Транспорт МИИТ

•ТЕОРИЯ •ИСТОРИЯ
•КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

3 (64) 2016

Учрежден Московским государственным университетом путей сообщения (МИИТ) в 2003 году

Редакционный совет:

Б. А. Лёвин – доктор технических наук, профессор МИИТ – председатель совета
Б. В. Гусев – член-корреспондент РАН – заместитель председателя совета
В. И. Галахов – доктор технических наук, профессор МИИТ – ответственный секретарь совета
И. С. Беседин – кандидат технических наук
Г. В. Бубнова – доктор экономических наук, профессор МИИТ
А. К. Головнич – доктор технических наук, доцент Белорусского государственного технического университета
Ф. С. Гоманков – кандидат технических наук, профессор МИИТ
А. А. Горбунов – доктор политических наук, профессор МИИТ
Н. А. Духно – доктор юридических наук, профессор МИИТ
Д. Г. Евсеев – доктор технических наук, профессор МИИТ
Л. А. Карпов – кандидат технических наук, профессор МИИТ
В. И. Колесников – академик РАН, профессор Ростовского государственного университета путей сообщения
К. Л. Комаров – доктор технических наук, профессор Сибирского государственного университета путей сообщения
Б. М. Куанышев – доктор технических наук, профессор Казахской академии транспорта и коммуникаций
Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор
В. П. Мальцев – доктор технических наук, профессор МИИТ
Д. А. Мачерет – доктор экономических наук, профессор МИИТ, первый заместитель председателя Объединенного ученого совета ОАО «РЖД»
Л. Б. Миротин – доктор технических наук, профессор Московского автодорожного государственного технического университета (МАДИ)
Н. П. Терёшина – доктор экономических наук, профессор МИИТ
Тран Дак Су – доктор технических наук, профессор Университета транспорта и коммуникаций (Ханой, Вьетнам)

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Сергей ВЛАДИМИРОВ
Направления развития мировой транспортной системы и логистики 6

Сергей ВАКУЛЕНКО, Константин ВОЛОСОВ, Наталья ВОЛОСОВА
К методу оценки состояния железнодорожного полотна 20

Игорь ТАРАРЫЧКИН
Формирование территориально-производственных кластеров на базе адаптивной транспортной инфраструктуры 36

Артём КОСАУРОВ
Применение интегрального преобразования Фурье при расчёте конструкций 50

НАУКА И ТЕХНИКА

Анатолий ЛУКЬЯНОВ, Юрий ЧЕПЕЛЕВ, Александр БАРДИН
Разрабатываем полимерные консоли 60

Михаил ГЛУЩЕНКО, Иван ГОРЮНОВ
Гибридный движитель 72

Александр ШУБИН, Павел ВИТЧУК
Комплекс для ремонта и восстановления контактной сети 80

Артём ТИРАТУРЯН, Евгения УГЛОВА
Статистический анализ оценки прочности нежёстких дорожных одежд 88

Лев ДУБРОВИН, Анатолий НИКИШЕЧКИН, Владимир ДАВЫДЕНКО
Контроль грузов на подъёмно-транспортных машинах 98

Александр ГОРЛОВ
Инновационный подход к реконструкции земляного полотна 106

ЭКОНОМИКА

Елена МАКАРОВА, Андрей СОКОЛОВСКИЙ
Методика расчёта показателей, связанных с пассажирскими поездами неизменяемой композиции 124

Максим ПЯТАЕВ
Региональные эффекты проектов высокоскоростных железнодорожных магистралей 132

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –
главный редактор

В. И. ГАЛАХОВ –
первый заместитель
главного редактора

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –
заместитель
главного редактора

Л. А. БАРАНОВ
В. Н. КОТУРАНОВ

Над номером
работали:
И. А. ГЛАЗОВ –
технический редактор
Т. Г. ИВАНОВА –
художественный редактор
Н. К. ОЛЕЙНИК –
технический редактор
М. В. МАСЛОВА –
английский перевод

Адрес редакции:
127994, г. Москва,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Тел.: (495) 684 2877

Журнал выходит 6 раз в год.
Цена свободная.

***Подписной индекс
в Каталоге Роспечати
«Газеты. Журналы»* – 80812.**

Журнал зарегистрирован
в Министерстве Российской
Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций
20 декабря 2002 г.
Регистрационный номер
ПИ № 77–14165

Отпечатано в типографии
ООО «РПЦ Офорт»
Тираж 1000 экз.

Ознакомиться с содержанием
вышедших номеров можно на сайте
научной электронной библиотеки
elibrary.ru, а с условиями публикаций
в журналах – на web-сайте
Московского государственного
университета путей сообщения
(МИИТ) по адресу: http://www.miit.ru.

**Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования.**

При перепечатке ссылка
на журнал «Мир транспорта»
обязательна.
© «Мир транспорта», 2016

Светлана ИНОЗЕМЦЕВА, Никита МОРОЗ
Определение поучастковых затрат на содержание
и эксплуатацию инфраструктуры 142

Наиль АХТЯМОВ, Радик ИЛЬЯСОВ,
Виктория САМОЙЛЕНКО
Логистическая субкультура студента транспортного вуза 154

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Сергей ЕЛИСЕЕВ, Андрей ШАТОХИН
Как сократить простои грузовых вагонов
в ожидании погрузки? 166

Максим ПРУСОВ
Бункер для сыпучих грузов без ручного труда 176

Галина ЗАСОРИНА, Сергей ДЕЙКИН, Алексей РОМАНОВ
Модернизация – лучший путь к организации 182

Михаил ЯКИМОВ
Мотивы поведения водителей при смене полосы движения . 190

БЕЗОПАСНОСТЬ

Владимир СТРУЧАЛИН
Проблемы фрикционного воспламенения на транспорте . . . 202

Руслан ЦАРИК
Комплексный подход к безопасности
морских контейнерных перевозок 212

Ирина ВОЛЧАТОВА
Автомобильно-дорожные аварии:
транспортные и социальные риски 232

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Борис ЕЛИСЕЕВ, Николай КОРЯГИН
Системный подход к подготовке менеджеров
авиапредприятий в условиях информационного общества . . . 244

Владимир СТАРОВОЙТ, Вячеслав ФУТИН
Истоки эффективности управления человеческими
ресурсами 254

Владимир ВОРОНЦОВ
Системная поддержка выполнения персоналом
установленных требований 262

Анастасия СОРОКИНА, Илья ЕПИШКИН
Управление по целям и мотивация
на реализацию стратегии 270

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Валентина ТАРАСОВА, Сергей БЕСПАЛЬКО
Пассажирские вагоны дореволюционной России 282

Пресс-архив 288

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

«Европейский журнал региональной логистики»
и Европейская сеть центров логистических
компетенций «Open ENLoCC» 292

Авторефераты диссертаций 296

Новые книги 298

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 14 Iss. 3 2016

Founded in 2003 by Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)

Editorial council:

Boris A. Lievin, D.Sc. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering, chairman

Boris V. Gusev, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, deputy chairman

Galina V. Bubnova, D.Sc. (Econ.), professor of Moscow State University of Railway Engineering

Valentine I. Galahov, D.Sc. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering, executive secretary

Ivan S. Besedin, Ph.D. (Eng)

Alexander C. Golovnich, D.Sc. (Eng), associate professor of Belarusian State Transport University

Fedor S. Gomankov, Ph.D. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering

Alexander A. Gorbunov, D.Sc. (Pol), professor of Moscow State University of Railway Engineering

Nickolay A. Duhno, LL.D., professor of Moscow State University of Railway Engineering

Dmitry G. Evseev, D.Sc. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering

Leonid A. Karpov, Ph.D. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering

Vladimir I. Kolesnikov, member of the Russian Academy of Sciences, professor of Rostov State University of Railway Engineering

Constantine L. Komarov, D.Sc. (Eng), professor of Siberian State University of Railway Engineering

Bakytzhan M. Kuanyshev, D.Sc. (Eng), professor of Kazakh Academy of Transport and Communications

Boris M. Lapidus, D.Sc. (Econ), professor

Valery P. Maltsev, D.Sc. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering

Dmitry A. Macheret, D.Sc. (Econ.), professor of Moscow State University of Railway Engineering, first deputy chairman of the United scientific council of JSC Russian Railways

Leonid B. Mirotin, D.Sc. (Eng), professor of Moscow State Automobile and Road Technical University

Natalia P. Tereshina, D.Sc. (Econ), professor of Moscow State University of Railway Engineering

Tran Dac Su, D.Sc. (Eng), professor of the University of Transport and Commmunications (Hanoi, Vietnam).

THEORY

Sergey A. VLADIMIROV
On Main Directions of Development of the Global Transport System and Logistics 6

Sergey P. VAKULENKO, Konstantin A. VOLOSOV, Natalia K. VOLOSOVA
On Estimation of Railway Track State. 20

Igor A. TARARYCHKIN
Formation of Territorial – Industrial Clusters Based On Adaptive Transport Infrastructure 36

Artem P. KOSAUROV
Use of Fourier Integral Transform in Calculation of Structures 50

SCIENCE AND ENGINEERING

Anatoly M. LUKYANOV, Yuri G. CHEPELEV, Alexander N. BARDIN
Development Of Polymer Consoles 60

Mikhail D. GLUSHCHENKO, Ivan O. GORYUNOV
Hybrid Propulsion Unit 72

Alexander A. SHUBIN, Pavel V. VITCHUK
System for Maintenance and Recovery of Contact Network 80

Artem N. TIRATURYAN, Evgenia V. UGLOVA
Statistical Analysis of Strength Assessment of Nonrigid Pavement Surfacing 88

Lev M. DUBROVIN, Anatoly P. NIKISHECHKIN, Vladimir I. DAVYDENKO
Cargo Control on Handling Machinery 98

Aleksandr V. GORLOV
An Innovative Approach to Roadbed Reconstruction 106

ECONOMICS

Elena A. MAKAROVA, Andrey V. SOKOLOVSKY
The Methodology for Calculation of Indicators Related to Passenger Trains of Unchanged Composition 124

Maksim V. PYATAEV
Regional Effects of High-Speed Railways Projects. 132

Svetlana M. INOZEMTSEVA, Nikita S. MOROZ
Determination of Section-to-Section Costs for Maintenance and Operation of Infrastructure. 142

Nail T. AKHTYAMOV, Radik R. ILYASOV, Victoria A. SAMOYLENKO
Logistics Subculture of a Transport University Student 154

Editorial board
Boris A. Lievin, editor-in-chief
Valentine I. Galahov, first deputy editor-in-chief
Evgeny Yu. Zarechkin, deputy editor-in-chief
Leonid A. Baranov
Vladimir N. Koturanov

Editorial staff
Ivan A. Glazov, technical editor
Tatiana G. Ivanova, layout editor
Natalia C. Oleynik, editorial secretary
Maria V.Maslova, translator

Published quarterly since 2003.
Bimonthly since 2013.
62 issues have been published since 2003.

Circulation of the current issue is 1000 copies; the journal is distributed by subscription and delivered by the editor to Russian and foreign technical and transport universities, national and regional technical libraries, government and public bodies, transport companies.

Information for the authors and editorial politics are available at the media page of the Web site of MIIT University at http://miit.ru/ portal/page/ portal/en/about/media/world_of_transport.

The open accessed full texts of the articles as well as the abstracts and key information in English are available at the Web site of the Russian scientific electronic library at http://elibrary.ru (upon free registration).

The journal is part of Russian scientific citation index system.

Address for your mail: MIIT, Redaktsiya journala Mir Transporta, Obraztsova ul., d.9, str.9, Moscow, 127994, Russia.
E-mail: mirtr@mail.ru, MTavtor@mail.ru or wttjournal@gmail.com

© Mir Transporta
© World of Transport and Transportation
© English translation
© 2016. All rights reserved. Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Sergey Yu. ELISEEV, Andrey A. SHATOKHIN
How to Reduce Downtime of Freight Cars Awaiting Loading? 166

Maxim V. PRUSOV
Hopper for Bulk Cargo EXCLUDING Manual Labor 176

Galina V. ZASORINA, Sergey A. DEIKIN, Aleksey M. ROMANOV
Modernization as the Best Way to Organization. 182

Mikhail R. YAKIMOV
The Motives of Drivers' Behavior when Changing Lanes 190

SAFETY AND SECURITY

Vladimir G. STRUCHALIN
Problems of Frictional Ignition in Transport Vehicles 202

Ruslan S. TSARIK
Comprehensive Approach to Safety of Maritime Container Transportation 212

Irina V. VOLCHATOVA
Road Accidents: Transport and Social Risks. 232

HRM, EDUCATION & TRAINING

Boris P. ELISEEV, Nicholay D. KORYAGIN
System Approach to Training of Managers of Aviation Enterprises in Information Society 244

Vladimir A. STAROVOIT, Vyacheslav N. FUTIN
Roots of Human Resource Management Efficiency 254

Vladimir I. VORONTSOV
System Support for Fulfillment of Established Requirements by Staff 262

Anastasia V. SOROKINA, Ilya A. EPISHKIN
Management by Objectives and Motivation for Strategy Implementation 270

HISTORY WHEEL

Valentina N. TARASOVA, Sergey V. BESPALKO
Passenger Cars of Pre-Revolutionary Russia 282

Press-Archive 288

BIBLIO-DIRECTIONS

The «European Review of Regional Logistics» and the European Network of Logistics Competence Centers «Open ENLoCC» 292

Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses 296

Selected list of new books on transport and transportation 298

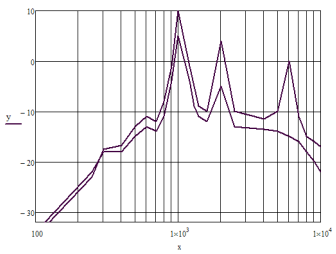
Each article in the journal consists of a Russian text and of an English text, fully identical in contents but additionally edited and structured, both accompanied by abstracts, keywords, references and information about the authors.

ТЕОРИЯ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY

МИРОВАЯ СИСТЕМА 6

Тенденции общие – приоритеты разные.



МОДЕЛИ ДИАГНОСТИКИ 20

Балка Тимошенко: теоремы и доказательства.

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ 36

Кластер с адаптивным узлом.

КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ 50

Не делить конструкцию, а заменить стержневой системой.

WORLD SYSTEM 6

Different priorities of common trends.

TROUBLESHOOTING MODELS 20

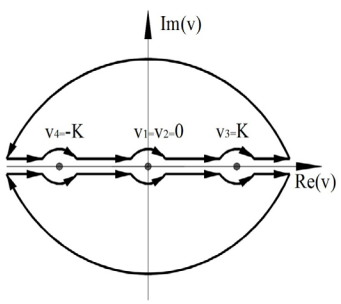
Timoshenko beam: theorems and proofs.

STRUCTURAL SYNTHESIS 36

Cluster with adaptable unit.

FINITE ELEMENT 50

Instead of dividing a constructive element it is better to replace it with a rod system.



УДК 656.01

Направления развития мировой транспортной системы и логистики

Сергей ВЛАДИМИРОВ

Sergey A. VLADIMIROV

Владимиров Сергей Арсеньевич *– академик РАЕН, доктор экономических наук, профессор кафедры общего менеджмента и логистики Северо-Западного института управления Российской Академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Санкт-Петербург, Россия.*

On Main Directions of Development of the Global Transport System and Logistics

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 15)

В статье на основании опыта ведущих стран и реального состояния отечественного транспорта обоснованы направления развития мировой и отечественной транспортной систем, их взаимозависимости, дана оценка существующим тенденциям к глобализации и интеграции международных рынков перевозок, логистических процессов. Применительно к обновленной транспортной стратегии РФ автор называет три прогнозных сценария, из которых выделяет инновационный, а к нему формулирует требования, призванные мобилизовать ресурсы российской транспортной системы.

Ключевые слова: мировая транспортная система, тенденции развития, стратегия, виды транспорта, конкуренция, инновации, макроэкономика, качество, эффективность.

Транспорт – третья ведущая отрасль материального производства. Он обеспечивает производственные связи промышленности и сельского хозяйства, осуществляет перевозки грузов и пассажиров, является основой географического разделения труда, способствуя специализации и кооперированию предприятий, отраслей, районов и стран. Без транспорта было бы невозможно преодоление территориального разрыва между производством и потреблением товаров и услуг [1]. Транспорт подразделяют на сухопутный (железнодорожный и автомобильный), водный (морской и речной), воздушный, трубопроводный и электронный (линии электропередачи).

Автомобильный транспорт с середины XX века стал ведущим среди видов сухопутного транспорта. Протяженность его сети достигла 27,8 млн км, причем около 1/2 приходится на США, Индию, Россию, Японию, Китай. Автомобильному транспорту принадлежит также первенство в объеме пассажирских перевозок – 82% мирового объема.

Железнодорожный транспорт уступает автомобильному по объему перевозимых

грузов (9% мирового объема). Мировая его сеть составляет 13,2 млн км при значительной неравномерности размещения. Хотя железные дороги имеются в 140 странах мира, более 1/2 их общей длины приходится на «первую десятку»: США, Россию, Канаду, Индию, Китай, Австралию, Аргентину, Францию, ФРГ и Бразилию.

Трубопроводный транспорт развивается благодаря быстрому росту добычи нефти и природного газа и тому территориальному разрыву, который существует между главными районами их добычи и потребления. Его доля – 11% от объёма мирового грузооборота при протяженности сетей более 2 млн км.

Водный транспорт прежде всего характеризуется выдающейся ролью морского транспорта. На него приходится 62% мирового грузооборота, он обслуживает около 4/5 всей международной торговли. Морские суда транспортируют главным образом массовые грузы, но «контейнерная революция» привела к быстрому росту перевозок и генеральных грузов – готовых изделий и полуфабрикатов. Общий тоннаж торгового флота ныне превышает 456 млн т.

Внутренний водный транспорт – старейший вид перевозок. Сейчас он занимает по длине сети последнее место в мировой транспортной системе. Развитие и размещение его в первую очередь связано с природными предпосылками – наличием рек и озер, пригодных для судоходства. Амазонка, Миссисипи, Волга, Обь, Енисей, Янцзы, Конго имеют б*о*льшую пропускную способность, чем самые мощные железнодорожные магистрали. По грузообороту внутренних водных путей выделяются США, Россия, Канада, ФРГ, Нидерланды, Бельгия, а также Китай.

Воздушный транспорт играет важную роль в международных пассажирских перевозках. Его преимущества кроме скорости – качество поставок, географическая мобильность, позволяющая легко расширять и менять трассы. Сеть регулярных авиалиний теперь опоясывает весь земной шар. Ее опорные точки – более 5 тысяч аэропортов. Главные воздушные державы мира – США, Россия, Япония, Великобритания, Франция, Канада, ФРГ.

МИРОВАЯ СИСТЕМА ПЕРЕВОЗОК

Все пути сообщения, транспортные предприятия и транспортные средства в совокупности образуют мировую транспортную систему. Она сформировалась в XX веке и испытывает на себе сильное воздействие НТР, что выражается в «разделении труда» между отдельными видами транспорта, увеличении пропускной способности используемых путей, появлении принципиально новых транспортных средств, например, сверхскоростных поездов на воздушной подушке.

Объём и структура транспортных перевозок, как правило, отражают уровень и структуру экономики, а география сети и грузопотоков – размещение производительных сил. Количественными показателями транспортной системы являются: протяжённость путей сообщения, численность занятых, грузо- и пассажирооборот. Во-первых, это относится к мировой транспортной сети, общая протяженность которой превышает 50 млн км. Во-вторых, к транспортным средствам: перевозки грузов по железным дорогам осуществляют более 210 тыс. локомотивов и миллионы железнодорожных вагонов, по автодорогам – свыше триллиона автомобилей, по морским трассам – более 90 тыс. судов, а по воздушным трассам – более 30 тыс. рейсовых самолетов. Общая грузоподъёмность всех перевозочных средств уже превысила 2,0 млрд тонн. В-третьих, транспорт ежегодно перевозит свыше 110 млрд тонн грузов и более триллиона пассажиров. Численность занятых в системе превышает 100 млн человек.

Основные параметры мировой транспортной системы. Изменение транспортоёмкости мирового хозяйства характеризуется известной устойчивостью в послевоенный период: и суммарный грузооборот, и общий пассажирооборот росли примерно такими же темпами (с некоторым отставанием), как и общий валовой продукт, рассчитанный в неизменных ценах. За это время удельный мировой грузооборот на 1 т произведенной

продукции вырос на 1/3, а душевой грузооборот и километрическая подвижность населения – в 3,5–4 раза.

Общая протяженность транспортной сети по видам путей сообщения в последние десятилетия стабилизировалась, в то же время происходит ее качественное изменение: растет протяженность электрифицированных и скоростных железных дорог, автомагистралей с усовершенствованным покрытием, трубопроводов крупного диаметра. Велика масштабность выполняемой работы: душевой оборот достиг 3,4 тыс. пассажиро/км, объём перевозок вырос более чем в 7 раз, а к 2020 году вырастет еще в 1,2–1,3 раза.

Происходит интенсивное изменение структуры перевозок между отдельными видами транспорта. Так, в грузообороте соотношение между железнодорожным и его главным конкурентом автомобильным транспортом изменилось с 4:1 до 1,2:1, с последующем ростом-превышением доли автотранспорта. Доля трубопроводов выросла с 4,2% до 12,8%. В пассажирообороте воздушный транспорт приблизился к уровню железнодорожного – соответственно 10 и 10,2% и готов его превзойти.

Огромное влияние на развитие всех видов транспорта оказала «контейнерная революция», в результате которой транспортировка грузов осуществляется в металлических ёмкостях – контейнерах. Появились новые транспортные средства – контейнеровозы и специальные перегрузочные станции – терминалы. Это позволило повысить производительность труда на транспорте в 7–12 раз.

Мировая транспортная система неоднородна, в ней можно выделить зоны экономически развитых и развивающихся стран, несколько региональных систем: Северной Америки, зарубежной Европы, СНГ, Азии, Латинской Америки, Австралии. При этом длина транспортных сетей развитых стран составляет 81% от общей мировой и на них приходится 78% мирового грузооборота и примерно 80% его стоимости, а доля в пассажирообороте – еще выше. Густота транспортной сети в большинстве развитых стран – 50–60 км на 100 км территории, в развивающихся – 5–10 км. В экономически развитых регионах сосредоточено более 80% мирового автомобильного парка, почти 2/3 всех портов, осуществляется 3/4 мирового грузооборота.

С момента зарождения транспорт оказывал сильное влияние на окружающую среду. Главными загрязнителями атмосферы являются автомобильный, воздушный и железнодорожный транспорт, эти виды создают также «шумовое загрязнение» и требуют больших площадей для сооружения магистралей, заправочных станций, стоянок, вокзалов и т.д. (за исключением воздушного). Водный транспорт главным образом служит источником загрязнения нефтепродуктами океанов и внутренних вод.

Современные процессы урбанизации находятся в сложной зависимости с развитием городских и пригородных пассажирских сообщений. За последние 25 лет процесс субурбанизации привел к сокращению доли поездок в центры городов из пригородов США с 35 до 10%. В среднем по странам Европейского союза 50% перемещений в городах совершается в легковых автомобилях, 12% пешком, 20% – автобусом, трамваем, метрополитеном, 15% – на велосипедах и мопедах, 3% – городской железной дорогой. По подсчетам специалистов развитие средств информатики и связи снижает потребность в деловых поездках на 20–25%, бытовых поездках – даже на 50%.

Особую часть мировой транспортной системы составляют транспортные коридоры и узлы. В число международных транспортных коридоров входят также экспортные и транзитные магистральные трубопроводы. Создавшиеся в конце прошлого века транспортные коридоры, проходящие через территории нескольких стран, объединяют сразу несколько видов транспорта. Из совокупности маршрутов они превратились в систему управляющих центров перевозок и транспортных узлов, которые постепенно приобрели функции управления тарифной политикой.

Перспективной тенденцией стало сращивание транспортных и экспедици-

онно-распределительных предприятий. В узлах, обеспеченных надежными и скоростными транспортными связями – воздушными и морскими контейнерными линиями, создаются крупные специализированные транспортно-распределительные центры международного значения (Париж, Марсель, Франкфурт-на-Майне, Мюнхен и др.).

В транспортной системе узлы имеют функцию регулирующих клапанов. Сбой в работе одного такого клапана может привести к проблемам для всей системы. Крупные транспортные узлы всегда являются крупными городами, потому что притягивают торговлю, здесь удобно развивать промышленность, да и сами транспортные терминалы предоставляют немало рабочих мест. Очень многие города возникли на пересечении наземных или водных путей, то есть как транспортные узлы.

Воздействие государства на развитие и функционирование транспорта имеет свои цели. Он широко используется как орудие региональной политики. В условиях усиления избыточности и противоречивости процессов развития усиливаются протекционистские и дискриминационные экономические, фискальные и правовые меры государства, направленные на смягчение конкуренции и защиту национальных транспортных компаний. В частности, это касается использования «своих» транспортных средств для расширения «невидимого» экспорта (перевозки грузов иностранных фрахтователей и т.д.). Или взять «дерегулирование» воздушного транспорта в США, появление чартерных авиакомпаний-аутсайдеров, которые обостряют конкуренцию на воздушном фрахтовом рынке, ведут к снижению коммерческой загрузки самолетов. «Война флагов», политика попустительства по отношению к флагам «удобств» вызывают дезорганизацию фрахтового рынка, ведут к недогрузке тоннажа. Из 690 млн т дедвейта мирового флота около 180 избыточны (из них 80 млн т – на приколе), даже суда-контейнеровозы используются лишь на 60–65%.

Ужесточение природоохранных предписаний и мер значительно усиливает избыточность транспортных мощностей и удорожает транспортный процесс. С учетом дороговизны территории более 10 млн т танкерного ресурса используется в качестве плавучих нефтяных ёмкостей-складов в прибрежных водах ряда стран (например, Японии). Выполняют танкеры и роль зернохранилищ в акваториях портов развивающихся стран в связи с тем, что местное складское хозяйство не подготовлено к столь быстрому росту ввоза зерна.

