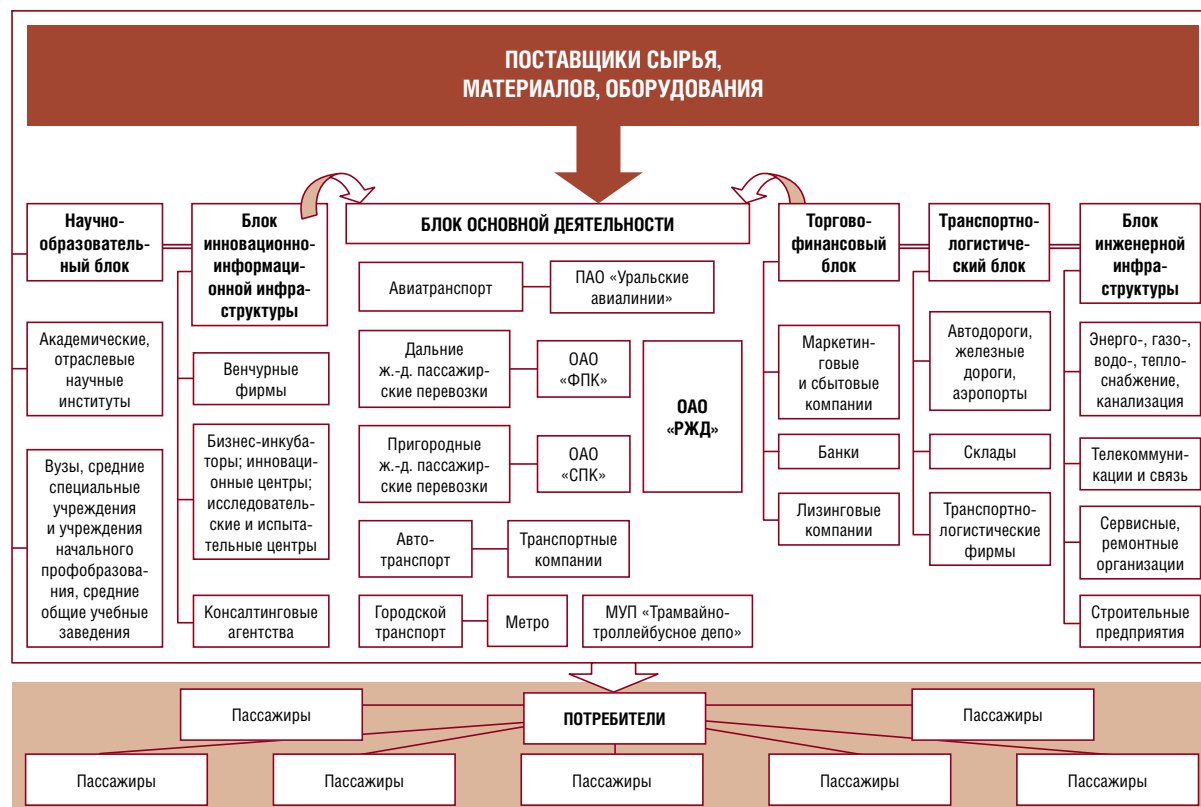


Рис. 1. Структура транспортно-логистического кластера

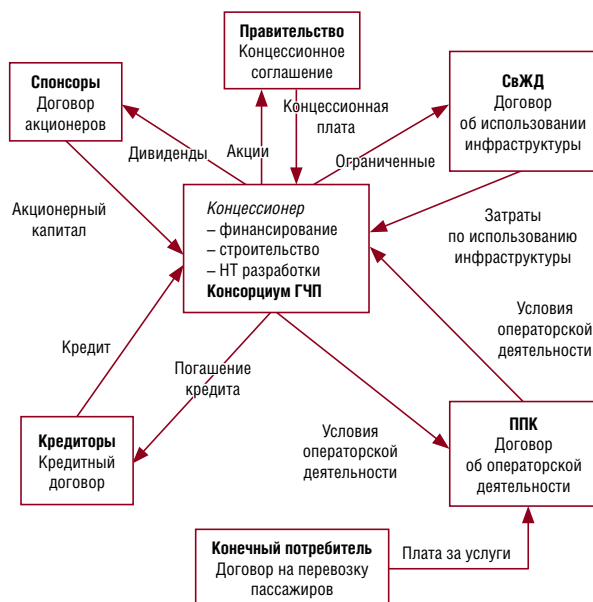


Рис. 2. Пример структуры ГЧП в пассажирском комплексе [4]

ГЧП обеспечивает прозрачность и ответственность сторон, согласие всех партнеров и вовлечение их на ранней стадии, четкую структуру. При этом происходит эффективное использование ограниченных ресурсов, осуществляется поддержка коммуникации, кооперации,

координации, сотрудничества и доверительных взаимоотношений между заинтересованными хозяйствующими субъектами, тесное сотрудничество между государственным и частным сектором, где государство является больше посредником, чем инвестором.

Таким образом, ГЧП дает преимущества как для инвесторов, так и для государства. Для инвесторов: приемлемая возвратность инвестиций, четкое распределение рисков, повышение оборотов, стимулирование роста и диверсификации. Для государства: доступ к совместному финансированию, использование опыта частного менеджмента, возможность концентрации на основных компетенциях ускорения процессов.

Образовавшаяся новая структура получает синергический эффект, заключенный в том, что результат деятельности объединения фирм превосходит сумму результатов их самостоятельного функционирования.

На первом этапе моделирования альтернативных вариантов для выявления транспортного кластера в УрФО использована следующая модель типа «затраты — выпуск»:

$$A * X + C = X,$$

где  $C$  — вектор совокупных затрат компаний,  $X$  — вектор совокупных прибылей компаний,  $A$  — матрица элементов  $a_{ij}$ .

Эта модель позволяет оценить связи, сложившиеся между предприятиями, и выявить всех участников потенциального кластера, а также дать ответ на вопрос, можно ли при данной структуре экономических отношений между рассматриваемыми компаниями говорить о таком уровне прибыли, который позволит сформировать вектор роста кластера и реализовать отдачу от усилий по его созданию. Для этого учтено, что в формировании доходов компаний играет роль не только перераспределение (обмен) товарами и услугами, но и использование каждой компаний некоторых «первичных» ресурсов.

Обозначим через  $b_{kj}^0$  количество  $k$ -го первичного фактора, затрачиваемого  $j$ -й компанией для получения дохода в объеме  $x_j$ , а через  $b_{kj}$  — количество  $k$ -го первичного фактора, необходимое для получения одной «единицы» дохода  $j$ -й компании. Из определения этих величин следует, что  $b_{kj}^0 = b_{kj} \times x_j$ . Таким образом, для каждой компании  $j$  имеется  $n + m$  ( $n = 3$  — это количество компаний, а  $m$  — количество факторов производства, которое одинаково для всех компаний) видов представления его выпускаемого объема:

$$x_j = \frac{a_{ij}^0}{a_{ij}}, i = 1, \dots, n; x_j = \frac{b_{kj}^0}{b_{kj}}, k = 1, \dots, m,$$

где  $a$  в числителе — это объем «импорта» товаров и услуг из  $i$ -й компании в  $j$ -ю, необходимый для получения прибыли в объеме  $X_j$  (например, это может быть весь объем поставок каких-либо машин и деталей от завода до ОАО «СПК» для того, чтобы ОАО «СПК» в заданном периоде получила прибыль в размере  $X_j$ ).

Для любых  $i$  и  $k$  моделируются следующие соотношения:

$$\frac{a_{ij}^0}{a_{ij}} = \frac{a_{kj}^0}{a_{kj}}, i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m.$$

Поэтому справедливы уравнения:

$$a_{ij}^0 = a_{ij} x_j, i, j = 1, \dots, n, \\ b_{kj}^0 = b_{kj} x_j, k = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n.$$

Суммируя обе части этих уравнений по  $j$ , получим выражения, определяющие суммарные по всем компаниям объемы затрат факторов производства:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}^0 = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j, i = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n b_{kj}^0 = \sum_{j=1}^n b_{kj} x_j, k = 1, \dots, m.$$

Так как эти уравнения относятся к товарам каждой из компаний, доход которых используется как на производство, так и на конечное потребление, то должно быть

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + c_i, i = 1, \dots, n$$

или в матричной форме  $A^*X + C = X$ .

Введем в рассмотрение матрицу  $B$ , трактуемую как технологическая матрица для первичных ресурсов, и предположим, что известен вектор  $v = (v_1, \dots, v_m)$  запасов всех первичных ресурсов, т.е.

$$\sum_{j=1}^n b_{kj}^0 \leq v_k, k = 1, \dots, m.$$

Тогда  $B \times X \leq v$ . Обозначим через  $p = (p_1, \dots, p_n)$  и  $w = (w_1, \dots, w_m)$  векторы цен вторичных и первичных ресурсов соответственно. При этом важно, при каком векторе выпуска  $x = (x_1, \dots, x_n)$  реализация конечного продукта  $c = (c_1, \dots, c_n)$  приведет к максимальному доходу с учетом наличного запаса  $v = (v_1, \dots, v_m)$  первичных ресурсов. В ответ получаем следующую задачу линейного программирования:

$$(p, c) \rightarrow \max$$

при ограничениях:

$$x = A \times x + C, B \times X \leq v, X \geq 0.$$

Так как по смыслу задачи максимизация дохода осуществляется через вектор выпуска, эту задачу целесообразно переписать, выразив в целевой функции вектор спроса  $c: (p, (E - A)X) \rightarrow \max$  при ограничениях:  $B \times X \leq v, X \geq 0$ .

По известным правилам напомним для нее двойственную задачу с  $w = (w_1, \dots, w_m): (w, v) \rightarrow \min$  при ограничениях:  $B^T W \geq p(E - A), W \geq 0$ .

Введем изменение масштаба цен  $\tilde{p} = (E - A)p$  и запишем двойственные задачи в более компактном виде:

$$(\tilde{p}, x) \rightarrow \max \text{ при ограничениях } B \times X \leq v, X \geq 0;$$

$$(w, v) \rightarrow \min \text{ при ограничениях } B^T W \geq p(E - A), W \geq 0.$$

Решение первой из них дает вектор спроса на товары  $c = c(p, w)$ , а второй — вектор предложения первичных факторов  $v = v(p, w)$ .

Получив вектор  $c = c(p, w)$ , сравним его с текущими статистическими данными, и если для рассматриваемых компаний он будет больше, чем тот уровень спроса, который они (каждая из них в отдельности) покрывают сейчас, то, следовательно, в УрФО существует потенциал-



ная возможность создания эффективно функционирующего в сфере пассажирских перевозок территориально-производственного пассажирского кластера, в состав которого войдут предприятия и организации, обладающие доказательной основой целесообразности их ассоциированной деятельности в составе кластера. Стратегия создания кластера предполагает движение в одном из следующих направлений: «сверху вниз» (с первоочередным образованием органов совещательной координации и мониторинга, определением стратегии кластера в целом и его ресурсной поддержки); «снизу вверх» (выстраивание отдельных проектов и программ, интегрирующих потенциальных участников кластера); смешанный вариант, когда параллельно во времени сочетаются оба подхода.

Анализ институциональной среды создания такого кластера свидетельствует о ее благоприятности с точки зрения его эффективного (как с позиции участников и кластера в целом, так и социально-экономических критериев развития региональной экономики) функционирования в УрФО.

За основу построения модели выбора оптимальной структуры и состава участников регионального кластера взята идея учета свойств кластера как особой моделируемой конструкции и специфики кластерного подхода к интеграции участников. Входящие в состав кластера участники должны обеспечивать в своей основе сложившуюся устойчивую систему; инновационный подход к решению вопросов, т.е. распространение новых технологий, знаний, продукции — так называемую технологическую сеть, которая опирается на совместную научную базу. Предприятия кластера имеют дополнительные конкурентные преимущества за счет возможности осуществлять внутреннюю специализацию и стандартизацию, минимизировать затраты на внедрение инно-

ваций. Наличие в их структуре малых предприятий позволит формировать инновационные точки роста экономики региона. Кластеры смогут обеспечить фирмам высокую степень специализации при обслуживании конкретной предпринимательской ниши и др.

Инвестиционные ресурсы кластера для осуществления его инновационных проектов формируются на основе как внутренних (собственных средств предприятий-участников, а также финансово-кредитных учреждений и других потенциальных инвесторов данного региона, входящих в его состав), так и внешних источников финансирования (из данного и других регионов, включая иностранных инвесторов). В соответствии с этим, инструментарий оптимизации формирования и использования инновационно ориентированных инвестиций кластера предполагает учет как источников инвестиций, так и форм взаимодействия предприятий кластера и потенциальных инвесторов. В практике могут быть использованы такие кластерные финансовые стратегии, как:

- самофинансирование;
- венчурное финансирование;
- проектное финансирование;
- заемное финансирование на основе использования долгосрочного и краткосрочного банковского кредитования.

Финансовая стратегия крупного регионального кластера может быть ориентирована на использование нетрадиционных источников финансирования, в частности лизинга, франчайзинга, лицензионных платежей и др. [8].

Таким образом, образование ТЛК будет способствовать улучшению условий развития местной и российской транспортной инфраструктуры и повышению качества экономической и социальной инфраструктуры железнодорожного транспорта. **ИТ**

## Список литературы

1. URL: [www.rzd.ru](http://www.rzd.ru)
2. Отчет Свердловского филиала ОАО «РЖД» за 2015 г. — URL: [www.rzd.ru](http://www.rzd.ru)
3. Самуйлов В. М., Покровская О. Д. Практика и эффективность формирования транспортно-логистических кластеров // Вестник УрГУПС. — 2016. — № 4 (32). — С. 76–88.
4. Самуйлов В. М., Фирстов С. В., Бронников С. А. и др. Региональный пассажирский комплекс: организация и управление (на примере железнодорожного транспорта). — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2005. — 224 с.
5. Самуйлов В. М. и др. Концепция кластерно-модульного развития транспортно-логистических и промышленных систем Курганской области // Инновационный транспорт. — 2015. — № 1 (15). — С. 8–12.
6. Самуйлов В. М., Бронников С. А. Оптимизация укрупнения предприятий пригородного пассажирского комплекса // Транспорт Урала. — 2007. — № 1 (2). — С. 89–94.
7. URL: <http://avtoreferat.seluk.ru>
8. Дышкант О. В. Кластерная модель организации крупного бизнеса как инструмент модернизации региональной экономики. — URL: <http://economy-lib.com/klaster-naya-model-organizatsii-krupnogo-biznesa-kak-instrument-modernizatsii-regionalnoy-ekonomiki#ixzz5Qrtmm3EK>.
9. Кобылицкий А. Н. Формирование рынка транспортных услуг Дальневосточного федерального округа в сфере пригородных железнодорожных перевозок. — URL: <https://dlib.rsl.ru/viewer/01005010385#?page=1>
10. URL: <http://economics.ru>

Объем статьи: 0,7 авторских листа



Владимир Сергеевич  
Тарасян

Vladimir S. Tarasyan

## Построение оптимальной траектории в неоднородной среде

### Construction of an optimal trajectory in heterogeneous environment

#### Аннотация

В настоящей работе предпринята попытка решения задачи оптимизации пути с учетом неоднородности природной среды. Задача порождена проблемой оптимизации дорожной сети района проектирования на основе имеющихся данных о сложности прокладки дороги на определенной местности, которая влияет на итоговые издержки. Оптимальность определяется минимизацией затрат на постройку дороги. При решении поставленной задачи проанализировано достаточно большое количество возможных вариантов. В связи с этим была написана программа в пакете MatLab с использованием генетических алгоритмов и классических алгоритмов поиска пути.

**Ключевые слова:** поиск пути, генетические алгоритмы, оптимизация, неоднородная среда.

#### Annotation

The article attempts to solve the problem of road optimization considering heterogeneity of the natural environment. This task was brought about by the problem of the traffic network of the area under project development on the basis of the existing data about road building difficulties on a certain locality which affects overall expenses. The optimality is determined by cost minimization to build the road. To solve the problem set we have analyzed a considerably large amount of possible variants. Therefore, the program was written in Matlab package with application of findpath genetic algorithms and classical algorithms.

**Keywords:** findpath, genetic algorithms, optimization, heterogeneous environment.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-24-28

#### Авторы Authors

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

Vladimir Sergeevich Tarasyan, PhD, Associate Professor of the Department "Mechatronics" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Russia; e-mail: VTarasyan@gmail.com

## Введение

При постройке транспортной сети, как правило, еще на этапе проектирования возникает проблема ее оптимизации. Эта проблема имеет различные уровни.

Первый уровень — стратегический. На этом этапе принимается решение о том, где будут находиться узлы транспортной сети. Они могут находиться в каких-либо фиксированных точках, например, в населенных пунктах, промышленных объектах, либо в нефиксированных точках, например, развилки и перекрестки дорог. С точки зрения математики данная задача является стандартной задачей теории графов. Для ее решения существует в достаточной степени разработанный математический аппарат, который позволяет решить эту задачу различными способами, в зависимости от размерности задачи [1]. Наличие большого числа узлов, особенно не зафиксированных на местности (например, точки Штейнера в одноименной задаче), существенно повышает объем вычислений, но тем не менее задача может быть решена, например, при использовании таких методов искусственного интеллекта, как теория нечетких множеств, генетические алгоритмы [2–5]. Здесь следует отметить, что задача малой размерности, как правило, хорошо решается без применения интеллектуальных методов.

После принятия решения на первом уровне проблемы нам приходится опускаться на второй ее уровень — тактический. Здесь необходимо принять решение о том, как именно пойдет дорога из узла *A* в узел *B*. На этом этапе следует учесть множество факторов: размещение узлов, несущую способность почвы на предполагаемом месте прокладки дороги, наличие естественных (реки, озера, горы, ущелья, леса и т.д.) и искусственных (трубопроводы, дороги других видов транспорта, каналы и т.д.) препятствий. Кроме того, следует учитывать, что стоимость постройки дороги существенно изменяется при необходимости возведения искусственных сооружений, например, мостов, туннелей. Также на этом этапе возникает задача построения компьютерной модели местности, которую можно решить, например, интеллектуальной обработкой топографических карт [6–10].

## 1. Алгоритм поиска пути

### 1.1. Классическая задача поиска пути

Поиск пути является нетривиальной математической задачей нахождения оптимального маршрута или группы маршрутов между двумя точками алгоритмическим методом.

Практическое применение решения задачи используется при моделировании различных процессов или недетерминированных машин, при работе картографиче-

ских сервисов, при расчете стоимости построения дорог через сложную местность, при построении траектории робота как часть системы машинного зрения. Пример решения задачи представлен на рис. 1.

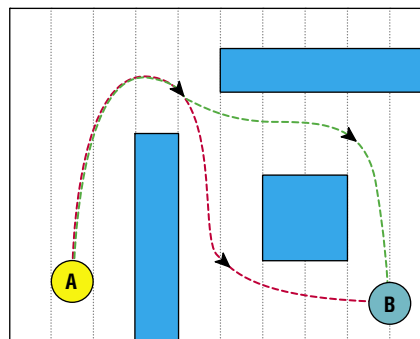


Рис. 1. Пример прохождения пути на карте с препятствиями

Задача имеет несколько типов представления: 1) на поле, разбитом на квадратные или шестиугольные ячейки и представляемом в виде планарного графа; 2) на непрерывном поле, где позиции объектов и препятствий представлены в виде непрерывных значений.

### 1.2. Задача поиска пути в неоднородной среде

Одним из расширений задачи нахождения пути в пространстве с препятствиями является появление зон высокой стоимости. Это такие зоны, что при прокладке маршрута через них значение весовой функции для этих участков будет на некоторый коэффициент  $k$  отличаться от аналогичного маршрута, проходящего вне этой зоны. Пример решения задачи представлен на рис. 2.

В этом случае основная цель задачи — минимизация весовой функции осложняется, и основные алгоритмы могут давать неверные решения либо тратить слишком много машинного времени на его поиск.

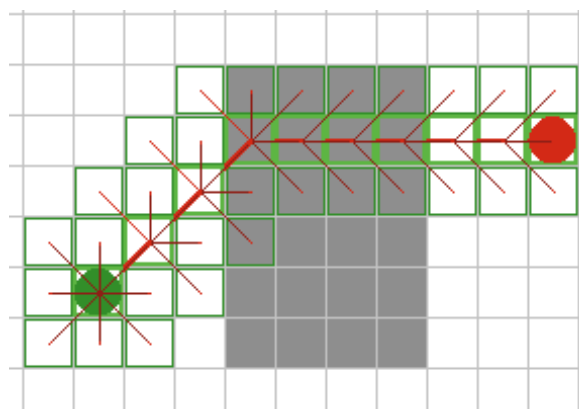


Рис. 2. Построение пути через проницаемую зону

## 2. Описание задачи

Для более четкой формализации задачи воспользуемся следующими терминами. Отметим сразу, что данные определения относятся только к поставленной задаче и могут не совпадать по смыслу с подобными терминами в других похожих задачах.

**Карта** — участок местности, на котором требуется найти оптимальный путь между двумя точками.

**Путь** — линия, соединяющая заданные точки.

**Зона** — однородный участок карты, ограниченный некоторой замкнутой линией, частью которой могут быть границы карты. Карта является совокупностью различных зон, при этом зона не обязательно должна быть односвязным множеством. Характеристикой зоны является весовой коэффициент.

**Весовой коэффициент, вес  $w$**  — некоторая функция, характеризующая сложность построения пути через зону. Материальным эквивалентом весового коэффициента является стоимость прокладки дороги.

**Стоимость пути** — функция, определяемая формулой

$$f = \sum_{k=1}^n w_k l_k,$$

где  $l_k$  — длина участка пути через  $k$ -ю зону,  $n$  — количество участков пути.

Опираясь на данные определения, мы можем сформулировать задачу следующим образом. На заданной карте требуется найти путь, имеющий минимальную стоимость.

При построении алгоритма решения задачи следует понимать, что требуемый путь может проходить не через все зоны, имеющиеся на карте, а также то, что различные пути могут иметь неодинаковое количество участков [11].

## 3. Обсуждение результатов

Для решения поставленной задачи была создана программа в среде *MatLab*. Разработка программы была разбита на два этапа: разработка функции решения

базовой задачи и разработка программы решения общей задачи (*D&C* алгоритм). Под базовой задачей понимается задача построения пути через одну зону с повышенным весовым коэффициентом, а под общей задачей — задача построения пути через несколько зон.

### 3.1. Результаты решения базовой задачи

На рис. 3–11 представлены графики работы функции при различных коэффициентах неоднородности на одном рабочем поле. Жирной линией обведена зона, весовой коэффициент которой равен  $w$ . Весовой коэффициент остальной карты принят равным единице. Как видно из рис. 3–11, если весовой коэффициент выделенной зоны равен нулю или близок к нему, программа стремится проложить путь преимущественно через эту зону. При увеличении веса выделенной зоны участок пути, проходящий через нее, уменьшается, и при некотором значении весового коэффициента предлагаемый путь просто обходит зону.

### 3.2. Результаты работы программы решения общей задачи

На рис. 12 представлена демонстрационная карта, использовавшаяся для проверки работы программы. На карте расположены три изолированные зоны с различными весовыми коэффициентами. По итогам разработки была испытана работа программы на демонстрационном рабочем поле.

Описание полей:

1. Весовые коэффициенты зон:  $w_1 = 1,5$ ;  $w_2 = 2,0$ ;  $w_3 = 2,0$ .
2. Весовые коэффициенты зон:  $w_1 = 1,5$ ;  $w_2 = 1,5$ ;  $w_3 = 2,0$ .
3. Весовые коэффициенты зон:  $w_1 = 2,0$ ;  $w_2 = 2,0$ ;  $w_3 = 2,0$ .

Результаты работы программы на различных полях приведены на рис. 13–15.

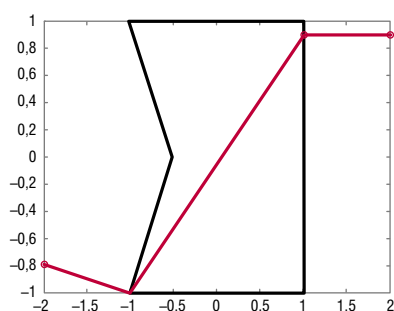


Рис. 3. Оптимальный путь при  $w = 0$

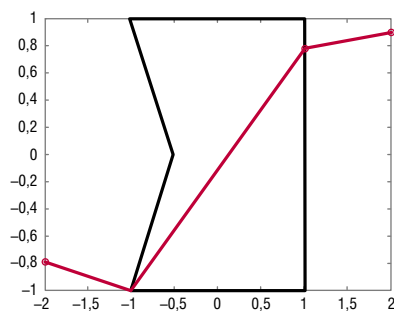


Рис. 4. Оптимальный путь при  $w = 0,2$

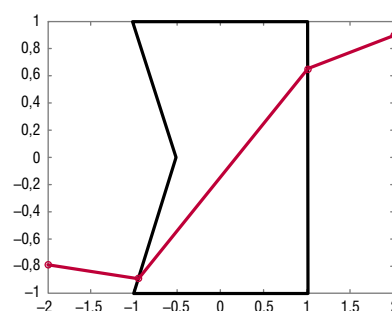


Рис. 5. Оптимальный путь при  $w = 0,4$



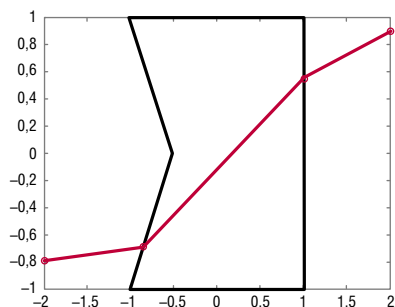


Рис. 6. Оптимальный путь при  $w = 0,6$

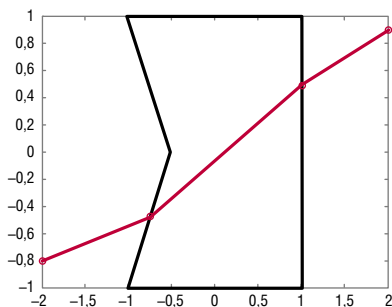


Рис. 7. Оптимальный путь при  $w = 0,8$

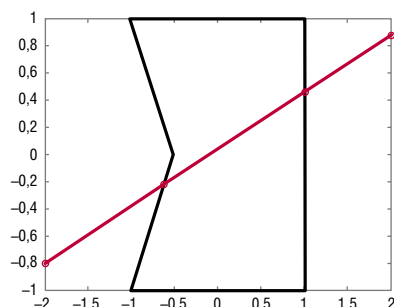


Рис. 8. Оптимальный путь при  $w = 1,0$

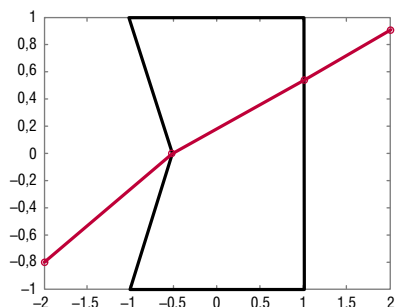


Рис. 9. Оптимальный путь при  $w = 1,2$

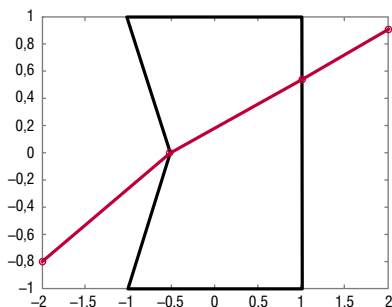


Рис. 10. Оптимальный путь при  $w = 1,4$

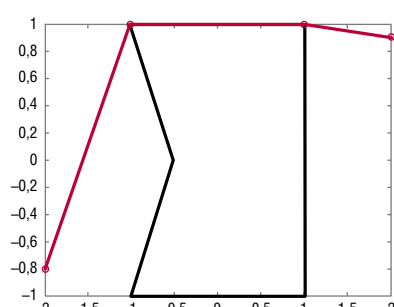


Рис. 11. Оптимальный путь при  $w = 1,6$

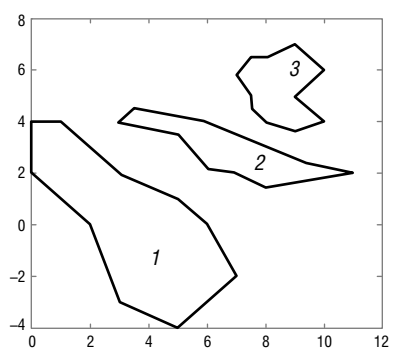


Рис. 12. Демонстрационная карта

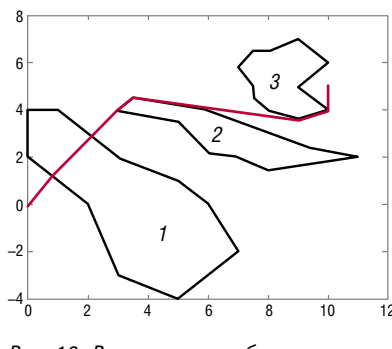


Рис. 13. Результаты работы программы на рабочем поле № 1

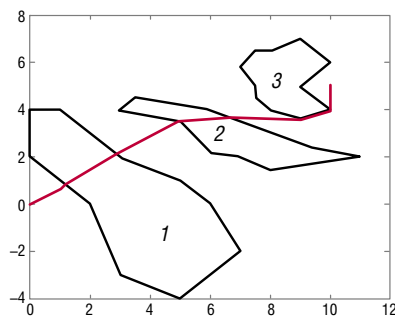


Рис. 14. Результаты работы программы на рабочем поле № 2

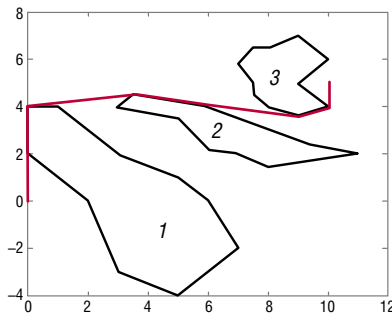


Рис. 15. Результаты работы программы на рабочем поле № 3

## Заключение

Полученные результаты позволяют предложить метод нахождения оптимального пути в системе с начальной и конечной точками маршрута и множеством препятствий. Дальнейшим развитием работы будет ее оптимизация и улучшение. Основная проблема, заключающаяся в определении оптимального маршрута, решается при помощи непрерывного генетического алгоритма, который был реализован в среде *MatLab*. [IT](#)

## Список литературы

1. Канторович Л. В., Гавурин М. К., Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков // Проблемы повышения эффективности работы транспорта : сб. ст. — М. : АН СССР, 1949. — С. 110–138.
2. Петров М. Б., Тарасян В. С., Журавская М. А. Моделирование оптимальной сети железных дорог с учетом развития транспортно-логической схемы региона // Экономика региона. — Екатеринбург, 2013. — С. 181–190.
3. Тарасян В. С., Колодкина В. Ю. Применение нечеткой кластеризации к анализу географии высокоширотного региона // Инновационный транспорт. — 2018. — № 2 (28). — С. 28–33.
4. Тарасян В. С., Тен Д. О. Оптимизация транспортной инфраструктуры при помощи генетических алгоритмов // Инновационный транспорт. — 2013. — № 3 (9). — С. 29–32.
5. Журавская М. А., Тарасян В. С. Искусственный интеллект в некоторых задачах моделирования и планирования логистических систем // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. — 2012. — № 3. — С. 89–96.
6. Тарасян В. С., Дмитриев Н. В. Интерполяция распределенных данных горизонталей для получения цифровой модели рельефа // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 1 (48). — С. 85.
7. Тарасян В. С., Дмитриев Н. В. Восстановление плана горизонталей при обработке топографических карт // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2017. — № 1. — С. 56–60.
8. Тарасян В. С., Дмитриев Н. В. Сравнение методов сегментации пикселей топографических карт по типам объектов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2016. — № 3. — С. 97–106.
9. Дмитриев Н. В., Тарасян В. С. Автоматизированная система распознавания символов на топографических картах // Концепт : научно-методический электронный журнал. — 2016. — № S 11. — С. 1881–1885.
10. Тарасян В. С., Дмитриев Н. В. Интеллектуальная система анализа и преобразования топографических карт // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2–2. — С. 16.
11. Тарасян В. С., Полушкин А. Я. Оптимизация пути в неоднородной среде // Фундаментальные исследования. — 2017. — № 10–2. — С. 296–300.

Объем статьи: 0,44 авторских листа



Геннадий Львович  
Аккерман

Gennady L. Akkerman



Анна Станиславовна  
Носкова

Anna S. Noskova

## Определение мест выброса пути по данным прохода вагонов-путеизмерителей

### Designation of track buckling points according to geometry cars data

#### Аннотация

Статья посвящена решению актуальной задачи, связанной с прогнозированием участков с низким запасом устойчивости пути, что на сегодняшний день позволит решить одну из наиболее острых проблем, связанных с эксплуатацией и увеличением протяженности бесстыкового пути. Предложено ранжировать участки неровностей пути в плане, выявленных в результате прохода вагонов-путеизмерителей, по таким параметрам, как скорость и ускорение изменения отступлений в плане по уклону отвода стрелы изгиба, величине стрелы изгиба по длине и времени.

**Ключевые слова:** бесстыковой путь, неровность пути в плане, скорость, ускорение, анализ, вагон-путеизмеритель, аппроксимация, выброс пути.

#### Annotation

The article is focused on solving the crucial task connected with prognostication of sections with track low stability factor that enables to solve one of the most crucial problems related to exploitation and enlargement of continuous welded rail track. The authors suggest ranging of track irregularity sections in the plan, which were found after passing geometry cars, by such parameters as speed and acceleration of the plan deviation changes by sloping of deflexion boom exit, value of deflexion boom in length and time.

**Keywords:** continuous welded rail track, track irregularity in the plan, speed, acceleration, analysis, geometry car, approximation, track buckling.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-29-32

#### Авторы Authors

Геннадий Львович Аккерман, д-р техн. наук, профессор кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Анна Станиславовна Носкова, Свердловская дирекция инфраструктуры Свердловской железной дороги (СП ЦДИ СвЖД), Екатеринбург; e-mail: anna-noskova-1995@mail.ru

Gennady Lvovich Akkerman, Doctor of tech. science, Professor of the Track and Railway Construction chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg | Anna Stanislavovna Noskova, Sverdlovsk managerial office of Sverdlovsk railway infrastructure, Ekaterinburg; anna-noskova-1995@mail.ru

На сегодняшний день современные комплексы мониторинга железнодорожного пути позволяют контролировать различные параметры, по которым можно дать оценку фактического его состояния. Однако применяемого на практике общепризнанного алгоритма, по которому можно прогнозировать появление мест выброса пути по данным вагонов-путеизмерителей, до сих пор нет.

Предлагаемая методика основана на использовании «глубинной» информации лент, которая позволяет без особых материальных затрат прогнозировать места с пониженной устойчивостью против выброса пути.

Опасность выброса пути зависит от скорости и ускорения возрастания неровности по величине стрел изгиба и длине и изменении этих параметров во времени.

Анализ выполнен на примере лент, полученных с вагонов-путеизмерителей, с выявлением четырех рихтовок на протяжении одного километра. Характер изменения во времени выявлен в результате рассмотрения лент за три летних месяца (табл. 1). Пример одной из путеизмерительных лент, использованных при расчете, представлен на рис. 1.

Каждая неровность пути в плане аппроксимирована уравнением параболы по трем узлам:

$$f = a \cdot x^2 + b \cdot x + c, \quad (1)$$

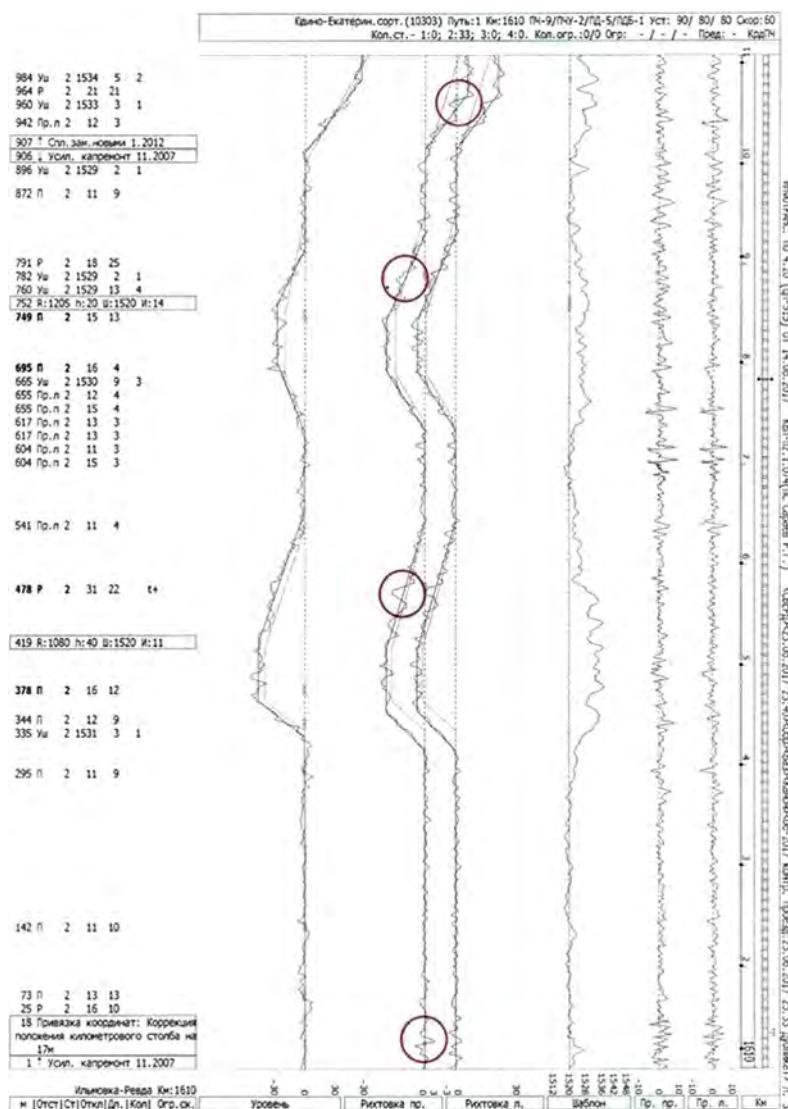


Рис. 1. Путеизмерительная лента

где  $f$  — величина отступления в плане (амплитуда рихтовки);  $a, b, c$  — коэффициенты уравнения, получае-

мые в результате аппроксимации по узлам;  $x$  — параметр, по которому производят анализ (длина, время).

Таблица 1

Сводная таблица результатов проходов вагонов-путеизмерителей

№ отклонения	Перегон: Ильмовка — Ревда	Степень отступления	Отклонение (мм) / длина (м)		
			23 июня	08 июля	24 августа
Рихтовка № 1	1610 км ПК 0+23 м	II	16/10	14/9	16/10
Рихтовка № 2	1610 км ПК 4+76 м	II	31/22	31/22	25/23
Рихтовка № 3	1610 км ПК 7+88 м	II	18/25	19/24	18/25
Рихтовка № 4	1610 км ПК 9+61 м	II	21/21	17/18	20/20



В качестве примера аппроксимации неровности пути в плане параболой использована рихтовка № 1 (рис. 2).

Взяв первую производную, определили скорость изменения отклонения, взяв вторую, получили ускорение изменения отклонения:

$$\frac{df}{dx} = 2 \cdot a \cdot x + b, \quad (2)$$

$$\frac{d^2f}{dx^2} = 2 \cdot a \cdot x. \quad (3)$$

Анализируя скорость изменения уклона отвода стрелы изгиба, т.е. его ускорение, по полученным отрицательным значениям отслежена тенденция уменьшения угла отвода неровности. Замечено, что при постоянном значении стрелы изгиба рихтовки длина неровности растет.

Анализ скорости и ускорения изменения величины стрелы изгиба и длины неровности пути в плане показал, что некоторые из рихтовок имеют отрицательное значение ускорения. Это говорит о том, что рост рихтовки замедлен, а при положительном значении происходит ускорение роста величины рихтовки.

Результаты расчетов и ранжирование наиболее опасных вариантов по полученным ускорениям от максимального значения к минимальному приведены в табл. 2–4.

Из таблиц видно, что рихтовки № 4 и № 1 подвержены риску возникновения выброса пути, так как ускорение их стрел изгиба и длин неровности максимальны. Тогда возникает необходимость определить, для какой из этих двух рихтовок наступление максимально допустимого значения стрелы изгиба неровности произойдет раньше при отсутствии выполнения планово-предупредительных работ (рис. 3). Для этого в качестве максимально допустимого значения принят самый неблагоприятный вариант, т.е. закрытие движения поездов [2].

Подставляя в полученные ранее уравнения парабол фактические и максимальные значения стрел изгиба неровностей, определили время, в течение которого фактическое значение рихтовки вырастет до предельно допустимого значения.

$$f_{\text{факт}} = a \cdot x^2 + b \cdot x + c, \quad (4)$$

$$t_{\text{факт}} = \frac{\pm \sqrt{b^2 - 4a \cdot c - b}}{2 \cdot a}, \quad (5)$$

$$f_{\text{макс.доп}} = a \cdot x^2 + b \cdot x + c, \quad (6)$$

$$t_{\text{макс.доп}} = \frac{\pm \sqrt{b^2 - 4a \cdot c - b}}{2 \cdot a}, \quad (7)$$

$$\Delta t = t_{\text{макс.доп}} - t_{\text{факт}}, \text{ мес.} \quad (8)$$

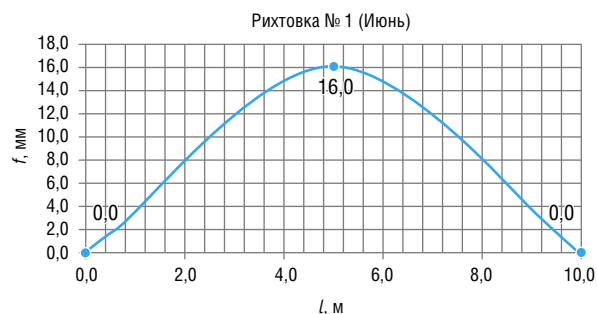


Рис. 2. Аппроксимация параболой рихтовки

Таблица 2

Сводная таблица с ранжированием скорости изменения уклона отвода рихтовок

№ рихтовки	Параметр	Ускорение, мм/м <sup>2</sup>
3	<i>i</i>	-0,23
4	<i>i</i>	-0,40
2	<i>i</i>	-0,47
1	<i>i</i>	-0,55

Таблица 3

Сводная таблица с ранжированием ускорения роста стрел изгиба рихтовок

№ рихтовки	Параметр	Скорость, мм/мес.			Ускорение, мм/мес <sup>2</sup>
		Июнь	Июль	Август	
4	<i>f</i>	-7,5	-0,5	6,5	7,0
1	<i>f</i>	-4,0	0,0	4,0	4,0
3	<i>f</i>	2,0	0,0	-2,0	-2,0
2	<i>f</i>	3,0	-3,0	-9,0	-6,0

Таблица 4

Сводная таблица с ранжированием ускорения роста длины рихтовки

№ рихтовки	Параметр	Скорость, м/мес.			Ускорение, м/мес <sup>2</sup>
		Июнь	Июль	Август	
4	<i>l</i>	-5,5	-0,5	4,5	5,0
1	<i>l</i>	-2,0	0,0	2,0	2,0
3	<i>l</i>	-2,0	0,0	2,0	2,0
2	<i>l</i>	-0,5	0,5	1,5	1,0

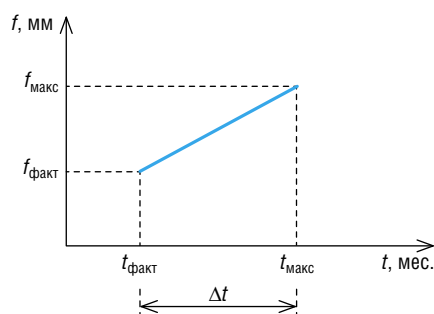


Рис. 3. Схема определения наступления максимально допустимого значения величины отступления

Расчетами установлено, что рихтовка № 4 является самой опасной, так как у нее максимальное значение стрелы изгиба неровности наступит раньше, чем у рихтовки № 1.

После выявления самого опасного участка разрабатывают стандартные мероприятия по повышению устойчивости рельсошпальной решетки, такие как регулировка напряжений в зоне отступления, пополнение и (или) уплотнение балластной призмы, частичная замена неисправных скреплений, протяжка болтов и (или) шурупов и т.д.

Таким образом, результатом всех операций является выявленная неровность пути в плане, которая наиболее подвержена выбросу пути, что является прямой угрозой для безопасного движения поездов.

Одним из способов уменьшения влияния человеческого фактора является автоматизация процесса. При составлении алгоритма решения какой-либо задачи и реализации его на базе программного комплекса влияние человеческого фактора будет сведено к минимуму, что, в свою очередь, повысит достоверность результатов. **ИТ**

## Список литературы

1. Ашпиз Е. С., Гасанов А. И., Глюзберг Г. Е. Железнодорожный путь. — М. : Транспорт, 2014. — 544 с.
2. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения : утв. МПС РФ № ЦП-515 от 14.10.1997.
3. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2544р. — М., 2016.
4. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2788/р. — М., 2016.

Объем статьи: 0,34 авторских листа



**Юрий Викторович  
Горелов**

**Yuri V. Gorelov**



**Ольга Сергеевна  
Горнева**

**Olga S. Gorneva**



**Людмила Сергеевна  
Горелова**

**Ludmila S. Gorelova**



**Дарья Юрьевна  
Горелова**

**Daria Y. Gorelova**

## Результаты обследования железобетонного путепровода рамного типа

### Examination results of the reinforced framed crossover

#### Аннотация

В статье представлены результаты обследования железобетонного путепровода рамного типа, который находится в эксплуатации более 80 лет (с 1938 г.). Многолетняя работа конструкций путепровода из-за уменьшения прочности железобетона привела к снижению несущей способности элементов конструкции, к обнажению рабочей арматуры, образованию многочисленных коррозионных трещин. В статье проведены расчеты основных элементов конструкций и дана оценка технического состояния путепровода.

**Ключевые слова:** обследование, железобетонный рамный путепровод, износ моста, трехпролетная рама, плита балластного корыта, армирование, физический износ бетона и арматуры, стойки рамы, расчетная схема.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-33-38

#### Annotation

The article presents the examination results of the reinforced framed crossover which had been operating for over 80 years (since 1938). Long-term operation of crossover structures due to reinforced concrete strength degradation resulted in load-carrying capability reduction of structure elements, exposed reinforcement, numerous corrosion cracks. The article gives calculations of basic structure elements and assessment of crossover technical condition.

**Keywords:** examination, reinforced framed crossover, bridge wear, three-bay frame, mallet plate slab, reinforcement, physical wear of concrete and reinforcement, frame poles, structural design

#### Авторы Authors

**Юрий Викторович Горелов**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Ольга Сергеевна Горнева**, канд. архитектуры, доцент кафедры «Строительные конструкции и строительное производство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Людмила Сергеевна Горелова**, старший преподаватель кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Дарья Юрьевна Горелова**, ассистент кафедры «Строительные конструкции и строительное производство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Yuri Viktorovich Gorelov**, Candidate of tech. science, Associate Professor, "Bridges and transport tunnels" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg | **Olga Sergeyevna Gorneva**, Candidate of Architecture, Associate Professor, "Construction structures and Construction operations" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg | **Ludmila Sergeyevna Gorelova**, senior Teacher, "Car designing and operation" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg | **Daria Yurievna Gorelova**, Assistant Professor, "Construction structures and Construction operations" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg

## Введение

В статье нашли отражение результаты обследования наземного железобетонного путепровода рамного типа. Путепровод, как можно предполагать при наличии скудной документации, датирован 1938 годом, находится в эксплуатации более 80 лет.

Многолетняя работа конструкций путепровода в условиях агрессивной среды привела к значительному повреждению конструкций и снижению их несущей способности. В железобетонном рамном путепровode наблюдается уменьшение прочности бетона, отслаивание защитного слоя рабочей арматуры, образование коррозионных трещин вдоль арматурных стержней, значительной коррозии оголенной арматуры. Отсутствует сопряжение путепроводов с конусами насыпи, имеются дефекты мостового полотна.

В связи со значительным износом моста были проведены расчеты основных несущих конструкций, которые осложнялись отсутствием в полном объеме проектной документации.

В заключение дана оценка технического состояния обследуемого путепровода и рекомендации о его ограниченной эксплуатации, усилении и восстановлении конструкции.

## Краткая характеристика объекта

Путепровод рамного типа, монолитный, железобетонный, под железную дорогу нормальной колеи 1524 мм. Конструкция путепровода — трехпролетная рама по схеме  $9 + 12 + 9$  м, состоящая из двух плоских рам, связанных между собой плитой балластного корыта и поперечными балками — диафрагмами. Средние парные стойки соединены между собой распорками. Сопряжение рамного путепровода с насыпями решено посредством крайних стоек, входящих в конусы насыпей.

За период эксплуатации проводились восстановительные ремонты, заключающиеся в обновлении слоя бетона, что видно при визуальном осмотре путепровода.

Путепровод расположен на прямом участке пути с нулевым циклом. Нагрузки на путепровод: тепловоз ТГМ6А с общим весом 80 т с нагрузкой на ось 22,5 т и шлаковозы с общим весом 89 т и нагрузкой на ось 22,5 т.

Мостовое полотно балластного типа на деревянных шпалах. Балласт в виде шлака металлического производства. Из этого же материала сложены прилегающие к путепроводу насыпи. Перила путепровода запроектированы из сложных железобетонных стенок, чтобы предохранить пространство под путепроводом от попадания брызг расплавленного шлака.

Размеры пролетов по осям стоек: средний — 12000 мм; крайние 9000 мм; соотношение пролетов  $l_2 = 0,75 l_1$ . Сечение ригелей рам — переменное с ву-

тами. Высота ригеля во всех пролетах одинакова — 1300 мм, ширина — 650 мм.

В поперечном направлении стойки рамы парные сечением  $900 \times 800$  мм, связанные между собой распорками сечением  $600 \times 950$  мм.

Плита балластного корыта неразрезная двухконсольная, общая ширина плиты 5200 мм, длина консольных свесов  $l_k = 1275$  мм с сечением, изменяющимся от 300 в заделке защемления в ригеле рам, пролет в свету 1350 мм, усилена вутами.

Поперечные балки — диафрагмы сечением  $250 \times 700$  мм, расположены с шагом 3000 мм; в сечениях между стойками рам поперечные балки более мощные и имеют сечение  $600 \times 700$  мм. Со стороны насыпей ригели имеют консольный выступ — 1300 мм.

Армирование плиты балластного корыта, согласно обнаруженным чертежам, представляет собой следующее: верх плиты армирован стержнями  $6\varnothing 12$  мм,  $l = 5340$  мм на 1 п.г. в поперечном направлении. Из плиты консольные участки  $6\varnothing 12$  мм,  $l = 2550$  мм средний участок  $6\varnothing 12$  мм,  $l = 2180$  мм. Диафрагмы армированы стержнями  $8\varnothing 16$  мм,  $l = 2850$  мм (на одну диафрагму). Хомуты  $2\varnothing 8$  мм,  $l = 2250$  мм.

Армирование ригелей и стоек рамного путепровода не сохранилось, но, по результату предыдущих обследований, средние части ригелей армированы  $10\varnothing 32$  мм, стойки  $20\varnothing 32$  мм. Хомуты у ригелей  $\varnothing 8$  мм с шагом 350 мм; стоек  $\varnothing 10$  мм с шагом 200 мм.

## Результаты проведенного обследования

### 1. Техническое состояние конструкций

При освидетельствовании объекта основное внимание было уделено оценке степени физического износа бетона и арматуры, обусловленного длительной эксплуатацией в условиях агрессивной среды заводской территории и проливов расплавленного шлака на верхнее строение путепровода.