Переплетение подобных факторов вызывает сложное и противоречивое влияние на развитие мировой транспортной системы. С одной стороны, общая тенденция – ускорение транспортного процесса: скоростные железные дороги, контейнерные сообщения, быстроходные специализированные суда, с другой – снижение ходовых скоростей судов, чтобы поглотить избыточность тоннажа, снижение скоростей и на других видах транспорта с целью уменьшения энергозатрат. Противоречивые и взаимодополняющие тенденции – формирование мощных полимагистралей, транспортных коридоров для повышения эффективности транспортного процесса. С другой стороны, дисперсия транспортных потоков, строительство сравнительно мелких высокоспециализированных транспортных средств, контейнеров с четкой «адресностью» назначения, развитие фидерных путей сообщения, обеспечивающих подвоз-развоз.

Обостряются противоречия между развитием подвижного состава и постоянных устройств, между линейными и узловыми элементами системы. Возможности портов обычно отстают от перевозок, образуются иерархические системы портов с целью концентрации капиталовложений, в то же время усиливается конкуренция между ними. Возникают диспропорции между портами стран-отправителей и портами стран-получателей. Отсюда – усиление тенденции избежать портовых устройств, организовать бесперегрузочные системы (суда «река-море», баржевозы, паромы, накатные суда и т.д.). Крупной проблемой мирового значения оставалось до последнего времени отсутствие глубоко-

водных портов на Атлантическом побережье США (они принимали суда до 70 тыс. т). Далеко идущие последствия вызывает то обстоятельство, что доля развивающихся стран в мировом морском тоннаже – всего 25%, тогда как в мировом отправлении грузов – более 50%.

Одна из причин избыточности транспортных мощностей – обострение конкуренции между железнодорожным и автомобильным транспортом (в США затраты у автотранспорта – 60%, тогда как доля в грузообороте – 26%, а доля в энергопотреблении транспорта – 85%). От «перехвата» грузов автомобильным транспортом и от «вторжения» автомобиля в сферу железных дорог экономика США теряет, по некоторым подсчетам, около 2 млрд долл. в год.

Стоимостные характеристики перевозок любой продукции (транспортный тариф) отражаются непосредственно на ее конечной цене, прибавляются к затратам на производство, влияют на конкурентоспособность продукции и зону ее сбыта. Стоимость перевозок в пассажирском сообщении ограничивает возможности для поездок населения, а во многих случаях для части людей с невысокими доходами делает эти поездки недоступными. Удешевление пассажирского сообщения, смягчающее эти ограничения, имеет не только большое социальное, но и экономическое значение. Городской транспорт субсидируется в основном государством, региональными и местными органами власти. Однако их участие в этом различно. В одних странах государственные инвестиции обеспечивают всю сумму единовременных и текущих затрат (Бельгия, Голландия), в других они практически не используются (Канада, Дания, Великобритания).

Эти типичные для современной и перспективной транспортной ситуации тенденции и процессы, тесно взаимодействующие с процессом мирового развития, требуют тщательного исследования на междисциплинарном уровне. Между тем, общий уровень изученности мирового транспорта как системы стал снижаться.

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА РОССИИ

В Российской Федерации транспорт тоже является одной из базовых отраслей хозяйства, важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры. Транспортные коммуникации объединяют все районы страны, служат неотъемлемым условием ее территориальной целостности, единства экономического пространства. Они связывают Россию с мировым сообществом, помогают ее интеграции в глобальную экономическую систему.

О месте и значении транспорта свидетельствуют, помимо прочего, его удельный вес в основных производственных фондах страны (в 2012 году – 29 процентов), существенная доля транспортных услуг в валовом внутреннем продукте (в 2013 году – 9 процентов), инвестициях на развитие отраслей экономики (в 2013 году – 11,4 процента) и численности занятых работников (в 2013 году – 6,8 процента), а также в потреблении энергоресурсов, металла и ряде других показателей, характеризующих отечественную экономику.

Наличие транспорта среди приоритетных отраслей подчеркивает меру его пристрастия к решению острейших проблем дня. Российская экономика со всеми подведомственными ей секторами оказалась перед системным вызовом, характер и уровень которого определяются сочетанием трёх фундаментальных факторов.

Первый фактор – усиление глобальной конкуренции. Второй – возрастание роли человеческого капитала в социально-экономическом развитии. Третий фактор – исчерпание источников дохода экспортно-сырьевого типа, базирующихся на интенсивном наращивании топливного и сырьевого экспорта.

Одновременно в России появились существенные ограничения роста экономики, обусловленные недостаточным развитием транспортной системы. Сегодняшние объёмные и качественные характеристики транспорта, особенно его инфраструктуры, не позволяют в полной мере и эффективно решать задачи современной экономики.

Основные общесистемные проблемы транспортной отрасли: наличие территориальных и структурных диспропорций в развитии транспортной инфраструктуры; недостаточный уровень доступности транспортных услуг для населения, мобильности трудовых ресурсов; недостаточное качество транспортных услуг; низкий уровень экспорта транспортных услуг, в том числе использования транзитного потенциала; определенный дефицит транспортной безопасности; усиление негативного влияния транспорта на экологию.

Еще одной серьезнейшей проблемой остается недостаточный уровень конкурентоспособности отечественных компаний и всей транспортной системы России на мировом рынке транспортных услуг. Это обусловлено как названными уже причинами, так и недостаточными возможностями отечественных транспортных организаций конкурировать на мировом рынке, в том числе эффективно использовать геополитические преимущества России при транзитных международных перевозках. Технические и технологические параметры международных транспортных коридоров нашей страны не обеспечивают их конкурентоспособность. Более того, интеграция в мировой и региональные рынки транспортных услуг будет означать усиление конкуренции, расширение доступа на российский рынок зарубежных перевозчиков, снятие административных и тарифных барьеров и приведет лишь к осложнению положения отечественных транспортных компаний.

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА

Анализ мировых тенденций показывает, что ни одна страна не способна контролировать риски собственной экономики, не имея сильных транспортных позиций. Выявленные особенности развития транспорта свидетельствуют, что закончен период протекции по отношению к тем или иным его видам и перевозчикам. На современном этапе мировая транспортная система характеризуется большой зависимостью от информационных технологий и развивается по следующим направлениям: увеличение пропускной способности транспортных путей, повышение безопасности движения, появление принципиально новых транспортных средств, увеличение их вместимости и грузоподъёмности, скорости передвижения, своевременности, ритмичности и экологичности функционирования. Новые требования клиентуры к качеству транспортного обслуживания отодвигают затраты на второй план.

Усилия большинства стран направлены на повышение конкурентоспособности национального транспорта и отказ от системы квот, а также от тарифных и других ограничений. Их заменяет гармонизация транспортного законодательства; рынок транспортных услуг стал усложняться, все сегменты транспортного процесса и логистики стали интегрироваться. Как естественный результат – развитие транспортной инфраструктуры нового типа: транспортно-складские и товаротранспортные комплексы, которые образовали объединенную систему взаимодействия; транспортные центры стали управляющими элементами системы, что позволило оптимизировать «сквозные» тарифы.

Это привело к переходу точки прибыльности из процессов физической перевозки в область транспортно-логистических услуг. На меняющемся фоне усиливаются требования к экологичности технологий. Отсюда стремление поддерживать приемлемую долю транспортной составляющей в цене конечной продукции при соблюдении жестких норм по экологии и безопасности.

В долгосрочной перспективе ожидается дальнейшее развитие НТП на транспорте. Структура сети путей сообщения претерпит существенные изменения. Научно-технический прогресс позволит существенно улучшить экономические показатели, повысить качество обслуживания клиентуры и безопасность движения. Намечаются широкое использование маркетинга, изучение спроса, введение учета потребностей, применение моделирования и т.д. Ожидается освоение на всей сети компьютерной системы Райлинка (соединяющей между собой

железные дороги, клиентов и банки) или другой аналогичной ей электронной системы коммерческих обменов. Протяженность малодеятельных и нерентабельных железнодорожных линий и участков будет сокращаться. В то же время предполагается сооружение ряда новых, в основном скоростных трасс. Предстоит также продолжить работу по обеспечению совместимости информационных систем, чтобы связать между собой национальные компьютерные сети.

Существенные изменения произойдут в парке транспортных средств. Их численность несколько возрастет, и заметно увеличится доля прогрессивных видов тяги. Повысятся доля специализированного подвижного состава, его грузоподъёмность и удельная мощность. Уже сейчас учеными и изобретателями разработан инновационный транспорт, поражающий воображение. Представьте, что более чем миллиард автомобилей, которые путешествуют по всему миру, работают без вредных выбросов в течение 100 лет и только на 8 граммах топлива каждый! В США, к примеру, создается новый тип автомобильных двигателей из одного из самых плотных материалов, известных в природе – тория, имеющего огромный потенциал производства тепла за счёт использования лазерных нанотехнологий.

Безусловно перспективными инновационными транспортными средствами являются сделанные из сверхпрочных материалов и имеющие архисовременную электронную начинку дирижабли, подводные круизные и грузовые корабли (особенно для Арктики), струнный транспорт, частные космические аппараты вплоть для туров на Луну и Марс [2].

НОВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СТРАТЕГИЯ

При переходе к интенсивному, инновационному, социально ориентированному типу развития Россия стремится стать одним из лидеров глобальной экономики, что требует активной позиции государства по созданию условий для повышения уровня транспортных услуг, снижения совокупных издержек общества, зависящих от транспорта, роста конкурентоспособности отечественной транспортной системы и качества жизни населения через доступ к безопасным комфортным транспортным услугам, усиления инновационной, социальной и экологической направленности развития отрасли, превращения географических особенностей страны в ее конкурентное преимущество.

Новая редакция транспортной стратегии РФ на период до 2030 года утверждена распоряжением правительства от 11 июня 2014 года № 1032-р. Она подготовлена с учётом стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года, стратегии развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности, стратегии развития судостроительной промышленности, транспортного машиностроения, авиационной промышленности, автомобильной промышленности и других отраслевых стратегий в сфере индустрии, энергетики, лесного комплекса и сельского хозяйства, стратегии социально-экономического развития регионов России. При этом оптимальным для увязки стратегии развития транспортной системы с региональными приоритетами признан уровень федерального округа.

Цели современной транспортной стратегии:

- формирование единого транспортного пространства России на базе транспортно-экономического баланса страны, предусматривающего гармоничное опережающее развитие эффективной транспортной инфраструктуры;
- обеспечение доступности, объёма и конкурентоспособности транспортных услуг для грузовладельцев в соответствии с потребностями инновационного развития экономики;
- обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами, удовлетворение в полном объеме его растущих потребностей в передвижении, ликвидация ограничений на развитие существующих и освоение новых территорий, а также повышение ценовой доступности социально значимых услуг транспорта;

• интеграция в мировое транспортное пространство, реализация транзитного потенциала страны – формирование транспортной инфраструктуры мирового уровня и превращение экспорта транспортных услуг в один из крупнейших источников доходов страны;

• повышение уровня безопасности и устойчивости транспортной системы – обеспечение эффективной работы аварийно-спасательных служб, гражданской обороны, подразделений специальных служб и повышение уровня мобилизационной готовности – создание необходимых условий для соответствующего уровня общенациональной безопасности и снижения террористических рисков;

• снижение негативного воздействия транспортной системы на окружающую среду.

Развитие транспортной инфраструктуры играет ключевую роль в реализации транспортной стратегии. Основными направлениями здесь для отдельных видов транспорта являются:

– в сфере железнодорожного транспорта – развитие скоростного (160–200 км/ч) и высокоскоростного (250–350 км/ч) пассажирского движения;

– с позиций автодорожной инфраструктуры – достижение соответствия между спросом и предложением пропускной способности дорожной сети в условиях роста парка транспортных средств, исходя из перспективного уровня автомобилизации страны: порядка 80 автомобилей на 100 домохозяйств (300 автомобилей на 1000 жителей);

– в сфере воздушного транспорта – создание систем охраны контура аэродромов и посадочных глиссад;

– в сфере морского транспорта – внедрение систем автоматизированной проводки судов с использованием спутниковых навигационных систем и созданием электронных карт внутренних водных путей;

– в области трубопроводного транспорта – развитие трубопроводной транспортной инфраструктуры в восточных регионах в соответствии с приоритетами надежного газоснабжения российских потребителей и диверсификации экспорта энергоносителей с учетом требований законодательства по охране природы; увеличение пропускных возможностей Балтийской трубопроводной системы до 62 млн тонн нефти в год [4].

Исходя из прогнозов возможных тенденций и ориентиров подъёма российской экономики и преобразования социальной сферы можно предложить три сценарных варианта будущего транспортной системы страны: инерционный, энерго-сырьевой, инновационный.

Инновационный тип экономического роста*, который во всех смыслах предпочтительнее,* выдвигает новые требования к транспорту и основным параметрам его развития с учетом следующих обстоятельств:

1. При сохранении главных функций транспортной системы (инструмент единства национальных товарных рынков и взаимосвязи регионов; фактор, создающий и организующий единое экономическое пространство; источник развития территориального разделения труда и реализации сравнительных конкурентных преимуществ; условие обеспечения безопасности страны; средство перемещения и роста подвижности населения) масштабы, направления и стратегия развития транспорта должны носить опережающий характер по сравнению с параметрами социально-экономического развития страны в целом. Только при таком подходе транспорт не будет фактором, сдерживающим социально-экономическое развитие отраслей и производств, социальной сферы и потребительского рынка.

2. В условиях глобализации мировой экономики транспорт наряду с финансовой и информационной сферой выступает важнейшим рычагом интеграционных процессов. Особая его роль определяется тем, что благодаря транспорту структурируется рыночная экономика, формируется единое экономическое пространство.

3. Проблема повышения конкурентоспособности товаров и услуг для экономики России – ключевая на современном этапе. Речь может идти об использовании ее транзитного потенциала, связанного с особым географическим положением

страны как естественного транспортного коридора, соединяющего Европейский, Азиатско-Тихоокеанский регионы и Америку (прежде всего создание надёжного и эффективно действующего механизма перевозок между Европой и Азией по Транссибирскому маршруту, воссоединенному с Транскорейской железной дорогой и магистралями Монголии в качестве одного из основных маршрутов доставки контейнеров из Китая в Европу, а в перспективе строительство Азиатско-Тихоокеанской железнодорожной магистрали: Сингапур – Бангкок – Пекин – Якутск – тоннель под Беринговым проливом – Ванкувер – Сан-Франциско); повышении уровня безопасности транспортной системы; снижении вредного воздействия транспорта на окружающую среду [5].

4. Наметившаяся за последнее время открытость национального транспортного рынка предъявляет новые требования к уровню конкурентоспособности транспорта. Со всей очевидностью обнаруживаются ограничения, связанные с неразвитостью единой транспортной системы, разногласиями в налоговой, тарифной, инвестиционной политике, что свидетельствует об отсутствии единой транспортной политики, эффективных механизмов ее формирования и реализации [6].

5. В современной транспортной системе особое место занимает пространственная мобильность населения, которая пока не адекватна не только требованиям инновационного сценария экономического роста, но и потребностям рыночной экономики. Исследования показывают, что в целом мобильность населения в России существенно ниже, чем в странах с развитой рыночной экономикой. Согласно оценкам, до 1/3 регионов находится за чертой бедности, их жители не имеют экономических возможностей покинуть эти места, что, в частности, может служить объяснением тому, почему не наблюдается сближения регионов по уровню доходов [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Транспортная система Российской Федерации является частью мировой транспортной системы. В ближайшие годы в нашей стране могут возникнуть серьезные инфраструктурные ограничения транспортной доступности отдельных регионов и товародвижения в международных и внутренних перевозках. Возможна потеря отдельных перспективных мировых товарных рынков. Транспортная система может стать фактором торможения экономического роста.

Реализация обновленной транспортной стратегии Российской Федерации, координация на основе ее положений действий всех ветвей и уровней власти, бизнеса, различных слоев общества поможет, надо полагать, обеспечить наиболее эффективное использование возможностей транспорта в интересах социально-экономического развития страны, решения отмеченных в статье системных социально-экономических проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мишарин А. С. Транспортная стратегия Российской Федерации: цели и приоритеты // Инновационный транспорт.– 2015.– № 1.– С. 3–7.

2. Бондур В. Г., Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Космический мониторинг транспортных объектов: Учебное пособие.– М.: Издательство Московского государственного университета путей сообщения, 2015.– 72 с.

3. Лёвин Б. А., Круглов В. М., Матвеев С. И. и др. Геоинформатика транспорта // Международный журнал экспериментального образования.–2015.– № 3–2.– С. 223.

4. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А., Фортов В. Е. Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта: Коллективная монография членов и научных партнёров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / Под ред. Б. М. Лапидуса.– М.: Mittel Press, ISBN978–5–905823–36–7.– 288 с.

5. Барышников С. О., Разухина А. А. Алгоритм оптимального планирования работы портовых перегрузочных машин // Морское образование: традиции, реалии и перспективы: материалы научно-практической конференции. 31 марта 2015 г. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015.– Т. 2.– 292 с. – С. 7–14.

6. Владимиров С. А. О показателе эффективности инвестиций // Финансы.– 2002.– № 6.– С. 73.

7. Горбунов А. А. Транспорт – механизм развития региона // Обозреватель – Observer.– 2014.– № 7.– С. 78–83.

Координаты автора: **Владимиров С. А.** – ideal_ideal @mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.11.2015, актуализирована 09.06.2016, принята к публикации 10.06.2016.

ON MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE GLOBAL TRANSPORT SYSTEM AND LOGISTICS

Vladimirov, Sergey A., *North-West Management Institute of the Russian Federation Presidential Academy of National Economy and Public Administration, St. Petersburg, Russia.*

ABSTRACT

In the article based on the experience of leading countries and the real state of domestic transport the directions of development of the global and domestic transport systems, their interdependence are substantiated, current trends towards globalization and integration of international transportation markets, logistics processes are assessed. With regard to the renewed transport strategy of the Russian Federation the author calls three forecast scenarios, of which highlights the innovative, and formulates requirements designed to mobilize the resources of the Russian transport system.

Keywords: global transport system, development trends, strategy, modes of transport, competition, innovation, macroeconomics, quality, efficiency.

Background. *Transport is the third leading sector of material production. It provides industrial communications of industry and agriculture, provides transportation of goods and passengers, is the basis of geographical division of labor, promoting specialization and cooperation of businesses, industries, regions and countries. Without transport it would be impossible to overcome the territorial gap between production and consumption of goods and services [1]. Transport is divided into land (rail and road), water (sea and river), air, pipeline and electronic (power lines).*

Road transport *from the middle of XX century became the leading one among other types of land transport. The length of its network reached 27,8 million km, of which about 1/2 falls on the USA, India, Russia, Japan, China. Road transport ranks the first in the volume of passenger traffic – 82% of the world total.*

Rail transport *is inferior in terms of road transport in the volume of transported goods (9% of the world total). Its global network is 13,2 million kilometers with significant unevenness of arrangement. Although the railways are available in 140 countries, more than 1/2 of their total length falls on the «top ten»: the USA, Russia, Canada, India, China, Argentina, Australia, France, Germany and Brazil.*

Pipeline transport *develops by rapid growth of oil and natural gas production and the territorial gap that exists between the main areas of their production and consumption. Its share is 11% of global turnover volume with the length of the network of more than 2 million km.*

Water transport *is primarily characterized by the outstanding role of maritime transport. It accounts for 62% of global cargo turnover, it serves approximately 4/5 of all international trade. Ships transport mainly bulk goods, but «container revolution» has led to a rapid increase in transportation of general cargo – finished products and semi-finished products. The total tonnage of the merchant fleet now exceeds 456 million tons.*

Inland water transport is the oldest form of transportation. Now it takes on the length of the network the last place in the world transport system. Its development and placement is in the first place connected with natural conditions – the presence of lakes and rivers suitable for navigation. Amazon, Mississippi, Volga, Ob, Yenisei, the Yangtze, the Congo have a greater capacity than the most powerful railways. In cargo turnover of inland waterways are distinguished the USA, Russia, Canada, Germany, Netherlands, Belgium, and China.

Air transport *plays an important role in international passenger transportation. Its advantages besides speed are quality of supply, geographical mobility, making it easy to extend and modify the route. The network of regular airlines encircles the globe now. Its reference points are more than 5000 airports. The main air powers in the world are the USA, Russia, Japan, UK, France, Canada, Germany.*

Objective. *The objective of the author is to consider main directions of development of the global transport system and logistics.*

Methods. *The author uses general scientific methods, economic analysis, comparison, evaluation approach.*

Results.

Global transportation system

All means of communication, transport enterprises and vehicles in total form the global transport system. It was formed in XX century and feels the strong influence of the STR, which is expressed in «division of labor» between individual modes of transport, increasing the bandwidth of used routes appearance of fundamentally new means of transport, such as high-speed trains on the hovercraft.

Volume and structure of transportation tend to reflect the level and structure of the economy, and the geography of the network and freight traffic – distribution of productive forces. Quantitative indicators of the transport system are: length of means of communication, number of employees, freight and passenger traffic. Firstly, it refers to the global transport network, the total length of which exceeds 50 million km. Secondly, to the means of transport: transportation of goods by rail is carried out by more than 210 thousand locomotives and millions of rail cars, on highways – over a trillion of cars, by sea routes – more than 90 thousand vessels and airways – more than 30 thousand airliners. Total capacity of all means of transport has already exceeded 2,0 billion tons. Thirdly, transport annually transports more than 110 billion tons of cargo and more than a trillion of passengers. The number of employed in the system exceeds 100 million people.

The main parameters of the global transport system. Change in transport capacity of world economy is characterized by a certain stability in the post-war period: total cargo turnover, and overall passenger traffic grew at about the same rate (with some lag), as well as the total gross domestic product,

calculated in constant prices. During this time, the specific global turnover per 1 ton of manufactured products increased by 1/3, and per capita cargo turnover and kilometer mobility of the population – by 3,5–4 times.

The total length of the transport network by types of means of communication has stabilized in the past decade, at the same time there is its qualitative change: increasing the length of electrified and high-speed railways, highways with improved covering, large diameter pipelines is increasing. The magnitude of the work is great: per capita turnover reached 3,4 thousand passenger / km, volume of traffic has grown by more than 7 times, and by 2020 will grow by 1,2–1,3 times..

There is an intensive transportation structure change between different modes of transport. For example, in cargo turnover the relationship between rail transport and its main competitor-road transport has changed from 4: 1 to 1,2: 1, with a subsequent increase in the share of road transport. The share of pipelines has increased from 4,2% to 12,8%. In passenger traffic, air transport is close to the level of rail – respectively 10 and 10,2% and is ready to overpass it.

A huge influence on the development of all transport modes had a «container revolution», which resulted in transportation of goods carried out in metal containers. New vehicles appeared – container ships and special reloading stations – terminals. It became possible to increase labor productivity on transport by 7–12 times.

The global transport system is not uniform, it is possible to identify areas of economically developed and developing countries, a number of regional systems: North America, overseas Europe, CIS, Asia, Latin America and Australia. The length of transport networks of developed countries is 81% of the world and accounts for 78% of global turnover and about 80% of its value, and its share in passenger traffic is even higher. The density of the transport network in the most developed countries is 50–60 km per 100 km of the area, in developing – 5–10 km. In economically developed regions there are more than 80% of the global car fleet, almost 2/3 of all ports, 3/4 of the global turnover is carried out.

Since the inception transport had a strong impact on the environment. The main air pollutants are road, air and rail transport, these types also create «noise pollution» and require large areas for construction of highways, gas stations, parking lots, train stations, etc. (except for air). Water transport serves mainly as a source of oil pollution of the oceans and inland waters.

Modern urbanization processes are in complex dependence with the development of urban and suburban passenger traffic. Over the past 25 years suburbanization process has led to reduction of the share of trips to city centers from suburban areas of the US from 35 to 10%. On average in the European Union 50% of movement in the cities of the country is made by cars, on foot 12%, 20% – by bus, tram, metro, 15% – on bicycles and mopeds, 3% – urban railway. Experts estimate that the development of informatics and communication reduces the need for business travel by 20–25%, domestic trips –even by 50%.

A special part of the global transport system make transport corridors and nodes. The number of international transport corridors also includes export and transit main pipelines. Created at the end of the last century transport corridors passing through the territory of several countries combine several modes of transport. From the totality of the routes they turned in traffic control centers and transport hubs, which gradually acquired the tariff policy management functions.

A promising trend is the merging of transport and forwarding and distribution companies. In the nodes, provided with reliable and high-speed transport links – air and sea container lines, large specialized transportation and distribution centers of international importance (Paris, Marseilles, Frankfurt, Munich, etc.) are created.

In the transport system nodes have the function of regulating valves. Failure of one of the valve can lead to problems for the entire system. Major nodes are always the major cities because they attract trade, it is convenient to develop the industry, and transport terminals themselves provide many jobs. Many cities arose at the intersection of land and waterways, i.e. as transportation nodes.

The impact of the state on development and operation of transport has its own purpose. It is widely used as a tool of regional policy. In the face of increasing redundancy and contradictory development processes protectionist and discriminatory economic, fiscal and legal measures of the state to mitigate competition and protection for national-transport companies are enhanced. In particular, it concerns the use of «own» vehicles for expansion of «invisible» export (transportation of goods of foreign charterers, etc.). Or take «deregulation» of air transport in the United States, the emergence of charter airlines outsiders which sharpen competition in the air freight market, leading to a decrease in payload of aircrafts. «War of flags», appeasement policy towards «convenience» flags cause disruption of the freight market, lead to underload tonnage. Of 690 million tons of world fleet deadweight about 180 million tons are redundant (of which 80 million tons are laid up), even container vessels are used only by 60–65%.

Stricter environmental regulations and measures significantly increases the redundancy of transport capacities and cost of transport process. Given the high cost of the territory more than 10 million tons of tanker resource is used as a floating oil storage capacities in the coastal waters of some countries (e.g., Japan). Tankers play also a role of grain storages in the waters of ports in developing countries due to the fact that the local storage facilities are not prepared for such a rapid increase in grain import.

The interweaving of these factors causes complex and contradictory effect on development of the global transport system. On the one hand, the general trend is acceleration of transport process: high-speed railways, container traffic, high-speed specialized vessels, on the other hand – reduction of the running speed of vessels to merge the surplus tonnage, reduction of speeds on other modes of transport in order to reduce energy consumption. Conflicting and complementary trends are formation of powerful poly main lines, transport corridors for increasing efficiency of the transport process. On the other hand, dispersion of traffic flows, construction of relatively small highly specialized vehicles, containers with a clear «target» purpose, development of feeder means of communication providing supply-delivery.