Защитный слой бетона до 40 % площади поверхности разрушен. Разрушение защитного слоя бетона с оголением арматуры наблюдается по всей нижней поверхности плиты балластного корыта. По нижним граням ригелей защитный слой бетона при текущих ремонтах восстанавливается цементным раствором весьма некачественно. В настоящее время наблюдается как разрушение первоначального защитного слоя (рис. 1), так и разрушение восстановленного защитного слоя (рис. 2). На оголенных участках арматуры видно повреждение их коррозией.

Толщина продуктов коррозии рабочих стержней арматуры ригеля на оголенных участках достигает 4...8 мм рыхлого слоя.



По различному цвету поверхности бетона видно, что защитный слой восстанавливался. Низкое качество работ не способствовало улучшению работы конструкции. Практически вся поверхность конструкции путепровода подверглась растрескиванию и разрыхлению. Такой защитный слой легко пропускает влагу, вследствие чего арматура под ним не получает защиты, а продолжает корродировать. По длине стоек наблюдаются наметившиеся сколы углов (рис. 2), при механическом воздействии они обрушаются.

Значительные повреждения наблюдаются в консольной части плиты с северной стороны путепровода. Сквозные отверстия — вывалы с площадью, приблизительно равной квадратному метру, с ржавой деформированной арматурой (рис. 3) расположены на расстоянии 4 м от стойки на центральном пролете и 3 м на крайнем пролете. Для поддержания балласта сверху вывалы закрыты металлическими листами. Расстояния от краев вывалов до корня консоли 15...35 см.

Бетонное ограждение почти полностью разрушено (рис. 3).

Наблюдаются продольные трещины по ригелю и по стойкам рамы с небольшим раскрытием. Косых трещин на опорах, поперечных трещин в пролетах балок не обнаружено. Имеются участки конструкции, например, на внутренних боковых поверхностях ригелей, на стойках, сохранившие неповрежденный защитный слой бетона.

Сопряжение путепровода с насыпью разрушено (рис. 3). Согласно действующим нормативным документам [1, п. 1.7], прилегающая к насыпи часть устоя или свободной консоли должна входить в конус на величину не менее 1,0 м (по проекту это расстояние было 1,7 м). Откосы конусов обсыпного типа должны иметь уклон не круче 1:1,5. В настоящее время сопряжение моста с насыпью осуществляется специальными ограждениями, сделанными из вер-

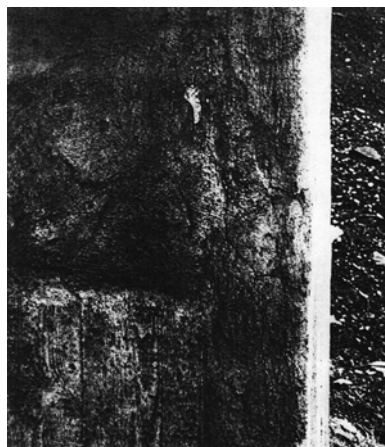


Рис. 1. Растрескивание защитного слоя арматуры из цементного раствора на стойках рамы



Рис. 2. Скалывание углов стоек рамы

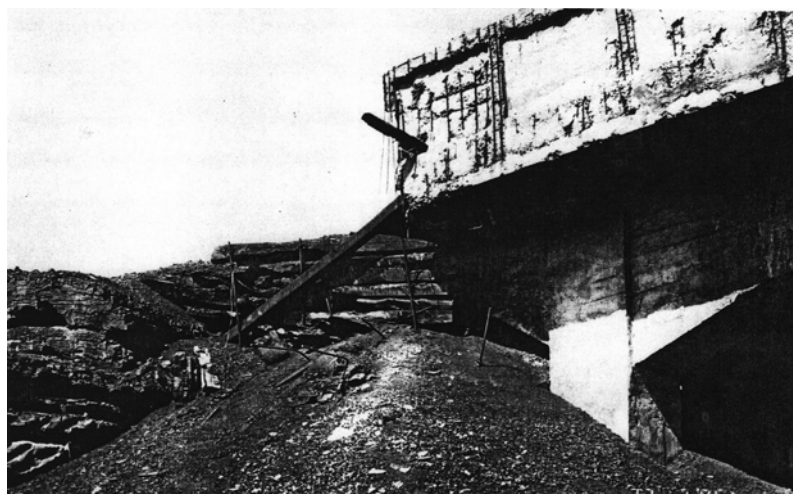


Рис. 3. Сопряжение путепровода с насыпью

тикальных и горизонтальных металлических листов и деревянных старогондних шпал.

Толщина слоя балласта не превышает 20...25 см, под шпалой толщина слоя балласта находится в пределах 5...8 см, что недопустимо. Толщина слоя балласта под шпалой в подрельсовой зоне должна быть не менее 25 см. В исключительных случаях допускается толщина слоя балласта не менее 15 см под шпалой [2, п. 2.6].

За счет толщины балласта временная нагрузка распределяется на более широкую площадь при передаче ее на пролетное строение путепровода. Небольшой слой балласта

приводит к тому, что нагрузка распределена на меньшую площадь.

Ось пути не совпадает с осью пролетного строения. Эксцентриситет составляет под стойкой № 1 — минус 15 см; в середине среднего пролета — 6 см, над стойкой № 4 — 10 см. Несовпадение оси пути с осью пролетного строения приводит к неравномерному погружению временной нагрузки элементов путепровода. Охранные приспособления в виде контрглов или контррельсов отсутствуют. В качестве балласта используют шлак.

В результате можно сделать вывод, что основные повреждения конструкции путепровода рамного типа

связаны в основном с воздействием агрессивной среды и времени. Эти повреждения выражаются в виде разрушения защитного слоя бетона, коррозии арматуры, вывалов на консольную часть балластного корыта и полного разрушения ограждения.

## 2. Расчет конструкции рамного путепровода

Статический расчет конструкции путепровода рамной конструкции из железобетона выполнялся на ПК с использованием расчетного комплекса «ЛИРА», реализующего метод конечных элементов. Количество узлов — 39, количество конечных элементов — 38. При расчете использована плоская схема, учтены нагрузки от собственного веса конструкции рамы, веса балласта; временная нагрузка от подвижного состава; горизонтальное давление грунта от собственного веса грунта на крайние стойки рамы; нагрузки от горизонтального давления грунта, вызванные временной, находящейся на призме обрушения. Нагружение временной нагрузкой проводилось с помощью 4 шлаковозов, находящихся на конструкции рамного путепровода (рис. 4).

Все расчеты проводились в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03–84 «Мосты и трубы».

## 3. Расчет ригеля рамы

Ригель рамы трехпролетный, с одинаковой высотой сечения в пролетах 130 см и с вутами, в примыканиях к опорам. Ширина ригеля 65 см. Расчетные пролеты 9 м + 12 м + 9 м.

Нагрузки:

1. Нагрузку от собственного веса конструкции программа «ЛИРА» определяет сама, используя геометрические размеры сечений.

2. Нагрузка от балласта с верхним строением пути  $h_0 = 25$  см:

нормативная — 1,30 т/м;

расчетная — 1,69 т/м.

3. Нагрузка от ограждения:

нормативная — 0,33 т/м;

расчетная — 0,36 т/м.

4. Временная нагрузка от шлаковозов:

нормативная на ось — 22,5 т;

расчетная:

$$\gamma_B \cdot (1 + \mu) \cdot 22,5 = 1,264 \cdot 1,313 \cdot 22,5 = 37,33 \text{ т.}$$

5. Нагрузка от горизонтального давления грунта на стойку шириной 80 см изменяется равномерно, внизу достигает 5 т/м<sup>2</sup>.

6. Нагрузки от горизонтального давления грунта, вызванные подвижной нагрузкой, находящейся на насыпи подходов, приняты равномерными и определены по формуле:

$$q \cdot \gamma_B \cdot \lambda_0 = 7,6 \cdot 1,2 \cdot 0,3 = 3,0 \text{ т/м}^2.$$

На стойку шириной 80 см — 2,4 т/м.

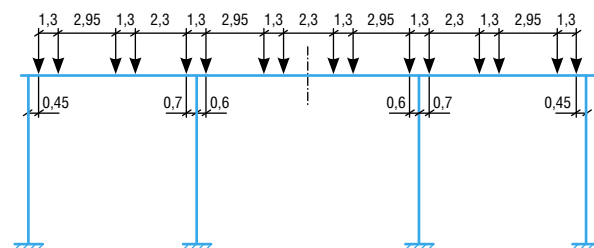


Рис. 4. Приложение временной нагрузки

7. Горизонтальная составляющая подвижной нагрузки — нагрузка от торможения или сила тяги для подвижного состава железных дорог составляет 10 % от временной подвижной вертикальной нагрузки.

Приложена эта нагрузка на расстоянии 2,2 м от головки рельс. В расчете к каждому узлу ригеля рамы была приложена нагрузка в виде горизонтальной силы и момента. Значение горизонтальной составляющей — 1,76 т; момента — 4,4 т к узлу.

В результате расчета были получены значения внутренних усилий в каждом конечном элементе.

Максимальные значения усилий в ригеле рамы находятся в середине среднего пролета, в опорном сечении крайнего пролета. Для этих сечений проведем расчет.

Сечение в середине пролета (рис. 5).

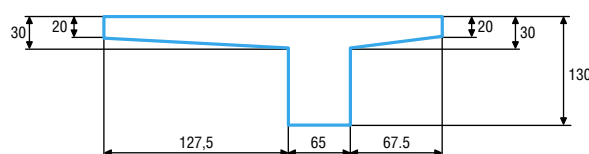


Рис. 5. Сечение в середине пролета

Значение изгибающего момента по результатам расчета равно:

$$M_P = 90,17 \text{ тм.}$$

$$h = 130 \text{ см; } h_0 = 130 - 10 = 120 \text{ см;}$$

$$h_f' = 25 \text{ см; } b_f' = 135 \text{ см (с учетом ослабления отверстием).}$$

$$b = 65 \text{ см; } R_S = 1900 \text{ кг/см}^2; R_B = 112 \text{ кг/см}^2.$$

Площадь сечения арматуры с учетом коррозии 10Ø28  $A_S = 61,5 \text{ см}^2$ .

Высота сплошной зоны, проходящей в полке:

$$X = \frac{R_s A_s}{R_b \cdot b_f} = \frac{1900 \cdot 61,5}{112 \cdot 135} = 7,72 \text{ см.}$$

Несущая способность сечения:

$$M = R_s \cdot A_s (h_0 - 0,5X) = 1900 \cdot 61,5 (120 - 0,5 \cdot 7,72) = 13570959 \text{ кгс} \cdot \text{см} = 135,7 \text{ тм.}$$

135,7 тм > 90,17 тм. Сечение по прочности удовлетворяет.

Сечение ригеля под опорой в месте сопряжения.

Сечение прямоугольное 65×130 см.  $h_0 = 130 - 10 = 120$  см.

Площадь арматуры с учетом коррозии  $8 \times \varnothing 28$   $A_s = 49,2$  см.

Высота сжатой зоны:

$$X = \frac{1900 \cdot 49,2}{65 \cdot 112} = 12,8 \text{ см.}$$

Несущая способность сечения:

$$M = R_b \cdot b \cdot X (h_0 - 0,5X) = 112 \cdot 65 \cdot 12,8 (120 - 0,5 \cdot 12,8) = 10585702 \text{ кг} \cdot \text{см} = 105,8 \text{ тс} \cdot \text{м.}$$

Действующий опорный момент по результатам расчета — 126,3 тм.

Несущая способность сечения недостаточна. Дефицит составляет 16,2 %.

#### 4. Расчет стойки рамы

Наиболее нагружена средняя стойка рамы, поэтому расчет делаем для нее. Ввиду незначительных изгибающих моментов стойку рассчитываем как сжатый элемент при случайных эксцентриситетах с фактическим рабочим сечением бетона 85×75 см и арматуры 20× $\varnothing 28$  (рис. 6).

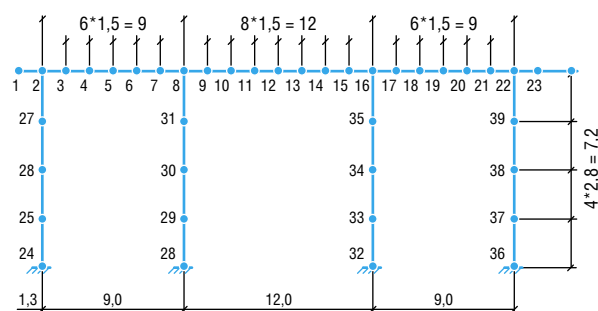


Рис. 6. Расчетная схема рамы

По данным статистических расчетов на ЭВМ, продольная сила на уровне фундамента составила  $N = 185,95$  т. Несущая способность стойки:

$$N_f = \eta \cdot \varphi (R_b \cdot \gamma_b \cdot A + \Sigma A_s \cdot R_s) = 1 \cdot 0,35 (112 \cdot 0,9 \cdot 6375 + 123 \cdot 1900) = 306705 \text{ кгс} = 306,7 \text{ тс.}$$

306,7 тс > 185,97 тс. Несущая способность стойки обеспечена.

#### 5. Расчет плиты балластного корыта

Плита балластного корыта опирается на главные балки (ригели рамы) и на диафрагмы. Расстояние между главными балками в свету 135 см, между диафрагмами — 275 см.

Плита балластного корыта между ребрами главных балок упруго защемлена по двум сторонам и работает как балка с расчетным пролетом, равным величине расстояния между ребрами в свету, увеличенной на толщину плиты:  $l_{пл} = l_0 + h_{пл} = 135 + 20 = 155$  см. Толщина плиты в пролете 20 см, к главным балкам толщина плиты увеличивается до 30 см.

Наружная часть плиты работает как консоль, защемленная одной стороной в ребре балки (ригеля рама), ее толщина также переменная от 20 см до 30 см от края консоли к ребру. Длина консоли 127,5 см. В направлении поперек пролета расчетная ширина принимается равной 100 см.

Расчет плиты балластного корыта показал, что прочность сечения не обеспечена. Дефицит составляет 13 %. Однако, если учитывать дефекты плиты балластного корыта: сквозные провалы на внешней консоли плиты, то несущая способность конструкции в этой зоне не обеспечена.

### Заключение по результатам обследования

#### 1. Оценка технического состояния конструкции железобетонного путепровода

1. Под влиянием времени и различных неблагоприятных факторов, в том числе агрессивной производственной среды комбината, прочностные свойства бетона значительно ухудшились. По проекту прочность бетона составляла  $R_{28} = 170$  кг/см<sup>2</sup>, в настоящее время  $R_{пр}^p = 112$  кг/см<sup>2</sup> (призмная прочность).

2. В результате разрушения защитного слоя бетона приблизительно на 35–40 % поверхности конструкций путепровода и длительного воздействия неблагоприятных факторов произошла коррозия арматуры, в том числе и рабочей. Процент повреждения рабочей арматуры от коррозии составил 12–15 %.

3. В результате коррозии арматуры и уменьшения прочности бетона несущая способность путепровода уменьшилась. Дефицит несущей способности составляет 15–20 %.

4. Разрушено сопряжение путепровода с насыпью. Согласно действующим нормам, концевые части путепровода должны входить в конуса насыпи на величину не менее одного метра. Откосы концов насыпи должны быть не круче 161,5 [1].

5. Толщина слоя балласта под шпалой не соответствует требованиям норм [2] — 25 см. Отсутствуют охранные приспособления.

6. В соответствии с градацией технического состояния путепровод находится в состоянии, близком к недопустимому.

Для более точной оценки требуется детальная проверка со вскрытием защитного слоя бетона в наиболее напряженных сечениях конструкции и определение степени износа арматуры, а также испытание конструкции путепровода под нагрузкой.

## 2. Выводы и рекомендации

1. Техническое состояние несущих конструкций обследуемого путепровода оценивается как ограниченно работоспособное, близкое к недопустимому (аварийному). Такое состояние конструкций обусловлено:

а) снижением прочностных характеристик материалов под влиянием времени и неблагоприятной окружающей производственной среды комбината;

б) повреждением и коррозией арматуры железобетонных конструкций вследствие разрушения защитного слоя бетона;

в) наличием локальных повреждений (сколы бетона, сквозные отверстия в консолях железобетонной плиты балластного корыта, погнутости металлических элементов).

2. Из несущих конструкций железобетонного путепровода рамного типа в наиболее опасном состоянии находятся ригели рам, несущая способность которых не соответствует уровню действующих нагрузок. Они в первую очередь нуждаются в усилении. Так, если дефицит несущей способности 20 %, то уровень воздействия подвижной нагрузки должен быть снижен до 80 % от расчетной.

3. Путепровод требует восстановления сопряжения с конусами насыпи. Задние грани устоев и концы рамного путепровода должны заходить в конус насыпи не менее 1,0 метра. Требуется восстановления до проектных норм и конструкция мостового полотна.

4. До начала усиления несущих конструкций путепровода необходимо осуществлять регулярный надзор за состоянием конструкций и поведением их под нагрузкой. **ИТ**

## Список литературы

1. СНиП 2.05.03–84. Мосты и трубы / Госстрой России. — М. : ГУП ЦПП, 2000. — 214 с.
2. СП 13–102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений / Госстрой России. — М. : ГУП ЦПП, 2003. — 31 с.
3. СНиП 1–03–81. Стальные конструкции / Госстрой СССР. — М. : ГУП Госстроя СССР. — 2000. — 96 с.
4. СНиП 2.03.01–84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. — М. : ГУП Госстроя СССР. — 2000. — 79 с.
5. Мосты и тоннели на железных дорогах : учебник для вузов / В. О. Осипов, В. Г. Храпов, Б. В. Бобриков и др. ; под ред. В. О. Осипова. — М. : Транспорт, 1988. — 367 с.
6. Проектирование металлических мостов : учебник / А. А. Петропавловский, Н. Н. Богданов, Н. Г. Бондарь и др. ; под ред. А. А. Петропавловского. — М. : Транспорт, 1982. — 380 с.
7. Никонов И. Н. Искусственные сооружения железнодорожного транспорта. — 3-е изд., доп. и перераб. — М. : Всесоюз. изд. полиграф. объединение МПС, 1963. — 339 с.
8. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский Промстройинипроект. — М. : Стройиздат, 1990. — 176 с.
9. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП П–23–81\*) / Укринипроектстальконструкция. — М. : Стройиздат, 1989. — 159 с.

Объем статьи: 0,61 авторских листа





Константин Анатольевич  
Паршин

Konstantin A. Parshin



Екатерина Валерьевна  
Паршина

Ekaterina V. Parshina

## Практика применения системы менеджмента бизнеса ISO 9001:2015 для повышения эффективности трудовых ресурсов предприятия железнодорожного транспорта

### Application of ISO 9001:2015 business management system for human resources efficiency improvement at a railway enterprise

#### Аннотация

В статье рассматривается опыт разработки и внедрения подсистемы «Матрица компетенций» программного продукта управления проектами Redmine для реализации требований системы менеджмента бизнеса ISO 9001:2015 на предприятии железнодорожного транспорта и повышения эффективности его функционирования.

**Ключевые слова:** матрица компетенций, система менеджмента бизнеса, система менеджмента качества, проектирование, Redmine.

#### Annotation

The article looks upon experience of elaboration and introduction of Redmine project management program product subsystem "Competence matrix" for realization of ISO 9001:2015 business management system requirements at a railway enterprise and its functioning efficiency improvement.

**Keywords:** competence matrix, business management system, quality management system, designing, Redmine.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-39-44

#### Авторы Authors

Константин Анатольевич Паршин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные технологии и защита информации» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Екатерина Валерьевна Паршина, канд. техн. наук, ведущий инженер НИЛ «КСА» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Konstantin Anatolievich Parshin, Candidate of tech. science, Associate Professor of "Information technology and Information security" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg | Ekaterina Valerievna Parshina, Candidate of tech. science, key engineer of NIL "KSA" of the Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg

Для эффективной работы бизнеса и производства нужны не только современные информационные технологии, но и средства для полноценного управления ими, а также четкие стандарты ведения производства для наиболее эффективного использования ресурсов и получения на выходе продукции высокого качества.

В настоящее время одним из главных принципов работы любой организации в сфере железнодорожной промышленности и проектирования является применение в организации системы менеджмента качества и системы менеджмента бизнеса ISO 9001:2015. В настоящее время она внедряется в виде ISO/TS 22163:2017 [1].

ISO (Международная организация по стандартизации) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работах. Что касается стандартизации

в области электротехники, ISO работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (IEC).

Процедуры, примененные для разработки этого документа и предназначенные для его дальнейшего поддержания, приведены в части 1 директив ISO/IEC. Особенно следует отметить различные критерии одобрения, необходимые для различных типов документов ISO.

Целью настоящего документа, подготовленного UNIFE, Европейской ассоциацией железнодорожной промышленности, является развитие и постоянное совершенствование системы менеджмента бизнеса для обеспечения качества и безопасности продукции мировой железнодорожной промышленности.

Одним из базовых требований документа ISO/TS 22163:2017 является внедрение и поддержание на предприятии документированного процесса для менеджмента компетентности, который может включать в себя, в свою очередь, составление матрицы компетенций персонала — как элемента оценки его знаний и последующей подготовки [2].

Роль и место этого процесса представлены на рис. 1 в виде элемента диаграммы IDEF0.

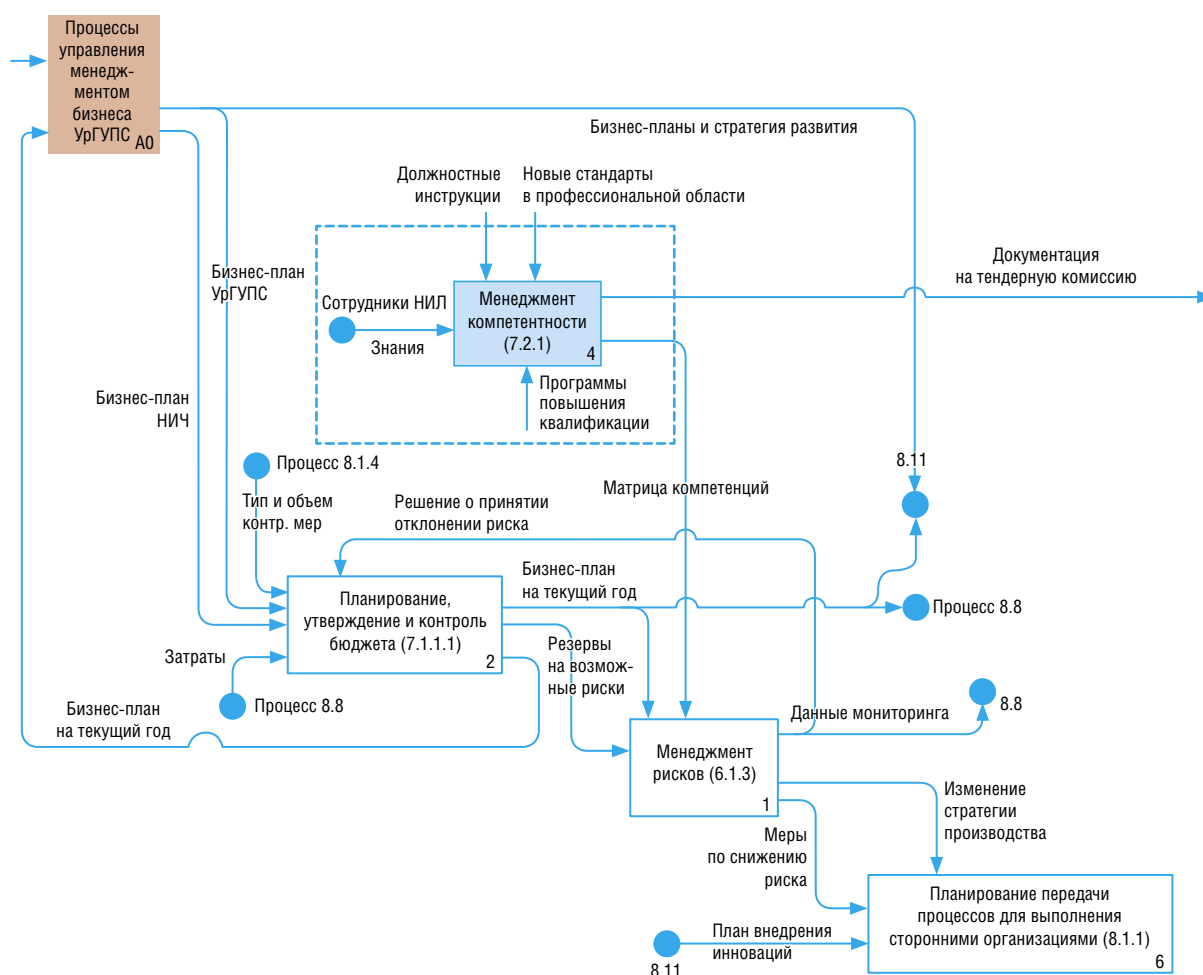


Рис. 1. Менеджмент компетенций в системе менеджмента качества

Подготовка персонала включает в себя изучение работниками требований к должностным обязанностям и профессиональным компетенциям в организации, обучение или повышение квалификации по специальности, закрепление работника за опытным наставником на определенный период.

Подготовка персонала осуществляется в целях:

- обучения работников по вопросам качества выполняемой работы путем предоставления знаний и навыков, необходимых для постановки и решения производственных задач организационными, технологическими, техническими, статистическими методами, приемами и средствами;
- ознакомления вновь поступающих на работу с действующей системой определения и поддержания компетентности работников, путем ознакомления и обучения их процедурам и процессам в соответствии с их должностными обязанностями и положениями о структурных подразделениях;
- постоянного повышения квалификации персонала, в том числе и руководства, которому предоставлены полномочия в деятельности по управлению работниками;
- отбора, расстановки, ротации, рационального и эффективного использования трудовых ресурсов в структурных подразделениях;
- мотивации работников к достижению целей бизнеса, качества и безопасности, осуществлению постоянных улучшений и созданию среды, благоприятной для инноваций.

Ответственность за определение уровня компетентности и подготовку персонала в структурном подразделении возложена на его руководителя.

В матрице компетенций оценивается квалификация персонала руководителями лаборатории (главным специалистом и начальником отдела проектирования) не реже 1 раза в год, а при наступлении событий, значимо влияющих на содержимое матрицы, на основании и/или в зависимости от корректировки данных матрицы определяется материальное стимулирование сотрудников. Таким образом, автоматизация процесса ведения матрицы компетенций на предприятии становится весьма актуальной задачей.

Если в организации, занимающейся проектной деятельностью, в качестве инструмента выполнения требований стандарта менеджмента качества применяется свободно распространяемая система управления проектами с открытым кодом Redmine, реализованная в среде разработки RoR (Ruby on Rails) [3], то выполнение требований ISO/TS 22163:2017 в части внедрения матрицы компетенций реализуется за счет разработки дополнительного программного модуля к данной системе. Отметим, что достоинством системы Redmine является достаточно оптимальный набор функций по управлению проектами:

- возможность дорабатывать систему путем добавления в нее плагинов (отдельно реализованных универсальных или специализированных подзадач);
- web-интерфейс;
- независимость от аппаратных средств.

Стандартный набор функций системы, хотя и содержит основной базовый функционал по ведению проектов, но не имеет функций, специализированных и заточенных под конкретные задачи, которой и является в процессе аттестации по стандарту ISO/TS 22163:2017 матрица компетенций.

Сформулируем основные требования к данному программному модулю. Он должен:

- вести учет основных специальностей персонала, работающего в организации;
- вести учет основных направлений деятельности в организации в виде групп знаний или отделов организации, включающих группу знаний (например: отдел проектирования, девелопинг, руководство);
- вести учет в каждом направлении деятельности знаний (навыков, умений), необходимых для успешной реализации данной деятельности.

При этом необходимо учесть:

- что каждый сотрудник может обладать несколькими специальностями (например: сметчик, руководитель, инженер-проектировщик и т.д.);
- что каждое направление деятельности содержит набор знаний, навыков и умений (например: для сметчика — сметное дело, для руководителя — кадровая работа, для проектировщика — работа в AutoCad и т.д.);
- разные направления применительно к разным специальностям могут иметь свои предельные уровни компетенций, к которым необходимо стремиться сотруднику;
- по каждому сотруднику необходимо хранить уровень его знаний из набора, соответствующего его специальностям в каждом направлении деятельности, к которому относится его специальность;
- по каждому сотруднику необходимо хранить расчетный показатель уровня знаний этого сотрудника по каждому знанию, соответствующему его специализациям;
- необходимо хранить интегральную оценку знаний каждого сотрудника по всем его специализациям (рассчитывается автоматически как сумма всех его оценок по всем знаниям);
- необходимо для каждой деятельности (отдела организации) в рамках организации хранить в цифровом эквиваленте значимость ее для организации (задается вручную по каждому отделу, направлению);
- необходимо хранить для каждой компетенции в рамках деятельности, к которой она относится,

значимость этой компетенции для данной деятельности заданную и расчетную (заданная задается вручную руководителем направления).

Для последующего расчета матрицы компетенций руководитель отдела или направления должен иметь возможность добавлять новую группу компетенций (направление деятельности). После этого по каждой группе должна быть реализована возможность добавлять, удалять или редактировать знания этой группы. Для каждого знания вводится:

- название;
- заданная часть значимости.

Расчетная часть значимости знания пересчитывается автоматически при изменении заданной по следующей формуле:

$$Part\_pr = \frac{Part\_var}{\sum_{i=1}^n Part\_var_i} \cdot Summ\_pr, \quad (1)$$

где  $Part\_var$  — заданная часть значимости знания. Удельный вес компетенции — относительная доля компетенции в сумме всех компетенций по отделу — определяется руководителями лаборатории в зависимости от сложности выполняемой работы в пределах отдела;  $n$  — количество знаний в отделе;  $Summ\_pr$  — заданная значимость отдела.

В каждом отделе (направлении деятельности) были выделены компетенции (знания), необходимые для выполнения работником именно выбранного профессионального направления. Для каждого знания была составлена шкала, при которой максимальное значение, задаваемое руководством, свидетельствует о том, что сотрудник в полной мере владеет данным знанием.

После этого составлялась матрица компетенций, в которой в единую таблицу сводились в столбцах должности, в строках компетенции (знания).

В пересекающихся ячейках нужно указать необходимый уровень владения компетенцией для каждой должности.

В итоге алгоритм заполнения матрицы сводится к следующему:

- 1) необходимо заполнить по каждому сотруднику, какими специальностями он обладает в организации;
- 2) по каждой специальности сотрудника на соответствующем наборе компетенций проставить показатели сотрудника. Они могут быть ниже заданного уровня или равны ему, но не выше;
- 3) при сохранении уровней компетенций сотрудника для каждой из них рассчитать расчетный уровень показателя;
- 4) рассчитать интегральный показатель сотрудника по формуле:

## Модуль компетенций

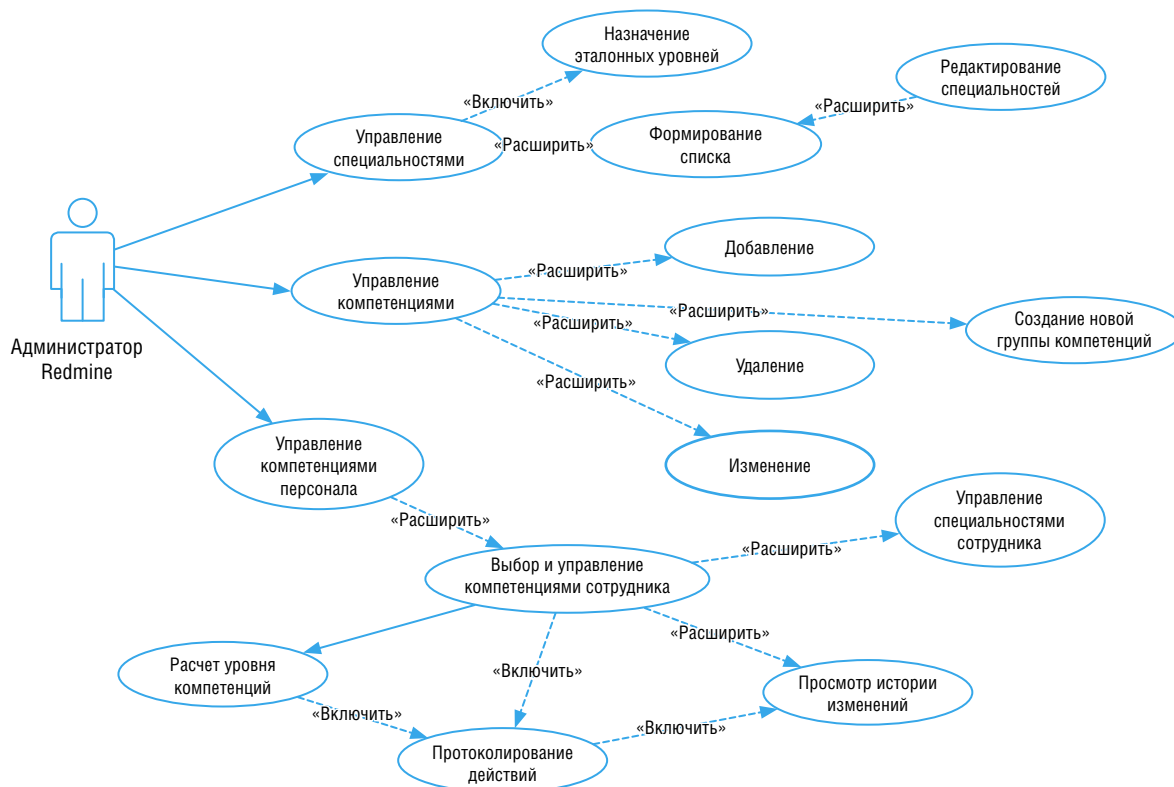


Рис. 2. USE-case-диаграммы модуля компетенций



$$Integral = \sum \frac{Part\_pr * Level\_integral}{Level}, \quad (2)$$

где *Part\_pr* — расчетная часть значимости знания; *Summ\_pr* — заданная значимость отдела; *Level\_integral* — фактический уровень компетенции сотрудника; *Level* — уровень знания (максимально возможный для знания или вводимый вручную для User).

Таким образом, на выходе мы будем иметь матричное представление знаний работника, где в строках стоят фамилии сотрудников, в столбцах специальности, которыми владеет сотрудник, а в пересечении — интегральный расчетный показатель компетенции данного сотрудника в выбранной специальности. Интегральный расчетный показатель выбирается как максимальный из перечня рассчитанных по каждому знанию в рамках данной специальности.

Работа с модулем компетенций должна быть сведена к схеме на рис. 2. Результатом даталогического моделирования модуля компетенций является модель, выполненная в виде диаграммы в нотации IDEF1 (рис. 3).

Система Redmine имеет распределенную структуру, построенную по web-технологии, обеспечивающую неограниченное количество пользователей в пределах организации (и в принципе доступ извне, при условии наличия выхода сервера в Internet). Данная структура также позволяет обеспечивать независимость программно-аппаратной платформы от конечных пользовательских рабочих мест. Система Redmine устанавливается на Ubuntu Linux. Пользователи работают под Windows.

Тип браузера не имеет ограничений. Все элементы отображаются корректно, динамические скрипты не используются (за редким исключением).

Схема автоматизации представлена на рис. 4.

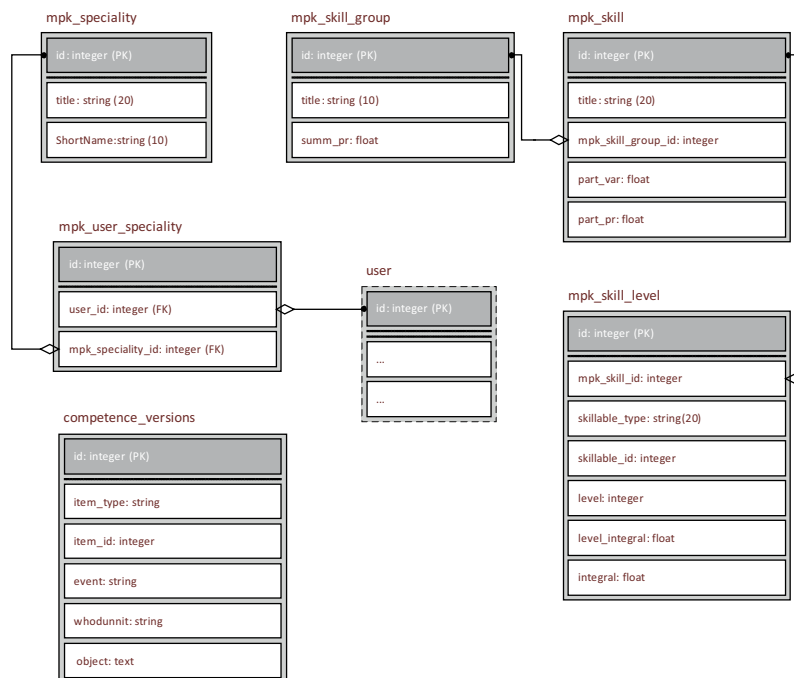


Рис. 3. Логическая модель матрицы компетенций

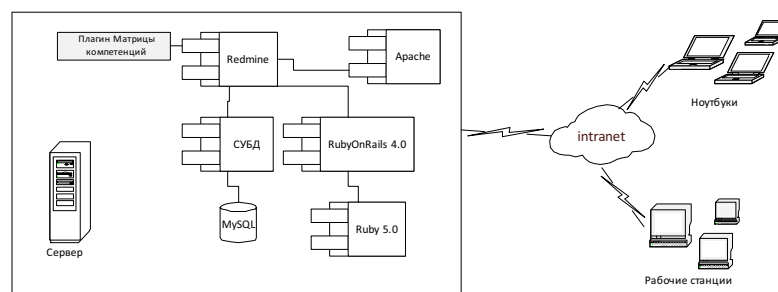


Рис. 4. Схема автоматизации

На рис. 4 показаны основные компоненты, необходимые для функционирования системы, показано, что взаимодействие происходит по сети, обеспечивает его веб-сервер Apache. Для функционирования Redmine необходимо установить Ruby, RubyOnRails и один из серверов БД (в данной статье применялся сервер MySQL).

Модуль ИС «Матрица компетенций» подключается программно, через добавление нового пункта меню в общий список системы Redmine.

При этом расширенное меню видят только администраторы, что исключает доступ в модуль других пользователей, не обладающих пра-

вами управления компетенциями сотрудников.

В Sub-меню боковой части экрана дополнительно появляются три ссылки на основные страницы модуля:

- компетенции;
- специальности;
- персонал.

По каждому подпункту открывается список соответствующих объектов, которыми можно управлять по ссылкам (добавлять, редактировать, удалять с подтверждением).

При управлении персоналом из общего списка при наведении курсора на фамилию сотрудников можно перейти на персонализированную страницу. При этом администратор

имеет возможность задавать виды деятельности сотрудника (его специальности), а затем уровни его компетенции в знаниях этой специальности, которые формируются уже автоматически. Пример интерфейса приведен на рис. 5.

Таким образом, спроектированная и реализованная информационная подсистема позиционируется как программный продукт, позволяющий автоматизировать учет компетенций персонала для предприятия, использующего систему Redmine для управления производственными процессами. Ее основная задача — наглядность и доступность информации по компетенциям персонала, организация web-доступа для получения информации, учет специфических особенностей производства и интеграция модуля в существующую систему. **ИТ**

зоровать учет компетенций персонала для предприятия, использующего систему Redmine для управления производственными процессами. Ее основная задача — наглядность и доступность информации по компетенциям персонала, организация web-доступа для получения информации, учет специфических особенностей производства и интеграция модуля в существующую систему. **ИТ**

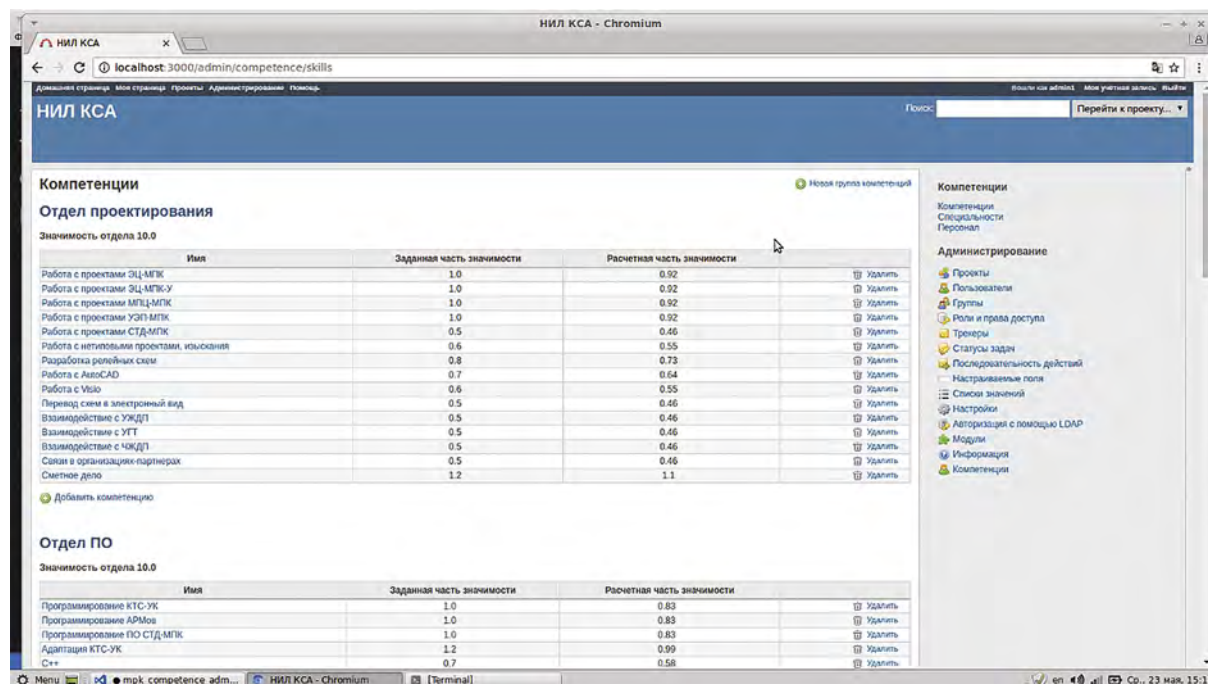


Рис. 5. Работа с видами компетенций

## Список литературы

1. ISO/TS 22163:2017. Железные дороги. Система менеджмента качества. Требования к системам менеджмента бизнеса для предприятий железнодорожной отрасли: ISO 9001:2015 и частные требования, применимые в железнодорожной отрасли. — М., 2017. — 71 с.
2. Труфанов С. А. Формирование и удержание ключевых компетенций организации в системе конкурент-менеджмента. — Ростов н/Д : Профпресс, 2014. — 232 с.
3. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Redmine>.

Объем статьи: 0,68 авторских листа



**Антон Сергеевич  
Харитонов**

**Anton S. Kharitonov**



**Геннадий Львович  
Штрапенин**

**Gennadiy L. Shtrapenin**

## Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств для транспортной отрасли на базе вычислительных алгоритмов SPICE

### Elaboration of software for electronic devices simulation for transport industry on the basis of SPICE calculation algorithms

#### Аннотация

Целью работы является создание экспериментального варианта программного обеспечения для моделирования различных электротехнических и электронных устройств для транспортной отрасли. На основании анализа существующего программного обеспечения сформулированы специфические требования к программной среде, отвечающей заданным условиям, а именно: открытость архитектуры, возможность модификации, доступность и легкость освоения пользователями, не имеющими специальной подготовки. Программная среда была создана с использованием методологии функционального проектирования IDEF0, а программное обеспечение для симуляции электронных процессов — на основе доступных моделей и алгоритмов SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) версии spice.net. Контекстная помощь, входящая в состав программной среды, позволяет пользователю быстро и легко начать работу, используя, в частности, простые примеры анализа элементарных электрических цепей.

**Ключевые слова:** электронные устройства для транспортной отрасли, моделирование, программное обеспечение, алгоритм SPICE.

#### Annotation

The article objective is to make an experimental software version for various electrical and electronic devices for transport industry. On the basis of the analysis of the existing software specific requirements to the problem-solving environment were formulated, i.e.: architecture openness, possibility of modification, accessibility and simplicity of acquisition by users who lack special training. The software was created with application of IDEF0 functional designing methods, and the software for simulation of electronic processes – on the basis of SPICE available models and algorithms (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). The context-dependent assistance of the problem-solving environment makes it possible for the user to start work quickly and easily through simple example of elementary circuits analysis.

**Keywords:** electronic devices for transport industry, simulation, software, SPICE algorithms.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-45-48

#### Авторы Authors

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

**Anton Sergeyevich Kharitonov**, Master's Degree Student of "Mechatronics" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg, e-mail: the-best2012@mail.ru | **Gennady Lvovich Shtrapenin**, Candidate of phys.&math. sciences, Associate Professor of "Electric machines" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: shtrap@mail.ru

Современный подход к проектированию, расчету, тестированию и калибровке электротехнических и электронных устройств различного уровня сложности в транспортной отрасли требует использования программного обеспечения, позволяющего создать виртуальную математическую модель, способную с достаточным уровнем точности заменить оригинальное изделие на различных этапах его разработки [1, 2]. Такой подход является правильным и с экономической точки зрения, а также гарантирует безопасность инженера-разработчика и всех участников транспортного процесса.

К настоящему времени находит применение множество вариантов программного обеспечения (ПО) для моделирования электронных устройств, применяемых на транспорте. Большинство из них используют хорошо известные общедоступные SPICE-алгоритмы и модели [3, 4]. К сожалению, весь ряд предлагаемого программного обеспечения, основанного на этих алгоритмах, имеет один существенный недостаток — среда ориентирована на успешное решение одной или нескольких определенных схемотехнических задач. В то же время для корректного расчета и симуляции работы сложных и нестандартных устройств необходимо использовать не одну, а целый ряд различных программ, что нерационально с ресурсозатратной точки зрения, а порой вообще нереализуемо. Другим немаловажным минусом существующего ПО является отсутствие возможности самостоятельной модернизации программной среды для выполнения конкретных узкопрофессиональных задач.

Предложенный нами вариант выхода из представленных выше проблем заключается в создании собственного оригинального программного обеспечения, в котором, во-первых, решаются все требуемые задачи с приемлемой точностью и, во-вторых, имеется возможность самостоятельной модернизации кода и создания макрокоманд для оптимизации процесса решения и экономии времени. Более того, реализация такого подхода позволяет решить и ряд возможных косвенных проблем, например, связанных с характером графического представления выходных данных, интерфейсом среды или ее цветовым оформлением, имеющим индивидуальный характер и играющим важную роль при длительной работе.

Для решения поставленной задачи были выбраны общедоступные вычислительные алгоритмы и модели SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) — самый популярный в настоящее время инструмент для симуляции процессов, протекающих в электронных схемах различного назначения. Был произведен анализ всех существующих версий SPICE, и в конечном итоге выбор остановился на версии 2017 года Spice.Net [5], которая написана на объектно-ориентированном языке программирования высокого уровня C#. Также следует отметить, что Spice.Net распространяет-

ся по лицензии открытого ПО, которая предполагает неограниченные права использования, копирования, изменения, распространения, публикаций и сублицензирования программного обеспечения для любого физического или юридического лица, заполучившего этот программный продукт.

Перед программированием такого достаточно сложного с организационной точки зрения программного обеспечения было принято решение составить его подробное функциональное описание. Здесь мы воспользовались методологией функционального проектирования IDEF0, которая позволяет легко и удобно разработать и описать систему как совокупность взаимосвязанных подсистем, рассматриваемых в нескольких уровнях приближения.

На рис. 1 представлен наиболее информативный для данного проекта уровень A0, предполагающий рассмотрение проектируемой системы в первом приближении.

Все входные пользовательские данные о самой схеме устройства и элементах схемы вводятся в систему через подсистему «конструктор схем» A1. При необходимости редактирования моделей элементов с целью изменения их параметров вызывается подсистема «настройка моделей» A2, в которую подаются текущие параметры из конструктора схем и которая возвращает новые измененные пользовательские параметры обратно в конструктор схем. Далее, в зависимости от выбранного типа анализа, активируется одна из трех подсистем:

- анализ временных диаграмм A3;
- AC анализ A4;
- DC анализ A5.

Каждая из этих подсистем получает обработанные конструктором схем данные, производит моделирование и по его окончании выдает полученные графические или численные результаты.

Механизмами реализации подсистем являются запрограммированные формы Windows, а в подсистемах, выполняющих моделирование, — алгоритмы и модели SPICE.

Стартовый интерфейс созданной программной среды представлен на рис. 2.

Из рисунка видно, что среда способна оперировать с базовыми, близкими к идеальным моделями электротехнических элементов, таких как резистор, конденсатор, катушка индуктивности и полупроводниковый диод, и позволяет моделировать устройства, запитываемые от постоянных, переменных и импульсных источников напряжения. Предусмотрены следующие, классические для SPICE-симулятора, операции:

- построение временных диаграмм напряжений в узлах схемы;
- анализ по переменному току;
- анализ по постоянному току и построение передаточных характеристик.



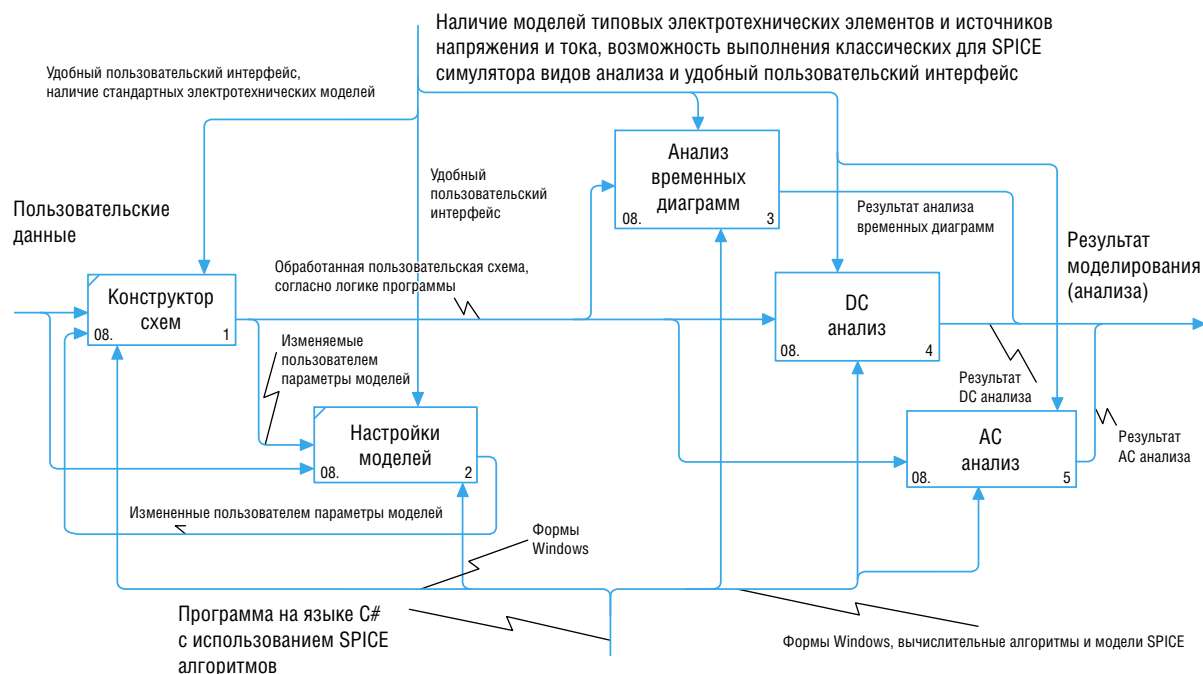


Рис. 1. Представление в IDEFO, уровень А0

Для более точного моделирования устройств с полупроводниковыми диодами предусмотрена возможность использования не только идеализированных моделей, но и моделей реальных диодов [6] — программное обеспечение включает в себя библиотеку стандартных моделей ряда диодов. Кроме того, реализован «Конструктор моделей», позволяющий пользователю самостоятельно создавать модели диодов и добавлять их в библиотеку для последующего применения в схеме (рис. 3).