Contradictions between development of rolling stock and fixed equipment, between linear and nodal

elements of the system are intensifying. The capacities of ports usually lag behind transportation, port hierarchical systems are formed with the purpose of investment concentration, at the same time the competition between them increases. There are disparities between the ports of countries of origin and ports of recipient countries. Hence – the increasing trend to avoid port facilities, organize reloading-free systems (vessels «river-sea», barge carrier, ferries, ro-ro vessels, etc.). A major problem of global significance has been until recently the lack of deep-water ports on the Atlantic coast of the USA (they accepted vessels up to 70 thousand t). The far-reaching consequences is the fact that the share of developing countries in world maritime tonnage is only 25%, while in the global cargo dispatch – 50%.

One reason for redundancy of transport capacities is increased competition between rail and road transport (in the USA the costs of motor transport is 60%, while the share in cargo turnover is 26%, and the share in energy consumption of transport is 85%). From «interception» of goods by road transport and to «invasion» of the car in the sphere of railway the US economy loses, according to some estimates, about $2 billion annually.

Cost characteristics of transportation of any product (transport rate) are reflected directly in its final price, are added to the cost of production, affect the competitiveness of the product and its area of distribution. Transportation costs in passenger traffic limits the possibilities of travel for population, and in many cases for some people with low incomes make these trips unavailable. Cheapening of passenger traffic, mitigating these limitations, has not only great social, but also economic importance. Public transport is subsidized mainly by the state, regional and local authorities. However, their participation in this is different. In some countries, government investments provide the full amount of one-time and ongoing costs (Belgium, Netherlands), in others they are practically not used (Canada, Denmark, United Kingdom).

These trends and processes, closely interacting with the world development process, are typical for modern and future traffic conditions, require careful research on an interdisciplinary level. Meanwhile, the general level of exploration of the world transport as a system began to decline.

Transport system of Russia

In the Russian Federation transport is also one of the basic sectors of the economy, the most important part of the industrial and social infrastructure. Transport communications unite all parts of the country, are an essential condition for its territorial integrity, unity of the economic space. They connect Russia with the international community, help its integration into the global economic system.

The place and importance of transport are confirmed, among other things, by its relative share in the fixed productive assets of the country (in 2012 – 29 per cent), a significant proportion of transport services in the gross domestic product (in 2013 – 9 per cent), investment on development of industries (in 2013 – 11,4 per cent) and the number of employed workers (in 2013 – 6,8 per cent), as well as in consumption of energy, metals and a number of other indicators characterizing the domestic economy.

Availability of transport among the priority sectors emphasizes the degree of its addiction to solving the most pressing problems of the day. The Russian economy with all its subordinate sectors faced a system challenge, nature and level of which are determined by a combination of three fundamental factors.

The first factor is increasing global competition. The second is increasing role of human capital in the socio-economic development. The third factor is exhaustion of sources of income of export- raw type, based on intense buildup of fuel and raw exports.

At the same time in Russia arose significant limitations of economic growth due to insufficient development of the transport system. Today's volume and qualitative characteristics of transport, especially of its infrastructure, do not allow to fully and effectively meet the challenges of the modern economy.

Basic system-wide problems of the transport sector: presence of territorial and structural imbalances in development of transport infrastructure; inadequate availability of transport services for the population, labor mobility; poor quality of transport services; low level of export of transport services, including the use of transit potential; a certain lack of transport safety; strengthening of negative impact of transport on the environment.

Another serious problem is the lack of competitiveness of domestic companies and the entire transport system of Russia in the global transport market. This is caused by the already mentioned reasons, and insufficient capacity of domestic transport companies to compete on the world market, including to use effectively geopolitical advantages of Russia in international transit traffic. Technical and technological parameters of international transport corridors of Russia do not provide their competitiveness. In addition, integration into the global and regional markets of transport services would mean increased competition, greater access to the Russian market to foreign carriers, removal of administrative and tariff barriers will only complicate the situation with domestic transport companies.

Global trends in development of transport

The analysis of global trends shows that no country is able to control the risks of its own economy without strong transport positions. The revealed features of transport development show that the period of protection with respect to its certain forms and carriers is over. At present, the global transport system is characterized by a high dependence on information technologies and is developing in the following areas: increasing the capacity of transport routes, enhancing movement safety, emergence of fundamentally new vehicles, increasing their capacity and carrying capacity, speed of movement, timing, rhythm and environmental performance. New customer's requirements for the quality of transport service put the costs to the second place.

The efforts of the majority of countries are aimed at improving the competitiveness of national transport and abandonment of the quota system, as well as tariff and other restrictions. They are replaced with harmonization of transport legislation; transport services market has become complicated, all segments of the transportation process and logistics have become integrated. As a natural result – development of a new type of transport infrastructure: transport-storage and commodity transport systems, which have formed a united system of interaction;

transport centers have become operating elements of the system, allowing to optimize the «through» rates.

This led to transition of profitability point from processes of physical transportation in the area of transportation transport and logistics services. On the changing background the requirements for environmental technologies are enhanced. Hence the desire to maintain a reasonable share of the transport component in the price of final products under strict standards on environment and safety.

In the long term further development of scientific and technical progress in transport is expected. The structure of the network of means of communication will undergo significant changes. Scientific and technological progress will significantly improve economic performance, improve customer service quality and traffic safety. The widespread use of marketing, market research, the introduction of requirements for accounting, the use of simulation, etc. are outlined. Development is expected on the whole network of Raylinka computer system (interconnecting railways, customers and banks) or other equivalent, electronic system of commercial exchanges. The length of low-density and non-profitable railway lines and areas will be reduced. At the same time, it is assumed to construct several new structures, mainly highways. It is necessary to continue working to ensure the compatibility of information systems to link the national computer networks.

Significant changes will occur in the park of vehicles. Their number increases slightly, and significantly increases the proportion of advanced types of traction. The share of specialized rolling stock, its load capacity and unit power will increase. Even now, scientists and inventors developed innovative vehicles that capture the imagination. Imagine that more than a billion cars that travel around the world, are working without emissions for 100 years and only using 8 grams of fuel each! In the USA, for example, a new type of car engine is created from one of the densest material known in nature – thorium, which has a great potential for production of heat through the use of laser nanotechnologies.

Certainly promising innovative vehicles are made of heavy-duty materials and having the most modern electronic equipment airships, underwater cruise and cargo ships (especially in the Arctic), string transport, private spacecraft up for tours to the moon and Mars [2].

The new domestic strategy

In transition to intensive, innovative, socially oriented type of development Russia is striving to become one of the leaders of the global economy, which requires the active position of the state to create conditions for increasing the level of transport services, reduce the total costs of society, dependent on transport, the growth of competitiveness of the national transport system and quality of living through access to safe comfortable transport services, enhancement of the innovation, social and environmental aspects of the industry development, transformation of geographical features of the country into its competitive advantage.

The new version of transport strategy of the Russian Federation up to 2030 approved by Resolution of the Government dated June 11, 2014 № 1032-r. It has been prepared taking into account the strategy of innovative development of the Russian Federation for the period up to 2020, the development strategy of the Arctic zone and ensuring national security, development strategy of the shipbuilding industry, transport engineering, aircraft industry, automotive industry and other sectoral strategies in the field of industry, energy, forestry complex and agriculture, the strategy of social and economic development of regions of Russia. At the same time as optimal for linking the transport system development strategy with the regional priorities is recognized the federal district level.

The goals of modern transport strategy:

• formation of a single transport space of Russia on the basis of transport and economic balance of the country, providing a harmonious advanced development of efficient transport infrastructure;

• ensuring availability, scope and competitiveness of transport services for shippers to meet the needs of innovation development of economy;

• ensuring availability and quality of transport services to the public in compliance with social standards, full satisfaction of its growing demand for mobility, elimination of restrictions on development of existing and development of new territories, and increase in affordability of socially important transport services;

• integration into the world transport space, implementation of the transit potential of the country – formation of a world-class transport infrastructure and the transformation of the export of transport services into one of the largest sources of income for the country;

• improving safety and sustainability of the transport system – efficient operation of emergency services, civil defense, units of the special services and increased mobilization preparedness – creation of necessary conditions for an appropriate level of national security and reduction of the risk of terrorism;

• reduction of negative impact of the transport system on the environment.

Transport infrastructure development plays a key role in implementation of the transport strategy. The main areas here for the individual modes of transport are:

– In the sphere of railway transport – development of speed (160–200 km / h) and high speed (250–350 km / h) passenger traffic;

– From the standpoint of road infrastructure – to achieve consistency between supply and demand of the road network capacity in terms of growth of the vehicle fleet, based on the long-term level of motorization of the country: about 80 cars per 100 households (300 cars per 1000 inhabitants;

– In the field of air transport – creation of circuit protection systems of airfields and landing glide paths;

– In the field of maritime transport – introduction of an automated pilotage systems using satellite navigation systems and creation of electronic maps of inland waterways;

– In the field of pipeline transportation – pipeline transport infrastructure development in the eastern regions, in accordance with the priorities of reliable gas supply to Russian consumers and diversification of energy exports, taking into account the requirements of legislation on nature protection; increasing the throughput capacity of the Baltic Pipeline System to 62 million tons of oil per year [4].

Based on the forecasts of possible trends and benchmarks in recovery of the Russian economy and

transformation of the social sphere three scenarios for the future of the country's transport system can be offered: inertial, energy and raw; innovative.

An innovative type of economic growth, which is in all respects preferable, puts forward new requirements for the transport and main parameters of its development, taking into account the following circumstances:

1. When saving the main functions of the transport system (instrument of national unity of commodity markets and interconnection of regions, a factor that creates and organizes a common economic space; a source of development of the territorial division of labor and implementation of comparative competitive advantages; the condition of the country's security, means of movement and growth of population mobility) scope, direction and strategy for the development of transport should be of outpacing character as compared with the parameters of the socio-economic development of the country as a whole. Only with this approach, transport will not be a deterrent to socio-economic development of sectors and industries, social services and consumer markets.

2. In the context of globalization of the world economy, transport along with financial and information sphere acts as a major lever of integration processes. Its particular its role is determined by the fact that due to transport market economy is structured, a single economic space is formed.

3. The problem of raising the competitiveness of goods and services for the Russian economy is key at this stage. This may involve the use of its transit potential, associated with the special geographical situation of the country as a natural transport corridor linking the European, Asia-Pacific regions and America (primarily the creation of a reliable and well-functioning transport mechanism between Europe and Asia along the Trans-Siberian route, reunited with the Trans-Corea railways and main lines of Mongolia as one of the main routes of delivery of containers from China to Europe, and eventually the construction of the Asia-Pacific railway: Singapore – Bangkok – Beijing – Yakutsk – a tunnel under the Bering Strait – Vancouver – San Francisco); improving the safety of the transport system; reducing the harmful effects of transport on the environment [5].

4. The emerging recent openness of the national transport market makes new demands on the level of competitiveness of transport. Clearly are revealed the limitations associated with the lack of development of an integrated transport system, differences in tax, tariff, investment policy, which indicates the absence of a common transport policy, effective mechanisms of its formation and implementation [6].

5. In a modern transport system the spatial mobility of the population occupies a special place, which is not adequate to the requirements of not only the innovative scenario of economic growth, but also the needs of the market economy. Studies show that, in general, mobility of the population in Russia is much lower than in countries with developed market economies. It is estimated that up to 1/3 of the regions is below the poverty line, their inhabitants do not have the economic opportunity to leave these places, which, in particular, can serve as an explanation as to why there is no convergence in income of regions [7].

Conclusion. *The transport system of the Russian Federation is a part of the global transport system. In the next few years our country may face serious infrastructure constraints of transport accessibility of individual regions and movement of goods in international and domestic traffic. The loss of individual perspective world commodity markets is possible. The transport system can become a brake to economic growth.*

The implementation of the renewed transport strategy of the Russian Federation, coordination on the basis of its provisions of actions of all branches and levels of government, business and various sectors of society will presumably ensure the most efficient use of transport capacity for socio-economic development of the country, the solution of socio-economic problems mentioned in the article.

REFERENCES

1. Misharin, A. S. Transport Strategy of the Russian Federation: objectives and priorities [*Transportnaja strategija Rossijskoj Federacii: celi i prioritety*]. *Innovacionnyj transport*, 2015, Iss. 1, pp. 3–7.

2. Bondur, V. G., Lievin, B. A., Rosenberg, I. N., Tsvetkov, V. Ya. Satellite monitoring of transport facilities. Textbook [*Kosmicheskij monitoring transportnyh ob'ektov: Uchebnoe posobie*]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija, 2015, 72 p.

3. Lievin, B. A., Kruglov, V. M., Matveev, S. I. [*et al*]. Geoinformatics of transport (monograph) [*Geoinformatika transporta*]. *Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimental'nogo obrazovanija*,2015, Iss. 3–2, p. 223.

4. Lapidus, B. M., Macheret, D. A., Fortov, V. E. Scientific support of innovative development and improvement of efficiency of rail transport [*Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitija i povyshenija effektivnosti dejatel'nosti zheleznodorozhnogo transporta*]. Collective monograph of members and research partners of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways. Ed. by B. M. Lapidus. Moscow, Mittel Press, 2014, 288 p.

5. Baryshnikov, S. O., Razukhina, A. A. Algorithm for optimal planning of port handling machines [*Algoritm optimal'nogo planirovanija raboty portovyh peregruzochnyh mashin*].Maritime education: traditions, realities and perspectives: Proceedings of scientific-practical conference. March 31, 2015. St. Petersburg, Publ. house of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2015, Vol. 2, pp. 7–14.

6. Vladimirov, S. A. On the performance of investments [*O pokazatele effektivnosti investicij*]. *Finansy*, 2002, Iss. 6, p. 73.

7. Gorbunov, A. A. Transport– mechanism of regional development [*Transport – mehanizm razvitija regiona*]. *Observer*, 2014, Iss. 7, pp. 78–83.

Information about the author:
Vladimirov, Sergey A. – Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, D.Sc. (Economics), Professor at the Department of General Management and Logistics of North-West Management Institute of the Russian Federation Presidential Academy of National Economy and Public Administration, St. Petersburg, Russia, ideal_ideal @mail.ru.

Article received 25.11.2015, revised 09.06.2016, accepted 10.06.2016.

УДК 625.12.625.14

К методу оценки состояния железнодорожного полотна

Сергей ВАКУЛЕНКО
Sergey P. VAKULENKO

Константин ВОЛОСОВ
Konstantin A. VOLOSOV

Наталья ВОЛОСОВА
Natalia K. VOLOSOVA

Вакуленко Сергей Петрович *– кандидат технических наук, профессор, директор ИУИТ Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Волосов Константин Александрович *– доктор физико-математических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.*
Волосова Наталья Константиновна *– студентка МИИТ, Москва, Россия.*

On Estimation of Railway Track State
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 30)

Построение аппаратного комплекса диагностики железнодорожного пути на основе анализа динамических процессов при движении поездного состава в РФ не имеет ныне альтернативы. Аналогичные методы давно используются при эксплуатации летательных аппаратов и в других областях техники и машиностроения, медико-биологической сфере. Возможность упростить расчеты (провести их быстро и недорого) модельных задач позволяют изложенные в статье дополнения к теории основных моделей «балки Тимошенко» в разных ситуациях. Неоднородная система линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка точно приводится к последовательности двух вложенных классически смешанных задач – линейного неоднородного гиперболического уравнения и неоднородного уравнения Клейн-Гордона-Фока. Показано, что система имеет два масштаба (две базовые частоты). Объяснён эффект аномально быстрой осцилляции колебаний. Предложен полуаналитический – численный метод, позволяющий сравнить эффекты, вызванные различными краевыми условиями.

Ключевые слова: диагностика железнодорожного пути, принципы построения системы, балка Тимошенко, уравнения с частными производными, аномально быстрая осцилляция колебаний, сравнение эффектов.

В связи с развитием скоростных железнодорожных перевозок приобрело особое значение создание и функционирование высокотехнологичного комплекса контроля качества состояния пути непосредственно с движущегося состава. Теоретические основы такого метода контроля излагаются в работах [1–5] и цитируемых в них научных трудах. Экономический эффект от эксплуатации такого комплекса в РФ настолько велик, что в настоящий момент его трудно оценить. Затраты на проведение мониторинга за состоянием железнодорожного пути с подвижного состава несоизмеримы с затратами собственника путей на ликвидацию последствий схода с рельсов подвижного состава.

Разные методы диагностики трудно выявляемых дефектов должны не конкурировать, а дополнять друг друга. Методика и основы анализа разных аспектов интеграции такого комплекса в единую транспортную систему должна быть изложена в отдельной статье на базе работы [6].

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Основная наша цель – выявить неизвестные ранее математические свойства основных теоретических моделей балок (шпал), играющих большую роль в расчетах, связанных с анализом спектра колебаний при прохождении по рельсам подвижного состава, акцентировать внимание на эффекты в спектрах колебаний, которые указывают на появление трудно выявляемых дефектов, и изложить соображения авторов о принципах построения системы контроля.

Замечание 1. *Отметим, что опыт компьютерной обработки и анализа крупных объемов динамических данных со сложной трехмерной внутренней структурой накапливается, например, при применении различных видов томографии мозга, обработке данных нейровизуализации и биоинформатики в медико-биологической сфере. При этом используются методы математической статистики и сравнение с эталонами, что приводит к успеху. Здесь много схожих черт с нашей проблемой, хотя в ней исследуются волны и колебания в другом частотном диапазоне. В обоих случаях фигурирует априорная информация о строении объектов геометрии, физических, химических, биологических свойствах, которые играют большую роль.*

Замечание 2. *Известный математик, университетский коллега А. С. Братусь высказал поддержку идеи создания комплекса, осуществляющего слежение за состоянием пути с подвижного состава, на основе имеющихся в данный момент в нашем распоряжении технических средств, высоких технологий, вычислительных систем, системы ГЛОНАСС в следующей форме: «Математические расчеты течения жидкости в разветвленных сложных трубопроводах, широком диапазоне изменения температур и давлений по-прежнему остается сложной задачей. Привлечение для численных расчетов суперкомпьютеров и методов многопотоковой обработки данных требует больших затрат сил, энергетических и финансовых ресурсов». Не без самоиронии ученый замечает, что «если бы люди ждали, когда математики докажут все свои теоремы, связанные с возникающими задачами, то и водопровода сегодня не было бы...»*

Задача выявления дефектов и локализации их в пространстве, которые являются причиной изменений в спектре продольных, вертикальных и поперечных колебаний, возникающих при прохождении по рельсам подвижного состава, относятся в математике к классу «обратных». Многомерные «прямые» краевые задачи, с различными многообразными вариантами постановки краевых условий и различных распределений в пространстве сил, очень сложные. «Обратные» задачи такой сложности в настоящее время нет возможности решить. С нашей точки зрения, можно ограничиться расчетом одномерных, более простых «прямых» задач. Это можно сделать быстро и недорого на стандартном оборудовании. Математическое моделирование в этом случае позволяет выявить основные эффекты и получить подсказки, с помощью которых можно сделать вывод о появлении трудно выявляемых дефектов и локализовать их в пространстве, оценить степень опасности эксплуатации данного участка железнодорожного пути. Своевременное обнаружение дефектов помогает избежать аварий, утраты имущества, не говоря уже о потере здоровья и жизни людей.

Цитированные в данной статье научные публикации связаны с анализом моделей балок, которые используются в работах по железнодорожной тематике. Их можно условно, полагаем, разделить на две большие части. Наше выделение двух циклов объясняется тем, что в первом цикле шпалы рассматриваются как балки, лежащие на балласте, а рельс моделируется силой, приложенной в точках. Во втором цикле как балка рассматривается рельс, а шпалы моделируются как силы, приложенные в точках. Этот цикл затронут нами в пункте 5.

В первом цикле публикаций, указанных в библиографии статей [2, 4, 5], приведены численные исследования динамики взаимодействия состава с шпалами, которые рассматриваются как балки. Краевые условия разного типа и функции $f(x, t)$ – источников, которые позволяют моделировать разные ситуации разрушения полотна, неравномерность распределения напряжений и динамических характеристик в шпалах, то есть возникающие дополнительные поперечные силы. В них показано, что наличие пустот под шпалами и разрушение

полотна существенно влияют на распределение динамических нагрузок, а следовательно, и на спектр колебаний.

Многие расчеты, как наши, так и других авторов, подтверждают, что возникновение дефекта ведет к появлению дополнительных резонансов и дисперсия в окрестности главных максимумов увеличивается. Подобные этому повторяющиеся признаки могут стать основой метода выявления трудно распознаваемых дефектов, они позволяют локализовать участок пути за счет сравнения фиксируемого спектра поперечных, вертикальных и продольных колебаний с соответствующими эталонными спектрами, полученными ранее на исправном участке.

В качестве примера один из простых спектров колебаний и зависимость ускорения от частоты и наличия различных дефектов приведены на рис. 1. Нижняя кривая на нём отражает идеальную ситуацию, когда отсутствуют дефекты. Анализ этих и других подобных кривых позволяет сделать вывод, что существует два главных, базовых резонанса, появление которых объясняется в данной работе существованием нескольких вычисленных ниже базовых частот. Итак, существует два резонанса. Первый резонанс значительно сильнее выражен. Верхняя кривая соответствует случаю, когда имеются две подвешенные шпалы. Появляется дополнительный резонанс и дисперсия в окрестности главных максимумов увеличивается. Суммируя результаты других вариантов численного математического моделирования, можно сделать вывод, что обнаружен важный эффект: с увеличением числа шпал, «висящих» на рельсе, то есть лишенных опоры, дисперсия в окрестности частот главных резонансов увеличивается и появляются дополнительные резонансы на более высоких частотах.

Аналогичные кривые спектров при прочих дефектах имеются в других упоминавшихся работах.

Сложность проблемы заключается в том, что эффекты от разных дефектов нелинейно отражаются в спекторе колебаний и нет им однозначного соответствия. Разные дефекты могут вызывать похожие максимумы. Но можно оценить степень опасности дефекта по интегральным оценкам спектра в сравнении с эталонным спектром на этом же участке.

Замечание 3. *При численном моделировании специалистами используются неявные разностные схемы и вариационный метод Ритца для краевых задач. При аналитическом построении решения методом разложения в ряды Фурье [7] авторы сетуют на то, что для расчета варианта решения с достаточной точностью необходимо суммировать 32000 слагаемых. То есть ряд Фурье сходится медленно и расчеты идут дольше.*

Замечание 4. *Вычислительные эксперименты по решению прямых многомерных задач были описаны в ряде указанных работ и в цитируемых в них статьях. Большое разнообразие свойств, геологических, географических, связанных с инфраструктурой окружающего пространства и как следствие многообразие возможных краевых условий делает динамические математические «прямые» модели малоэффективными. Решение «обратных» задач такой сложности является еще более трудной проблемой.*

Замечание 5. *Новым элементом в данной работе, с точки зрения математической физики и механики балок, является факторизация уравнений с частными производными модели «балки Тимошенко». Если читатель знает о работах, где реализована подобная факторизация, то просим сообщить авторам. Молодое поколение, не зная аналитических операторных методов, сразу бросается к компьютеру.*

Процедура факторизации дает возможность объединить большое количество задач, которые отличаются значениями параметров (из-за различия значений физических констант) и рядом слагаемых в них, величину и влияние которых на решение можно регулировать с помощью безразмерных параметров и краевых условий. Формулы получаются компактные, легко обозримые (всего шесть интегральных слагаемых) и позволяющие сравнить влияние различных краевых условий. Получение численных результатов сводится к вычислению интегралов с помощью классических формул.

В данной работе доказано, что модель балки, методом факторизации [12] приводится к последовательности классических задач для неоднородного линейного гипер-

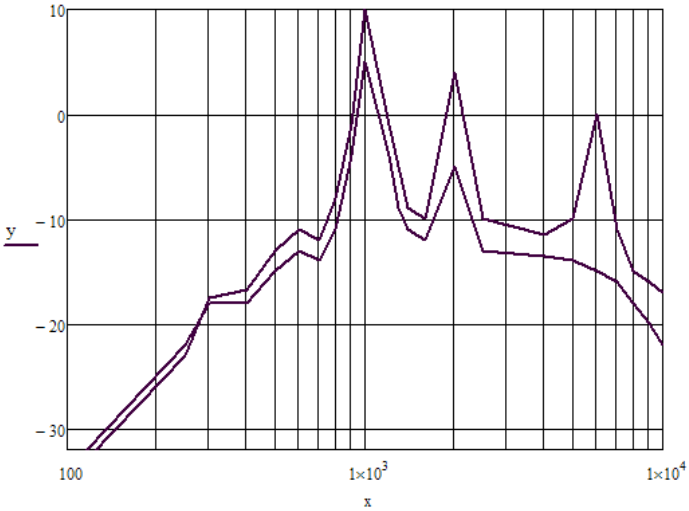


Рис. 1. Ускорение рельса (db/g) от частоты колебаний (Гц).

болического уравнения (ЛГУсЧП) и неоднородного линейного уравнения Клейна-Гордона-Фока (ЛурКГФ), и показано, что в задаче имеют место два базовых масштаба, две характерные скорости, две базовые частоты.

Задачи для неоднородного линейного гиперболического уравнения и неоднородного линейного уравнения Клейна-Гордона-Фока изучены в цикле работ В. М. Бабича [9] и других учёных, ссылки на работы которых приведены в справочниках [10, 11]. Математик Адамара «предложил замечательно простую и точную конструкцию (фундаментальное решение)» [9, с. 1]. Нами найдена возможность использовать конструкции Адамара в модели «балки Тимошенко», т.е. появилась возможность решать задачи Коши для неоднородных уравнений в частных производных второго порядка. Бабич [9] рассмотрел случай движущихся с переменной скоростью источников высокочастотных колебаний для уравнений ЛГУсЧП и ЛурКГФ, а также влияние большого параметра на колебания в функции источника – диссипации последнего уравнения. Фундаментальные решения и функции Грина для большого количества разных классических задач, связанных с ЛГУсЧП и ЛурКГФ, приведены в [10–11].

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Уравнения, описывающие колебания в модели «балки Тимошенко», имеют вид системы [2, с. 15–38]:

$$\begin{aligned} & E\,I\frac{\partial^2 \vartheta(x,t)}{\partial x^2}+k\,AG\left[\frac{\partial Z(x,t)}{\partial x}-\vartheta(x,t)\right]- \\ & -mr^2\frac{\partial^2 \vartheta(x,t)}{\partial t^2}+P\,\vartheta(x,t)=0, \\ & \frac{\partial}{\partial x}\left\{k\,AG\left[\frac{\partial Z(x,t)}{\partial x}-\vartheta(x,t)\right]\right\}- \\ & -m\frac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial t^2}=f(x,t). \end{aligned} \qquad (1)$$

Здесь $Z(x, t)$, $\Theta(x, t)$ – функции отклонения срединной линии и угла поворота сечения соответственно;

E – модуль упругости на сжатие [$Н/м^2$];

I – приведенный момент инерции сечения [$м^4$];

k – безразмерный коэффициент Тимошенко;

A – площадь поперечного сечения [$м^2$];

G – модуль упругости на сдвиг [$Н/м^2$];

$m = I\rho/r^2$ – распределенная плотность;

ρ – удельная плотность [$кг/м$],

P – продольная сила, приложенная к балке.

Отметим, что между размерностями функций $Z(x, t)$, $\Theta(x, t)$ справедливо соотношение $[\Theta(x, t)] = [Z(x, t)] /[м]$. Для системы (1) в цитируемых работах рассматриваются смешанные краевые задачи в разных ситуациях.

3. РАСЩЕПЛЕНИЕ СИСТЕМЫ (1)

Покажем, что смешанные задачи для системы (1) имеют точное решение.

Теорема 1. Пусть дана математическая модель «балки Тимошенко» (1). Тогда одна из функций явно выражается через другую:

$$Z(x,t)=\begin{bmatrix}-h(t)+[k\,AG-P]\Phi(x,t)+\\ +mr^2\dfrac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial t^2}-E\,I\dfrac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial x^2}\end{bmatrix}/(k\,AG),\qquad(2)$$

$$\vartheta(x,t)=\frac{\partial\Phi(x,t)}{\partial x}.$$

Здесь *h(t)* – произвольная непрерывно-дифференцируемая функция.

Для определения функции *Φ(x, t)* надо решить задачу с краевыми условиями и начальными условиями для неоднородного линейного уравнения четвертого порядка с частными производными:

$$m[k\,AG-P]\frac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial t^2}+k\,AG\,P\frac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial x^2}+$$
$$+m^2r^2\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial t^4}-m(E\,I+k\,AGr^2)\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^2\,\partial t^2}+\qquad(3)$$
$$+k\,AG\,E\,I\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^4}=F_0(x,t).$$

Здесь $F_0(x,t)=-k\,AG\,(mh^{\cdot\cdot}(t)+f(x,t))$.

Доказательство. Краевые условия для системы (1) могут быть первого, второго или третьего рода. Так как первое уравнение системы (1) неоднородное, а функция *f(x, t)* содержит сумму обобщенных дельта-функций Дирака в неподвижных и подвижных точках $x = v_0(t)t$, то процедура вывода уравнения четвертого порядка отличается от вывода в случае однородного второго уравнения системы (1).

Второе уравнение нельзя дифференцировать. Продифференцируем первое уравнение системы (1) по переменной *x* и выразим вторую переменную $\dfrac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial x^2}$. Сделаем замену $\vartheta(x,t)=\dfrac{\partial\Phi(x,t)}{\partial x}$ и получим

$$k\,A\,G\frac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial x^2}+[P-k\,AG]\frac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial x^2}-$$
$$-mr^2\frac{\partial^4\Phi(\chi,\tau)}{\partial x^2\,\partial t^2}+E\,I\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^4}=0.\qquad(4)$$

Интегрируем (4) дважды по переменной x и получим формулу (2).

Функция *h(t)* возникает при интегрировании. Одну из констант интегрирования положим равной нулю. Таким образом, одна из функций в системе (1) выражена через другую – формулу (2). После дифференцирования (2) по переменной *t* и подстановки во второе уравнение (1) следует уравнение (3).

4. ПРИМЕНЕНИЕ ФАКТОРИЗАЦИИ К УРАВНЕНИЮ (3)

Большой вклад в развитие операторных методов внесли В. П. Маслов, М. В. Карасев, В. Г. Данилов, ссылки на работы которых приведены в [8].

В [8] и цитируемых в них работах содержатся примеры применения метода факторизации в разных задачах.

Целью процедуры факторизации является представление уравнения (3) в виде

$$L_1\circ\big[\,L_2\;Y(x,t)\big]=F_0(x,t).$$

Конкретные линейные операторы L_i, L_2, $i = 1, 2$ в случае модели (1) определены ниже.

Проведем процедуру обезразмеривания уравнения (3). Обозначим через $x = x_0\chi$, $t = t_0\tau$ и ψ характерный размер, время и характерное значение функции *Φ(x, t)* соответственно. Сделаем замену

$$\Phi(x,t)=\Theta\Big(\frac{x}{x_0},\frac{t}{t_0}\Big)/\psi\,.$$

Обозначим гиперболический оператор Даламбера с параметром μ, который определяет базовую скорость волн и базовую частоту:

$$\Pi_\mu=\frac{\partial^2}{\partial\tau^2}-\mu^2\frac{\partial^2}{\partial\chi^2}.\qquad(5)$$

Из последующего анализа выясняется, что существуют два безразмерных параметра

$$a^2=\frac{E\,t_0^2}{x_0^2\,\rho},\ \mu^2=\frac{AG\,k\,r^2\,t_0^2}{I\,x_0^2\,\rho}.\qquad(6)$$

Теорема 2. Пусть дано уравнение (3) и определены параметры (6). Тогда для построения решения уравнения в безразмерном виде необходимо решить последовательно две стандартные смешанные задачи, а именно: для линейного гиперболического уравнения с частными производными

$$\Pi_a\,Y(\chi,\tau)=F_1(\chi,\tau),$$
$$F_1(\chi,\tau)=M_0(a^2-\mu^2)\,\psi\,[t_0^2\,E\,I\,h^{\cdot\cdot}(t_0\tau)+\qquad(7)$$
$$+(ar\,x_0)^2\,f(x_0\,\chi,t_0\,\tau)]/(E\,I\,\mu^2)$$

и смешанную задачу для уравнения Клейна-Гордона-Фока

$$\Pi_\mu \Theta(\chi,\tau) - x_0^2\ \mu^4 \Theta(\chi,\tau)/(r^2(a^2-\mu^2)) =$$
$$= -x_0^2\ \mu^4 Y(\chi,\tau)/(M_0 r^2(a^2-\mu^2)). \qquad (8)$$

Здесь $M_0 = const \neq 0$.

Во втором варианте метод факторизации дает демонстрируемый далее результат.

Теорема 3. Пусть дано уравнение и два безразмерных параметра (6). Тогда для построения решения уравнения (3) в безразмерном виде необходимо решить последовательно две стандартные смешанные задачи, а именно: для уравнения Клейна-Гордона-Фока

$$\Pi_\mu Y(\chi,\tau) - x_0^2\ \mu^4 Y(\chi,\tau)/(r^2(a^2-\mu^2)) =$$
$$= F_2(\chi,\tau),$$
$$F_2(\chi,\tau) = x_0^2\ \mu^4 c_0 \psi[E I t_0^2 \ddot{h}(t_0\tau) + \qquad (9)$$
$$+(a r x_0)^2 f(x_0\chi, t_0\tau)]/(a^2\ r^4(\mu^2-a^2))$$

и смешанную задачу для линейного гиперболического уравнения

$$\Pi_a \Theta(x,\tau) = a^2 r^2 (a^2-\mu^2)\ Y(x,\tau)/(\mu^2 c_0 E I). \qquad (10)$$

Здесь $c_0 = const \neq 0$.

Доказательство теорем 2, 3. Рассмотрим уравнение Клейна-Гордона-Фока для функции $\Theta(x, \tau)$ с неопределенными постоянными коэффициентами M_0, c_0 P, j_0 Найдем вторую производную по переменной τ:

$$\frac{\partial^2\Theta(\chi,\tau)}{\partial\tau^2} = c\ P\frac{\partial^2\Theta(\chi,\tau)}{\partial\chi^2} -$$
$$-M_0\Theta(\chi,\tau) + Y(\chi,\tau)]/j_0.$$

При этом $Y(x, \tau)$ – функция, которая определяется задачей для уравнения (7) или (9).

После вычисления четвёртых производных от функции $\Phi(x, t) = \Theta(x/x_0, t/t_0)/\psi$ получим

$$\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial t^4} = \frac{\partial^4\Theta(\chi,\tau)}{\partial\tau^4}\frac{1}{t_0^4\psi},$$
$$\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^4} = \frac{\partial^4\Theta(\chi,\tau)}{\partial\chi^4}\frac{1}{x_0^4\psi},$$
$$\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^2\partial t^2} = \frac{\partial^4\Theta(\chi,\tau)}{\partial\chi^2\partial\tau^2}\frac{1}{x_0^2 t_0^2\psi}.$$

Подставляем в уравнение (3) – и в первом случае (для теоремы 2) имеем

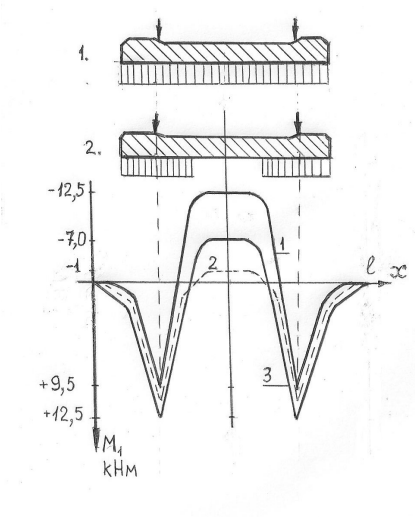


Рис. 2. Варианты реакции изгибного момента шпалы, лежащей на балласте.

$$j_0 = \frac{m c_0 P x_0^2}{k A G t_0^2},\ c_0 = \frac{M_0(k A G r^2 - E I)}{(k A G P x_0^2)},$$
$$P = \frac{k A G E I}{(E I - k A G r^2)},\ m = \frac{I\rho}{r^2}. \qquad (11)$$

После введения параметров (6) следуют уравнения (7), (8).

Во втором случае (для теоремы 3) получаем

$$j_0 = \frac{m c_0 P r^2 x_0^2}{E I t_0^2},\ M_0 = 0,$$
$$P = \frac{k A G E I}{(E I - k A G r^2)},\ m = \frac{I\rho}{r^2}. \qquad (12)$$

После введения параметров (6) следуют уравнения (9), (10).

Далее надо задать краевые и начальные условия и проводить вычисления интегралов свёртки с правой частью и граничными условиями аналитическими и численными методами. Вычисления при значениях констант, относящихся к железнодорожному пути [2, 3], показывают, что отношение параметров (скоростей волн и частот) $\mu / a > 50$. Коэффициент $a^2 - \mu^2 < 0$.

В $f(x_0\chi, t_0\tau)$ входят дельта функции Дирака, поэтому интеграл с ними легко вычисляется. Характерен случай, описанный в теореме 2, когда на первом этапе решается смешанная задача (7) меньшим параметром a. Тогда вычисление решения первой задачи дает возможность получить огибающую низкочастотных колебаний. Вычис-

ление интегралов свертки второй задачи (8) «набивает» полученную структуру высокочастотными колебаниями и мало меняет кривую огибающей низкочастотных колебаний. Таким образом, объясняется аналогия с амплитудно модулированной структурой, имеющей две базовые частоты, два масштаба [9].

В [11, с. 260] (пункт 4.1. 2–6) приведены формулы третьей краевой задачи для линейного гиперболического уравнения со скоростью a в случае стержня с упруго закрепленными концами с разными коэффициентами жесткости k_1, k_2 и начальными условиями $0 \le \chi \le l$.

Пусть заданы следующие начальные условия:

$$Y(\chi,0)=f_0(\chi), \quad \frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0}=f_1(\chi) \qquad (13)$$

и краевые условия

$$\frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=0}-k_1 Y(0,\tau)=g_1(\tau),$$
$$\frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=l}-k_2 Y(l,\tau)=g_2(\tau). \qquad (14)$$

Решение $Y(\chi, \tau)$ определяется по формуле

$$Y(\chi,\tau)=\frac{\partial}{\partial \tau}\int_0^l f_0(\xi)\,G(\chi,\xi,\tau)\,d\xi+$$
$$+\int_0^l f_1(\xi)\,G(\chi,\xi,\tau)\,d\xi+$$
$$+\int_0^\tau\int_0^l F_1(\xi,\tau)G(\chi,\xi,\tau-\theta)\,d\xi\,d\theta-$$
$$-a^2\int_0^\tau g_1(\tau)G(\chi,0,\tau-\theta)\,d\theta+$$
$$+a^2\int_0^\tau g_2(\tau)G(\chi,l,\tau-\theta)\,d\theta, \qquad (15)$$

а функция Грина – по формуле

$$G(\chi,\xi,\tau)=\frac{1}{a}\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(\lambda_n\|u_n\|^2)}\sin(\lambda_n\chi+\phi_n)\times\right.$$
$$\left.\times\sin(\lambda_n\xi+\phi_n)\sin(\lambda_n a\tau)\right),$$
$$\phi_n=\arctan\left(\frac{\lambda_n}{k_1}\right),\ \|u_n\|^2=$$
$$=\frac{l}{2}+\left[\frac{(\lambda_n^2+k_1k_2)(k_1+k_2)}{2(\lambda_n^2+k_1^2)(\lambda_n^2+k_2^2)}\right], \qquad (16)$$

где λ_m – положительные корни трансцендентного уравнения $ctg(\lambda l) = (\lambda^2-k_1k_2)/(\lambda(k_1+k_2))$. Главный член выражения для приближенного положительного собственного значения имеет вид

$$\lambda=\frac{\sqrt{k_1+k_2+k_1k_2l}}{\sqrt{l}}. \qquad (17)$$

С другой стороны, в случае колебания стержня, один конец которого жестко закреплен, а второй свободен, имеем смешанную краевую задачу. В [11, с. 261] приведены формулы для линейного гиперболического уравнения со скоростью a в области $0 \le \chi \le l$. Пусть заданы начальные условия (13) и краевые условия

$$\frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=0}=g_1(\tau), \quad \frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=l}=g_2(\tau). \qquad (18)$$

Решение $Y(\chi, \tau)$ определяется по формуле, аналогичной (15), где четвертое слагаемое

$$+a^2\int_0^\tau g_1(\tau)\left[\frac{\partial}{\partial \xi}G(x,\xi,\tau-\theta)\right]\Big|_{\xi=0}d\theta.$$

Функция Грина в этом случае имеет вид

$$G(\chi,\xi,\tau)=\frac{2}{la}\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{\lambda_n}\sin(\lambda_n\chi)\times\right.$$
$$\left.\times\sin(\lambda_n\xi)\sin(\lambda_n a\tau)\right). \qquad (19)$$

где положительные $\lambda_n = \varpi(2n+1)/(2l)$. Сравнивая последнее выражение с (16), находим очевидное различие в генерируемых частотах.

На рис. 2 приведено распределение ответного изгибного момента монолитной шпалы, лежащей на балласте [5]. Положительное направление оси ординат ориентировано вниз, чтобы привести графики в соответствие с физическим смыслом и изображениями 1 и 2. Первой кривой сплошной, верхней кривой соответствует идеальная опора шпалы без дефекта, при равномерной нагрузке на полотно (изображение 1). Нижней кривой 3 отвечают расчётные проектные значения момента, когда 80% нагрузки распределяются на оба конца шпалы, а середина шпалы лишена опоры. Кривая 2 соответствует изображению 2, когда 100% нагрузки распределяется на оба конца шпалы, а середина шпалы лишена опоры.

Из рис. 2 следует, что максимальный момент имеет место в окрестности крепления шпалы к рельсу и минимум в центре шпалы [5]. Эти данные приводим с целью показать какого вида функции $f_0(\chi), f_1(\chi)$

можно выбирать и выбирались нами в качестве начальных условий при модельных расчётах по формуле (13).

Объясним смысл рис. 3 [5]. Для этого обратим внимание на изображение 2 на рис. 2, где середина шпалы не имеет опоры на балласт. Примем условно эпюру момента правой части опоры шпалы за сто процентов. На рис. 3 кривыми 1, 2 и 3, 4 показано распределение, когда правая часть шпалы имеет опору нуль, 20, 80 и 100 процентов соответственно. Нуль процентов опоры означает, что правая сторона шпала не опирается на полотно, а висит на рельсе. Видно, что различие краевых условий на 20 процентов и более уже существенно меняет характеристики, что сразу отражается на спектре колебаний.

Так как для уравнения задача линейная, то можно разделить при математическом моделировании краевые и начальные условия между составляющими, последовательно решаемыми задачами, например (7) и (8). То есть положить в первой задаче (7) нулевые краевые условия и решать задачу Коши. В этом случае последние два слагаемых в (15) обращаются в нуль. Тогда для уравнения (8) можно положить равными нулю начальные условия и решать краевую задачу по формулам, аналогичным (15), которые приведены в [11, с. 263].

Дополнительный интерес к формулам решения задач для уравнения КГФ возникает, когда безразмерный параметр в функции диссипации (стока) $K^2 = x_0^2\mu^4/(r^2(a^2-\mu^4)>>1$ большой. Вычисления значения K^2 при физических характеристиках, соответствующих обсуждаемой железнодорожной тематике, в уравнениях (8) и (9) показывают, что имеет место именно подобный случай. И тогда реальна *аномально* быстрая осцилляция решений [9, с. 26].

Фундаментальное решение (функция Римана) для уравнения

$$\Pi_\mu \Theta(\chi, \tau)+K^2\Theta(\chi, \tau) = \delta(\chi, \tau) \qquad (20)$$

имеет вид

$$\Theta(\chi,\tau) = \frac{1}{2} J_0(K\sqrt{\tau^2-\chi^2})\theta(\tau^2-\chi^2). \qquad (21)$$

Здесь j_0 – функция Бесселя, $\delta(\chi, \tau)$ – дельта-функция Дирака, Θ – тетта-функция Хевисайда, равная единице при $\tau^2 > \chi^2$ и нулю при $\tau^2 < \chi^2$. В [9] показано, что расстояние между ближайшими корнями – показатель *быстроты* осцилляций функций. При ограниченных значениях τ и χ и $\tau^2-\chi^2 \geq const > 0$ это расстояние имеет порядок $1/K$, что следует из асимптотики функции Бесселя. Причем уровень осцилляции резко увеличивается в окрестности характеристик $\tau = \pm K$.

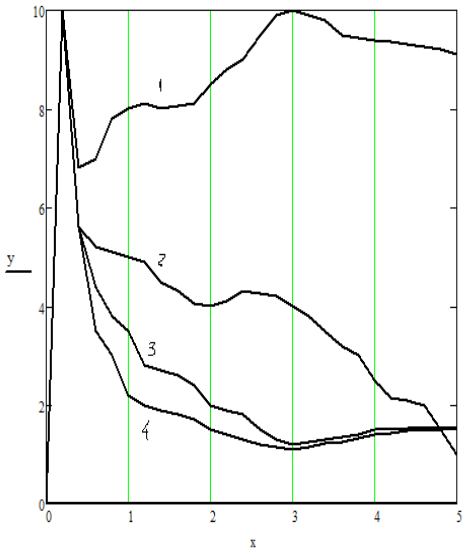


Рис. 3. Распределение динамического момента на левой части шпалы.

В цитируемой работе [9] доказано, что расстояние между соседними корнями на прямой $\tau = \chi$ имеет порядок О ($1/K^2$), что говорит об аномально быстрой осцилляции. Этот эффект присутствует и в обсуждаемой задаче.

5. ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КАЧЕНИЯ КОЛЕСА ПО РЕЛЬСУ С ВОЛНООБРАЗНЫМ ИЗНОСОМ

Во втором цикле работ как балка исследователями рассматривается сам железнодорожный рельс с волнообразным износом. Изучается динамика в системе координат, движущейся с *постоянной* скоростью. Отмечается, что ещё одним источником колебаний являются горизонтальные и вертикальные неровности правого и левого рельсов. В «бесшовном» пути места сварки имеют большую твердость и изнашивается меньше, чем сам рельс, при этом создаются трамплины.

В [7] дельта-функция Дирака оценивается в точке, движущейся с постоянной скоростью, потому что для построения решения в этой работе используется пере-

ход в соответствующую систему координат и затем решение разлагается в ряды Фурье. Заметим, что на практике обеспечить равномерное движение колесной пары трудно. Смотри замечание 1.

В работе [7] выведено уравнение, описывающее установившиеся вертикальные колебания рельса. Обозначенное в нём через *y(x, t)* направленное вверх поперечное отклонение рельса, который имеет изгибную жесткость *E I* и поддерживается однородным основанием с жесткостью *u* и вязкостью *r*, лежит в основе представленной формулы:

$$E\,I\frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4}+m\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}+$$
$$+r\frac{\partial y(x,t)}{\partial t}+u\;y(x,t)=F(x,t). \qquad (22)$$

В нашем случае функция *F(x, t)* в отличие от [7] содержит дельта-функцию Дирака, которая задает положение сосредоточенной силы, приложенной в точке $x = v(t)t$, движущейся с переменной скоростью *v(t)*. Решение задачи допускает анализ движения с переменной скоростью. При моделировании можно задавать разные законы изменения скорости и анализировать их влияние на спектр колебаний. Заметим, что в [7] через *m* обозначена линейная плотность распределенной массы рельса и балласта.

Теорема 4. Пусть дана смешанная задача с краевыми условиями для уравнения (22). Тогда решение имеет вид

$$y(x,t)=Z(x,t)\exp(rt/(2m)), \qquad (23)$$

где функция *Z(x, t)* является точным решением смешанной задачи для линейного стандартного гиперболического уравнения четвертого порядка

$$m\frac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial t^2}+a^2\frac{\partial^4 Z(x,t)}{\partial x^4}+K\;Z(x,t)=$$
$$=\exp(-rt/(2\rho))F(x,t). \qquad (24)$$

Здесь $a^2 = E\,I$, $K = (4u\rho - r^2)/(4m^2)$.

Доказательство. В отличие от [7] частота колебаний рельса определяется решением сопряженной задачи на собственные значения λ_m для обыкновенного дифференциального уравнения четвертого порядка $\phi^{(IV)}(x) - \lambda^4\phi(x) = 0$ с соответствующими граничными условиями [11, с. 533]. Функция Грина имеет вид

$$G(x,\xi,t)=\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{\phi_m(x)\phi_n(\xi)}{\|\phi_n\|^2\sqrt{a^2\lambda_n^4+K}}\sin(t\sqrt{a^2\lambda_n^4+K})\right),$$
$$\phi(x)=C_1\exp(-x\lambda)+C_2\exp(x\lambda)+$$
$$+C_3\cos(x\lambda)+C_4\sin(x\lambda),$$
$$\|\phi_n\|^2=\int_0^l\phi_n^2\,dx= \qquad (25)$$
$$=\frac{l\phi_n^2}{4}+l\left[\phi_n''\right]^2/(4\lambda_n^4)-l\phi_n'(l)\phi_n'''(l)/(2\lambda_n^4).$$

Здесь константы C_i, $i = 1,...,4$ определяются из граничных условий. Норма собственной функции вычисляется по формуле Крылова. Отсюда следует частота колебаний $\sqrt{a^2\lambda_n^4+K}$, $n=1,2,...$ При значениях $\rho = 78$ [кг/мм], $u = 34\,10^6$ [Н/м^2], $E\,I = 4\,10^6$ [Н/м^2], $r = 2\,10^4$[Н с/м^2] из [7] получим значение параметра $K>600$. Следовательно, и в этом случае имеет место эффект аномально быстрой осцилляции.

ВЫВОДЫ

Многие отечественные и зарубежные учёные и практики на разных этапах развития транспортной области внесли существенный вклад в разработку и внедрение локальных методов диагностики дефектов железнодорожного полотна. Сегодня, когда высокие технологии проникают во все сферы жизни, любые локальные и интегральные методы диагностики состояния пути и его компонент должны дополнять друг друга. Интегральный метод, сторонниками введения которого в практику являются авторы данной работы, выявляет трудно выявляемые дефекты или дает информацию об их скрытом существовании и позволяет оценить степень опасности эксплуатации данного участка железнодорожного пути. Если бы такой метод применялся, то тяжелую аварию, подобную аварии в московском метро 15 июля 2014 года, удалось бы предотвратить. Методы исследования деталей, узлов и целых сложных конструкций волнами в различном диапазоне частот давно используют при эксплуатации аппаратов в разных областях техники и машиностроения. В большинстве этих методов присутствует внешний источник колебаний, а в предлагаемом методе в качестве такового выступают колебания с частотами, генерируемыми самим движущимся объектом.

1) Анализ результатов математического моделирования позволяет сделать следующий вывод:

а) дефекты железнодорожного полотна отражаются более или менее явно в одном из спектров вертикальных, продольных или поперечных колебаний в широком диапазоне частот;

б) в окрестности главного и других резонансов наличие дефектов увеличивает дисперсию;

2) На основе этого факта можно построить программно-аппаратный комплекс контроля состояния железнодорожного полотна с подвижного состава.

По нашему мнению, в общих чертах этот комплекс может быть построен следующим образом.

Конкретный перегон железнодорожного пути разбивается на участки (i-1,.., n), учитывающие расположение мостов, переходов, тоннелей и других инженерных сооружений, а также геологическую структуру и другие особенности инфраструктуры, которые могут оказывать влияние на спектр колебаний. На исправном перегоне создается эталонная база спектров вертикальных, продольных или поперечных колебаний с привязкой к местоположению i-го участка с помощью датчиков на рекомендованной специалистами скорости.

На каждом i-м участке выделяется (j = 1,..., m) эталонных контрольных точек, для которых устанавливаются частоты резонанса и рассчитываются их характеристики спектра.