В качестве примера для проверки работоспособности созданного программного обеспечения на рис. 4 приведена схема интегрирующей цепи — RC-фильтра нижних частот, через которую пропускается импульсный сигнал. Выходное напряжение пропорционально интегралу входного напряжения, что свидетельствует о правильном моделировании работы RC-цепи.

Подводя итоги, можно сказать, что поставленная задача в целом решена. Созданная программная среда отличается легкостью освоения и обладает полностью открытой архитектурой, а значит, предполагает возможность ее самостоятельной модернизации пользователем, обладающим средними навыками программирования на объектно-ориентированном языке C#.

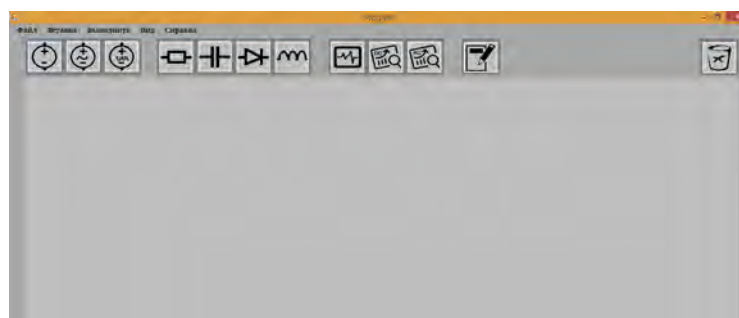


Рис. 2. Стартовый интерфейс программной среды

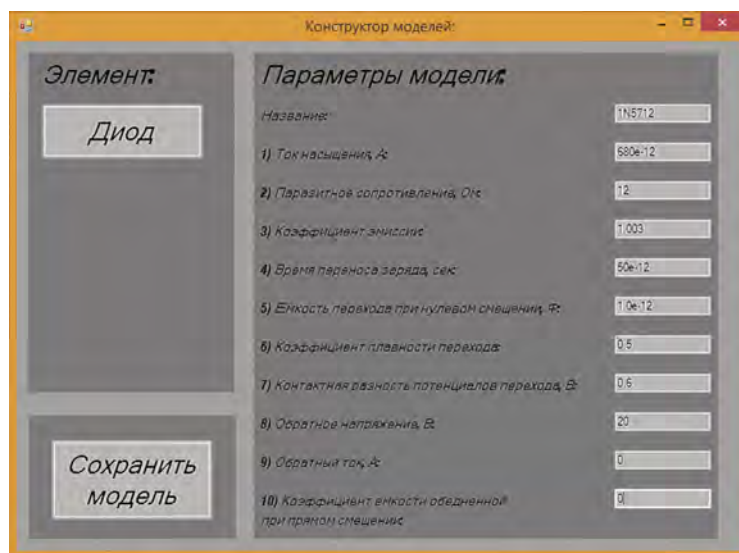


Рис. 3. Интерфейс конструктора моделей

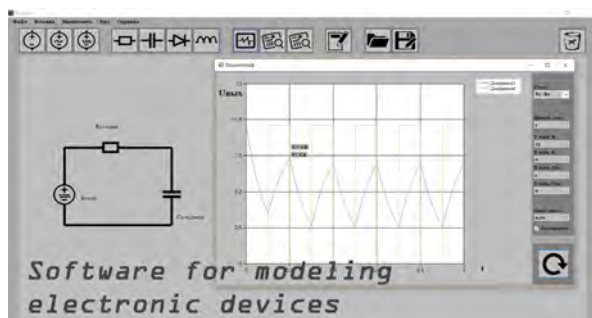


Рис. 4. Демонстрация работы созданной программной среды

В перспективе с целью расширения возможностей моделирования процессов, протекающих в электронных устройствах транспорта, целесообразна модернизация созданного продукта, включающая в себя добавление новых видов анализа и моделей элементной базы, используемой в транспортной отрасли, в частности, силовых полупроводниковых приборов — тириستоров, мощных транзисторов и др. **ИТ**

### Список литературы

1. Головкин А. А., Пивоваров И. Ю., Кузнецов И. Р., Компьютерное моделирование и проектирование радиоэлектронных средств. Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения. — СПб. : Питер, 2015. — 208 с.
2. Трухин М. П. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств : практикум / М. П. Трухин. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 176 с.
3. Nagel L. W., Pederson D. O. SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). — Лаборатория электроники, Калифорнийский университет в Беркли, 1973. — 65 с.
4. Quarles T. L. Analysis of Performance and Convergence Issues for Circuit Simulation. — Лаборатория электроники, Калифорнийский университет в Беркли, 1989. — 142 с.
5. Spicenet [Электронный ресурс]. — URL: <https://archive.codeplex.com/?p=spicenet> (дата обращения: 11.09.2018).
6. Spice модели диодов [Электронный ресурс]. — URL: <http://radiopro.ru/post/210> (дата обращения: 25.09.2018).

Объем статьи: 0,38 авторских листа



Марина Олеговна  
Лисниченко

Marina O. Lisnichenko



Наталья Анатольевна  
Линькова

Natalia A. Linkova

## Значимость здорового образа жизни для активной жизнедеятельности студентов железнодорожных специальностей

### Significance of healthy lifestyle for vital activities of railway students

(Статья публикуется в авторской редакции)

#### Аннотация

В наши дни люди практически превращаются в машины, которые постоянно стремятся заработать деньги, чтобы обеспечить свои условия жизни, свои планы и мечты. При этом достаточно сильно страдает психика человека, которая зачастую может приобретать агрессивный характер. Интересно, что 40,5 % опрошенных студентов считают, что деньги — это самое главное в жизни. На наш взгляд, общество меняется, все больше наблюдается хроническая усталость у части населения, к которой можно отнести студенческую молодежь. Появляется необходимость повсеместной пропаганды здорового образа жизни с привлечением населения к здоровой двигательной активности. Статья характеризует здоровый образ жизни как инструмент, который способен разомкнуть круг «дом — работа — дом», снизить стресс, депрессию и повысить интерес к жизни, увидеть ее другими глазами, получить удовольствие от жизни. В статье рассмотрены вопросы актуальности здорового образа жизни для современного человека, проведен анализ опроса студентов о видах оздоровительных программ, о результатах их использования. Рассмотрено, насколько отличается качество жизни при соблюдении основ здорового образа жизни, при ежедневных занятиях любимыми видами фитнеса и оздоровительными упражнениями.

**Ключевые слова:** здоровый образ жизни, студенты, молодежь.

#### Annotation

Nowadays human beings are practically turned into machines which are constantly striving for making money to ensure their living conditions, plans and dreams. In addition, human psychics is seriously affected and may become aggressive. It is interesting that 40,5% of the interrogated students believe that money is the main thing in life. In our opinion, the society is changing, chronic fatigue is observed much more frequently among the population to which the students may belong. There arises the necessity of all-round healthy lifestyle propaganda to involve the population in healthy physical activity.

The article characterizes a healthy lifestyle as an instrument capable of breaking the circle “home-work-home”, to reduce stress, depression and to strengthen interest to life, to see it through other eyes, to feel pleasure from life. The article looks upon importance of healthy lifestyle for a contemporary human being, the analysis of students' enquiry was carried out about health-improving programs, their results. We studied how life quality changes if one follows a healthy lifestyle, everyday fitness activities and sanative exercises.

**Keywords:** healthy lifestyle, students, young people

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-49-53

#### Авторы Authors

Марина Олеговна Лисниченко, студентка гр. МР-415 механического факультета Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Наталья Анатольевна Линькова, канд. пед. наук, доцент Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), профессор РАЕ, Екатеринбург; Register Nurse, Brisbane, Australia

Marina Olegovna Lisnichenko, Student of MP-415 Group, Mechanical faculty, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg | Natalia Anatolyevna Linkova, Candidate of Ped. Science, Associate Professor, Ural state university of railway transport (USURT), RAS Professor, Ekaterinburg; Register Nurse, Brisbane, Australia

### Introduction

How such direction as Wellness can help everyone keep calm and does it worth it? These are and other questions are described in this title.

The letter consists of five parts. In the first paragraph, there will be given main purpose and questions connected with it. What is more, there will be written the main idea of the reason why this article is actual.

The second part contains description of wellness as it. The text includes definition and a bit statistical data from prepared short list for interviewing students. This data let to find interesting branch from whole the letter.

Next, third part is related to constituents or main points of wellness, which were written a paragraph higher. Total description of each point is the most important idea of this paragraph.

The fourth piece of this title offers readers to think about leak of time for wellness and the solution of such problem. Suggestions which are written there relies on whole text, studied before, and put forward readers to rethink about lifestyle.

The last paragraph contains the closing of all the ideas of title and puts in the conclusion set tasks.

### Actuality

Nowadays people become not alive persons with emotions, dreaming and their opinions, but machines for working, earning money and aggression in psychical way. Why does it so? It is enough to look around: there are students, for example, who said that money is the most important part of our life, and there is not so bit amount of people (40.5 %). And what is about adult people, who realize that idea of infinity working without free time for some hobbies? People tired: mental, physical strength decreasing and no good results happen. Something is need for changing that awful situation. Wellness was created to change people's mind in better way.

The topic about wellness is actual just, because it helps to put people out of cycle home-work-home, «shake» them and pull back with positive sense of life. Describing topic is actual not only for students but for humanity at all.

**The goal is** discovering of important Wellness constituents.

**Questions:** to know what Wellness is, to check knowledge about Wellness from people, to find out Wellness program, to analyze results of body function without Wellness and with it.

### Methodic and organization of researching

There is a quiz attended to check opinion of people about wellness. The asked are 114 students of Ural University of a Railway Transport in Yekaterinburg. The checklist consists

of 15 questions, which includes not only single-variant options. The respondents were taken randomly, from different study directions and variable age; sportsmen and not.

Mainly on researched information, presented letter was built.

### For what Wellness is

Wellness — is a program of well-being, built on integration of physical and mental healthiness, good nutrition adequate physical loads and refusing of bad habits. [1, 2, 3].

As it seen, wellness is a direction aimed to increase body level, correct emotional behavior and to prevent or decrease some bad points, which make population lose their strength and tone. Moreover, wellness as a type of alternative medicine does not include such extreme ways connected with harming caused by high-level rules. [4] With what problems does wellness work?

The emotional feeling is aimed for first place by the results (41 students of all the asked). Sure, not everyone likes to wake up early with baggy skin below the eyes, to go to hateful work or study, drink 3-in-1 coffee for liters waiting magic effect of cheerfulness and so on. About 77.2 % of students do not have time to think properly about decision, mostly they doing everything automatically, without understanding of processes. The statement about harmfulness of cycle lifestyle (home-work-home) is incredibly right. Daily videos on the YouTube about frustration of office workers on colloques, themselves, cup of tea or just a blunt pencil just approve this information. How to prevent such destructions? Wellness knows.

The number of students mentioned that ecology plays the second role of their state of health (answered 23 students). And that is true: every car pollutes an air, every factory poisons the water using daily every chemical which is used in agriculture is breaking ground structure. On the other side it is not so easy to use public transport, unbelievable to close all the fabrics and of course it takes too long time of growing vegetables and livestock to feed all the humanity. So, how to be in that situation? Wellness is the first helper there.

On the third place is a problem of ways in which humanity work or study (said 14,2 % of students). What the most part of students is doing in the break time? Ones of them are falling asleep on the desk, others are trying to have a rest looking phone, some people are dreaming. The least part of young people is doing some physical work. But there is a real fact [1] saying about faithful impact of physical working on brain thinking. Following this, one question is growing: why do student not use such great fact? How to help them? Wellness is giving the answer.

However, that is not the last question with what wellness works: another important side is psychical dynamics of popularity — this is described in next part.



Ending by, there could be said that wellness is working with problem of a rest. Yes, it is one of the paradox, shows all the essence of our life.

## Main points of Wellness

### Physical health point

As far as it was stated, health of modern people is not so close to ideal. What wellness talking to people in this way?

It is known that there is no health and physical strength without good nutrition, because all the incoming substances have an impact on blood, bones, brain work strength at all. The same is for ordinary working man. The main idea of wellness nutrition is a balance. Firstly, the man, who put the step in to wellness, should forgive about fast food. The magazines are full of stories about bad impact of eateries with unknown receipts ingredients and sanitary but what makes people to continue to use such places. Partly the leak of time (32,5 %), tiredness (30,7 %) or just because we think that fast food tasty. Discussion about the last reason is right now.

Since childhood, kids are trying to do their best for parents: cute pictures, naive letters good act playing at school. Every achievement mostly cheered with sweets, chocolates, cafe lunch, etc. Growing up everyone believes that sweet cake or tasty beer is the best panacea of unsolved problems, of tiredness of everything (luckily said only 6 students). The students think like that just because they were grafted so. Wellness offers to replace sugar sweets on «alive» ones: made of natural products such as fruits, fructose and milk. The reason is not far from understanding: natural sugars (fructose, lactose) have low glycemic index, which influence on structure of blood not the same. Eating fresh fruits, good sweets, kids understand: that is good and in the future the risk of some illnesses will be lower.

The next station is a way to find nutrition. Looking for automates with biscuits, chips and cola there is understood nutrition of students. Fast carbohydrates, high fat level, low mark of proteins — that is the complex of the most failure nutrition. Wellness is against of such system and it speaks about «30/20/50» profile. The decoding is simple: well-balanced nutrition should consist of 30 % of proteins, 20 % fats and 50 % carbohydrates.

Wellness promises great results without diet with only following balance in nutrition, just because it is balanced and natural. There is such opinion about GMO, following which people say about non-resultant selectivity in nutrition, answered 52,6 % of students. However, no one knows that there is no proves about bad impact of such organisms. Yes, using of them is not good, but not bad, so, starting of eating for «30/20/50» program worth it just because it is at least balanced and more comfortable for body and health at all.

### Working and studying conditions

In researching, there is a place of question about some pains and tiredness while studying. About 17,5 % still be unknown about reason of such reaction.

As it was mentioned brain has a rest when body is working and vice versa. For physical side studying is process of sitting in one pose where arm is working. In the time of break student can feel tiredness and pain sometimes and naturally tries to prevent that pain by continuing sitting. That is a big mistake: solidifying only figure the blood decreases speed of flowing, muscles stops get elements and pain starts to be. Mostly back starts to be the place of concentration of illnesses. Wellness say: use every chance for activity. In this way, some sport activities are useful.

However, analyzing of interviews showed that for most of activities in break time are strangely-looking. The solution is only to fight with the stereotype about keeping silence and restraint in such structure as University. Lecturers of Physical Education (PE) should say about usefulness of activity and show the exercises, which can be used between lessons. Youngsters should know that sport activity is not only iron draft and serious competitions, but head turns, hand swings and other uncasing extra attention exercises.

In addition, there is popular direction between young people named «mainstream» and «challenges»: someone starts doing something he could never do before (for example sit-ups in University) and make video of it. Then puts this video in the Internet and tell to another one to do the same. This another, not to be a loser, does the same ant chain continues. There is a big amount of such examples in the net and it really works!

Of course, for better results Wellness propagandas many type of calm sport, which can help put in order spirit and body.

### Sporty life

It was found that the word «sport» for at least 1.8 % of students is associated with hard trainings, competitions and of course big-big muscles and high speed. Wellness reads otherwise.

Sport in wellness is a chance to «hear» your body, to understand, what it wants: to be shaken or to be pulled. Such directions as yoga, pilates and stretching are so slowly-doing that far not everyone thinks that is connected to fitness (about 14.9 %). Each direction is aimed to concentration of thoughts and body reflection, but in some, they are different.

### Hatha-yoga

According to the definition of hatha-yoga, it is a way of discovering self-body and improving it with enclosing of forces [5]. Hatha-yoga is one of the simplest and ancient activity. There are different levels of complexity of poses

(asans). The first steps include balance exercises such as standing on one leg. After this strength is worth attention and there a lots of asans are opened for practicing.

For the health yoga has a grand effort: doing asans mostly back is working, and as it is stated not every sport can fit this part of body correctly and without harming. The main goal of yoga as a part of Wellness is to do everything properly slow. When trying to control every movement, feeling every muscle, you can not achieve any type of pain, just because you use your mind, do not late somewhere, do not need a fast result — you just relax and think about what is happening now and there. As the results show, doing such activity increases level not only health at all, but mind is clearing.

In case of main hatha-yoga principle of being closer to nature, doing various asans give humanity a chance to taste the life as it and feel own role there. Understanding own body needs helps realize ways to reach them. The reaching gives increase of strength, new goals and stimulus to come back in habitual life.

### Pilates

Pilates is a great complex, developing such skills as stamina, strength, concentration, control, coordination and relaxation. If to say in one word: pilates is a system built for modern man to give him everything to feel harmony.

The main word in pilates is economy of movements while practicing — that is what the most part training loves (one third of all pilates-doing people). Again, slow motions, flowing of time and relaxing. But it is some difference between yoga and pilates.

First of all pilates is more technical oriented protocol: it was built not to follow people's nature, but to feel the most vulnerable dots of our body and train them in easy way just to keep in tonus.

Secondly, pilates usually «plays» with different equipment, to work muscles better. At the same time yoga as natural direction, tries to exclude using of other tools of developing apart from own body.

Thirdly, factually, Pilates is a type of medicine: it was created to correct health of ill people. It was implied like physiotherapy [5, 6], but after some time number of followers of either direction starts rising. Some changing in system, little correction and adding more comprehensive exercises let Joseph Pilates to build nice program of training modern people.

By the way, either pilates, or yoga study back of body accurately, and the aim is the same: train whole the body under the control of brain.

Researching says that pilates helps to keep fit too: two third of pilates-doing students feel improvements of mind and physical clinic after exercises.

### Stretching

What everyone likes doing when wakes up? Of course, to reach-down, pull arms, legs, every bone of spine! Morning stretching is the most perfect and intuitive activity we do, regardless of leak of time or other reasons. Following that it have to be understood that far not only morning stretching works.

Usually people tired before work, after work, between work when break. Because no blood flowing, no work to muscles, no bundles forces. Anatomically, when bundles are stretching, muscles starts to be in tension. After muscles bones starts working, — yes, everyone can hear it work like cracks of joints.

Most part of students, what takes 63,7 % of all the «stretchers», gave the answer in words that after stretching brain becomes «fresh». Blood is feeding the brain! After that feeding continuing of studying changes are in more effective performance.

As it was mentioned, stretching is intuitive agency, but as far as medicine become more and more progressive it was stated that fast and uncontrolled stretching is prohibited. It is better to use mind again in describing procedure. To concentrate — to do everything slowly — to hear body needs. Because of this, stretching is an important part of Wellness.

The helpfulness of stretching is enormous: for sportsmen it is irreplaceable activity for building new muscles faster and more beautiful; for office workers it helps with blood cycling; for people of retirement age it helps with joint conditions. Students are absolutely agree with that statement (about 72 % of students).

To end with it could be constituted that Wellness sport is not something unbelievable and ultra-fashionable. All the ways are well-known since ancient times (yoga), found place in medicine (pilates), and naturally irreplaceable (stretching). Every point is connected with clearing mind and health consolidation.

### Psychical side

Wellness tries to teach every its student to find inside self-solutions of any problem, with the way of meditation.

Some people think that meditation is directly silence, sitting in special pose and thinking (54,4 %). In fact, meditation can be performed in any way: walking, listening calm music or natural sounds (waterfalls, fire scratching), or real silence. Meditation does not have to be hard process of thinking how problematic life is, but how to simplify it. Sure, it is not so easy to do it immediately, so wellness advises to find cute place with favorite sounds where all the negative disappears. After this, impressive ideas will come automatically up just because everything bad goes away! In addition, connection meditation with wellness sport presents

unbelievable thoughts: brain is less of frustration, body is busy with work — both of moments give super moment for recharging some point of view.

Researching shows that about 91 % students of asked feel positive impact on self after meditation. Index of high percentage let to say about healthiness of meditation as a branch of wellness.

## Conclusion

Wellness is a very nice chance for working with mind and body properly. If there are endless problems with health, understanding of life, if there nervous is, — wellness is perfect way of fixing up such points.

The main purpose of article is achieved and questions are asked: there are discussed wellness constituents, the definition of this word is given in part number 2, knowledge is analyzed and the results are shown throw all the letter. Moreover linking between wellness and functional state is fixed.

Letter described the best and the most popular and well-known sides of wellness, which can be used by men of different jobs and different ages. Given information was based on literature, Internet sources and articles, connected with chosen topic.

Finally, for better understanding of such described subject as wellness sport and before realizing it in real life, it is better to consult with a trainer, or find out data and properly study it. **ИТ**

## Список литературы / References

1. Linkova-Daniels N.A., Ershova A.V. Analysis depression state full-time students // Problems of quality sports and health-improving activities of educational institutions: International Scientific.-Pract. Conf. — Yekaterinburg : USURT, 2013. — P. 97–100.
2. Veretennikov V. L. Correction of the psychophysical condition of students on the basis of the integral index of adaptation to training in high school // Proceedings of University. PF Lesgafta, 2011. — № 10 (80). — P. 51–52.
3. Prause J., Dooley D. Favourable employment status change and psychological depression: A two-year follow-up analysis of the National Longitudinal Survey of Youth. Applied Psychology // International Review. — 2011. — 50. — P. 282–304
4. Chow H. P. Life Satisfaction Among University Students in a Canadian Prairie City: A Multivariate Analysis // Social Indicators Research. — 2015. — 70. — P. 139–150.
5. Kubik B. Dinosaur Training: Lost Secrets of Strength and Development: book for powerlifters / B. Kubik. — 1996. — 160 p.
6. Schtrossen R. J. Super kniebeugen: book for bodybuilders / Dr. R. J. Schtrossen. — Rodale Books, 2009. — 464 p. — ISBN 978–1605295497.
7. MacRobert S. Brawn: handbook for athletes. — 3-rd edition. — 2007.
8. Faleev A.V. School of your body: book for sportsmen / A.V. Faleev. — Phoenix redaction, 2004.

Объем статьи: 0,57 авторских листа



Тимур Талгатович  
Шаюхов

Timur T. Shayuhov

## Определение лимитов потребления энергоресурсов в цехах по производству деталей для автомобильного транспорта

### Evaluation of power resource limitations in workshops producing parts for automobile transport

#### Аннотация

С каждым годом вопросы, касающиеся энергосбережения, эффективного использования электрической, тепловой энергии и повышения энергоэффективности, становятся все более актуальными для промышленных предприятий. Организациям необходимо выполнять требования Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ. Кроме того, необходимость внедрения энергосберегающих мероприятий и технологий возникает в связи с постоянным ростом цен на энергоресурсы. Энергоснабжающие организации устанавливают лимиты и нормы, регулируют энергопотребление в различные часы суток тарифами. Предприятия-потребители, чтобы минимизировать расходы на энергетику, стремятся планировать потребление электрической и тепловой энергии, рассчитывать и устанавливать нормы, заниматься прогнозированием электропотребления. Таким образом, крупным потребителям приходится изыскивать возможности для реализации стратегии, направленной на энергосбережение и эффективное использование энергии.

**Ключевые слова:** энергосбережение, нормирование электропотребления, энергоресурсы, лимиты, транспорт, потери электроэнергии.

#### Annotation

Every year the issues related to power saving, efficient use of electrical, thermal power and power efficiency rise are becoming more acute for industries. Entities are to meet the requirements of the Federal law on "Power saving and power efficiency rise and on amendments to Russian Federation certain legislative acts" as of 23.11.2009 № 261. Moreover, the necessity to introduce power saving measures and technology arises due to power resource constant advance in price. Power supply entities make limits and norms, regulate power consumption with tariffs at different day and night time. In order to minimize power expenses, consuming entities aspire to plan electrical and thermal power consumption, to compute and fix norms, to forecast power consumption. Therefore, major consumers have to seek for possibilities for realization of the strategy aimed at power saving and efficient power usage.

**Keywords:** power saving, power consumption rate-setting, power resources, limits, transport, power dissipation.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-54-57

#### Авторы | Authors

Тимур Талгатович Шаюхов, аспирант, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), e-mail: shayuhov@mail.ru

Timur Talgatovich Shayuhov, post graduate student, Senior Teacher of "Power supply of transport" chair, Ural state university of railway transport (USURT), e-mail: shayuhov@mail.ru



В 1966 году были утверждены «Основные положения по нормированию расхода топлива, электрической и тепловой энергии в производстве». В соответствии с этим документом удельные нормы расхода электроэнергии для промышленных предприятий разделили на технологические, цеховые и общезаводские [1].

В технологические удельные нормы включают расход энергоресурсов на выполнение различных процессов, связанных с технологическим процессом производства изделий. В качестве примера можно привести такие операции, как электролиз, электронагрев, привод рабочих машин, расход электрической энергии станками, выполнение сварочных работ, потери энергии и т.п. Характер потерь может быть различным: тепловые потери в электропечах, потери при электролизе, механические потери на трение в машинах и двигателях, электрические потери в сетях и т.п.

В цеховые удельные нормы, как правило, закладывают расходы на топливо и энергию в разрезе цеха: освещение, обогрев, вентиляция, потери в цеховых сетях, затраты на основные и вспомогательные процессы.

К общезаводским удельным нормам относят все расходы топлива и энергии на производственные нужды завода (в том числе вспомогательные и подсобные нужды, связанные с выпуском продукции). Как правило, к вспомогательным и подсобным нуждам относят расходы электрической энергии на освещение наружных и внутренних площадей, отопление помещений, вентиляцию, внутризаводской транспорт, производство подсобных материалов и инструмента.

На практике при установлении лимитов общий объем потребляемой электроэнергии разделяют на основные направления затрат:

1. Освещение (внешнее, внутреннее, производственных, офисных помещений и пр.).