При эксплуатации железнодорожного пути со временем образуются дефекты. При движении состава на данном перегоне проводится запись аналогичных данных. Интервалы времени между проверками должны указать специалисты по эксплуатации. Вычисляются дисперсии в окрестности главного резонанса и сравниваются с эталонными значениями. Данные можно передавать на крупных станциях (возможно использование системы ГЛОНАСС) для детальной обработки с использованием различных методов математической статистики в вычислительных центрах. При превышении критических значений на выявленный, локализованный участок, высылается бригада ремонтников, уточняющих дефекты другими локальными методами диагностики и разрабатывающих план ремонта.

Другие специалисты могут предположить дополнительные сценарии построения такой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Timoshenko S. P. Method of analysis of statical and dynamical stresses in rail / in «Proc. 2nd Int. Congr. for Appl.Mech.» Zurich., 1927, pp. 407–418.

2. Zhu J. Y., Ahmed A. K., Rakheja S., Khajepour A. Development of a vehicle- track model assembly and numerical method for simulation of wheel – rail dynamic interaction due to unsupported sleepers. Vhicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 48, V. 12, pp. 1535–1552.

3. Круглов В. М., Хохлов А. А., Саврухин А. В., Неклюдов А. Н. Метод оценки состояния железнодорожного пути // Мир транспорта.– 2012.– № 5.– С. 4–7.

4. Kang Y. S., Yang S. C., Lee H. S., Kim Y. B., Jang S. Y., Kim E. A Study of Track and train Dynamic Behavior of Transithior Zone Between Concrete Slab Track and Ballasted Track. Korea Railroad Research Institute, Uiwang, South Korea, Sampyo E&C, Seoul, Seoul, South Korea. 2007.

5. Sakdirat Kaewenruen, Alex A. Remennikov, Akira Aikawa. A numerical study to evaluate dynamic responses of vvided concrate railway steepers to impact loading. Paper N88, Proceeding od Acousties 2011. 2–4 November 2011, Gold Coast, Australia.

6. Вакуленко С. П., Ларин О. Н., Лёвин С. Б. Теоретические аспекты механизмов взаимодействия в транспортных системах // Мир транспорта.– 2014.– № 6.– С. 14–27.

7. Белоцерковский П. М., Пугина Л. В. Качение колеса по рельсу с волнообразным износом // Прикладная математика и механика.– 2008.– Т. 72, вып. 3.– С. 421–430.

8. Danilov V. G., Maslov V. P., Volosov K. A. Mathematical Modelling of Heat and Mass Transfer Processes. Kluver Academic publishers. Dordrecht. Boston. London, 1995.– 316 p.

9. Бабич В. М. Анзац Адамара, его аналоги, обобщения, приложения // Алгебра и анализ.– 1991.– Т. 3, вып. 5.– С. 1–37.

10. Зайцев В. Ф., Полянин А. Д. Справочник по дифференциальным уравнениям с частными производными: Точные решения.– М.: Международная программа образования,1996.– 496 с.

11. Полянин А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики.– М.: Физико-математическая литература, 2001.– 575 с.

12. Волосова Н. К., Вакуленко С. П., Волосов К. А. К теории метода контроля качества состояния железнодорожного пути с движущегося состава. On the theory of method of quality control of the railroad track from a moving train. The Internatopnal conference on Quasilinear Equations, Inverse Problems and Their Applications. Moscow Institute of Pfysical and Technjlogy, Dolgoprudny. 30.11–2.12. 2015.

Координаты авторов: **Вакуленко С. П.** – k–gdsu@mail.ru, **Волосов К. А.**, **Волосова Н. К.** – konstantinvolosov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 30.12.2015, принята к публикации 26.03.2016.

ON ESTIMATION OF RAILWAY TRACK STATE

Vakulenko, Sergey P., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Volosov, Konstantin A.*, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Volosova, Natalia K., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

Building hardware complex diagnostics of railway track on the basis of analysis of dynamic processes in the movement of train does not have alternatives at the moment. Similar methods have long been used in the operation of aircraft and other fields of technology and mechanical engineering, biomedical field. The ability to simplify calculations of model tasks is provided by authors' additions to the theory of basic models of «Timoshenko beam» in different situations. Inhomogeneous system of linear differential equations with partial derivatives of the second order is accurately reduced to sequence of solution of two classic mixed problems – derived equations: hyperbolic and Klein-Gordon-Fock. It is shown that the system has two scales (two basic frequencies). The effect of abnormally rapid fluctuations oscillations is explained. A semi-analytical – numerical method is offered that allows to compare effects caused by different boundary conditions.

Keywords: diagnostics of railway track, principles of system construction, Timoshenko beam models, partial differential equations, abnormally rapid fluctuations oscillation, effects comparison.

Background. *In connection with development of high-speed rail transportation has become of particular importance creation and operation of high-tech complex to control quality of track state directly from the moving track. The theoretical basis for this method of control is set out in [1–5] and scientific works cited in them. It is important not to contrapose different ways of diagnostics, they should not compete, but complement each other. Methods of integrating them into a single transport system are intended to be a guide for experts, simulating the processes of defect detection [6].*

Objective. *The objective of the authors is to estimate state of railway track using mathematical methods.*

Methods. *The authors use general scientific and engineering methods, comparison, mathematical methods.*

Results.

1. Preliminary notes

Our main goal is to identify previously unknown mathematical properties of main theoretical models of beams (sleepers), which play an important role in the calculations associated with analysis of vibration spectrum when rolling stock is moving on tracks to present ideas on the principles of building control systems.

Remark 1. *We note that the experience of computer processing and analysis of large volumes of dynamic data with complex three-dimensional internal structure is stored, for example, in the use of different types of brain imaging, processing of neuroimaging and bioinformatics data in the biomedical field. Mathematical statistics methods and comparison with standards are used, which leads to success. There are a lot of similarities with our problem, although in it waves and vibrations in different frequency ranges are studied. In both cases there is a priori information about the structure of objects.*

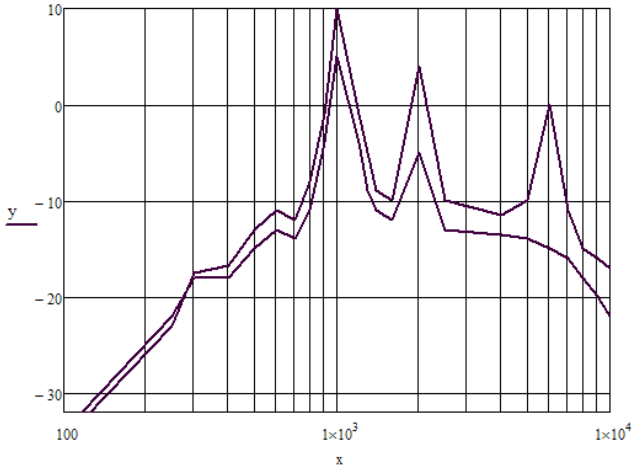
Note 2. *The famous mathematician, expert in the field of dynamical systems A. S. Bratus expressed his support for establishment of a complex, which monitors the state of the track from rolling stock, on the basis of currently available technical equipment, high-tech, computing systems, GLONASS system. Mathematical calculations of fluid flow in complex branched pipes, a wide range of temperatures and pressures, he said, still remains a challenge. Attraction for numerical calculation supercomputers and multithreaded data processing methods requires a lot of forces, energy and financial resources. But this does not mean that we should be afraid to look for solutions on a collision course. It is not without self-irony scientist says that if people were waiting for mathematicians to prove all their theorems related to emerging challenges, and the water pipeline might not exist today.*

The task to identify defects that cause changes in the spectrum of longitudinal, vertical and transverse vibrations occurring during the passage of rolling stock on rails, is called «reverse» in mathematics. Multi-dimensional «direct» boundary value problems with a variety of diverse options for setting boundary conditions and different distributions in the space of forces are usually very complex. «Reverse» tasks of such complexity cannot be solved currently. From our point of view, we can restrict the calculation of one-dimensional, simpler «direct» tasks. Mathematical modeling in this case, allows to identify main effects and to have tips that can be used to conclude on appearance of hard-detectable defects and to locate them in space. Early detection of defects helps to avoid accidents, loss of property, not to mention the loss of health and life of humans.

In [1–5], there are numerical studies of dynamics of interaction of the train with sleepers, which are considered as beams. They show that the presence of voids under sleepers and roadbed destruction significantly affect the distribution of dynamic loads and consequently on oscillation spectrum.

Many calculations, both ours and of other authors, suggest that the emergence of defect leads to additional resonance and dispersion in the vicinity of main peaks increases. Similar repetitive features may become a basis of a method to identify hard-detectable recognizable defects, they can localize track section by comparing the recorded spectrum of transverse, vertical and longitudinal vibrations with respective reference spectra obtained previously on the serviceable section.

As an example one of simple oscillation spectra and dependence of acceleration from frequency and presence of various defects is shown in Pic. 1. Summing up the results of such variants of numerical mathematical modeling, we can conclude that an important effect has been found: with increase in the number of sleepers, «hanging» on a rail, that is deprived of support, the dispersion in the vicinity of frequencies of major resonance increases and additional resonances appear at higher frequencies.



Pic. 1. Acceleration of rail (db / g) due to oscillation frequency (Hz).

The lower curve in Pic. 1 reflects an ideal situation, when there are no defects. The upper curve corresponds to the presence of two «suspended» sleepers, without relying on ballast. Similar curves of spectra for other defects are in other mentioned works.

Note 3. *In numerical modeling specialists use implicit difference schemes and the Ritz variation method for boundary value problems. In analytical construction of solutions by decomposition into Fourier series [7], the authors lament the fact that for the embodiment with sufficient accuracy it is necessary to summarize 32000 terms. That is, the Fourier series converges slowly.*

Note 4. *Numerical experiments for solution of direct multi-dimensional problems have been described in a number of mentioned works. A wide variety of properties, geological, geographical, related to infrastructure of surrounding area and as a result a variety of possible boundary conditions makes dynamic mathematical «direct» models ineffective. The solution of «reverse» problems of such a complexity is a more difficult problem.*

Note 5. *A new element from the point of view of mathematical physics and mechanics of beams is factorization of partial differential equations of «Timoshenko beams» model. If a reader is aware of works, where such factorization is implemented, when please let the authors know. The younger generation, not knowing analytic operator methods immediately rushes to a computer.*

Factorization procedure makes it possible to combine a large number of tasks that are different in parameter values (because of differences in physical constants) and a number of terms in them, which value and influence on a solution can be adjusted using dimensionless parameters and boundary conditions. Formulas are obtained compact, easily foreseeable (six integral terms) and allowing to compare the effect of different boundary conditions. Obtaining numerical results is reduced to calculation of integrals using classic formulas.

Operator methods are described in the works of V. P. Maslov, M. V. Karasev, V. G. Danilov, A. Hadamard and others [8–12], where it is proved that factorization leads to consistency in solving classical problems for inhomogeneous linear hyperbolic equations and inhomogeneous linear Klein-Gordon-Fock equation, and show that there are two basic scales, two characteristic speeds, two base frequencies.

2. Statement of a problem

Equations describing oscillations in «Timoshenko beam» models have a view of a system [2, p. 15–38]:

$$\begin{aligned} & E\,I\frac{\partial^2 \vartheta(x,t)}{\partial x^2}+k\,AG\left[\frac{\partial Z(x,t)}{\partial x}-\vartheta(x,t)\right]- \\ & -mr^2\frac{\partial^2 \vartheta(x,t)}{\partial t^2}+P\,\vartheta(x,t)=0, \\ & \frac{\partial}{\partial x}\left\{k\,AG\left[\frac{\partial Z(x,t)}{\partial x}-\vartheta(x,t)\right]\right\}- \\ & -m\frac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial t^2}=f(x,t). \end{aligned} \qquad (1)$$

Here Z(x, t), Θ(x, t) are functions of deviation of midline and angle of rotation of the cross section, respectively;

E is elasticity modulus on compression [N/m²];

I is reduced moment of inertia of cross-section [m⁴];

k is dimensionless Timoshenko coefficient;

A is area of cross section [m²];

G is elasticity modulus on shift [N/m²];

m = Iρ/r² is distributed density;

ρ is specific density [kg/m];

P is longitudinal force applied to a beam.

Note that between dimensions of functions Z(x, t), Θ(x, t) the relation[Θ(x, t)] = [Z(x, t)] /[m] is correct. For the system (1) in the cited works are considered mixed boundary value problems in different situations.

3. Splitting of the system (1)

Let's show that mixed problems for the system (1) have an exact solution.

Theorem 1. *Let there be given a mathematical «Timoshenko beam» model (1). Then, one of the functions is clearly expressed through the other:*

$$\begin{aligned} & Z(x,t)=\left[\begin{array}{l} -h(t)+\left[k\,AG-P\right]\Phi(x,t)+ \\ +mr^2\dfrac{\partial^2 \Phi(x,t)}{\partial t^2}-E\,I\dfrac{\partial^2 \Phi(x,t)}{\partial x^2} \end{array}\right]/(k\,AG), \\ & \vartheta(x,t)=\frac{\partial \Phi(x,\,t)}{\partial x}. \end{aligned} \qquad (2)$$

Here h(t) is arbitrary continuously differentiable function.

To determine the function Φ(x, t) it is necessary to solve a problem with boundary conditions and initial conditions for inhomogeneous linear fourth-order partial differential equation:

$$m[k\,AG-P]\frac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial t^2}+k\,AG\,P\frac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial x^2}+$$
$$+m^2r^2\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial t^4}-m(E\,I+k\,AGr^2)\frac{\partial^4\Phi(x,\,t)}{\partial x^2\,\partial t^2}+ \quad (3)$$
$$+k\,AG\,E\,I\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^4}=F_0(x,t).$$

Here $F_0(x,t)=-k\,AG\,(m\ddot{h}(t)+f(x,t))$.

Proof.

Boundary conditions for the system (1) can be first, second or third kind. Since the first equation of the system (1) is non-uniform, and the function f(x, t) contains the sum of generalized Dirac delta functions in fixed and mobile points $x = v_0(t)t$, which moves unevenly, the procedure for establishment of the fourth order equation is different from the establishment in case of a homogeneous second equation (1). The second equation cannot be differentiated. Let's differentiate the first equation of the system (1) with respect to x and express the second variable $\frac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial x^2}$. *We make a change* $\vartheta(x,t)=\frac{\partial\Phi(x,t)}{\partial x}$ *and get*

$$k\,A\,G\frac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial x^2}+[P-k\,AG]\frac{\partial^2\Phi(x,t)}{\partial x^2}-$$
$$-mr^2\frac{\partial^4\Phi(\chi,\tau)}{\partial x^2\,\partial t^2}+E\,I\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^4}=0. \quad (4)$$

Integrating (4) twice on variable x, *and we obtain the formula (2).*

The function h(t) occurs in integration. One of the constants of integration is set equal to zero. Thus, one function in the system (1) is expressed by the other – formula (2). After differentiating (2) with respect to t from the second equation (1) follows (3).

4. Application of factorization to the equation (3).

The aim of factorization procedure is to present the equation (3) in the form

$$L_1\circ\left[\,L_2\;Y(x,t)\right]=F_0(x,t).$$

Let's conduct nondimensionalization of the equation (3). Let's denote via $x = x_0\chi$, $t = t_0\tau$ and ψ characteristic size, time and characteristic value of the function $\Phi(x, t)$ respectively. We make a change $\Phi(x,t)=\Theta(\frac{x}{x_0},\frac{t}{t_0})/\psi$. *We denote hyperbolic D'Alembert operator with μ parameter that determines base speed of waves and base frequency:*

$$\Pi_\mu=\frac{\partial^2}{\partial\tau^2}-\mu^2\frac{\partial^2}{\partial\chi^2}. \quad (5)$$

From further analysis it appears that there are two dimensionless parameters

$$a^2=\frac{E\,t_0^2}{x_0^2\,\rho},\ \mu^2=\frac{AG\,k\,r^2\,t_0^2}{I\,x_0^2\,\rho}. \quad (6)$$

Theorem 2. *Let's there is an equation (3) and parameters (6) are defined. Then, for construction of solutions of the equation it is necessary to solve sequentially two standard mixed problems, namely: for linear hyperbolic partial differential equation*

$$\Pi_a\,Y(\chi,\tau)=F_1(\chi,\tau),$$
$$F_1(\chi,\tau)=M_0(a^2-\mu^2)\,\psi\,[t_0^2\,E\,I\,\ddot{h}(t_0\tau)+$$
$$+(a\,r\,x_0)^2\,f(x_0\chi,t_0\tau)]/(E\,I\,\mu^2) \quad (7)$$

and mixed problem for Klein-Gordon-Fock equation

$$\Pi_\mu\,\Theta(\chi,\tau)-x_0^2\,\mu^4\,\Theta(\chi,\tau)/(r^2(a^2-\mu^2))=$$
$$=-x_0^2\,\mu^4\,Y(\chi,\tau)/(M_0\,r^2(a^2-\mu^2)), \quad (8)$$

Here $M_0 = const \neq 0$.

In the second embodiment factorization method gives result, which is demonstrated further.

Theorem 3. *Let there is an equation (3) and two dimensionless parameters (6). Then, for construction of solutions of the equation it is necessary to solve sequentially two standard mixed problems, namely: for Klein-Gordon-Fock equation*

$$\Pi_\mu\,Y(\chi,\tau)-x_0^2\,\mu^4\,Y(\chi,\tau)/(r^2(a^2-\mu^2))=F_2(\chi,\tau),$$
$$F_2(\chi,\tau)=x_0^2\,\mu^4\,c_0\,\psi[\,E\,I\,t_0^2\,\ddot{h}(t_0\tau)+ \quad (9)$$
$$+(a\,r\,x_0)^2\,f(x_0\chi,t_0\tau)]/(a^2\,r^4(\mu^2-a^2))$$

and mixed problem for linear hyperbolic equation

$$\Pi_a\Theta(x,\tau)=a^2r^2(a^2-\mu^2)\,Y(x,\tau)/(\mu^2c_0E\,I). \quad (10)$$

Here $c_0 = const \neq 0$.

Proof of theorems 2, 3. *Let's consider Klein-Gordon-Fock equation for the function $\Theta(x, \tau)$ with undetermined constant coefficients M_0, c_0P, j_0. We find the second derivative with respect to τ:*

$$\frac{\partial^2\Theta(\chi,\tau)}{\partial\tau^2}=[c_0\,P\,\frac{\partial^2\Theta(\chi,\tau)}{\partial\chi^2}-M_0\,\Theta(\chi,\tau)+Y(\chi,\tau)]/j_0.$$

Thus $Y(x, \tau)$ is a function that is determined by the problem for the equation (7) or (9).

After calculating four derivatives of the function $\Phi(x, t) = \Theta(x/x_0, t/t_0)/\psi$ we get

$$\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial t^4}=\frac{\partial^4\Theta(\chi,\tau)}{\partial\tau^4}\frac{1}{t_0^4\,\psi},$$

$$\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^4}=\frac{\partial^4\Theta(\chi,\tau)}{\partial\chi^4}\frac{1}{x_0^4\,\psi},$$

$$\frac{\partial^4\Phi(x,t)}{\partial x^2\partial t^2}=\frac{\partial^4\Theta(\chi,\tau)}{\partial\chi^2\,\partial\tau^2}\frac{1}{x_0^2t_0^2\,\psi}.$$

Substituting in the equation (3) – and in the first case (for theorem 2) we have

$$j_0=\frac{m\,c_0\,P\,x_0^2}{k\,AG\,t_0^2},\quad c_0=\frac{M_0(k\,AG\,r^2-E\,I)}{(k\,AG\,P\,x_0^2)},$$
$$P=\frac{k\,AG\,E\,I}{(E\,I-k\,AGr^2)},\ m=\frac{I\,\rho}{r^2}. \quad (11)$$

After introduction of parameters (6) follow equations (7), (8).

In the second case (for theorem 3), we obtain

$$j_0=\frac{m\,c_0\,P\,r^2\,x_0^2}{E\,I\,t_0^2},\ M_0=0,$$
$$P=\frac{k\,AG\,E\,I}{(E\,I-k\,AGr^2)},\ m=\frac{I\,\rho}{r^2}. \quad (12)$$

After introduction of parameters (6) follow equations (9), (10).

Then it is necessary to set boundary and initial conditions and perform calculations of convolution integrals with the right side and boundary conditions by analytical and numerical methods. Calculations at constant values, relating to railway track [2, 3], show that the ratio of parameters (speed of waves and frequencies) $\mu / a > 50$. Coefficient $a^2-\mu^2<0$.

In f ($x_0 \chi$, $t_0 \tau$) there are Dirac delta functions, so integral with them are easily calculated. Characteristic is the case described in theorem 2, when in the first phase of mixed problem (7) is solved with smaller parameter a. Then the calculation of the first task makes it possible to obtain the envelope of low-frequency vibrations. Calculation of convolution integrals of the second task (8) «fills» the resulting structure with high-frequency oscillations and little changes of the envelope curve of low-frequency vibrations. Thus, the analogy with amplitude modulated structure having two base frequencies, two scales is explained [9].

In [11, p. 260] there are formulas of the third boundary value problem for a linear hyperbolic equation with a speed a in case of a rod with elastic fixed endpoints with different stiffness coefficients k_1, k_2 and initial conditions $0 \le \chi \le l$.

Let's set the following initial conditions:

$$Y(\chi,0)=f_0(\chi),\quad \frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0}=f_1(\chi) \qquad (13)$$

and boundary conditions

$$\frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=0}-k_1 Y(0,\tau)=g_1(\tau),$$
$$\frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=l}-k_2 Y(l,\tau)=g_2(\tau). \qquad (14)$$

The solution Y(χ, τ) is determined by the formula

$$Y(\chi,\tau)=\frac{\partial}{\partial \tau}\int_0^l f_0(\xi)\,G(\chi,\xi,\tau)\,d\xi+$$
$$+\int_0^l f_1(\xi)\,G(\chi,\xi,\tau)\,d\xi+\int_0^\tau\int_0^l F_1(\xi,\tau)G(\chi,\xi,\tau-\theta)\,d\xi\,d\theta-$$
$$-a^2\int_0^\tau g_1(\tau)G(\chi,0,\tau-\theta)\,d\theta+a^2\int_0^\tau g_2(\tau)G(\chi,l,\tau-\theta)\,d\theta, \qquad (15)$$

and Green function – according to the formula

$$G(\chi,\xi,\tau)=\frac{1}{a}\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(\lambda_n\|u_n\|^2)}\sin(\lambda_n\chi+\phi_n)\times\right.$$
$$\left.\times\sin(\lambda_n\xi+\phi_n)\sin(\lambda_n a\tau)\right),$$
$$\phi_n=\arctan\left(\frac{\lambda_n}{k_1}\right),$$
$$\|u_n\|^2=\frac{l}{2}+\left[\frac{(\lambda_n^2+k_1k_2)(k_1+k_2)}{2(\lambda_n^2+k_1^2)(\lambda_n^2+k_2^2)}\right], \qquad (16)$$

where λ_m are positive roots of the transcendental equation $ctg(\lambda l) = (\lambda^2-k_1k_2)/(\lambda(k_1+k_2))$. The principal term of the expression for approximate positive eigenvalue has a form

$$\lambda=\frac{\sqrt{k_1+k_2+k_1k_2\,l}}{\sqrt{l}}. \qquad (17)$$

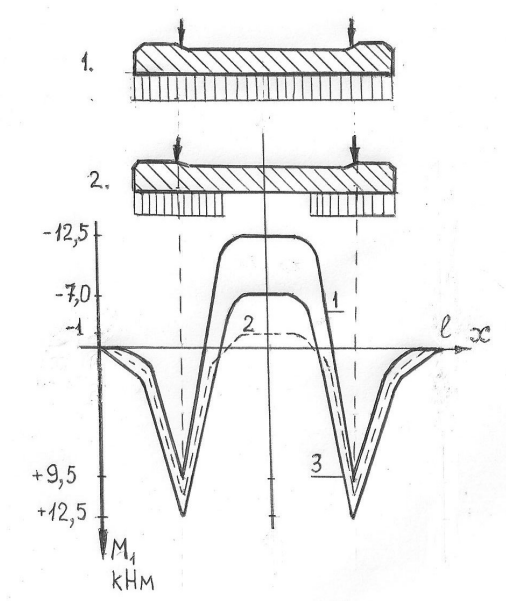
On the other hand in case of oscillations of the rod, one end of which is rigidly fixed and the other is free, we have a mixed boundary value problem. In [11, p. 261], there are formulas for a linear hyperbolic equation with a speed a in the range $0 \le \chi \le l$. Suppose that initial conditions (13) and boundary conditions

$$\frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=0}=g_1(\tau),\quad \frac{\partial Y(\chi,\tau)}{\partial \chi}\Big|_{\chi=l}=g_2(\tau). \qquad (18)$$

The solution Y(χ, τ) is determined by the formula, similar to (15), where the fourth term

$$+a^2\int_0^\tau g_1(\tau)\left[\frac{\partial}{\partial \xi}G(x,\xi,\tau-\theta)\right]\Big|_{\xi=0}d\theta.$$

Green function in this case has a form



Pic. 2. Response options of a bending moment of a sleeper, lying on the ballast.

$$G(\chi,\xi,\tau)=$$
$$=\frac{2}{la}\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{\lambda_n}\sin(\lambda_n\chi)\sin(\lambda_n\xi)\sin(\lambda_n a\tau)\right). \qquad (19)$$

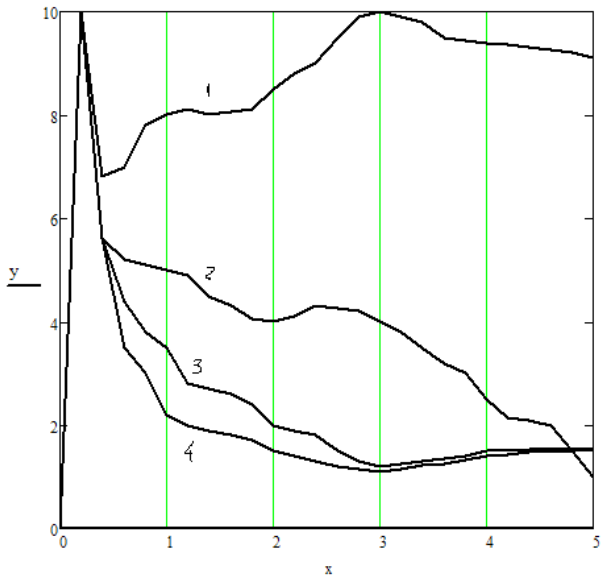
where positive $\lambda_n = \varpi(2n+1)/(2l)$. Comparing the latter expression with (16), we find an obvious difference in generated frequencies.