2. Производственные нужды. Это основная доля энергозатрат предприятий. При расчете лимитов на производственные нужды учитывают все точки электропотребления, расход каждого производственного участка, цеха и электротехнического оборудования.

3. Собственные нужды. В этой статье затрат учитывают расходы электроэнергии, не предназначенные на производственные нужды и освещение: вентиляция, дополнительное отопление, кондиционирование, административные нужды.

Важной задачей является определение удельного веса затрат на электроэнергию в себестоимости продукции.

Удельный вес затрат на электроэнергию — это экономический показатель, позволяющий оценить, какая доля в себестоимости конечной продукции приходится на расходы электроэнергии.

При расчете лимита учитывают следующие факторы:

1. Время работы электропотребителя ( $t$ , час). Время работы каждого потребителя устанавливается ин-

дивидуально в зависимости от его назначения, степени участия в технологических или вспомогательных процессах.

2. Мощность электропотребителя ( $S$ , кВА). Учитывается полная мощность потребителя:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

где  $S$  — полная мощность, кВА;  $P$  — активная мощность, кВт;  $Q$  — реактивная мощность, кВАр.

Если рассчитывать удельную норму расхода электроэнергии на единицу готовой продукции, то она в наибольшей степени будет отражать энергоемкость производства и соответствовать производственно-материальному учету.

Наиболее распространенными показателями, которые применяются для установления удельных норм, являются: человеко-часы, станко-часы, нормо-часы, тысяча рублей валовой продукции. Эти показатели не отражают в полной мере энергопотребление процессов и объем производства [2].

Сложной является задача формирования норм и лимитов для многономенклатурных производств с изменяемым ассортиментом. В качестве многономенклатурного производства можно рассматривать предприятия по производству деталей автотранспорта. Как правило, такие предприятия являются достаточно энергоемкими объектами. В случае если имеют место регулярные изменения технологических процессов и изменения ассортимента выпускаемой продукции, решение задачи расчета удельных норм и прогнозирования электропотребления значительно осложняется.

При разработке норм электропотребления производственного предприятия необходимо выполнять анализ технологии производства продукции, состояния электрооборудования и системы статистического и приборного учета электроэнергии. Основные этапы разработки норм электропотребления для многономенклатурного цеха включают в себя:

- разработку методики расчета нормативного электропотребления;
- разработку средств автоматизации расчета норм;
- проверку нормативных значений электропотребления на основании измерений;
- анализ результатов расчета норм электропотребления цеха.

Удельное потребление электроэнергии какого-либо приемника рассчитывают на основании следующих данных: периода выполнения технологической операции, потребляемой мощности и коэффициента загрузки. Указанные параметры могут приниматься исходя из паспортных данных, опыта эксплуатации, а также из технологических карт. Месячное потребление электроэнергии определяют исходя из удельного электрического

потребления оборудования, а также планового уровня производства продукции. Следует учитывать и потери в цеховых сетях (потери в трансформаторах и кабельных линиях). Результатом соответствующих расчетов является месячный баланс потребления электроэнергии цехом.

Расчет потребления электроэнергии по номенклатуре продукции цеха выполняется с помощью программных средств. Результаты расчетов сводятся в таблицы и графики удельного и абсолютного потребления по каждой единице всей номенклатуры продукции. Расчетное потребление электроэнергии уточняется с учетом инварианта цехового потребления. Нормативное электропотребление контролируется с помощью электросчетчиков на питающем фидере, а также с применением переносных приборов учета.

Методика расчета норм электропотребления включает в себя:

- методику расчета нормативного электропотребления технологического оборудования;
- методику расчета нормативного электропотребления вспомогательного оборудования;
- методику расчета потерь электроэнергии в цеховой сети электроснабжения;
- методику расчета месячного электропотребления цеха [3].

Методика расчета нормативного электропотребления технологического оборудования:

1. Расчет потребленной электрической энергии на единицу изделия  $j$ -го вида  $i$ -й операцией производится по выражению:

$$w_{yji} = k_{3ji} \times P_{ji} \times t_{ji}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}, \quad (2)$$

где  $k_{3ji}$  — коэффициент загрузки по мощности агрегата при выполнении  $i$ -й операции изделия  $j$ -го вида;  $P_{ji}$  — мощность агрегата при выполнении  $i$ -й операции изделия  $j$ -го вида, кВт;  $t_{ji}$  — время выполнения  $i$ -й операции изделия  $j$ -го вида, ч/т.

2. Потребление электрической энергии на единицу изделия  $j$ -го вида рассчитывается по выражению:

$$w_{yj} = \sum_{i=1}^n w_{yji}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}, \quad (3)$$

где  $n$  — количество технологических операций при выпуске единицы определенного вида продукции.

3. Потребление электроэнергии на  $n_j$  изделий  $j$ -го вида следует считать по формуле (абсолютный расход энергии на изделие  $j$ -го вида):

$$W_{aj} = w_{yj} \times n_j, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (4)$$

где  $n_j$  — количество изделий  $j$ -го вида, т.

4. Расход электроэнергии на выпуск всей номенклатуры продукции:

$$W_a = \sum_{i=1}^k W_{ai}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5)$$

где  $k$  — количество единиц номенклатуры продукции.

Методика расчета нормативного электропотребления вспомогательного оборудования:

1. Месячное потребление электроэнергии  $i$ -го агрегата, выполняющего вспомогательные функции, производят по формуле:

$$W_{bi} = k_{3i} \times P_i \times t_i, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (6)$$

где  $k_{3i}$  — коэффициент загрузки по мощности  $i$ -го агрегата;  $t_i$  — время выполнения работы  $i$ -м агрегатом, ч;  $P_i$  — мощность  $i$ -го агрегата, кВт.

2. Суммарное месячное потребление электроэнергии вспомогательным оборудованием:

$$W_b = \sum_{i=1}^m W_{bi}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (7)$$

где  $m$  — количество единиц вспомогательного оборудования.

Методика расчета потерь электроэнергии в цеховой сети электроснабжения:

1. Производится расчет потерь в трансформаторах:

$$\Delta W_T = \Delta P_x \times 8760 + \Delta P_k \times \left( \frac{S_{\max}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \times \tau, \quad (8)$$

где  $\Delta P_x$  — потери активной мощности холостого хода, кВт;  $\Delta P_k$  — потери активной мощности короткого замыкания, кВт;  $S_{\max}$  — полная максимальная мощность нагрузки, кВА;  $S_{\text{НОМ}}$  — номинальная мощность трансформатора, кВА;  $\tau$  — время максимальных потерь, ч.

2. Расчет потерь в питающих линиях:

$$\Delta W_L = \frac{S_{\max}^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \times r \times l \times \tau_{\max}, \quad (9)$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  — номинальное напряжение, В;  $r$  — удельное сопротивление кабеля, Ом/км;  $l$  — длина линии, км.

Таким образом, месячное потребление электроэнергии цехом будет рассчитываться по формуле:

$$W_p = W_a + W_b + \Delta W_T + \Delta W_L, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (10)$$

Расчет коэффициента подобия (инварианта цехового электропотребления) производят на основании данных предыдущего месяца по формуле:

$$D = \frac{\ln W_p}{\ln W_\phi}, \quad (11)$$

где  $W_\phi$  — значение месячного электропотребления цеха, полученное по приборам учета, кВт·ч.

Уточненное месячное электропотребление:

$$W_{\text{ут.р}} = W_p^{1/D}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (12)$$

Расчет удельных норм потребления и прогнозирование электропотребления должны выполняться в системе управления энергоресурсами предприятия. Создание системы управления энергоресурсами позволит проводить непрерывный контроль над процессами предприятия, распределения и потребления энергоресурсов.

Система состоит из четырех уровней (рис. 1):

- 1) источники информации — измерительные приборы;
- 2) базы данных, введение информации в которые осуществляется ручным или автоматическим способом;
- 3) единая система, в которой выполняются алгоритмы по анализу, контролю, сведению балансов и статистике данных;
- 4) различные по функционалу рабочие места.

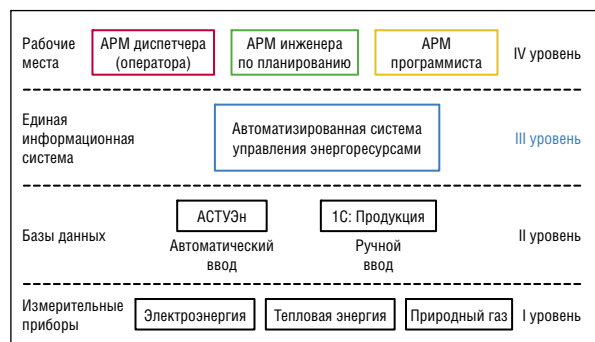


Рис. 1. Структура системы управления энергоресурсами

Цели системы:

- составление необходимой для решения производственных и экономических задач информации;
- слияние данных по потреблению энергетических ресурсов и производству продукции из разных информационных баз;
- оперативное снабжение данными сотрудников всех уровней;
- формирование наглядной автоматизированной системы технического учета энергоресурсов (АСТУЭн) и модели энергобалансов по предприятию в целом и по его подразделениям;
- установление действительных удельных норм и повышение точности при планировании необходимых энергоресурсов.

Глобальной задачей для многоименклатурных производств является создание автоматизированной системы производственного учета. Подсистемой производственного учета должна стать система расчета материальных балансов, которая должна обеспечить:

- автоматизированный сбор данных с АСУТП и АСТУЭ;
- учет перемещений материалов, заготовок, деталей по предприятию;
- определение потоков и остатков материалов в подразделениях;
- ручную запись информации с неавтоматизированных объектов;
- создание отчетов по энергоемким энергоустановкам, подразделениям и предприятию в целом.

Система материальных балансов должна входить в систему контроля производством и снабжать точными данными систему учета энергоэффективности подразделений и предприятия в целом. Взаимосвязь таких систем позволит производить достоверный расчет удельных затрат энергоресурсов на конкретный вид продукции и уточнять ее себестоимость. **ИТ**

## Список литературы

1. Кудрин Б. И. Электроснабжение, оперативное и планируемое нормирование расхода электроэнергии, энергосбережение // Электрика. — 2007. — № 4. — С. 3–6.
2. Шаюхов Т. Т. Расчет удельных норм и прогнозирование электропотребления на промышленных предприятиях // Инновационный транспорт. — 2016. — № 3 (21). — С. 8–12. — ISSN 2311-164X.
3. Хорьков С. А. Расчеты электропотребления при энергетическом обследовании промышленного предприятия: учебно-методическое пособие. — Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2011. — 111 с.

Объем статьи: 0,38 авторских листа



Владимир Афанасьевич  
Войтенко

Vladimir A. Voytenko

## Комплексная модель тепловых процессов и процессов изнашивания в дисковом тормозе с плавающей тормозной колодкой

### Integrated model of thermal processes and wear processes in a disk brake with a floating brake shoe

#### Аннотация

Предложена конструкция перспективного дискового тормоза для высокоскоростных поездов с плавающей тормозной колодкой, имеющей возможность поворота на угол до  $180^\circ$  относительно оси, параллельной оси вращения тормозного диска и не проходящей через центр масс тормозной колодки, и вентилируемым тормозным диском с поворотным кольцом, регулирующим величину внутренней конвекции в процессе торможения. Усовершенствована математическая модель тепловых процессов и процессов изнашивания с учетом конструктивных особенностей предлагаемого дискового тормоза. Получены новые аналитические выражения для зависимости коэффициента трения от температуры и относительной скорости перемещения точек поверхностей фрикционной пары, а также новое аналитическое выражение для величины линейного износа. Получены аппроксимационные температурные зависимости теплофизических параметров материалов тормозного диска и тормозной колодки. Предложено универсальное корреляционное выражение, отражающее корреляцию между средней скоростью относительного движения поверхностей тормозного диска и тормозной колодки и коэффициентами теплопередачи для внутренней и внешней конвекции. Результаты моделирования, полученные при помощи комплексной математической модели, хорошо согласуются с результатами стендовых испытаний дисковых тормозов, выполненных на испытательной базе предприятий «РЖД». Комплексная математическая модель позволяет проводить численные испытания как существующих конструкций дисковых тормозов, так и новых перспективных конструкций.

**Ключевые слова:** тепловой процесс, износ, математическая модель, дисковый тормоз, тормозной диск, плавающая тормозная колодка.

#### Annotation

The construction of a perspective disk brake is proposed for high-speed trains with a floating brake shoe which can be turned by  $180^\circ$  about the axis which is parallel to the brake disc rotation axis and does not pass through the brake shoe mass centre, and ventilated brake disc with a swing ring that regulates internal convection at braking. The mathematical model of thermal processes and wear processes with consideration of structural peculiarities of the target disk brake is improved. New analytical expressions are received for dependence of friction coefficient on temperature and relative velocity of the friction pair surface points permutation as well as a new analytical expression for linear wear value. Approximation temperature dependencies of thermal physical parameters of brake disc and brake shoe materials are obtained. A universal correlation expression is proposed which reflects correlation among the average velocity of brake disc surfaces relative movement and the brake shoe and coefficients of thermal transfer for internal and external convection. The results of simulation obtained through integrated mathematical model are well correlated with the results of benchmark trials of disk brakes conducted at RZD testing facilities. The integrated mathematical model enables to carry out both computed trials of existing disc brakes and new perspective constructions.

**Keywords:** thermal process, wear, mathematical model, disc brake, brake disc, floating brake shoe.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-58-65

#### Авторы Authors

Владимир Афанасьевич Войтенко, канд. техн. наук, доцент кафедры «Микро- и нанoeлектроника» Луганского национального университета имени Владимира Даля; Луганск; e-mail: vlvoytenko@gmail.com

Vladimir Afanasievich Voytenko, Candidate of tech.science, Associate Professor of "Micro-and-nanoelectronics" chair, Lugansk national university named after Vladimir Dal; Lugansk, e-mail: vlvoytenko@gmail.com



Широко известны математические модели, на основе которых разработаны компьютерные среды для моделирования физических процессов в дисковом тормозе [1]. Однако результаты моделирования, полученные в таких средах, в некоторых случаях недостаточно хорошо согласуются с результатами стендовых испытаний. Это объясняется тем, что математические модели были разработаны под определенную конструкцию испытательного стенда, конструкцию тормозной колодки, клещевого механизма и тормозного диска и рассчитаны на определенные материалы фрикционной пары. Поэтому разработка математических моделей, дающих результаты, хорошо согласующиеся с результатами стендовых испытаний, проведенных на базе предприятий «РЖД», является актуальной научно-технической задачей, в особенности применительно к новым перспективным конструкциям дискового тормоза и новым материалам фрикционной пары [2, 3].

Целью исследования является разработка комплексной математической модели трения и износа в дисковом тормозе путем усовершенствования существующих моделей с учетом кинематических и конструктивных особенностей новой конструкции дискового тормоза с плавающей тормозной колодкой и тормозным диском с регулировкой внутренней конвекции.

Предлагается перспективная конструкция дискового тормоза с плавающей тормозной колодкой, совершающая в процессе оптимального позиционирования на поверхности тормозного диска колебательные движения и поворот на угол до  $180^\circ$  вокруг оси, параллельной оси вращения тормозного диска и не проходящей через центр масс тормозной колодки. Также предлагается использование вентилируемого тормозного диска с поворотным кольцом, обеспечивающим, при возникновении замедляющего углового ускорения, открытие окон внутренней вентиляции, закрытых при движении поезда с постоянной скоростью (рис. 1).

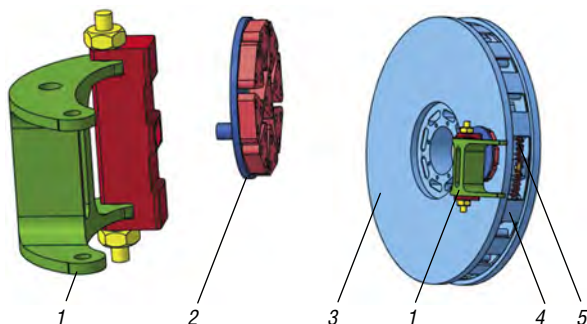


Рис. 1. Конструкция дискового тормоза с плавающей тормозной колодкой и вентилируемым тормозным диском с регулировкой внутренней конвекции:

1 — клещевой механизм; 2 — плавающая тормозная колодка; 3 — вентилируемый тормозной диск; 4 — поворотное кольцо; 5 — возвратная пружина

Осуществление вентиляции предложенным способом только при торможении позволяет, по предварительным расчетам, экономить до 10 кВт электроэнергии на одну подвижную единицу при обеспечении надежной внутренней вентиляции тормозного диска в процессе торможения высокоскоростного подвижного состава. Стендовые испытания такого дискового тормоза подтвердили его работоспособность, что потребовало учета особенностей его конструкции и кинематической схемы клещевого механизма с плавающей тормозной колодкой при усовершенствовании математической модели трения и износа в дисковом тормозе.

В качестве основы для построения математической модели взята модель [1]. Основные исходные данные к моделированию представлены в табл. 1.

В расчетах используются аппроксимационные выражения, отражающие зависимости теплофизических величин фрикционных и конструктивных материалов от температуры  $T$ , полученные автором с использованием справочных данных [4–7].

Коэффициент теплопроводности материала тормозного диска, Вт/(м·°C),

$$\lambda_d(T) = 44,5 - 1,51 \cdot 10^{-2}T - 1,44 \cdot 10^{-5}T^2.$$

Плотность материала тормозного диска, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho_d(T) = 7850 - 0,402 \cdot T + 9,51 \cdot 10^{-5}T^2.$$

Теплоемкость материала тормозного диска, Дж/(кг·°C),

$$C_{pd}(T) = 475 + 9,65 \cdot 10^{-2}T + 2,12 \cdot 10^{-4}T^2.$$

Твердость материала тормозного диска, Па,

$$H_d(T) = 3,26 \cdot 10^8 - 5,18 \cdot 10^5T + 1,91 \cdot 10^2T^2.$$

Модуль Юнга для материала тормозного диска, Па,

$$E_d(T) = 2,15 \cdot 10^{11} - 3,5 \cdot 10^7T - 6,79 \cdot 10^4T^2.$$

Коэффициент Пуассона для материала тормозного диска,

$$\nu_d(T) = 0,326 + 4 \cdot 10^{-5}T.$$

Коэффициент теплопроводности материала тормозной колодки, Вт/(м·°C),

$$\lambda_k(T) = 40,4 - 1,51 \cdot 10^{-2}T - 1,44 \cdot 10^{-5}T^2.$$

Плотность материала тормозной колодки, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho_k(T) = 5550 - 0,402 \cdot T + 9,51 \cdot 10^{-5}T^2.$$

Таблица 1

## Исходные данные к моделированию

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
Шаг по времени	$\tau$	1	с
Толщина стенки вентилируемого тормозного диска	$d$	0,02	м
Толщина фрикционной накладки тормозной колодки	$d_k$	0,03	м
Безразмерная координата по толщине стенки диска	$X$	0,5	—
Первый корень характеристического уравнения	$\eta$	3,38171	—
Температура тормозного диска в начальный момент торможения	$T_0$	20	°C
Температура окружающей воздушной среды	$T_f$	20	°C
Коэффициент черноты материала тормозного диска	$e_d$	0,3	—
Коэффициент черноты материала тормозной колодки	$e_k$	0,6	—
Характеристический размер каналов в вентилируемом тормозном диске	$D_d$	0,08	м
Характеристический размер каналов между элементами фрикционной накладки тормозной колодки	$D_k$	0,02	м
Радиус колеса вагона	$R_k$	0,445	м
Радиус тормозного диска	$R_d$	0,32	м
Средний радиус по тормозному диску	$R_e$	0,25	м
Характеристический размер для тормозного диска	$L_d$	0,32	м
Характеристический размер для тормозной колодки	$L_k$	0,3	м
Масса вагона, приходящаяся на один тормозной диск	$m$	4000	кг
Коэффициент трения скольжения фрикционной пары	$\mu$	0,3	—
Коэффициент влияния скорости на коэффициент трения	$n_v$	0,184	—
Коэффициент влияния скорости на коэффициент трения	$m_v$	0,1	с/м
Коэффициент влияния температуры на коэффициент трения	$n_T$	0,105	—
Коэффициент влияния температуры на коэффициент трения	$m_T$	0,014	1/°C
Объем тормозного диска	$V_d$	0,0058068	м <sup>3</sup>
Площадь тормозного диска	$A_d$	0,33055	м <sup>2</sup>
Площадь фрикционной поверхности тормозной колодки	$A_k$	$20141 \cdot 10^{-6}$	м <sup>2</sup>
Открытая поверхность тормозной колодки	$A_{kc}$	$64465 \cdot 10^{-6}$	м <sup>2</sup>
Объем фрикционных элементов тормозной колодки	$V_k$	$612422 \cdot 10^{-6}$	м <sup>3</sup>
Коэффициент пропорциональности в формуле износа	$K_0$	$10^{-6}$	—
Начальная скорость торможения	$v_0$	50...350	м/с

Теплоемкость материала тормозной колодки, Дж/(кг·°C),

$$C_{pk}(T) = 405 + 9,65 \cdot 10^{-2}T + 2,12 \cdot 10^{-4}T^2.$$

Твердость материала тормозной колодки, Па,

$$H_k(T) = 9,32 \cdot 10^7 - 1,48 \cdot 10^5T + 54,5 \cdot 10^2T^2.$$

Теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C),

$$C_{pv}(T) = 984 + 0,218 \cdot T - 7,36 \cdot 10^{-6}T^2.$$

Коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°C),

$$\lambda_v(T) = 2,52 \cdot 10^{-2} + 7,42 \cdot 10^{-5} \cdot T - 1,98 \cdot 10^{-8}T^2.$$

Динамическая вязкость воздуха, Па·с,

$$\mu_v(T) = 1,79 \cdot 10^{-5} + 4,25 \cdot 10^{-8} \cdot T - 1,18 \cdot 10^{-11}T^2.$$

Кинематическая вязкость воздуха, м²/с,

$$\nu_v(T) = 1,16 \cdot 10^{-5} + 1,05 \cdot 10^{-7} \cdot T + 6,07 \cdot 10^{-11}T^2.$$

Моделирование тепловых процессов выполнено в представленной последовательности.

Удельная изобарная теплоемкость материала тормозного диска, Дж/(м³·°C),

$$A_{pd}(T) = \rho_d(T) \cdot C_{pd}(T).$$

Температуропроводность материала тормозного диска, м²/с,

$$\alpha_d(T) = \frac{\lambda_d(T)}{C_{pd}(T)}.$$

Угловая скорость вращения колеса, с⁻¹,

$$\omega_1(t) = \frac{v(t)}{R_k},$$

где  $v(t)$  — скорость движения поезда, м/с;  $t$  — время торможения, с.

Для расчета средней скорости относительного движения фрикционных поверхностей тормозного диска и тормозной колодки в форме диска, совершающей поворот на угол 180° относительно поверхности тормозного диска в начальный момент торможения, автором предложено выражение:

$$\nu_d(t) = \frac{h^2}{\pi \cdot r^2} \sum_i \sum_j \sqrt{y_{ij}^2 (\omega_1 - \omega_2)^2 + (x_{ij} (\omega_2 - \omega_1) - \omega_1 (R_d - r))^2},$$

где  $h$  — шаг разбиений по осям  $x$  и  $y$ ;  $r$  — радиус тормозной колодки для случая тормозной колодки в форме диска;  $R_d$  — радиус тормозного диска;  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  — угловые скорости вращения тормозного диска и тормозной колодки в процессе поворота тормозной колодки на угол 180° относительно поверхности тормозного диска в начальный момент торможения;  $x_{ij}$  и  $y_{ij}$  — координаты элемента площади фрикционного взаимодействия в системе координат, связанной с осью поворота тормозной колодки на угол 180°,  $x_{ij}^2 + y_{ij}^2 \leq (r + s_r)^2$ , где  $s_r$  — смещение оси поворота относительно центра масс тормозной колодки.

Зависимость коэффициента трения от средней скорости относительного движения фрикционных поверхностей тормозного диска и тормозной колодки и от температуры [8]:

$$\mu_d(t) = \mu \cdot (n_v e^{-m_v \cdot \nu_d(t)} + 1) \cdot (n_T e^{-m_T \cdot T(t)} + 1),$$

где  $T(t)$  — средняя температура в зоне фрикционного контакта, °C.

Работа фрикционного взаимодействия в дисковом тормозе в интервале времени торможения от  $t_1$  до  $t_2$ , где  $t_2 = t_1 + \tau$ , без учета прочих сил сопротивления движению, Дж,

$$W(t) = \frac{1}{2} m ([v_0 - a(t_2) \cdot t_2]^2 - [v_0 - a(t_1) \cdot t_1]^2),$$

где  $a(t)$  — замедление поезда, зависящее от текущего значения  $\mu_d(t)$  среднего коэффициента трения фрикционных пар, м/с².

Доля работы фрикционного взаимодействия, переходящая в нагрев тормозного диска [9],

$$k_d(T) = 1 - \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\rho_k(T) \cdot C_{pk}(T) \cdot \lambda_k(T)}{\rho_d(T) \cdot C_{pd}(T) \cdot \lambda_d(T)}}}.$$

Плотность теплового потока из зоны фрикционного взаимодействия в тормозной диск, Вт/м²,

$$q_d(t) = \frac{k_d(t) \cdot W(t)}{\tau \cdot A_d}.$$

Введем безразмерное время

$$f_o(T(t)) = \frac{\alpha_d(T) \cdot t}{d^2}.$$

Введем безразмерную относительную температуру [10]:

$$\Theta_d(t) = f_o(t) + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{6} + \frac{2}{\pi^2} \cdot \cos(\pi X) \cdot e^{-\eta^2 t_o(t)}.$$

Число Рейнольдса для внешней поверхности тормозного диска

$$Re_{d1}(T(t)) = \frac{\rho_v(T) \cdot v_d(t) \cdot L_d}{\mu_v(T)}.$$

Число Рейнольдса для внутренней поверхности тормозного диска

$$Re_{d2}(T(t)) = \frac{\rho_v(T) \cdot v_d(t) \cdot D_d}{\mu_v(T)}.$$

Число Прандтля

$$Pr_d(T) = \frac{\mu_v(T) \cdot C_{pv}(T)}{\lambda_v(T)}.$$

В расчетах используются корреляционные соотношения между характеристической длиной внутренних каналов тормозного диска и скоростью воздушного потока для внутренней конвекции [11].

Коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> · °С),

$$\alpha_1(T) = \begin{cases} \frac{3,66 \cdot \lambda_v(T)}{D_d}, & Re_{d1} \leq 2500, \\ \frac{0,027 \cdot \lambda_v(T) \cdot (Re_{d1}(T))^{0,8} \cdot (Pr_d(T))^{\eta} \cdot (\mu_v(T_f))^{0,14}}{D_d \cdot (\mu_v(T))^{0,14}}, & Re_{d1} > 2500. \end{cases}$$

В расчетах используются корреляционные соотношения между характеристической длиной тормозного диска и скоростью воздушного потока для внешней конвекции [11].

Коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> · °С),

$$\alpha_2(T) = \begin{cases} \frac{2\lambda_v(T)}{L_d} \cdot \frac{0,3387 \cdot (Pr_d(T))^{1/3} \cdot (Re_{d2}(T))^{1/2}}{\left(1 + \left[\frac{0,0468}{Pr_d(T)}\right]^{2/3}\right)^{1/4}}, & Re_{d2} \leq 5 \cdot 10^5, \\ \frac{2\lambda_v(T)}{L_d} \cdot (Pr_d(T))^{1/3} \cdot (0,037 \cdot (Re_{d2}(T))^{0,8} - 871), & Re_{d2} > 5 \cdot 10^5. \end{cases}$$

Внутренний конвективный тепловой поток в направлении нормали к поверхности тормозного диска, Вт/м<sup>2</sup>,

$$q_1(T) = \alpha_1(T) \cdot (T - T_f).$$

Внешний конвективный тепловой поток в направлении нормали к поверхности тормозного диска, Вт/м<sup>2</sup>,

$$q_2(T) = \alpha_2(T) \cdot (T - T_f).$$

Тепловой поток в направлении оси колесной пары, Вт/м<sup>2</sup>,

$$q_3(T) = \frac{\lambda_d(T) \cdot (T - T_f)}{8 \cdot R_d}.$$

Поток мощности теплового излучения с поверхности тормозного диска, Вт/м<sup>2</sup>,

$$q_4(T) = e_d \cdot \sigma \cdot ((T + 273)^4 - (T_f + 273)^4),$$

где  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана, кг/(с<sup>3</sup> · К<sup>4</sup>).

Тепловой поток, идущий на нагрев тормозного диска, Вт/м<sup>2</sup>,

$$q_w(T) = q_d(T) - \sum_{i=1}^4 q_i(T).$$

Температура тормозного диска в момент времени  $t$ , °С,

$$T(t) = \frac{\theta_d(t) \cdot q_v(t) \cdot d}{\lambda_d(T)} + T(t - \tau).$$

Переход от безразмерного времени  $f_o$  к  $t$ , с,

$$t = \frac{f_o(T(t)) \cdot d^2}{\alpha_d(T)}.$$

Энергия, рассеиваемая внутренней конвекцией диска за время  $\tau$ , Дж,

$$W_1(T) = q_1(T) \cdot A_d \cdot \tau.$$

Энергия, рассеиваемая внешней конвекцией диска за время  $\tau$ , Дж,

$$W_2(T) = q_2(T) \cdot A_d \cdot \tau.$$

Энергия, рассеиваемая осью колесной пары за время  $\tau$ , Дж,

$$W_3(T) = q_3(T) \cdot A_a \cdot \tau.$$

где  $A_a$  — площадь поперечного сечения оси колесной пары, м<sup>2</sup>.

Энергия, рассеиваемая тепловым излучением с поверхности тормозного диска за время  $\tau$ , Дж,

$$W_4(T) = q_4(T) \cdot A_d \cdot \tau.$$



Суммарная энергия, рассеиваемая внутренней конвекцией диска за время торможения, Дж,

$$W_{1\Sigma} = A_d \cdot \tau \sum_{i=1}^N q_{1i}(T),$$

где  $N$  — число разбиений интервала торможения.

Суммарная энергия, рассеиваемая внешней конвекцией диска за время торможения, Дж,

$$W_{2\Sigma} = A_d \cdot \tau \sum_{i=1}^N q_{2i}(T).$$

Суммарная энергия, рассеиваемая осью колесной пары за время торможения, Дж,

$$W_{3\Sigma} = A_a \cdot \tau \sum_{i=1}^N q_{3i}(T).$$

Суммарная энергия, рассеиваемая тепловым излучением с поверхности тормозного диска за время торможения, Дж,

$$W_{4\Sigma} = A_d \cdot \tau \sum_{i=1}^N q_{4i}(T).$$

Из закона Арчарда [12] получим выражение для линейного износа фрикционной поверхности тормозного диска за время  $\tau$ , м:

$$\delta_L(T(t)) = \frac{K_0}{H_d(T)} \cdot p \cdot v_d(t) \cdot \tau,$$

где  $K_0$  — коэффициент износа, экспериментальное значение которого для разных материалов фрикционных пар находится в пределах  $10^{-2} \dots 10^{-7}$ ;  $p$  — нормальное давление, Па;  $v_d(t)$  — средняя скорость относительного движения точек фрикционных поверхностей в интервале времени от  $t$  до  $t + \tau$ , м/с.

Получим закон износа в удобной для проведения сравнительного анализа форме. Для этого выразим нормальное давление, действующее в зоне фрикционного взаимодействия, через силу прижатия тормозной колодки к тормозному диску и через площадь контактной поверхности тормозной колодки:

$$p = \frac{F_b}{A_k},$$

где  $F_b$  — сила прижатия тормозной колодки к тормозному диску, Н.

Перепишем выражение для линейного износа  $\delta_L$  в виде:

$$\delta_L(T(t)) = \frac{K_0}{H_d(T)} \cdot \frac{F_b}{A_k} \cdot v_d(t) \cdot \tau.$$

Скорость линейного износа, м/с,

$$\delta(T(t)) = \frac{K_0}{H_d(T)} \cdot \frac{F_b}{A_k} \cdot v_d(t).$$

Суммарный линейный износ фрикционной поверхности тормозного диска за время торможения, мм,

$$\delta_{L\Sigma} = \frac{10^3 \cdot K_0 \cdot F_b \cdot \tau}{A_k} \sum_{i=1}^N \frac{v_d(t)}{H_d(T)}.$$

Суммарный объемный износ фрикционной поверхности тормозного диска за время торможения, см<sup>3</sup>,

$$\delta_{V\Sigma} = 10^6 \cdot K_0 \cdot F_b \cdot \tau \sum_{i=1}^N \frac{v_d(t)}{H_d(T)}.$$

Суммарный объемный износ фрикционной поверхности тормозного диска за время торможения, см<sup>3</sup>/кВт,

$$\delta_{W\Sigma} = 10^9 \cdot K_0 \cdot F_b \cdot \tau^2 \sum_{i=1}^N \frac{v_d(t)}{H_d(T) \cdot W(t)}.$$

Работа фрикционного взаимодействия, которая идет на износ фрикционной поверхности тормозного диска за время торможения, Дж,

$$W_\delta = \frac{K_1 \cdot K_0 \cdot F_b \cdot \tau}{A_k} \sum_{i=1}^N \frac{v_d(t)}{H_d(T)},$$

где  $K_1$  — эмпирический коэффициент пропорциональности между работой фрикционного взаимодействия, которая идет на износ, и величиной линейного износа. Для различных фрикционных материалов  $K_1 = (5 \dots 50) \cdot 10^3$  Дж/м.

Суммарные диссипативные потери энергии тормозного диска за время торможения, Дж,

$$W_{d\Sigma} = W_\delta + \sum_{i=1}^4 W_{i\Sigma}.$$

Математическая модель содержит аналитические зависимости для описания тепловых процессов и процесса износа в тормозной колодке, аналогичные приведенным зависимостям для тормозного диска.

Доля работы фрикционного взаимодействия, переходящая в нагрев тормозной колодки,

$$k_k(T) = 1 - k_d(T).$$

Температура тормозной колодки в момент времени  $t$ , с учетом объема  $V_k$  фрикционных элементов тормозной колодки, °С,

$$T_k(t) = \frac{\theta_k(t) \cdot q_v(t) \cdot d_k}{\lambda_k(T_k)} + T_k(t - \tau) + \frac{q_{wk}(T_k)}{\rho_k(T_k) \cdot C_{pk}(T_k) \cdot V_k}.$$

Полученная математическая модель была дополнительно усовершенствована путем замены корреляционных соотношений между характеристическими размерами тормозного диска и тормозной колодки и скоростью воздушного потока, определяющими коэффициенты теплопередачи  $\alpha_1(T)$  и  $\alpha_2(T)$ , следующими полученными автором эмпирическими корреляционными соотношениями:

$$\alpha_{kj}(t) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^n \frac{a_{kji}}{b_{kji}^3} \cdot e^{-\frac{(\ln(v_0 - v_{\alpha}(t)) - \ln(c_{kji}))^2}{2b_{kji}^2}}, \quad k, j = 1, 2,$$

где  $k=1$  соответствует тормозному диску,  $k=2$  — тормозной колодке;  $j=1$  для внутренней конвекции,  $j=2$  для внешней конвекции;  $n$  — число слагаемых в корреляционном соотношении;  $a_{kji}$ ,  $b_{kji}$ ,  $c_{kji}$  — эмпирические коэффициенты, зависящие от конструкции тормозного диска и фрикционной накладки тормозной колодки.

Для учета изменения внутренней конвекции вентилируемого тормозного диска в процессе торможения, в результате изменения площади входных окон, используем выражение для линейного смещения подпружиненного поворотного кольца тормозного диска (рис. 1) от углового замедления.

Поскольку момент силы тяжести гораздо меньше момента сил упругости пружин, приложенных к поворотному кольцу, то выполняется равенство:

$$2 \cdot F \cdot r_0 = J \cdot \varepsilon,$$

где  $F = k \cdot \Delta l$  — сила упругости пружины, Н ( $k$  — жесткость пружины, Н/м;  $\Delta l$  — абсолютная деформация пружины или линейное смещение подпружиненного поворотного кольца, м);  $r_0$  — средний радиус поворотного кольца, м;  $J = m \cdot r_0^2$  — момент инерции поворотного кольца относительно оси вращения, кг·м<sup>2</sup> ( $m$  — масса поворотного кольца, кг);  $\varepsilon$  — угловое замедление тормозного диска, с<sup>-2</sup>.

Линейное смещение подпружиненного поворотного кольца

$$\Delta l = \frac{J \cdot \varepsilon}{2 \cdot k \cdot r_0}.$$

В качестве эталонных использованы зависимости коэффициента трения материалов фрикционной пары по времени торможения для различных значений начальной скорости торможения и силы прижатия фрикционной пары, полученные при помощи испытательного стенда [2], а также результаты линейного и объемного износа материалов фрикционной пары. Результаты моделирования, полученные при помощи предложенной усовершенствованной математической модели, хорошо согласуются с результатами стендовых испытаний (рис. 2).

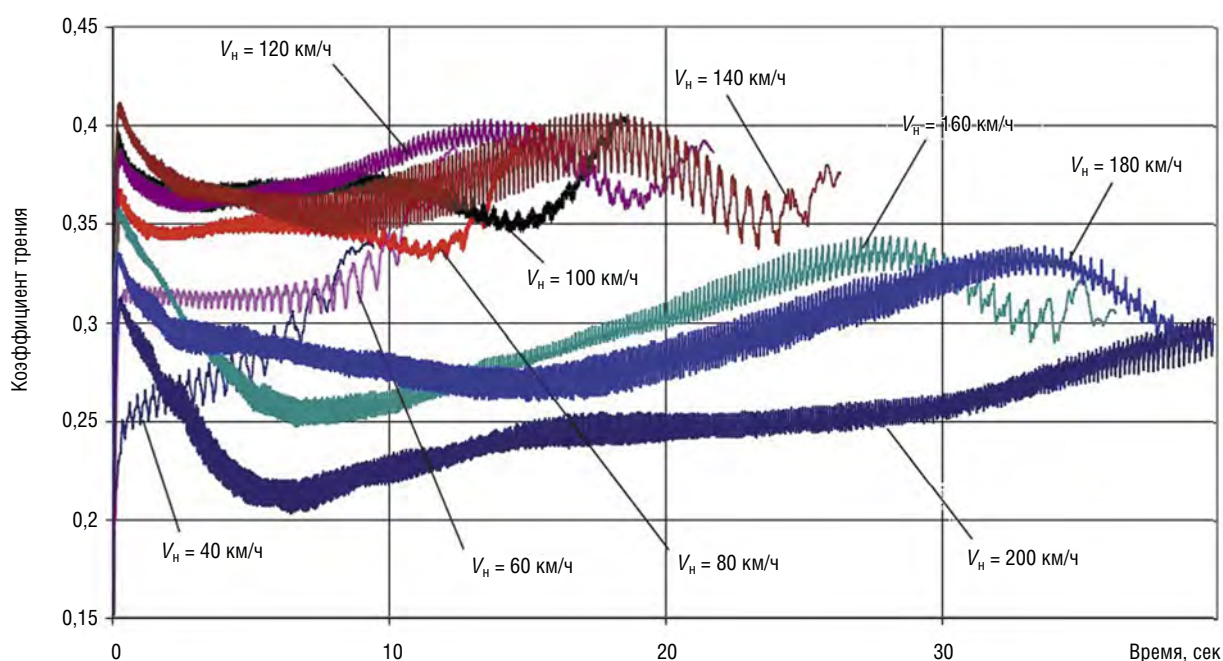


Рис. 2. Изменение мгновенных коэффициентов трения фрикционной пары в процессе торможения в режиме сухого трения. Усилие нажатия накладок на диск 24,5 кН [2]

Также установлено, что несмотря на хорошее согласование формы зависимости коэффициента трения материалов фрикционной пары от времени торможения с аналогичной зависимостью, полученной при помощи испытательного стенда, абсолютные значения коэффициента трения на некоторых временных интервалах могут отличаться до 15 %, причем в сторону увеличения результатов моделирования. Это может быть объяснено нестационарностью процесса фрикционного взаимодействия поверхностей фрикционной пары, а также упругими свойствами конструкции тормозного блока. В результате этого на экспериментальных зависимостях (рис. 2) наблюдается слабый колебательный процесс, основная частота которого зависит от от-

носительной скорости точек поверхностей фрикционной пары и уменьшается по времени торможения. Изучив зависимость спектральной плотности переменной составляющей коэффициента трения по времени торможения для реального тормозного блока с постоянной жесткостью конструкции возможно получение зависимостей аналогичных (рис. 2), по результатам математического моделирования, для чего в предложенную комплексную математическую модель достаточно добавить в выражение для коэффициента трения слабое в виде обратного преобразования Фурье, в которое подставлять в течение времени торможения соответствующие амплитуды гармоник переменной составляющей коэффициента трения. **ИТ**

### Список литературы

1. Heat Transfer Module User's Guide. Version: 4.4. Nov. 2013. COMSOL AB. — URL: // www.comsol.com.
2. Мошков А. А. Разработка рациональной конструкции блока дискового тормоза для скоростных грузовых и высокоскоростных пассажирских вагонов : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2014. — 217 с.
3. Мошков А. А., Сипягин Е. С. Разработка дискового тормоза для отечественного скоростного железнодорожного транспорта // Вестник ВЭЛНИИ. — 2013. — № 1 (65). — С. 55–68. — ISSN 1816–1928.
4. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник. — М. : Атомиздат, 1968. — 485 с.
5. Зиновьев В. Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справочное издание. — М. : Металлургия, 1989. — 384 с.
6. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Наука, 1972. — 721 с.
7. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов. Справочное руководство. — М. : Физматгиз, 1959. — 356 с.
8. Lee N. J., Kang C. G. The Effect of a Variable Disc Pad Friction Coefficient for the Mechanical Brake System of a Railway Vehicle // PLoS ONE. — 2015. — 10(8): e0135459. — URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135459>.
9. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М. : Высшая шк., 1967. — 600 с.
10. Chen J., Gao F. Temperature Field and Thermal Stress Analyses of High-Speed Train Brake Disc Under Pad Variations // The Open Mechanical Engineering Journal. — 2015. — No. 9. — P. 371–378. — ISSN 1874–155X.
11. Codina R. Comparison of Some Finite Element Methods for Solving the Diffusion-Convection-Reaction Equation // Comp. Meth. Appl. Mech. Engrg. — 1998. — Vol. 156. — P. 185–210. — ISSN 0045–7825.
12. Archard J. F. Wear theory and mechanisms. Wear control handbook. — New York: ASME, 1980. — 80 p.

Объем статьи: 0,78 авторских листа



Татьяна Анатольевна  
Антропова

Tatiana A. Antropova

## Анализ повреждаемости корпусов букс трехосных тележек грузовых вагонов по результатам усталостных испытаний

### Analysis of damage rate of freight car three-axis bogies axle-box bodies according to the results of fatigue tests

#### Аннотация

В последнее время прослеживается тенденция введения в регулярное обращение тяжеловесных поездов с повышенной осевой нагрузкой. Вагоны имеют достаточно большой срок службы, поэтому новые конструкции должны удовлетворять не только существующим, но и перспективным условиям эксплуатации. Для выявления наиболее подверженных усталостным разрушениям зон корпуса буксы проведены их полные ускоренные испытания на прочность, что позволяет повысить гарантийный срок их службы и подтвердить результативность проведенной оптимизации литых несущих деталей тележки 18-552А.

**Ключевые слова:** усталостная прочность, корпус буксы, грузовая трехосная тележка, нагрузка, циклические испытания, характер усталостного разрушения.

#### Annotation

Recently one can observe a tendency towards introduction into regular service of heavy-tonnage trains with increased axle loading. The trains have quite a long life, therefore new structures are to satisfy not only existing but perspective operating conditions. In order to reveal the most vulnerable to fatigue destructions axle-box body areas, complete accelerated strength tests were made, this enabling to prolong their guarantee service period and prove the resulting quality of the optimization of moulded supporting 18-552A bogie parts.

**Keywords:** fatigue strength, axle-box body, freight three-axis bogie, load, cyclic tests, fatigue destruction character.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-66-69

#### Авторы Authors

Татьяна Анатольевна Антропова, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: TAntropova@usurt.ru

Tatiana Anatolievna Antropova, Associate Professor of "Car designing and operation" chair, Ural state university of railway transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: TAntropova@usurt.ru



Наиболее ответственными узлами грузовых вагонов, от надежности которых зависит безопасность движения поездов и эффективность использования вагонного парка, являются ходовые части и, в частности, несущие детали тележек. Опыт эксплуатации показывает, что надежность и долговечность большинства литых деталей тележек прежних лет постройки (боковых рам, надрессорных, соединительных балок) нельзя считать достаточным, так как в процессе эксплуатации в наиболее напряженных сечениях этих деталей возникают повреждения в виде усталостных трещин.

В последнее время увеличивается спрос на трехосные грузовые тележки. АО «Научно-производственная корпорация „Уралвагонзавод“» согласно требованиям [1] провело конструктивно-технологическую оптимизацию литых несущих деталей тележки 18-552А с нагрузкой на ось 22 тс (216 кН) с целью повышения их гарантийного срока службы до 22 лет.

В настоящей статье рассматривается такая деталь тележки, как корпус буксы (балансир) трехосной тележки модели 18-522А [2]. Общий вид корпуса буксы трехосной тележки приведен на рис. 1.

Многолетняя практика проектирования показывает, что создать конструкцию равнопрочной во всех своих элементах невозможно [3]. Все имеющиеся конструкции в той или иной мере неравнопрочны. Аналогичная картина наблюдается и в литых деталях тележки. Следовательно, при оценке долговечности прежде всего необходимо выявить напряженные зоны деталей, предопределяющие срок их службы.

Для выявления наиболее подверженных усталостным разрушениям зон корпуса буксы проведены их полные ускоренные испытания на прочность.

Испытания проводят на аттестованных стендах с гидропульсаторными силонагружающими установками. Общий вид усталостных испытаний корпуса буксы (балансира) показан на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид корпуса буксы трехосной тележки модели 18-522А



Рис. 2. Общий вид усталостных испытаний корпуса буксы

Испытываемый корпус буксы устанавливается на две опорные тумбы в повернутом положении. Левая опора цилиндрическая, с опорной плитой, допускающая поворот вокруг продольного направления. Правая опора с опорной плитой сферической конструкции, обеспечивающая поворот вокруг продольного и бокового направления. Таким образом, передача нагрузки на корпус буксы полностью имитирует взаимодействие корпуса буксы с опорной плоскостью хобота правой и левой боковых рам тележки. Опорные тумбы в плане разнесены на расстояние  $145 + 2,5$  мм для установки корпуса буксы и крепятся на силовом столе испытательной машины (стенда).

Испытательная вертикальная нагрузка  $P$  на корпус буксы передается по оси колесной пары. Расстояние между опорами в продольном направлении при проведении испытаний корпуса буксы принимается 1040 мм, согласно зонам опирания боковых рам тележки на вкладыши корпуса буксы (балансира).

Каждую деталь испытывают при асимметричном цикле нагружения до разрушения или достижения базового числа циклов  $N_0 = 10^7$ . Постоянную среднюю нагрузку  $P_m$  принимают одинаковой как для полных, так и для сокращенных испытаний корпусов буксы в зависимости от осевой нагрузки ( $P_T = 127$  кН (13,0 тс)).

При проведении осмотров корпусов букс в процессе циклических испытаний особое внимание следует обращать на зоны, указанные на рис. 3, в сечениях которых, по результатам расчетов, появляются напряжения высокого уровня.



Рис. 3. Зоны особого контроля корпуса буксы в процессе циклических испытаний

Циклическими нагрузками испытано десять балансиров трехосной тележки модели 18-522А, все они разрушились. Результаты испытаний приведены в табл. 1 и на рис. 4.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Зоны корпуса буксы, наиболее подверженные усталостным разрушениям, — это в средней части балансира замкнутый проем с челюстями, в котором размещается букса средней колесной пары; отверстия по обоим концам балансира, предназначенные для соединения его с боковыми рамами.

2. При построении математической модели для дальнейшего исследования прочностных показателей корпуса буксы необходимо уделять пристальное внимание зонам, наиболее подверженным усталостным разрушениям.

3. Количество зон особого контроля корпуса буксы в процессе циклических испытаний уменьшилось. Это свидетельствует о том, что конструкция является более равнопрочной, чем изначально предполагалось. **ИТ**

Таблица 1

Результаты испытаний балансиров трехосной тележки модели 18-522А

№ образца	Амплитуда нагрузки, тс	Количество циклов до разрушения	Место и характер разрушения
288	18	$5,45 \cdot 10^6$	излом по углу средней части корпуса буксы
226	15	$6,84 \cdot 10^6$	излом по верхней части балансира
235	10	$8 \cdot 10^6$	излом по углу средней части корпуса буксы
329	20	$5 \cdot 10^6$	излом правого конца балансира
241	22	$4,89 \cdot 10^6$	излом по углу средней части корпуса буксы
229	24	$2,717 \cdot 10^6$	трещина 80 мм в верхней части балансира
317	24	$3,00 \cdot 10^6$	трещина 120 мм средней части корпуса буксы
270	20	$1,7 \cdot 10^6$	трещина 100 мм средней части корпуса буксы
261	25	$1,9 \cdot 10^6$	излом средней части корпуса буксы
234	22	$4,15 \cdot 10^6$	трещина 60 мм средней части корпуса буксы





Рис. 4. Разрушения балансиров

## Список литературы

1. ГОСТ 15.309–98. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. — 13 с.
2. ТУ 3183–02107518941–96. Тележка трехосная модель 18-522А. Технические условия. ГПО «Уралвагонзавод», 19.12.1996.
3. Левин А. Б., Смолянинов А. В., Павлюков А. Э. Разработка технического облика трехосной тележки грузовых вагонов // Инновационный транспорт. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — № 1. — С. 49–58. — ISSN 2311–164X.

Объем статьи: 0,41 авторских листа



Владимир Афанасьевич  
Войтенко

Vladimir A. Voytenko

## Тепловые процессы и процессы изнашивания в дисковом тормозе с поворотом тормозной колодки

## Thermal processes and wear processes in the disc brake with a brake shoe turnover

### Аннотация

Предложена конструкция клещевого механизма для дискового тормоза с поворотом тормозной колодки, обеспечивающая возможность поворота тормозной колодки вокруг оси, не проходящей через ее центр масс, на угол  $180^\circ$  за счет приложенного момента сил трения в процессе торможения пассажирского поезда. Такая плавающая тормозная колодка будет оптимальным образом позиционироваться на поверхности тормозного диска, меняя свое положение при реверсивном движении пассажирского поезда, и обеспечивать увеличение равномерности износа фрикционной пары и уменьшение величины линейного износа. Усовершенствована математическая модель и приведены результаты моделирования тепловых процессов и процессов изнашивания в дисковом тормозе с поворотом тормозной колодки. Учтены особенности конструкции клещевого механизма дискового тормоза с поворотом тормозной колодки при моделировании тепловых процессов и процессов изнашивания. Получены временные зависимости средних температур тормозного диска и тормозной колодки и потерь энергии фрикционного взаимодействия, включая потери на износ в процессе торможения. Установлено, что дисковый тормоз с поворотом тормозной колодки имеет несколько лучшие показатели по изнашиванию фрикционных поверхностей по сравнению с классическим дисковым тормозом с неподвижной тормозной колодкой, однако тепловые процессы в обоих случаях сходны.

**Ключевые слова:** тепловой процесс, износ, фрикционное взаимодействие, дисковый тормоз, тормозной диск, плавающая тормозная колодка.