Pic. 2 shows distribution of response bending moment of a monolithic sleeper lying on the ballast [5]. The positive direction of the y-axis is focused down to bring the graphics in line with the physical meaning and images 1 and 2. The first solid curve, the top curve corresponds to the ideal support sleeper without a defect, in case of evenly distributed load on the roadbed (picture 1). Lower curve 3 corresponds to the calculated torque value. Curve 2 corresponds to the image 2, when 100% of the load is distributed on both ends of sleepers and sleeper's middle is deprived of support.

We use Pic. 2 to show what kind of function $f_0(\chi)$, $f_1(\chi)$can be selected as initial conditions in model calculations by the formula (13).

Let's explain the meaning of Pic. 3 [5]. To do this, pay attention to the image 2 in Pic. 2, where the middle of a sleeper has no support on ballast. Let's take conditionally moment diagram of the right side of the sleepers support equal to one hundred percent. In Pic. 3 curves 1, 2 and 3, 4 show distribution when the right side of the sleeper has a support of 0, 20, 80 and one hundred per cent, respectively. Zero percent of the support means that the right side of the sleeper does not rest on the roadbed, but hangs on the rail. It can be seen that the difference of boundary conditions at 20 percent or more significantly alters the characteristics that is immediately reflected in the vibration spectrum.

As for the equation problem is linear, in mathematical modeling boundary and initial conditions can be divided between the components in series of tasks, such as (7) and (8). That is to put in the first task (7) zero boundary conditions and to solve the Cauchy problem. In this case, the last two terms in (15) become zero.



Pic. 3. Distribution of dynamic moment on a left part of a sleeper.

Then for the equation (8) initial conditions can be set equal to zero and the boundary problem can be solved by formulas similar to (15), which are given in [11, p. 263].

Further interest to the formulas for solving KGF equation arises when the dimensionless parameter to dissipation function (flow) $K^2 = x_0^2\mu^4/(r^2(a^2-\mu^4)>>1$ is large. Calculations of values K^2 for physical characteristics of corresponding to discussed railway topics in equations (8) and (9) shows that there is just such a case. And then abnormally rapid oscillation of solutions is real [9, p. 26].

The fundamental solution (Riemann function) for the equation

$$\Pi_\mu \Theta(\chi, \tau)+K^2\Theta(\chi, \tau) = \delta(\chi, \tau) \qquad (20)$$

has a form

$$\Theta(\chi,\tau) = \frac{1}{2} J_0(K\sqrt{\tau^2-\chi^2})\theta(\tau^2-\chi^2). \qquad (21)$$

Here j_0 is Bessel function, $\delta(\chi, \tau)$ is Dirac delta function, Θ is theta Heaviside function equal to unity when $\tau^2 > \chi^2$ and zero when $\tau^2 < \chi^2$. In [9] it is shown that the distance between the nearest roots is an indicator of speed of oscillation of functions. With limited values of τ and χ and $\tau^2-\chi^2 \geq$ const > 0 this distance has an order of 1/K, which follows from the asymptotic behavior of the Bessel function. Moreover, the oscillation rate increases sharply in the vicinity of the characteristics $\tau = \pm K$.

In the cited paper [9] it was proven that the distance between neighboring roots on the line $\tau = \chi$ is of order O (1/K^2), which indicates an abnormally rapid oscillation. This effect is present in the discussed problem.

5. Exact solution of the problem of rolling wheels on the rail with wavelike wear

In the second model cycle, the researchers considered as a beam railway rail itself with wavelike wear. The dynamics in the coordinate system moving with constant speed is studied. It is noted that another source of vibrations are horizontal and vertical unevenness of left and right rails. In «weldless» track welding places have greater hardness and is worn less than the rail itself, while rebounders are created.

In [7] Dirac delta function is evaluated at a point moving with constant speed, because for construction of a solution in this paper is used the transition to the appropriate coordinate system and then the solution can be expanded in Fourier series. Note that, in practice, it is difficult to provide a uniform movement of the wheel set. See note 1.

As a result, we derived an equation describing the steady vertical rail fluctuations. Designated therein by y(x, t) upward transverse deflection of a rail, which has a bending stiffness E I and is supported by uniform base with hardness u and toughness r, lies at the basis of the formula:

$$E\,I\,\frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + m\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + r\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} + u\ y(x,t) = F(x,t). \qquad (22)$$

In our case, the function F(x, t) in contrast to [7] contains Dirac delta function, which sets the position of a force applied at the point x = v(t)t moving with variable speed v(t). The solution allows for analysis of motion with variable speed. In the simulation, it is possible to specify different laws of speed change and to analyze their effects on the vibration spectrum. In [7] by m is denoted the linear density of the distributed masses of rail and ballast.

Theorem 4. *Given a mixed problem with boundary conditions for the equation (22). Then the solution has a form*

$$y(x, t) = Z(x, t)\exp(rt/(2m)), \qquad (23)$$

where the function Z(x, t) is an exact solution of the mixed problem for linear standard hyperbolic fourth-order equation

$$m\frac{\partial^2 Z(x,t)}{\partial t^2} + a^2\frac{\partial^4 Z(x,t)}{\partial x^4} + K\ Z(x,t) = \exp(-rt/(2\rho))F(x,t). \qquad (24)$$

Here $a^2 = E\,I$, $K = (4u\rho - r^2)/(4m^2)$.

Proof. *In contrast to [7] the frequency of rail oscillation is determined by solution of the conjugate problem for eigenvalues λ_m for an ordinary differential*

equation of the fourth order $\phi^{(IV)}(x)-\lambda^4\phi(x) = 0$ with appropriate boundary conditions [11, p. 533]. Green function has a form

$$G(x,\xi,t)=$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{\phi_m(x)\phi_n(\xi)}{\|\phi_n\|^2\sqrt{a^2\lambda_n^4+K}}\sin\left(t\sqrt{a^2\lambda_n^4+K}\right)\right),$$

$$\phi(x)=C_1\exp(-x\lambda)+C_2\exp(x\lambda)+$$

$$+C_3\cos(x\lambda)+C_4\sin(x\lambda),$$

$$\|\phi_n\|^2=\int_0^l\phi_n^2\,dx=\frac{l\phi_n^2}{4}+l\left[\phi_n''\right]^2/(4\lambda_n^4)- \quad (25)$$

$$-l\phi_n'(l)\phi_n'''(l)/(2\lambda_n^4).$$

Here, the constants C_i, $i = 1,...,4$ are determined from boundary conditions. The rate of eigenfunction is calculated by Krylov formula. Hence the oscillation frequency $\sqrt{a^2\lambda_n^4+K}$, $n=1,2,...$ At values of ρ = 78 [kg / mm], u = 34 10^6 [N / m^2], E I = 4 10^6 [N / m^2], r = 2 10^4 [N s/m^2], from [7] we get the value of parameter K>600. Consequently, in this case, there is an effect of abnormally rapid oscillation.

Conclusions. *In railroad diagnostic centers various local methods and integral method are used, the supporters of which are the authors of this work. If this method had been consistently and universally applied, then a severe accident, a similar to the accident in Moscow metro July 15, 2014, could have been prevented. In most cases the diagnostician is external source of vibrations, and in the present embodiment oscillations with frequencies generated by the moving object are used.*

Analysis of results of mathematical modeling leads to the following conclusions:

a) rail roadbed defects are recorded more or less explicitly in one of the spectra of vertical, longitudinal or transverse vibrations in a wide frequency range;

b) in the vicinity of the main resonances and other defects increase dispersion;

c) taking this into account it is possible to build software and hardware complex for control of the state of railway roadbed with rolling stock.

In our opinion, in general terms, the complex should include:

– Creation of a reference database of spectra of vertical, longitudinal or transverse vibrations with reference to the location of the i-th section using wide / frequency sensors at speed recommended for specialists;

– Selection for each i-th section of reference control points (j = 1,..., m), where the resonance frequency and its characteristics are calculated.

– Calculation of dispersions in the vicinity of the principal resonance for comparison with reference values in excess of critical values repairmen team is sent, specifying the defects by local methods of diagnosis and carrying out the necessary works.

Other specialists may offer additional scenarios and supplement the proposed scheme.

REFERENCES

1. Timoshenko, S. P. Method of analysis of static and dynamical stresses in rail / *in «Proc. 2nd Int. Congr. for Appl. Mech.»* Zurich., 1927, pp. 407–418.

2. Zhu, J. Y., Ahmed, A. K., Rakheja, S., Khajepour, A. Development of a vehicle- track model assembly and numerical method for simulation of wheel – rail dynamic interaction due to unsupported sleepers. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 48, Vol.12, pp. 1535–1552.

3. Kruglov, V. M., Hohlov, A. A., Savruhin, A. V., Nekludov, A. N. On a method to observe track conditions. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 5, pp. 4–7.

4. Kang, Y. S., Yang, S. C., Lee, H. S., Kim, Y. B., Jang, S. Y., Kim, E. A Study of Track and train Dynamic Behavior of Transition Zone Between Concrete Slab Track and Ballasted Track. Korea Railroad Research Institute, Uiwang, South Korea, Sampyo E&C, Seoul, Seoul, South Korea. 2007.

5. Sakdirat Kaewenruen, Alex A. Remennikov, Akira Aikawa. A numerical study to evaluate dynamic responses of voided concrete railway sleepers to impact loading. *Paper N88, Proceeding of Acoustics 2011.* 2–4 November 2011, Gold Coast, Australia.

6. Vakulenko, S. P., Larin, O. N., Lievin, S. B. Theoretical aspects of interaction mechanisms in transport systems. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 6, pp. 14–27.

7. Belotserkovsky, P. M., Pugina, L. V. Rolling of wheels on rail with wavelike wear [*Kachenie kolesa po rel'su s volnoobraznym iznosom*]. *Prikladnaja matematika i mehanika*, 2008, Vol. 72, Iss. 3, pp. 421–430.

8. Danilov, V. G., Maslov, V. P., Volosov, K. A. Mathematical Modeling of Heat and Mass Transfer Processes. Kluver Academic publishers. Dordrecht. Boston. London, 1995, 316 p.

9. Babich, V. M. Hadamard Ansatz, its analogues, generalizations, applications [*Anzac Adamara, ego analogi, obobshhenija, prilozhenija*]. *Algebra i analiz*, 1991, Vol. 3, Iss. 5, pp. 1–37.

10. Zaitsev, V. F., Polyanin, A. D. Handbook of differential equations with partial derivatives: Exact solutions [*Spravochnik po differencial'nym uravnenijam s chastnymi proizvodnymi: Tochnye reshenija*]. Moscow, Mezhdunarodnaja programma obrazovanija publ., 1996, 496 p.

11. Polyanin, A. D. Handbook of linear equations of mathematical physics [*Spravochnik po linejnym uravnenijam matematicheskoj fiziki*]. Moscow, Fiziko-matematicheskaja literature publ., 2001, 575 p.

12. Volosova, N. K., Vakulenko, S. P., Volosov, K. A. On the theory of method of quality control of the railroad track from a moving train. *The International conference on Quasilinear Equations, Inverse Problems and Their Applications*. Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny. 30.11–2.12.2015. ●

Information about the authors:

Vakulenko, Sergey P. – Ph.D. (Eng.), professor, director of Institute of Management, Administration and Information Technologies of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, k–gdsu@mail.ru.

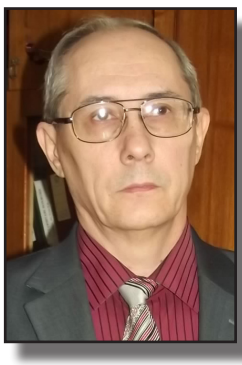
Volosov, Konstantin A. – D.Sc. (Physics and Mathematics), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, konstantinvolosov@yandex.ru.

Volosova, Natalia K. – 3rd course student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, konstantinvolosov@yandex.ru.

Article received 30.12.2015, accepted 26.03.2016.

УДК 625.7/.8

Формирование территориально-производственных кластеров на базе адаптивной транспортной инфраструктуры



Игорь ТАРАРЫЧКИН

Igor A. TARARYCHKIN

Тарарычкин Игорь Александрович *– доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные системы» Луганского национального университета им. В. Даля, Луганск, Украина.*

Formation of Territorial – Industrial Clusters Based On Adaptive Transport Infrastructure

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 44)

Разработан метод формирования территориально-производственных кластеров на базе гибко меняющейся и создаваемой транспортной инфраструктуры. Сформулированы целевые функции и количественные критерии, позволяющие устанавливать положение транспортных узлов системы на местном уровне. Показано, что расположение транспортного узла зависит от того, является ли он активным или пассивным. Предложены расчётные зависимости, позволяющие решать задачу структурного синтеза в рамках региональной транспортной системы.

Ключевые слова: транспорт, система, синтез, инфраструктура, оптимизация, кластеры, территория, производство.

Известные методы синтеза логистических транспортных систем в ряде случаев не позволяют решать задачу формирования их оптимальной структуры, что связано как с противоречивостью условий и ограничений, которые должны быть соблюдены при её реализации, так и со сложностью вычислительной процедуры, обусловленной наличием большого числа эксплуатационных факторов [1–6].

Если производственный кластер формируется на новой территории, а транспортная сеть и соответствующая инфраструктура создаются под ожидаемые потребности в грузовых перевозках, то процесс формирования местного уровня такой системы требует учета ряда специфических особенностей [7]. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Предположим, что производственный кластер состоит из шести точечных элементов M_1, ... M_6, расположение которых схематично показано на рис. 1а. Будем считать, что между каждой парой элементов существуют транспортные пути, а за рассматриваемый период времени между всеми элементами выполняются грузовые перевозки единичного объёма ($q_{i,j}$= 1 т/сут, для любых сочетаний $i \neq j$).

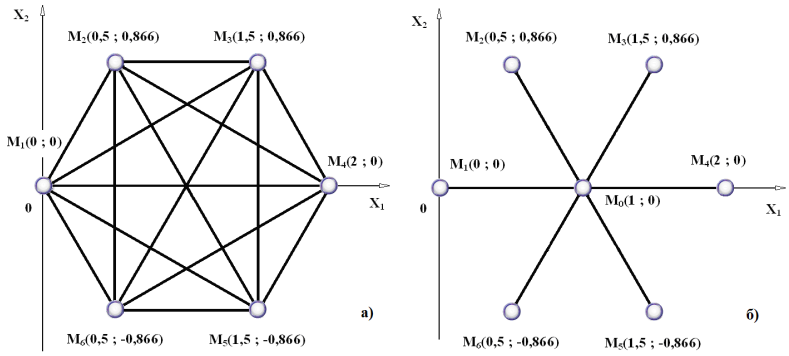


Рис. 1. Схема формирования структуры кластеров, в составе которых имеется по шесть точечных элементов M_1, … M_6.

Если исходить из условия минимизации выполняемой транспортной работы, то каждая пара элементов кластера должна соединяться между собой транспортными путями в виде отрезков прямых линий. В таком случае общая протяженность транспортной сети:

$$L_{\Sigma} = 0{,}5 \bullet \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=1}^{6} l_{i,j} \ .$$

Суммарная транспортная работа в границах формируемого таким способом кластера:

$$Q_W = \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=1}^{6} q_{i,j} \bullet l_{i,j} \ .$$

Принятый вариант формирования транспортной сети обеспечивает достижение минимума общей транспортной работы Q_W. Однако следует также признать, что такое решение влечёт за собой неоправданное увеличение общей протяженности используемых транспортных путей.

Так, несложно показать, что для рассматриваемого примера формирования сети общая длина транспортных путей составляет L_{Σ} = 22,39 км, а выполняемая суммарная транспортная работа Q_W = 44,78 т • км. Если же в состав кластера добавить транспортный узел M_0 (рис. 1б), то общая протяженность используемых путей будет $L_{\Sigma}^{*} = 6$ км, а суммарная транспортная работа – $Q_W^{*} = 60$ т • км.

Это означает, что использование транспортного узла приводит, с одной стороны, к уменьшению общей протяженности транспортной сети (в рассматриваемом примере более чем в 3,7 раза), а с другой стороны, сопровождается некоторым увеличением выполняемой транспортной работы (в данном случае примерно на 25%). Учитывая то обстоятельство, что строительство транспортных путей соответствующей инфраструктуры и дальнейшее их поддержание в работоспособном состоянии являются весьма затратными с финансовой точки зрения, то требование, связанное с обеспечением абсолютного минимума транспортной работы, выполняемой в границах вновь создаваемого территориально-производственного кластера, нельзя признать оправданным.

Наиболее приемлемыми в этих условиях будут требования по синтезу такой структуры, которая способна обеспечить минимальный уровень выполняемой транспортной работы в сочетании с наименьшей суммарной протяженностью всех используемых транспортных путей.

Тогда целевая функция, определяющая требования к структуре системы на местном уровне, формулируется так:

$$I_z = Q_w \bullet L_{\Sigma} \rightarrow \min. \qquad (1)$$

Таким образом, рассмотренный пример показывает, что процесс формирования структуры кластера на базе вновь создаваемой инфраструктуры связан как с необходимостью использования соответствующей целевой функции (1), так и с определением положения транспортного узла, если его включение в состав кластера оказывается целесообразным. При этом определение координат узла M_0 представляет собой самостоятельную задачу, которая должна быть решена отдельно.

Рассмотрим в этой связи задачу определения положения транспортного узла кластера, формируемого на базе четырех точечных элементов (рис. 2). Соответству-

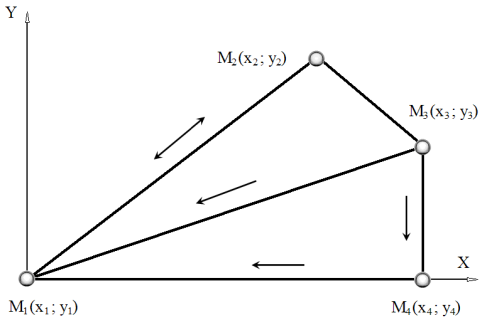


Рис. 2. Схема взаимного расположения отдельных структурных элементов кластера и направления осуществляемых грузовых перевозок.

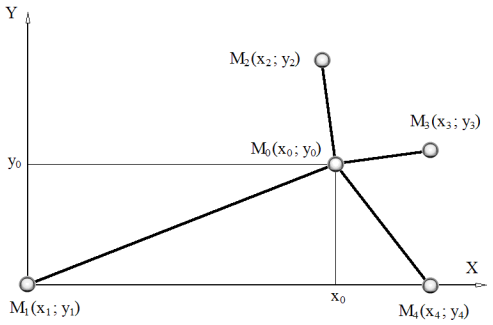


Рис. 3. Схема расположения элементов кластера и транспортного узла M_0.

Таблица 1

Координаты точечных элементов производственного кластера

Координаты элементов кластера M_i	Значение индекса i			
	1	2	3	4
x_i, км	0	16	22	22
y_i, км	0	15	8	0

ющие координаты этих элементов в системе Y0X представлены в таблице 1.

Объемы перевозок между отдельными точками задаются матрицей $\| Q \|$ [7] с элементами $q_{i,j}$ [тыс. т / сут.]:

$$\| Q \| = \begin{Vmatrix} 0 & 1{,}6 & 0 & 0 \\ 0{,}2 & 0 & 1{,}8 & 0 \\ 1{,}52 & 0 & 0 & 1{,}2 \\ 0{,}7 & 0 & 0 & 0 \end{Vmatrix}.$$

Предположим, далее, что в состав кластера включен дополнительный элемент M_0, выполняющий роль транспортного узла (рис. 3).

Поскольку все транспортные пути в границах кластера будут проходить через узел $M_0(x_0; y_0)$, то это приводит к появлению объездных маршрутов и изменению путей доставки. Положение точки M_0 на плоскости Y0X определяется из условия:

$$I_z(x_0; y_0) \to \min. \qquad (2)$$

А решить необходимо следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial x} = 0 \\ \dfrac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial y} = 0. \end{cases} \qquad (3)$$

Для принятой системы исходных данных (таблица 1) координаты узла M_0 на плоскости Y0X:

$$\begin{cases} x_0 = 19{,}2\ км \\ y_0 = 7{,}5\ км. \end{cases}$$

Несложно показать, что общая протяженность транспортных путей в границах кластера с узлом M_0 (19,2; 7,5) составляет $L_\Sigma^* = 39{,}6$ км, а выполняемая транспортная работа $Q_T^* = 140{,}3$ тыс. т • км/сут. Если же кластер не имеет единого узла, то общая длина транспортных путей для заданного варианта расположения элементов M_1,...M_4: $L_\Sigma = 84{,}6$ км, а выполняемая в границах кластера транспортная работа составит $Q_T = 116{,}7$ тыс. т • км/сут.

Таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что включение в состав рассматриваемого кластера дополнительного элемента M_0 приводит к увеличению объема выполняемой транспортной работы примерно на 20% и одновременному снижению общей протяженности транспортных путей более чем в 2 раза.

В целом разработанный метод, основанный на использовании целевой функции (2), позволяет установить положение на плоскости дополнительного структурного элемента M_0.

Однако при этом следует отметить и некоторые особенности, связанные с решением такого рода задач. Так, если в состав показанного на рис. 2 кластера добавить элемент M_5, расположенный вблизи точки M_1 и технологически связанный только с этой точкой (рис. 4), то грузовые перевозки между этими элементами через узел M_0 выполнять нецелесообразно из-за чрезмерно возрастающей длины транспортного пути.

Таблица 2

Координаты отдельных структурных элементов кластера

Координаты точек $M_i(x_i; y_i)$	Значение индекса i									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i, км	13	21	80	17	24	18	0,5	0	86	95
y_i, км	4	53	6	58	58	48	7	0	13	5

Такого рода структурные элементы-спутники следует исключить из рассмотрения до начала процедуры поиска положения точки M_0. Позже, на этапе формирования кластера, спутники надо включить в его состав, несмотря на фактическое отсутствие перевозок через узел M_0.

То есть в дальнейшем под спутником будем понимать такой элемент кластера, который при его функционировании связан исключительно с близлежащим точечным объектом при доставке грузов на сравнительно небольшие расстояния (обычно не более 10–20 км).

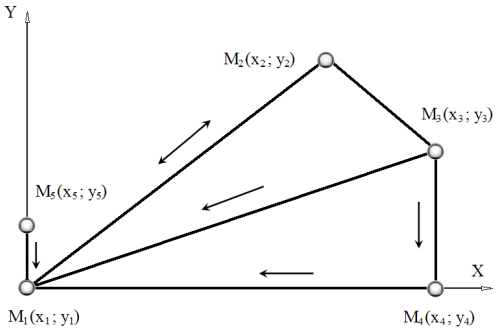


Рис. 4. Схема кластера, состоящего из пяти точечных элементов.

Таблица 3

Грузопотоки между отдельными элементами кластера $q_{i,j}$ [тыс. т·км/сут.]

Значения индексов i и j		Индекс i									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Индекс j	1	0	0	1,16	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,52	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0	0
	6	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0

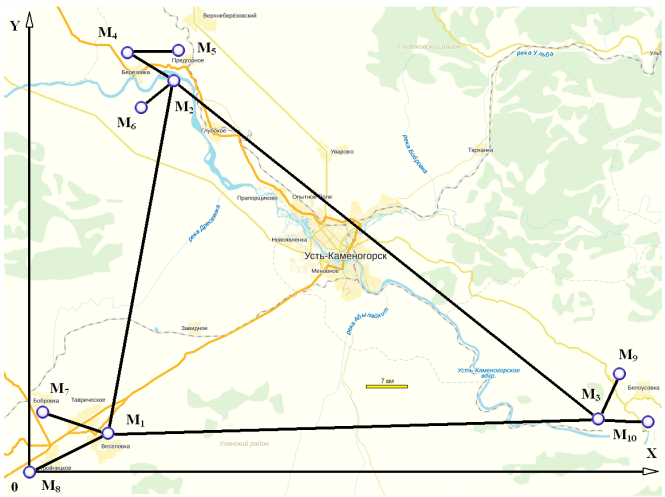


Рис. 5. Схема взаимного расположения точечных элементов производственного кластера.

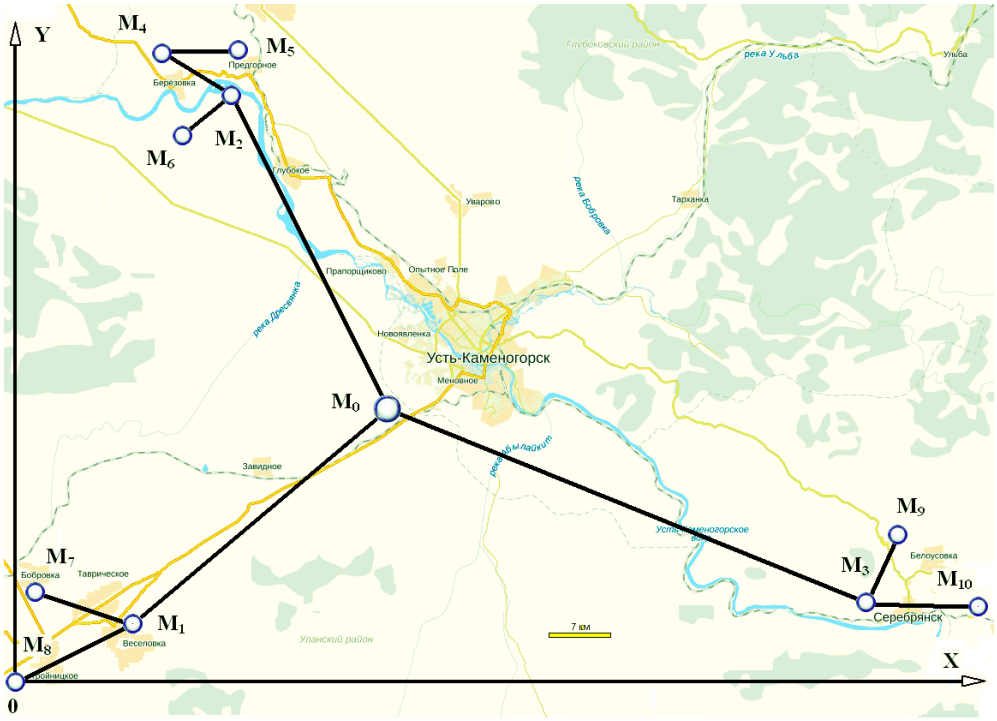


Рис. 6. Структура кластера с транспортным узлом M_0 и тремя группами элементов-спутников.

Если спутников несколько, то при определении положения M_0 их наличие также не учитывается, а после нахождения координат M_0 в соответствии с изложенным методом связь спутников с прежними структурными элементами восстанавливается.

Рассмотрим процедуру формирования такого рода кластеров на конкретном примере.

Предположим, формирование структуры будет происходить на основе совокупности из десяти взаимосвязанных элементов $M_1,...M_{10}$, показанных на рис. 5. Координаты этих элементов на плоскости приведены в таблице 2.

Следует также отметить, что при нумерации элементов M_i значения индексов присваиваются последовательно только тем точкам, которые будут участвовать в формировании транспортной сети на первом этапе. В данном случае это элементы M_1, M_2 и M_3. Остальные точки рассматриваются как элементы-спутники и в дальнейшем индексируются произвольно, поскольку непосредственного участия в процедуре определения положения транспортного узла не принимают.

Данные, характеризующие грузоперевозки в границах рассматриваемого кластера, приведены в таблице 3.

По результатам выполненных расчетов можно заключить, что для принятой системы исходных данных оптимальным является положение точки M_0 на плоскости, которое характеризуется следующими координатами:

$$\begin{cases} x_0 = 36\ км \\ y_0 = 24\ км. \end{cases}$$

Схематическое изображение синтезированной структуры кластера в составе десяти точечных элементов $M_1,...M_{10}$ транспортного узла M_0 и соответствующих транспортных путей показано на рис. 6.

Таким образом, транспортный узел отдельного кластера может выполнять роль как его структурной составляющей, так и элемента, принадлежащего региональному уровню транспортной системы, если принятие такого решения оказывается целесообразным [8–11].

Однако здесь существует особенность, связанная с тем, что если транспортный узел кластера является одновременно и структурным элементом регионального уровня, то он может выполнять функцию

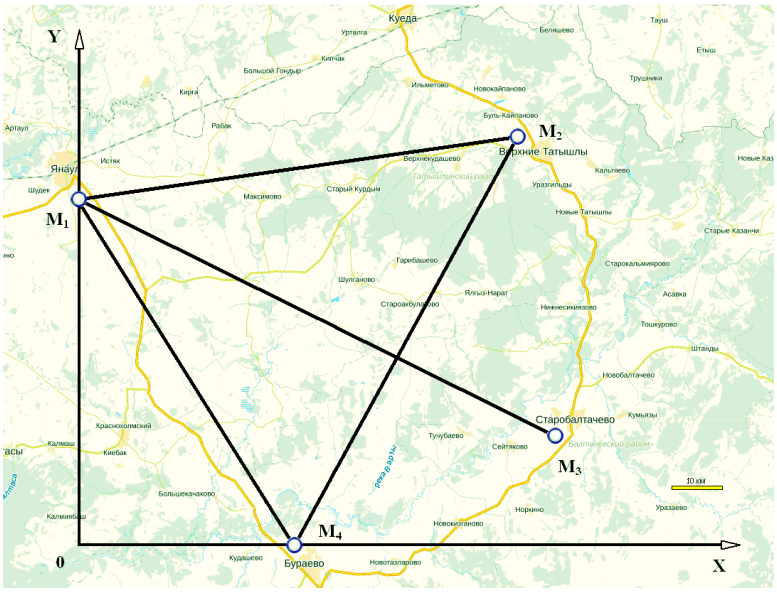


Рис. 7. Схема взаимного расположения структурных элементов кластера.

источника или потребителя грузовых потоков. Если это действительно так, то учет дополнительных грузопотоков, связанных с функционированием регионального уровня системы, может быть мотивирован необходимостью последующего уточнения положения этого узла, для чего должна быть разработана соответствующая методика.

Рассмотрим указанную особенность подробнее. Предположим, анализируемый кластер связан с другими таким образом, что грузовые потоки через транспортный узел невелики и их можно не учитывать в расчётах, или же эти потоки нельзя рассматривать как устойчиво существующие в течение длительного периода времени при доставке грузов отдельным потребителям в составе кластера.

Если данное условие выполняется, то такой транспортный узел считается пассивным, а его положение в границах кластера определяется на основе разработанного выше метода.

Если же транспортный узел функционирует таким образом, что в течение длительного времени через него осуществляется доставка грузов извне в адрес конкретных точечных элементов кластера и пренебречь такого рода грузоперевозками невозможно или нецелесообразно, то такой узел называется активным.

В том случае, если через активный узел M_0 на постоянной основе осуществляется доставка грузов i-му элементу кластера M_i ($i \neq 0$), то характеристикой активного узла как самостоятельного источника грузопотоков в адрес элемента M_i будет величина $q_{0,\,i}$. И наоборот, если элемент M_j ($j \neq 0$) осуществляет отправку грузов на постоянной основе через узел M_0 в адрес иных кластеров, то активность такого узла как потребителя транспортных потоков со стороны M_j будет характеризоваться величиной $q_{j,0}$. Все это означает, что корректировка положения транспортного узла может потребоваться только тогда, когда узел является активным. При этом его характеристики активности $q_{0,\,i}$ и $q_{j,0}$ должны быть известны.

Рассмотрим активный транспортный узел M_0, соединяющий n элементов кластера. В отличие от пассивного узла его функционирование связано с наличием исходящих и входящих потоков, характеризующихся набором значений $q_{0,\,i}$ и $q_{i,0}$ ($i = 1,2, \ldots n$), часть из которых может быть равной нулю. Дополнительная транспортная работа, выполняемая в границах анализируемого кластера и связанная с активностью транспортного узла M_0, определяется так:

$$Q_D = \sum_{i=1}^{n} (q_{0,i} + q_{i,0}) \cdot l_{i,0} .$$

Тогда по аналогии с рассмотренным ранее случаем целевая функция при заданном положении активного узла $M_0(x_0; y_0)$ будет таковой:

Таблица 4

Координаты отдельных структурных элементов кластера

Координаты точек $M_i(x_i; y_i)$	Значение индекса i			
	1	2	3	4
x_i, км	0	81,1	88,4	40,2
y_i, км	64,3	77,1	20,1	0

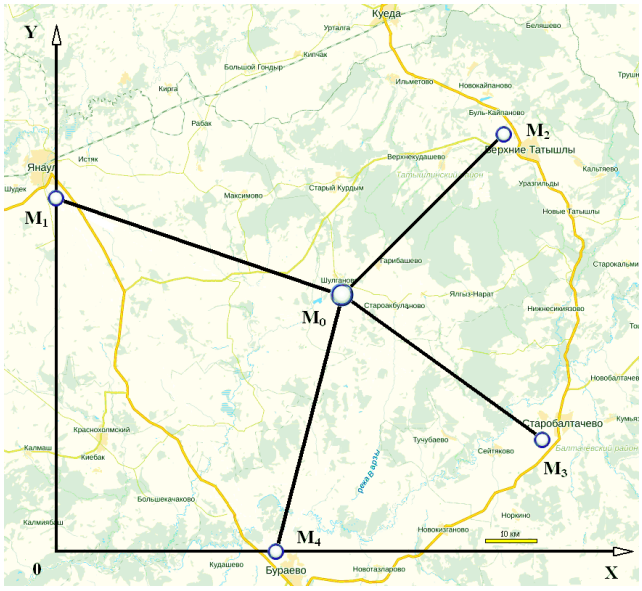


Рис. 8. Схема кластера с пассивным транспортным узлом M_0.

$$I_Z(x_0;y_0)=\{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{(x_i-x_0)^2+(y_i-y_0)^2}\}\times$$

$$\times\{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}q_{i,j}\cdot m_{i,j}\cdot[\sqrt{(x_i-x_0)^2+(y_i-y_0)^2}+$$

$$+\sqrt{(x_j-x_0)^2+(y_j-y_0)^2}\,]+$$

$$+\sum_{i=1}^{n}(q_{0,i}+q_{i,0})\cdot\sqrt{(x_i-x_0)^2+(y_i-y_0)^2}\}.$$

Положение транспортного узла на плоскости определяется из условия (2) и связано с решением системы уравнений (3).

Для иллюстрации возможностей разработанного метода определения координат активного транспортного узла возьмем пример формирования кластера на основе данных, представленных на рис. 7. Координаты элементов, входящих в состав рассматриваемого кластера, приведены в таблице 4.

Матрица грузопотоков с элементами $q_{i,j}$ [тыс. т/сут.] имеет вид:

$$\|Q\|=\begin{Vmatrix}0 & 2,2 & 0 & 1,66\\ 0,65 & 0 & 0 & 0,82\\ 1,16 & 0 & 0 & 1,2\\ 0 & 0 & 0 & 0\end{Vmatrix}.$$

Если транспортный узел является пассивным, то его координаты, установленные по результатам расчетов:

$$\begin{cases}x_0=45,7\ км\\ y_0=45\ км.\end{cases}$$

Положение такого узла, в предположении о пренебрежительно малом уровне взаимодействия точечных элементов кластера с региональным уровнем системы, показано на рис. 8.

Если же узел активен и имеет свои характеристики активности: $q_{0,2}$ = 1,86 тыс. т • км/сут., $q_{2,0}$ = 0,18 тыс. т • км/сут., $q_{0,3}$ = 0,22 тыс. т • км/сут., то для определения его положения на плоскости следует учитывать дополнительные объемы выполняемой транспортной работы, возникающей при функционировании регионального уровня системы.

Структура кластера с активным узлом, положение которого устанавливалось с использованием разработанного метода, для принятых показателей активности показана на рис. 9.

Сравнение данных, представленных на рис. 8 и 9, позволяет заключить, что нали-

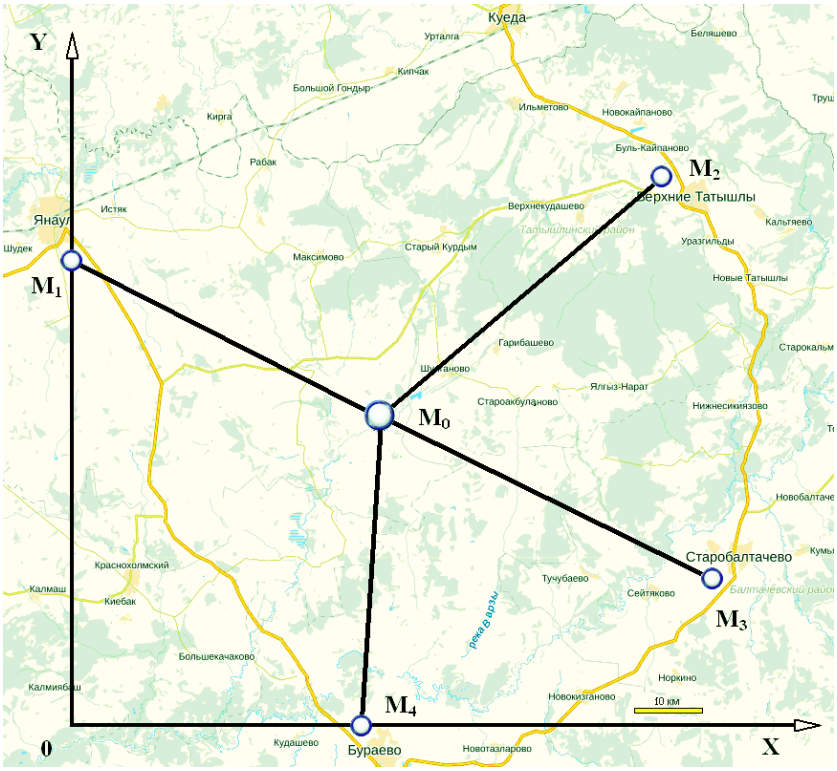


Рис. 9. Схема кластера с активным транспортным узлом.

чие грузопотоков на региональном уровне и взаимодействие между кластерами действительно влияют на положение транспортных узлов, что необходимо учитывать при решении задач структурного синтеза.

Итак, вывод прост: разработан метод формирования территориально-производственных кластеров на базе вновь создаваемой транспортной инфраструктуры, способной помочь в определении положения транспортного центра на основе сформулированной целевой функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вельможин А. В., Гудков В. А., Миротин Л. Б. Теория транспортных процессов и систем.– М.: Транспорт, 1998.– 167 с.

2. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем.– СПбГАСУ–СПб, 2010.– 214 с.

3. Белый О. В., Кокаев А. Г., Попов С. А. Архитектура и методология транспортных систем.– СПб: Элмор, 2002.– 256 с.

4. Тарарычкин И. А., Слободянюк М. Э., Нечаев Г. И. Анализ сетевой структуры и многопараметрическая оптимизация межрегиональных транспортных систем // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы 12-й международной научно-технической конференции. Т. 3.– Минск: БНТУ, 2014.– С. 259–260.

5. Тарарычкин И. А, Слободянюк М. Э., Нечаев Г. И. Методологические принципы формирования и оптимизации функционирования межрегиональных транспортных систем // Транспорт Российской Федерации.– 2014.– № 1.– С. 29–33.

6. Tararychkin I. Structural analysis of an interregional transport network and assessment of capability for its multilevel optimization / I. Tararychkin, G. Nechaev, M. Slobodyanyk // Teka Kom. Mot. I Energ. Agr., 2013, Vol. 13, No 4, pp. 250–257

7. Тарарычкин И. А, Слободянюк М. Э., Нечаев Г. И. Формирование транспортных систем местного уровня на базе производственных кластеров // Вестник Всеукраинского национального университета им. В. Даля.– 2013.– № 6(195).– Ч. 2.– С. 31–35.

8. Тарарычкин И. А. Структура и функции межрегиональных транспортных систем // Мир транспорта.– 2015.– № 3.– С. 174–189.

9. Тарарычкин И. А. Структура логистических транспортных систем и особенности её формирования на местном уровне // Вестник Всеукраинского национального университета им. В. Даля.– 2014.– № 4(211).– Ч. 1.– С. 69–72.

10. Тарарычкин И. А., Слободянюк М. Э., Нечаев Г. И. Сетевая структура межрегиональных транспортных систем // Мир транспорта.– 2014.– № 1.– С. 102–111.

11. Тарарычкин И. А. Структурные уровни межрегиональных транспортных систем // Мир транспорта.– 2014.– № 3.– С. 22–33.

Координаты автора: **Тарарычкин И. А.**– donbass_888@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 02.03.2016, принята к публикации 17.06.2016.

FORMATION OF TERRITORIAL – INDUSTRIAL CLUSTERS BASED ON ADAPTIVE TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Tararychkin, Igor A., *Lugansk National University n.a. V. Dal, Lugansk, Ukraine.*

ABSTRACT

A method for formation of territorial-regional industrial clusters on the basis of flexibly changed and created transport infrastructure was developed. Objective functions and quantitative criteria, allowing to establish the position of transport units of the system at the local level were formulated. It is shown that location of a transport junction depends on whether it is active or passive. Calculated dependences were offered, allowing to solve the problem of structural synthesis in the framework of regional transport system.

Keywords: transport, system, synthesis, infrastructure, optimization, clusters, territory, production.

Background. *Known methods for the synthesis of logistics transport systems in a number of cases do not allow to solve the task of forming their optimal structure, which is connected with contradictory conditions and restrictions that must be met during its implementation, and the complexity of computational procedure, conditioned with the presence of a large number of operational factors [1–6].*

If a production cluster is formed in the new territory, and transport network and corresponding infrastructure are created for the expected demand for freight transportation, the process of formation of a local level of such a system requires consideration of a number of specific features [7]. Let's consider this question in more detail.

Objective. *The objective of the author is to consider formation of territorial – industrial clusters based on adaptive transport infrastructure.*

Methods. *The author uses general scinetific methods, comparative analysis, mathematical calculation, graph construction, evaluation approach, desriptive method.*

Results. *Let's assume that a production cluster consists of six dots M_1, ... M_6, which arrangement is schematically shown in Pic. 1a. We assume that there are transport routes between each pair of elements, and over a period between all elements freight transportation of unit volume is performed ($q_{i,j}$ = 1 t / day for any combination $i \neq j$).*

Based on the condition of minimization of transport work performed, then each pair of cluster elements should be interconnected via transport routes in a form of straight line segments. In this case, the total length of the transport network:

$$L_{\Sigma} = 0{,}5 \cdot \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=1}^{6} l_{i,j} \ .$$

The total transport work within the boundaries of the cluster formed in this way:

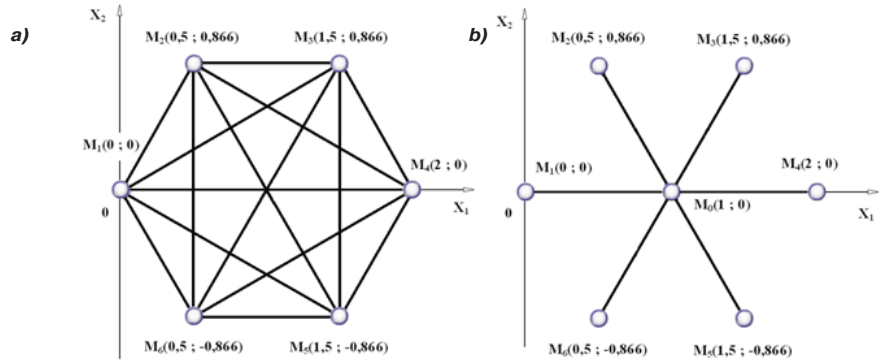
$$Q_W = \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=1}^{6} q_{i,j} \cdot l_{i,j} \ .$$

The adopted version of formation of the transport network achieves a minimum of total transport work Q_W. However, it should also be recognized that such a decision entails an unjustified increase in the total length of transport routes used.

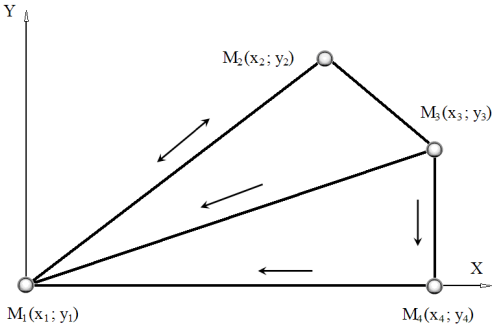
So, it is easy to show that for this example of formation of the network the total length of transport routes is as follows: L_{Σ} = 22,39 km, and total transport work performed Q_W = 44,78 t km. If in the cluster is added the transport junction M_0 (Pic. 1b), the total length of the tracks used will be: L_{Σ}^{*} = 6 km, and the total transport work will be Q_W^{*} = 60 t km.

This means that the use of the transport junction on the one hand leads to a reduction in the overall length of the transport network (in this example, more than 3,7 times), and on the other hand is accompanied by a slight increase in the transport work performed (in this case about 25%). Given the fact that the construction of transport routes, the appropriate infrastructure and their further maintenance in working condition is very costly from a financial point of view, the requirement associated with providing the absolute minimum of the transport work carried out within the boundaries of a newly created territorial – industrial cluster can not be considered justified.

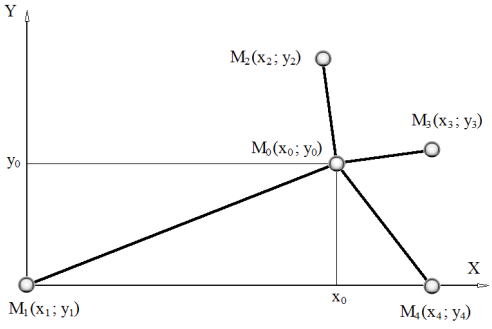
The most suitable are the requirements for the synthesis of such structures in these conditions, which can ensure a minimum level of transport work performed in conjunction with the smallest total length of all used transport routes.



Pic. 1. Scheme of formation of cluster structure in which there are six dots M_1, ... M_6.



Pic. 2. The scheme of mutual arrangement of individual structural elements of the cluster, and direction of performed freight transportation.



Pic. 3. The scheme of arrangement of elements of the cluster and the transport junction M_0.

Table 1

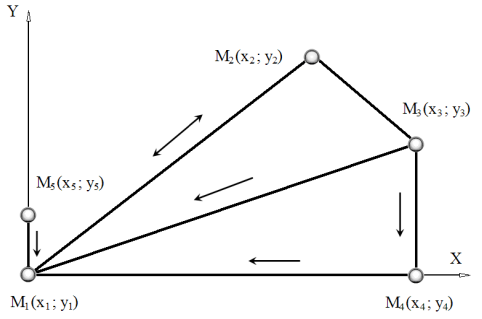
The coordinates of dots of the production cluster

Coordinates of elements of the cluster M_i	Value of index i			
	1	2	3	4
x_i, km	0	16	22	22
y_i, km	0	15	8	0

Then, the objective function, which determines the requirements for the structure of the system at the loal level is formulated as follows:

$$I_z = Q_w \cdot L_\Sigma \rightarrow min \qquad (1)$$

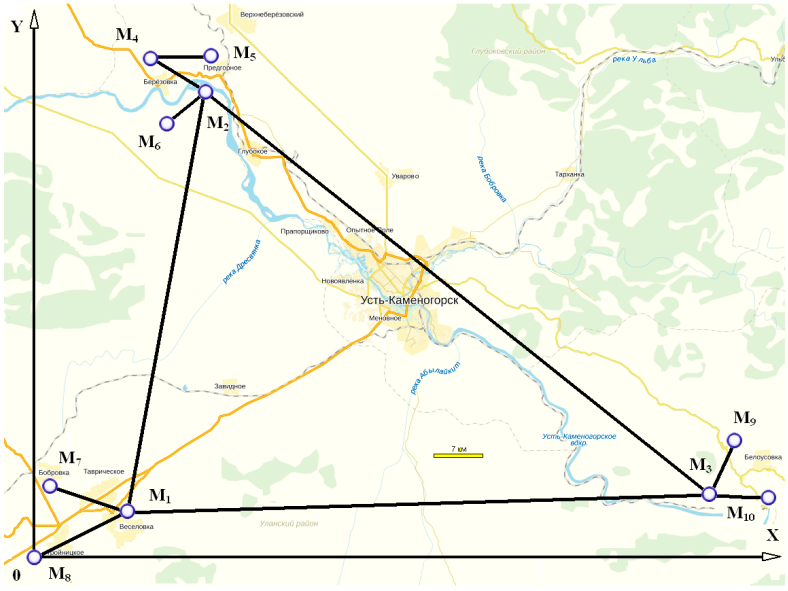
Thus, the considered example demonstrates that the formation of cluster structure, based on a newly created infrastructure is associated with the necessity of using a respective target function (1) and with the definition of the transport junction position if its inclusion in a cluster is appropriate. In this case the definition of the coordinate of the junction M_0 is an independent task that needs to be considered and solved separately.



Pic. 4. Scheme of a cluster, consisting of five dots.

Let's consider in this context the task of determining the position of the transport junction of the cluster to be formed on the basis of four dots (Pic. 2). The corresponding coordinates of these elements in Y0X system are presented in Table 1.

The volume of transportation between separate points is set by a matrix $\| Q \|$ [7] with elements $q_{i,j}$ [tonnes / day.]:



Pic. 5. The scheme of mutual arrangement of dots of the production cluster.

Table 2

The coordinates of individual structural elements of the cluster

Coordinates of dots $M_i(x_i; y_i)$	Value of the index i									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i, km	13	21	80	17	24	18	0,5	0	86	95
y_i, km	4	53	6	58	58	48	7	0	13	5

Table 3

Freight flows between individual elements of the cluster $q_{i,j}$ [thous. t km / day]

Values of indices i and j 1		Index i									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Index j	1	0	0	1,16	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,52	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0	0
	6	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0

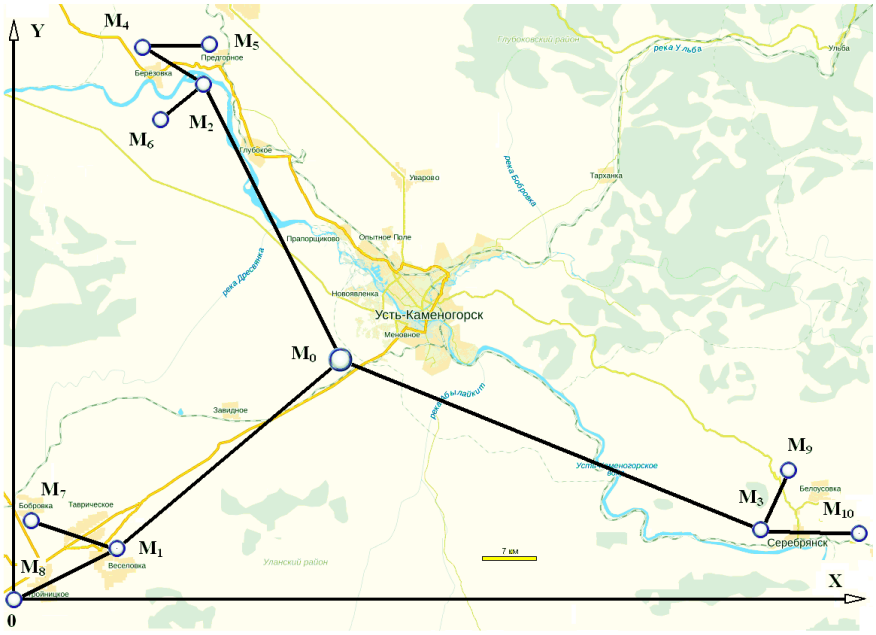
$$\| Q \| = \begin{Vmatrix} 0 & 1,6 & 0 & 0 \\ 0,2 & 0 & 1,8 & 0 \\ 1,52 & 0 & 0 & 1,2 \\ 0,7 & 0 & 0 & 0 \end{Vmatrix}.$$

Let us further assume that the cluster contains an additional element M_0, acting as a transport junction (Pic. 3).