### Annotation

Nippers for a disk brake with a brake shoe turning by  $180^\circ$  about the axis which does not pass through its mass centre due to the applied friction forces moment at a passenger train braking. Such a floating brake shoe will be positioned on the brake disk in the most optimal way, changing its position during reverse movement of the passenger train and ensure increase of the friction pair wear regularity and reduction of linear wear value. The mathematical model was improved and the results of thermal processes simulation and wear processes in the disk brake with a brake shoe turnover were given. Peculiarities of the disk brake nippers structure were taken into consideration in thermal and wear simulation. We obtained temporary dependencies of average temperatures of the brake disk and brake shoe and frictional power dissipation, including dissipation on wear at braking. It was found that a disc brake with a brake shoe turn has better characteristics in frictional surfaces wear as compared to a classical disc brake with a fixed brake shoe, yet thermal processes are similar in both cases.

**Keywords:** process, wear, frictional interaction, disk brake, brake disc, floating brake shoe.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-3-70-74

### Авторы Authors

Владимир Афанасьевич Войтенко, канд. техн. наук, доцент кафедры «Микро- и нанoeлектроника» Луганского национального университета имени Владимира Даля, Луганск; e-mail: vlvoytenko@gmail.com.

Vladimir Afanasievich Voytenko, Candidate of tech.science, Associate Professor of "Micro-and-nanoelectronics" chair, Lugansk national university named after Vladimir Dal; Lugansk, e-mail: vlvoytenko@gmail.com



При сравнительном анализе дисковых тормозов различной конструкции в качестве критериев сравнения могут быть использованы параметры фрикционного взаимодействия, параметры тепловых процессов и процессов изнашивания [1–3]. Параметры фрикционного взаимодействия обеспечивают требуемую эффективность торможения. Параметры тепловых процессов обеспечивают надежность и безопасность торможения поезда. Параметры изнашивания определяют эксплуатационные издержки. Новые фрикционные материалы на основе металлокерамики обеспечивают высокую эффективность торможения, работу при высоких температурах и малый износ фрикционных поверхностей [4, 5].

По мнению автора, существуют значительные резервы снижения износа и повышения эффективности торможения за счет повышения равномерности распределения износа и контактных температур по рабочим поверхностям фрикционной пары. Это может быть достигнуто использованием кинематических схем дискового тормоза, реализующих поворот плавающей тормозной колодки в процессе торможения.

Целью работы является усовершенствование математической модели тепловых процессов и процессов изнашивания применительно к дисковому тормозному боку с поворотом плавающей тормозной колодки на угол до  $180^\circ$  и проведение с ее помощью сравнительного анализа тепловых процессов и процессов изнашивания для классической и предлагаемой конструкций дискового тормоза.

Конструкция усовершенствованного клещевого механизма дискового тормоза с плавающей тормозной колодкой (рис. 1) позволяет при реверсировании направления движения пассажирского поезда в начальный момент торможения изменять положение плавающей тормозной колодки на угол до  $180^\circ$ . При этом плавающая тормозная колодка занимает оптимальное положение на поверхности тормозного диска, что способствует повышению эффективности торможения. Особенности конструкции дискового тормоза с плавающей тормозной колодкой должны быть учтены при моделировании тепловых процессов и процессов изнашивания.

В качестве основы для построения математической модели тепловых процессов в дисковом тормозе с поворотом плавающей тормозной колодки была взята широко известная модель [6], которая была дополнена аналитическим выражением, учитывающим поворот тормозной колодки в начальный момент торможения. Также в математическую модель были добавлены: учет объема фрикционного материала при расчете температуры колодки; учет сопротивления движению поезда; расчет скорости линейного износа, величин линейного и объемного износа, объемного износа на киловатт; расчет работы фрикционного взаимодействия, идущей на изнашивание фрикционных поверхностей.

В расчетах используются зависимости теплофизических величин фрикционных и конструкционных материалов от температуры [7–10].

Для расчета средней скорости относительного движения фрикционных поверхностей тормозного диска и тормозной колодки в форме диска, совершающей поворот на угол  $180^\circ$  относительно поверхности тормозного диска в начале торможения, автором предложено выражение:

$$v_d = \frac{h^2}{\pi \cdot r^2} \sum_i \sum_j \left[ y_{ij}^2 (W_d - W_k)^2 + (x_{ij} (W_k - W_d) - W_d (r_d - r))^2 \right]^{1/2},$$

где  $h$  — шаг разбиений по осям  $x$  и  $y$ ;  $r$  — радиус тормозной колодки для случая тормозной колодки в форме диска;  $r_d$  — радиус тормозного диска;  $W_d$ ,  $W_k$  — угловые скорости вращения тормозного диска и тормозной колодки в процессе поворота тормозной колодки на угол  $180^\circ$  относительно поверхности тормозного диска в начальный момент торможения;  $x_{ij}$  и  $y_{ij}$  — координаты элемента площади фрикционного взаимодействия в системе координат, связанной с осью поворота тормозной тормозной колодки на угол  $180^\circ$ ,  $x_{ij}^2 + y_{ij}^2 \leq (r + s_r)^2$ , где  $s_r$  — смещение оси поворота относительно центра масс тормозной колодки.

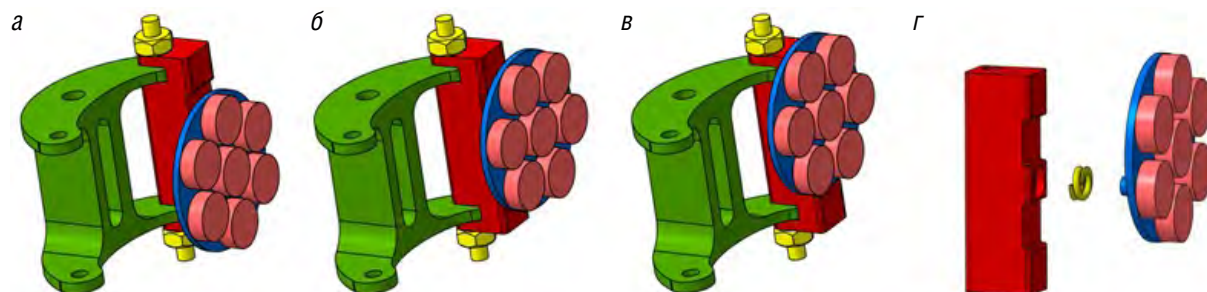


Рис. 1. Конструкция клещевого механизма для дискового тормоза с поворотом тормозной колодки на угол  $180^\circ$ : а — положение тормозной колодки в процессе торможения при движении поезда в прямом направлении; б — положение тормозной колодки в процессе торможения при движении поезда в реверсном направлении; в — промежуточное положение тормозной колодки при ее повороте; г — детали клещевого механизма



Зависимость коэффициента трения от средней скорости относительного движения фрикционных поверхностей тормозного диска и тормозной колодки и от температуры [11]:

$$\mu(t) = \mu_0 \cdot (n_v e^{-m_v \cdot v_d(t)} + 1) \times (n_T e^{-m_T \cdot T(t)} + 1),$$

где  $\mu_0$  — коэффициент трения покоя фрикционной пары при комнатной температуре;  $n_v, n_T$  — коэффициенты, учитывающие влияние, соответственно, скорости относительного движения  $v_d$  и температуры  $T$  на коэффициент трения;  $m_v$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости относительного движения на коэффициент трения,  $\text{м}^{-1}\text{с}$ ;  $m_T$  — коэффициент, учитывающий влияние температуры на коэффициент трения,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $T(t)$  — средняя температура в зоне фрикционного контакта,  $^\circ\text{C}$ .

Использовался закон Арчарда [12] для линейного износа фрикционной поверхности тормозного диска.

Усовершенствованная математическая модель была апробирована следующим образом. Полученные результаты моделирования тепловых процессов в дисковом тормозе с неподвижной тормозной колодкой сравнивались с аналогичными результатами, полученными в среде COMSOL AB [6]. При этом было получено хорошее совпадение результатов моделирования. Результаты расчетов тех параметров, которые не могут быть получены в среде COMSOL AB, сравнивались с экспериментальными значениями, полученными на испытательном стенде. Для разных комбинаций относительной скорости и силы прижатия тормозной колодки к тормозному диску были доступны для измерения следующие величины: температуры поверхности тормозного диска и тормозной колодки; температуры оси тормозного диска и клещевого механизма; поток теплового излучения с поверхности тормозного диска и с поверхности тормозной колодки;

скорость и температура воздушного потока; величина линейного износа фрикционных поверхностей; коэффициент трения скольжения. Доступные экспериментальные данные позволили проверить адекватность усовершенствованной математической модели по всем выходным параметрам. Получено хорошее согласование результатов моделирования с экспериментальными данными в пределах 10–15 %.

В качестве примера приведены временные зависимости температур тормозного диска и тормозной ко-

лодки, а также коэффициента трения (рис. 2) для разных начальных скоростей торможения поезда. Также приведены зависимости тепловых потерь на внутреннюю и внешнюю конвекцию и тепловое излучение (рис. 3). Потери тепла через ось колесной пары и клещевой механизм существенно меньше указанных потерь, поэтому на рис. 3 не показаны. Результаты сравнения скорости износа и линейного износа для разных начальных скоростей торможения поезда показаны на рис. 4.

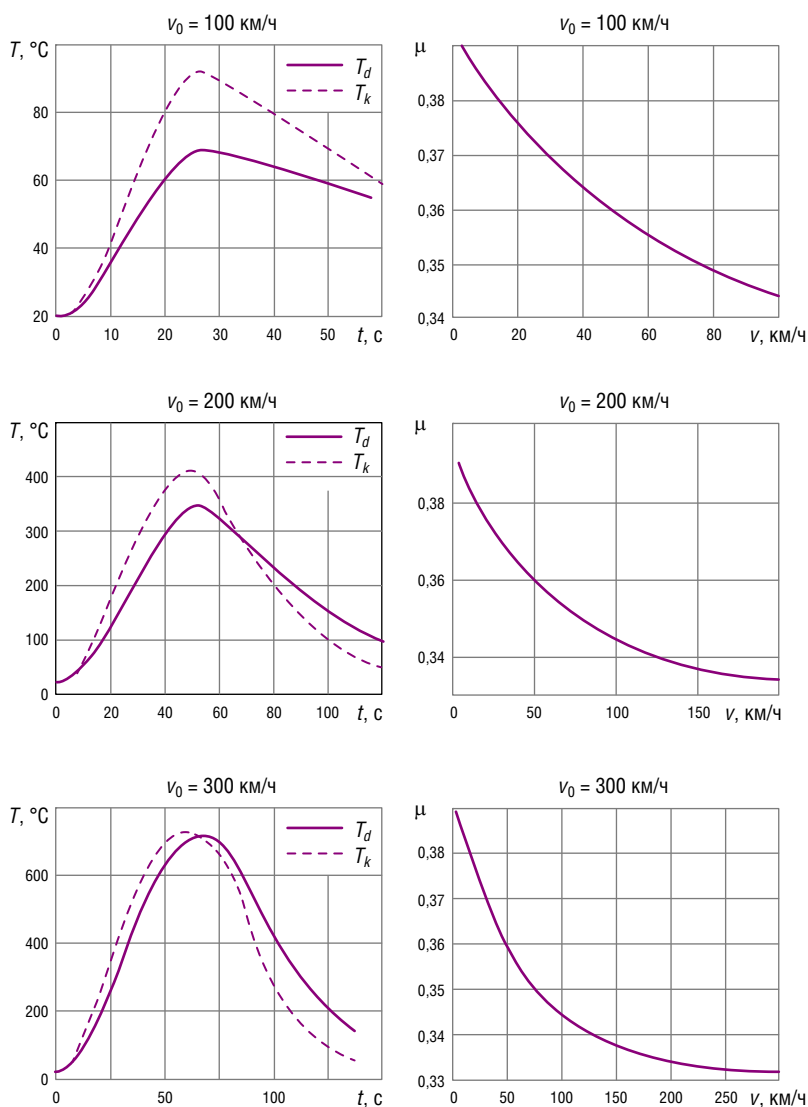


Рис. 2. Результаты моделирования зависимости температур тормозного диска  $T_d$  и тормозной колодки  $T_k$  от времени и зависимости коэффициента трения фрикционной пары от скорости движения поезда для различных скоростей  $v_0$  начала торможения

С увеличением начальной скорости торможения поезда (рис. 2) наблюдается рост максимальных температур нагрева тормозного диска и тормозной колодки. Так, при начальной скорости торможения 100 км/ч, 200 км/ч и 300 км/ч максимальная температура тормозного диска составляет, соответственно, 70 °С, 350 °С и 710 °С, а температура тормозной колодки 90 °С, 410 °С, 730 °С соответственно. Характер изменения температуры нелинейный, причем температура тормозной колодки всегда выше температуры тор-

мозного диска, но с ростом начальной скорости торможения эта разница уменьшается.

С увеличением начальной скорости торможения поезда (рис. 2) наблюдается изменение коэффициента трения фрикционной пары в диапазоне от 0,345 до 0,395 при начальной скорости торможения 100 км/ч; от 0,337 до 0,395 при начальной скорости торможения 200 км/ч; от 0,332 до 0,395 при начальной скорости торможения 300 км/ч. Полученные диапазоны изменения коэффициента трения показывают высокую эф-

фективность торможения при помощи дискового тормоза с поворотом тормозной колодки во всем диапазоне скоростей торможения, которая не уступает эффективности торможения при помощи классического дискового тормоза. Однако, учитывая более равномерный износ фрикционных поверхностей тормозного блока с поворотом тормозной колодки, ожидается повышение эффективности торможения поезда и увеличение срока службы фрикционной пары.

Результаты моделирования тепловых процессов в дисковом тормозе с поворотом тормозной колодки (рис. 3) показывают, что при начальной скорости торможения 100 км/ч основную часть рассеиваемой энергии составляют конвективные потери. При начальной скорости торможения 200 км/ч потери энергии на тепловое излучение для тормозной колодки становятся сопоставимыми с конвективными потерями, а при начальной скорости торможения 300 км/ч потери энергии на тепловое излучение сопоставимы с конвективными потерями для тормозного диска и практически достигают значений конвективных потерь для тормозной колодки.

При начальных скоростях торможения 100 км/ч и 200 км/ч скорость линейного износа фрикционных поверхностей в процессе торможения монотонно убывает, а при начальной скорости торможения 300 км/ч скорость линейного износа имеет выраженный максимум, совпадающий по времени торможения с максимумами на временной зависимости температур тормозного диска и тормозной колодки (рис. 4).

Линейный износ фрикционных поверхностей при торможении монотонно возрастает, практически по линейному закону, в диапазоне скоростей начала торможения до 200 км/ч (рис. 4). При скорости начала торможения 300 км/ч наблюдается нелинейность с более интенсивным изнашиванием фрикционных поверхностей к концу торможения.

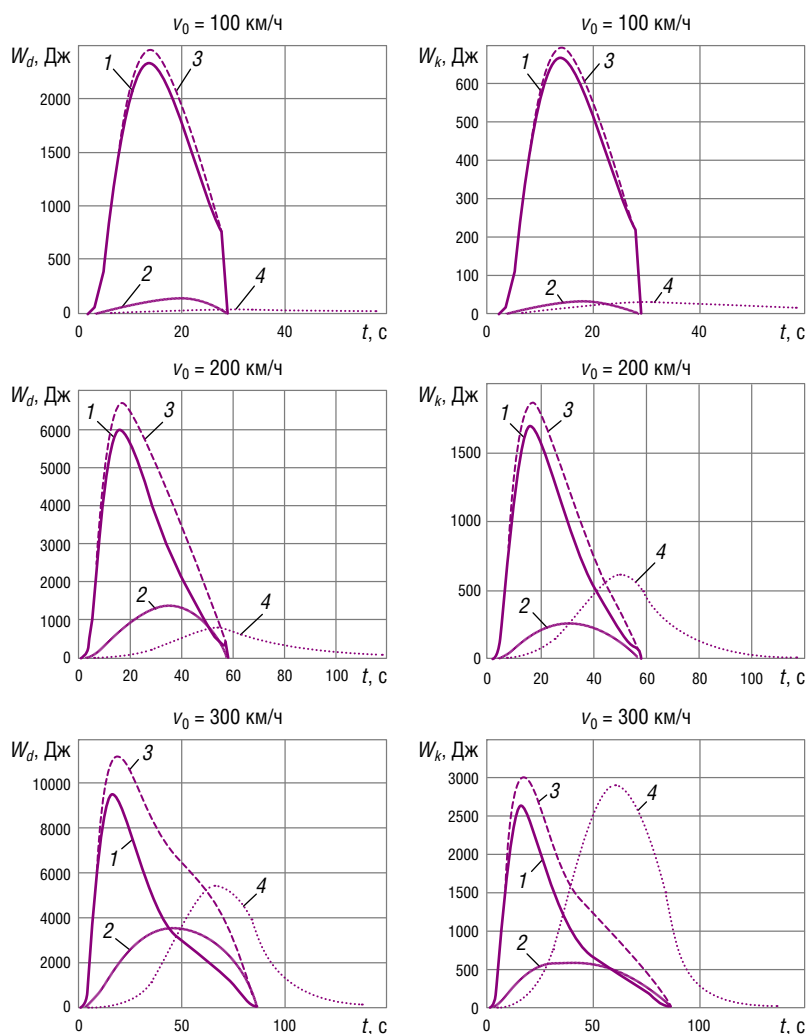


Рис. 3. Результаты моделирования энергии фрикционного взаимодействия, рассеиваемой внутренней и внешней конвекцией и тепловым излучением с поверхности тормозного диска  $W_d$  и тормозной колодки  $W_k$  при разных скоростях  $v_0$  начала торможения: 1 — для внутренней конвекции; 2 — для внешней конвекции; 3 — для суммарной конвекции; 4 — для потерь на тепловое излучение

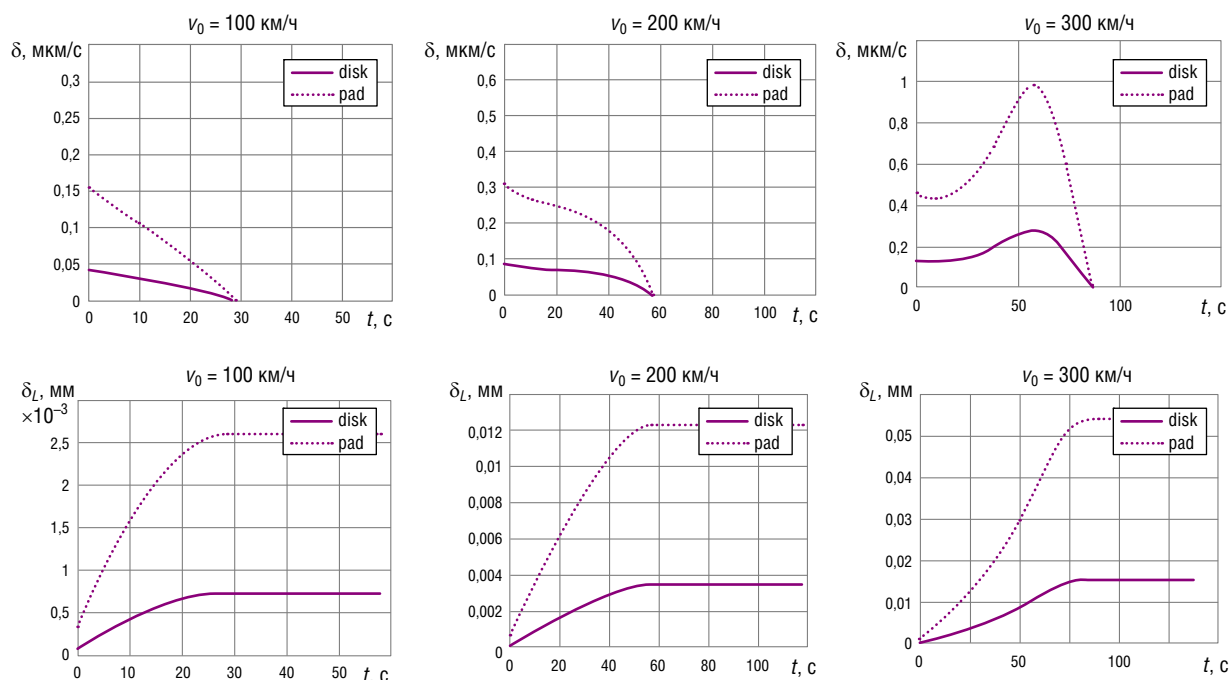


Рис. 4. Результаты моделирования скорости износа  $\delta$  и линейного износа  $\delta_L$  фрикционных поверхностей тормозного диска и тормозной колодки для разных скоростей  $v_0$  начала торможения

В процессе моделирования получены зависимости, аналогичные рис. 4, для скорости и величины линейного износа для классического дискового тормоза с неподвижной тормозной колодкой в форме диска.

Установлено, что поворот тормозной колодки на угол  $180^\circ$  за 100 торможений обеспечивает снижение интенсивности линейного износа от 2 до 11 % при начальных скоростях торможения от 100 до 300 км/ч по

сравнению с классическим дисковым тормозом. Таким образом, дисковый тормоз с поворотом тормозной колодки имеет преимущество по величине линейного износа фрикционных поверхностей. **ИТ**

## Список литературы

1. Incropera F. P., DeWitt D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. — 6th ed. — New York: John Wiley & Sons, 2006. — 1070 p. — ISBN-13: 978-0-471-45728-2, ISBN-10: 0-471-45728-0.
2. Favre-Marinet M., Tardu S. Convective Heat Transfer. — New York: John Wiley & Sons, 2009. — 373 p. — ISBN 978-1-848-21119-3.
3. Kim M. S., Park J. H., Goo B. C. Development of Brake System of Railway Vehicles for Real-Time HEALS // The 2007 International Conference on Mechatronics and Information Technology (ICMIT 2007). Gifu, Japan, 5–6 December, 2007. — P. 344–356.
4. Xiao G., Zhu Z. Friction materials development by using DOE/RSM and artificial neural network // Tribology International. — 2010. — Vol. 43. — No. 1–2. P. — 218–227. — ISSN 0301–679X.
5. Two-body abrasive behavior of brake pad dry sliding against interpenetrating network ceramics/Al-alloy composites / S. Y. Zhang, S. G. Qu, Y. Y. Li, W. P. Chen // Wear. — 2010. — Vol. 268. — No. 7–8. — P. 939–945. — ISSN 0043–1648.
6. Heat Transfer Module User's Guide. Version: 4.4. Nov. 2013. COMSOL AB. — URL: [www.comsol.com](http://www.comsol.com).
7. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник. — М.: Атомиздат, 1968. — 485 с.
8. Зиновьев В. Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справочное издание. — М.: Металлургия, 1989. — 384 с.
9. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — 2-е изд., доп. и перераб. — М.: Наука, 1972. — 721 с.
10. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов. Справочное руководство. — М.: Физматгиз, 1959. — 356 с.
11. Lee N. J., Kang C. G. The Effect of a Variable Disc Pad Friction Coefficient for the Mechanical Brake System of a Railway Vehicle // PLoS ONE. — 2015. — 10(8): e0135459. — URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135459>.
12. Archard J. F. Wear theory and mechanisms. Wear control handbook. — New York: ASME, 1980. — 80 p.

Объем статьи: 0,61 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>Платательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  <b>Подпись:</b> _____ <b>Дата:</b> «___» _____ 2018 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>Платательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  <b>Подпись:</b> _____ <b>Дата:</b> «___» _____ 2018 г.</p>

**Подписка на 2019 год.**

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.

Периодичность — 4 номера в год.

ф. СП-1

**АБОНЕМЕНТ**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Количество  
комплектов:

на 2019 год по месяцам:

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

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

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

на 2019 год по месяцам:

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

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)



# Технические требования и рекомендации к оформлению статей

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

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

## 2. Материалы подготавливаются в редакторе Microsoft Office Word 2003, 2007.

## 3. Объем статьи не более 15 страниц.

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

## 5. Требования к разметке и форматированию текста.

Поля страницы – по 2 см с каждого края. Страницы должны быть без нумерации. Текст статьи: шрифт

Times New Roman, кегль 14; межстрочный интервал полуторный; выравнивание по ширине; отступ первой строки 1,25 см; расстановка переносов автоматическая. Простые формулы и сочетания символов набираются в текстовом режиме, сложные – при помощи редактора формул Microsoft Equation или MathType и располагаются по центру страницы. Написание букв: русские и греческие буквы (а, б, в, А, Б, В; ε, ω, Ω, Σ), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, V, XII; sin, lg, min и др.) пишутся только прямо; латинские буквы (*a, b, c, A, B, N* и пр.) – только курсивом.

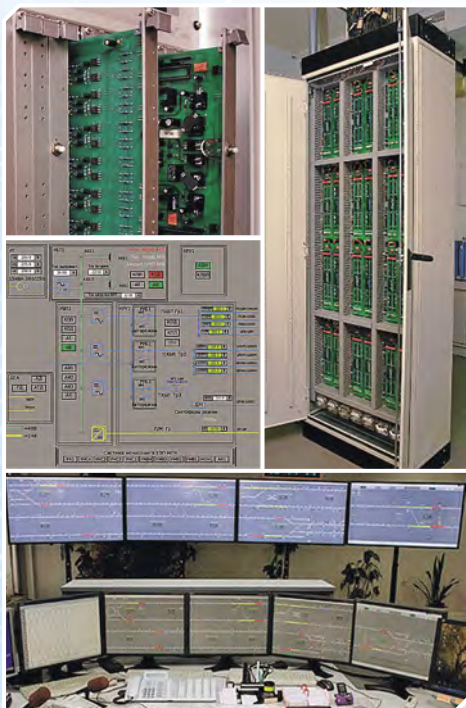
**6. Рисунки и таблицы.** Таблицы должны быть снабжены заголовками, а рисунки — подписями. Расположение заголовков: слово «Таблица» — в правый край таблицы; название таблицы располагается по центру над таблицей. В рисунках (диаграммах и графиках) слово «Рис.», номер и название рисунка располагаются по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

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

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

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

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



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

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



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

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

### «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ»

#### Основные направления работы

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

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



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

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