Since all transport routes within the boundaries of the cluster will pass through the junction $M_0(x_0; y_0)$, it leads to the appearance of bypass routes and changing delivery routes. The position of the point M_0 on the plane Y0X is defined from the condition:

$$l_z(x_0; y_0) \rightarrow min \qquad (2)$$

To do this, it is necessary to solve the following system of equations:

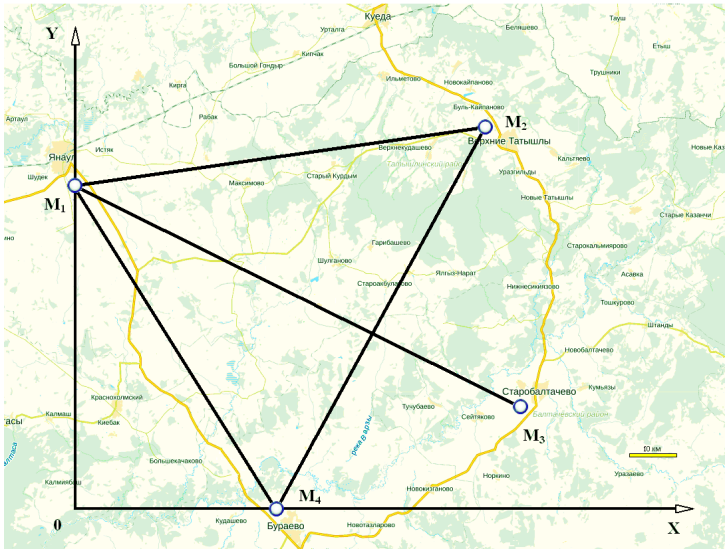


Pic. 6. The structure of the cluster with the transport junction M_0 and three groups of elements – satellites.

Table 4

The coordinates of individual structural elements of the cluster

Coordinates of dots $M_i(x_i; y_i)$	Value of index i			
	1	2	3	4
x_i, km	0	81,1	88,4	40,2
y_i, km	64,3	77,1	20,1	0



Pic. 7. The scheme of mutual arrangement of structural elements of the cluster.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial x} = 0 \\ \dfrac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial y} = 0 \end{cases}. \qquad (3)$$

For the adopted system of input data (Table 1) coordinates of the junction M_0 on the plane Y0X:

$$\begin{cases} x_0 = 19,2\ km \\ y_0 = 7,5\ km \end{cases}.$$

It is easy to show that the total length of transport routes within the boundaries of a cluster with the junction M_0(19,2; 7,5) is as follows: $L_\Sigma^* = 39,6$ km, and transport work performed: $Q_T^* = 140,3$ thous. t km / day. If the cluster does not have a single junction, the total length of transport routes for a given version of arrangement of elements M_1, ... M_4: $L_\Sigma = 84,6$ km, and performed within the boundaries of the cluster transport work is: $Q_T = 116,7$ thous.t km / day.

Thus, the obtained results suggest that the inclusion of an additional element M_0 in this cluster leads to increases in the volume of transport work performed by about 20% and a simultaneous decrease in the total length of transport routes by more than 2 times.

In general, a developed method based on the use of the objective function (2) allows to set the position of the additional structural element M_0 on the plane

However, some features associated with the solution of such problems should also be noted. So if in the cluster shown in Pic. 2 an element M_5 is added, located near the point M_1 and technologically associated only with this point (Pic. 4), then freight transportation between these elements via the junction M_0 is unreasonable to be performed because of excessively increasing length of the transport route.

Such structural elements – satellites, should be excluded from consideration before the search procedure of location of the point M_0. Later, at the stage of cluster formation, satellites should be included in its composition, in spite of virtual absence of transportation through the junction M_0.

Thus, later a satellite is to be understood as an element of a cluster which, when functioning is exclusively associated with a nearby dot in the delivery of goods at a relatively small distance (typically less than 10 ... 20 km).

If there are several satellites, when determining the position M_0 their presence is also not taken into account, and after finding coordinates of M_0, in accordance with the above method, connection of satellites with corresponding structural elements is restored.

Let's consider the process of formation of such clusters using a specific example.

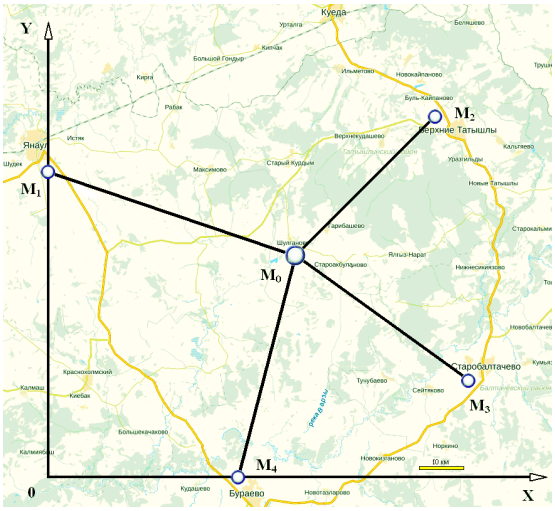
Let's assume that structure formation will be based on the aggregate of ten interrelated elements M_1, ... M_{10}, shown in Pic. 5. The coordinates of these elements on the plane are shown in Table. 2.

It should also be noted that the numbering elements M_i index values are assigned in sequential order only to points that will be involved in the formation of the transport network in the first stage. In this case, these are elements M_1, M_2 and M_3. The other points are treated as elements – satellites and further are indexed arbitrarily because they do not participate directly in the procedure for determining transport junction position.

Data describing freight transportation within cluster boundaries are listed in Table. 3.

According to the results of the calculations we can conclude that for the adopted system of initial data optimal is position of the point M_0 on the plane, which is characterized by the following coordinates:

$$\begin{cases} x_0 = 36\ km \\ y_0 = 24\ km \end{cases}.$$



Pic. 8. Scheme of a cluster with a passive transport junction M_0.

Schematic representation of the synthetic cluster structure composed of ten dots M_1, ... M_{10}, transport junction M_0 and the corresponding transport routes is shown in Pic. 6.

Thus, the transport junction of an individual cluster can act as its structural component, as well as an element belonging to the regional level of the transport system, if such a decision is appropriate [8–11].

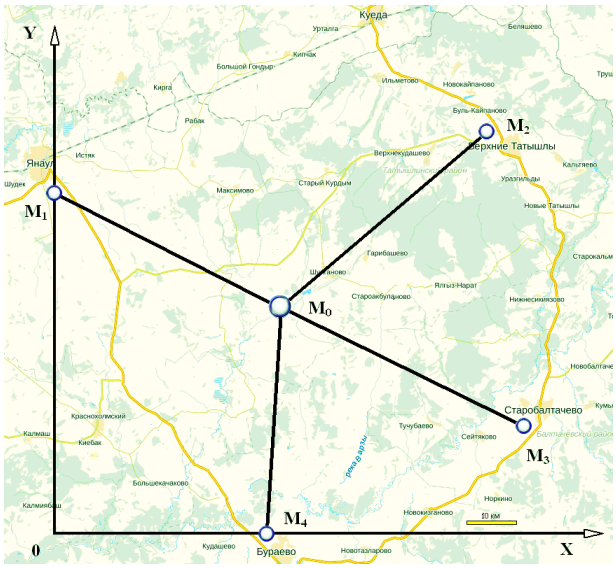
However, there is a feature associated with the fact that if transport junction of the cluster is simultaneously regional structural element, it can function as source or consumer of freight flows. If this is true, then the calculation of additional cargo flows related to the functioning of the regional level of the system can be linked to the need for further clarification of the junction position, for which a relevant procedure should be developed.

Let's consider the specified feature in detail. Let's assume that the analyzed cluster is associated with the other so that freight flows through the transport junction are small and can be disregarded in the calculations, or these flows cannot be regarded as existing stably for a long period of time when delivering goods to individual customers in the cluster.

If the condition is true, then this transport junction is considered as passive, and its position within cluster boundaries is determined on the basis of the method developed above.

If the transport junction is operated so that over a long period of time through it delivery of goods from outside to the address of specific cluster dots is performed and it is impossible or impractical to neglect such freight transportation, in the future such a junction is called active.

If through the active junction M_0 on a permanent basis delivery of goods is performed to the i-th element of the cluster M_i ($i \neq 0$), the characteristic of the active junction, as an independent source of freight flows in the address of M_i element will be the value of $q_{0,i}$. Conversely, if the element M_j ($j \neq 0$) performs sending of goods on a continuous basis through the junction M_0 in the address of other clusters, the activity of this junction as a consumer of transport flows from M_j will be characterized by a value $q_{j,0}$. All this means that the adjustment of transport junction position may be required only in those cases where a junction is active. All its characteristics of activity of $q_{0,i}$ and $q_{j,0}$ should be known.



Pic. 9. The scheme of the cluster with the active transport junction.

Let's consider an active transport junction M_0, connecting n elements of the cluster. Unlike a passive junction its operation is connected with the presence of outgoing and incoming flows, characterized by a set of values of $q_{0,i}$ and $q_{i,0}$ (i = 1, 2, ... n), some of which may be zero. Additional transport work carried out within the boundaries of the analyzed cluster and associated with activity of transport junction M_0 is defined as follows:

$$Q_D = \sum_{i=1}^{n} (q_{0,i} + q_{i,0}) \cdot l_{i,0} .$$

Then, by analogy with the previously considered case the objective function at a predetermined position of the active junction $M_0(x_0; y_0)$ is defined as follows:

$$I_Z(x_0; y_0) = \{ \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \} \times$$

$$\times \{ \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} q_{i,j} \cdot m_{i,j} \cdot [\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} + \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2}] +$$

$$+ \sum_{i=1}^{n} (q_{0,i} + q_{i,0}) \cdot \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \} .$$

The position of the transport junction on the plane is defined by the condition (2) and connected with the solution of the system of equations (3).

To illustrate the possibilities of the developed method for determining coordinates of the active transport junction, we will consider the example of cluster formation on the basis of data presented in Pic. 7. Coordinates of elements, which are part of this cluster, are shown in Table 4.

The matrix of freight flows with elements $q_{i,j}$ [thous. t / day] is as follows:

$$\| Q \| = \begin{Vmatrix} 0 & 2,2 & 0 & 1,66 \\ 0,65 & 0 & 0 & 0,82 \\ 1,16 & 0 & 0 & 1,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{Vmatrix} .$$

If the transport junction is passive, its coordinates established by the results of calculations:

$$\begin{cases} x_0 = 45,7\, km \\ y_0 = 45\, km. \end{cases}$$

The position of this junction, under the assumption that the level of interaction of dots of cluster with a regional level of the system is negligibly small is shown in Pic. 8.

If the junction is active and has the following characteristics of activity: $q_{0,2}$ = 1,86 thous. t•km / day, $q_{2,0}$ = 0,18 thous. t•km / day, $q_{0,3}$ = 0,22 thous. t•km /day, to determine its position on the plane it is necessary to consider additional volumes of transport work performed, arising in the functioning of the regional level of the system.

The structure of the cluster with the active junction, which location was set using the developed method, for adopted indicators of activity is shown in Pic. 9.

Comparing data presented in Pic. 8 and 9, it can be concluded that the existence of freight flows at the regional level and the interaction between clusters really affect the position of transport junctions, which should be taken into account in solving structural synthesis tasks.

Conclusion. *A method of forming territorial – industrial clusters on the basis of newly established transport infrastructure was developed, which is associated with the need to determine the transport center position on the basis of the formulated objective function.*

REFERENCES

1. Velmozhin, A. V., Gudkov, V. A., Mirotin, L. B. The theory of transport processes and systems [*Teorija transportnyh processov i system*]. Moscow, Transport publ., 1998, 167 p.

2. Gorev, A. E. Fundamentals of the theory of transport systems [*Osnovy teorii transportnyh sistem*]. St. Petersburg, SPbGASU publ., 2010, 214 p.

3. Belyj, O. V., Kokaev, A. G., Popov, S. A. Architecture and methodology of transport systems [*Arhitektura i metodologija transportnyh system*]. St. Petersburg, Elmor publ., 2002, 256 p.

4. Tararychkin, I. A. Analysis of network structure and multiparametric optimization of inter-regional transport systems [*Analiz setevoj struktury i mnogoparametricheskaja optimizacija mezhregional'nyh transportnyh sistem*]. I. A. Tararychkin, M. E. Slobodyanyuk, G. I. Nechayev. Science for education, production, economy: Proceedings of the 12th International scientific and technical conference. Vol. 3. Minsk, BNTU publ., 2014, pp. 259–260.

5. Tararychkin, I. A, Slobodyanyuk, M. E., Nechaev, G. I. Methodological principles of formation and optimization of functioning of inter-regional transport systems [*Metodologicheskie principy formirovanija i optimizacii funkcionirovanija mezhregional'nyh transportnyh system*]. *Transport Rossijskoj Federacii*, 2014, Iss. 1(50), pp. 29–33.

6. Tararychkin, I. Structural analysis of an interregional transport network and assessment of capability for its multi-level optimization / I. Tararychkin, G. Nechaev, M. Slobodyanyk // *Teka Kom. Mot. I Energ. Agr.*, 2013, Vol. 13, No 4, pp. 250–257.

7. Tararychkin, I. A., Slobodyanyuk, M. E., Nechayev, G. I. Formation of transport systems of the local level on the basis of industrial clusters [*Formirovanie transportnyh sistem mestnogo urovnja na baze proizvodstvennyh klasterov*]. *Visn. Shidnoukr. nat. un-tu. im. V. Dalya*, 2013, Iss. 6 (195). Part 2, pp. 31–35.

8. Tararychkin, I. A. Structure and functions of inter-regional transport systems. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 4, pp.174–189.

9. Tararychkin, I. A. Structure of logistic transport systems and peculiarities of its formation at the local level [*Struktura logisticheskih transportnyh sistem i osobennosti ejo formirovanija na mestnom urovne*]. *Visn. Shidnoukr. nac. un-tu. im. V. Dalya*, 2014, Iss. 4(211). Part 1, pp. 69–72.

10. Tararychkin, I. A., Slobodianuk, M. E., Nechaev, G. I. Network structure of interregional transport systems. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 1, pp. 102–111.

11. Tararychkin, I. A. Structural levels of interregional transport systems. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 3, pp. 22–33.

Information about the author:
Tararychkin, Igor A. – D.Sc. (Eng.), professor of the department of Transport Systems of Lugansk National University n.a. V. Dal, Lugansk, Ukraine, donbass_888@mail.ru.

Article received 02.03.2016, accepted 17.06.2016.

УДК 517.5:624.21.04

Применение интегрального преобразования Фурье при расчёте конструкций

Артём КОСАУРОВ

Artem P. KOSAUROV

Косауров Артём Петрович *– аспирант кафедры «Мосты и тоннели» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

Use of Fourier Integral Transform in Calculation of Structures

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 55)

В работе представлен метод получения системы линейных уравнений, описывающей конечный элемент в стержневой системе. При решении используется интегральное преобразование Фурье и обобщённые функции. Граничные условия на концах конечного элемента определяются из теоремы Винера–Пэли–Шварца. Применение метода при расчёте балочных, вантовых и экстрадозных мостов позволяет задавать любые виды нагрузок без замены их какими-либо эквивалентными.

Ключевые слова: мост, пролётное строение, железобетонная конструкция, метод конечных элементов, обобщённые функции, дифференциальное уравнение балки Тимошенко, интегральное преобразование Фурье, теорема Винера–Пэли–Шварца.

Абсолютное большинство расчётов балочных, вантовых и экстрадозных мостов производится с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Метод этот основан на разбиении рассчитываемой конструкции на некоторое число малых, но конечных по размерам элементов – конечных элементов (КЭ) и замене дифференциальных уравнений, описывающих ее напряженно-деформированное состояние системой алгебраических линейных уравнений.

Несмотря на свои широкие возможности, МКЭ обладает рядом недостатков [1, с. 39]:

1) Для каждого конечного элемента нужно составлять свою матрицу жёсткости.

2) Распределенные нагрузки необходимо заменять эквивалентными обобщенными узловыми силами.

3) Сосредоточенные силы нужно прикладывать в узлах.

4) Приходится проводить дополнительные расчёты для получения значений изгибающего момента и поперечной силы на границах конечного элемента.

5) Необходимо разбивать конструкцию на мелкие конечные элементы с целью обеспечения точности расчёта.

В случае, если рассчитываемую конструкцию можно заменить стержневой системой, данные недостатки можно устранить. Для этого следует получить систему линейных уравнений, описывающую конечный элемент, при помощи интегрального преобразования Фурье, финитных обобщенных функций [4, 6] и теоремы Винера–Пэли–Шварца. Подробности метода представлены в диссертации Е. Н. Курбацкого [5].

В своей работе Е. Н. Курбацкий использовал метод при построении конечного элемента для балки на упругом основании без учёта продольной силы и поперечного сдвига.

В статье рассмотрен пример нахождения типового конечного элемента железобетонной балки пролетного строения моста:

– с учётом продольной силы и влияния сдвига;

– без учёта продольной силы.

I.

Получим систему уравнений, описывающую конечный элемент, изображенный на рис. 1. Для этого необходимо использовать дифференциальное уравнение балки Тимошенко, которое учитывает влияние продольной силы и сдвига на прогиб [5]:

$$EI\frac{d^4u}{dx^4}+P_i\frac{d^2u}{dx^2}=q(x)+\frac{k}{GA}EI\frac{d^3Q_x}{dx^3}, \qquad (1)$$

где G – модуль деформации;

A – площадь поперечного сечения;

k – безразмерный коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения [7]. Для прямоугольного сечения:

$$k=\frac{12+11\upsilon}{10(1+\upsilon)}. \qquad (2)$$

Уравнение (1) следует представить в финитных обобщённых функциях. Для этого

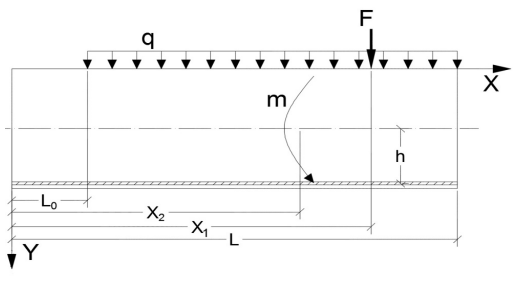


Рис. 1.

запишем функцию прогиба и функцию поперечной силы:

$$U(x) = u(x)[H(x)-H(x-l)]; \qquad (3)$$

$$\overline{Q}(x)=Q(x)[H(x)-H(x-l)], \qquad (4)$$

где H(x) – функция Хевисайда.

Тогда уравнение (1) принимает следующий вид [2, 3]:

$$\begin{aligned}&EI\frac{d^4U}{dx^4}+P_i\frac{d^2U}{dx^2}=EI\frac{d^4u}{dx^4}[H(x)-H(x-l)]+\\&+P_i\frac{d^2u}{dx^2}[H(x)-H(x-l)]-\\&-EIn\frac{d^3Q_x}{dx^3}[H(x)-H(x-l)]+Q(x)\delta(x)-\\&-Q(x)\delta(x-l)+M(x)\delta'(x)-M(x)\delta'(x-l)+\\&+EI\phi(x)\delta''(x)-EI\phi(x)\delta''(x-l)+\\&+EIu(x)\delta'''(x)-EIu(x)\delta'''(x-l)+\\&+P(\phi(x)\delta(x)-\phi(x)\delta(x-l)+\\&+u(x)\delta'(x)-u(x)\delta'(x-l))-\\&-EIn(Q(x)\delta''(x)-Q(x)\delta''(x-l)+\\&+Q'(x)\delta'(x)-Q'(x)\delta'(x-l)),\end{aligned} \qquad (5)$$

где $n=\frac{k}{GA}$. (6)

В уравнении (5) используется свойство дельта-функции:

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(x)\delta(x-t)dx=f(t). \qquad (7)$$

Воздействие преднапрягаемой арматуры на балку представим в виде изгибающих моментов m, приложенных в точке обрыва арматуры и продольной сжимающей силы P.

Обозначим правую часть уравнения (5), представляющую собой обобщенную нагрузку S(x), а $\frac{P_i}{EI}=K_i^2$, тогда:

$$\frac{d^4U}{dx^4}+K_i^2\frac{d^2U}{dx^2}=\frac{S(x)}{EI}. \qquad (8)$$

Применим преобразование Фурье к обеим частям уравнения:

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{d^4U}{dx^4}+K^2\frac{d^2U}{dx^2}\right]e^{ivx}dx=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{S(x)}{EI}e^{ivx}dx. \qquad (9)$$

Получим [2]:

$$\tilde{U}(v)[v^4-K^2v^2]=\frac{\tilde{S}(v)}{EI}, \qquad (10)$$

где $\tilde{U}$ (v) – изображение Фурье функции U(x);

$\tilde{S}$ (v) – изображение Фурье обобщённой нагрузки S(x);

v – параметр преобразования Фурье.

Для составления системы уравнений рассматриваемого нами конечного элемента надо найти изображение Фурье обобщенной нагрузки [2, 3]:

$$\tilde{S}(v) = q(\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{iv}) + Fe^{ivx_1} + m(-iv)e^{ivx_2} + \\ +Q(0) - Q(l)e^{ivl} + M(0)(-iv) - M(l)(-iv)e^{ivl} + \\ +EI\phi(0)(-iv)^2 - EI\phi(l)(-iv)^2 e^{ivl} + EIu(0)(-iv)^3 - \\ -EIu(l)(-iv)^3 e^{ivl} + P_i(\phi(0) - \phi(l)e^{ivl} + \\ +u(0)(-iv) - u(l)(-iv)e^{ivl}) - nEI(Q(l)v^2 e^{ivl} - \\ -Q(0)v^2 + qiv(e^{ivl} - e^{ivl_0}) + \frac{F}{a}iv(e^{iv(x_1+a)} - e^{ivl(x_1-a)})). \quad (11)$$

Поскольку в данном методе учитывается влияние сдвига, то сосредоточенные силы следует представить распределенными нагрузками, действующими в окрестностях точек приложения соответствующих сосредоточенных сил. Длину участков принимают равной половине высоты сечения балки на данном участке. Это необходимо делать только в том слагаемом уравнения (11), которое отвечает за учёт сдвига под действием сосредоточенной силы, а именно:

$$\frac{F}{a}iv(e^{iv(x_1+a)} - e^{ivl(x_1-a)}). \quad (12)$$

Из уравнения (10) получим:

$$\tilde{U}(v) = \frac{1}{EI}\frac{\tilde{S}(v)}{v^4 - K^2v^2}. \quad (13)$$

Теорема Винера–Пэли–Шварца для обобщенных функций позволяет найти неизвестные, поскольку, согласно ей, функция U (v) должна быть целой и, следовательно, числитель, представляющий собой сумму целых функций, будет содержать в себе нули знаменателя [4, 6].

Должны выполняться условия:

$S(v_j) = 0, j = 1,3,4;$ (14)

$S'(v_j) = 0, j = 2,$ (15)

где v_j – корни выражения

$v^4 - K^2v^2 = 0.$ (16)

Найдем эти корни (рис. 2):

$v_{1,2} = 0, v_3 = K, v_4 = -K.$ (17)

Подставляя найденные корни в уравнение (11), получим систему, состоящую из четырех уравнений и описывающую один конечный элемент, изображенный на рис. 1:

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & C_{1,4} & C_{1,5} & C_{1,6} & C_{1,7} & C_{1,8} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & C_{2,4} & C_{2,5} & C_{2,6} & C_{2,7} & C_{2,8} \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & C_{3,4} & C_{3,5} & C_{3,6} & C_{3,7} & C_{3,8} \\ C_{4,1} & C_{4,2} & C_{4,3} & C_{4,4} & C_{4,5} & C_{4,6} & C_{4,7} & C_{4,8} \end{bmatrix} \times \\ \times \begin{bmatrix} Q(0) \\ Q(l) \\ M(0) \\ M(l) \\ \phi(0) \\ \phi(l) \\ u(0) \\ u(l) \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} G_{1,1} & G_{1,2} & G_{1,3} \\ G_{2,1} & G_{2,2} & G_{2,3} \\ G_{3,1} & G_{3,2} & G_{3,3} \\ G_{4,1} & G_{4,2} & G_{4,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ F \\ m \end{bmatrix}; \quad (18)$$

$$C_{1,1} = 1 + nEIv_j^2$$

$$C_{2,1} = 2nEIv_j$$

$$C_{1,2} = -e^{ivl} - nEIv_j^2 e^{ivl}$$

$$C_{2,2} = -ile^{ivl} - 2nEIv_j e^{ivl} - nEIv_j^2 ile^{ivl}$$

$$C_{1,3} = -iv$$

$$C_{2,3} = -i$$

$$C_{1,4} = ive^{ivl}$$

$$C_{2,4} = ie^{ivl} - lve^{ivl}$$

$$C_{1,5} = -EIv^2 + P$$

$$C_{2,5} = -2EIv$$

$$C_{1,6} = EIv^2 e^{ivl} - Pe^{ivl}$$

$$C_{2,6} = 2EIve^{ivl} + EIv^2 ile^{ivl} - Pile^{ivl}$$

$$C_{1,7} = EIiv^3 - Piv$$

$$C_{1,7} = 3EIiv^2 - Pi$$

$$C_{1,8} = -EIiv^3 e^{ivl} + Pive^{ivl}$$

$$C_{1,8} = -3EIiv^2 e^{ivl} + EIlv^3 e^{ivl} + Pie^{ivl} - Plve^{ivl}$$

$$G_{1,1} = (\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{iv}) + nEIiv(e^{ivl} - e^{ivl_0})$$

$$G_{2,1} = \mathrm{i}\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{v^2} - \mathrm{i}\frac{ile^{ivl} - il_0 e^{ivl_0}}{v} + \quad (19)$$

$$+nEI(ie^{ivl} - lve^{ivl} - ie^{ivl_0} + l_0 ve^{ivl_0})$$

$$G_{1,2} = e^{ivx_1}$$

$$G_{2,2} = ix_1 e^{ivx_1}$$

$$G_{1,3} = -ive^{ivx_2}$$

$$G_{2,3} = -ie^{ivx_2} + vx_2 e^{ivx_2}.$$

Различие между первым, третьим и четвертым уравнениями состоит только в множителе v_j.

Поскольку корни $v_{1,2}$ всегда равны нулю, то надо вместо множителя при q записы-

вать (20) для первого уравнения и (21) – для второго:

$$\lim_{v\to 0}(q\frac{e^{ivl}-e^{ivl_0}}{iv}) = q(l-l_0)\ ; \qquad (20)$$

$$\lim_{v\to 0}(qi\frac{e^{ivl}-e^{ivl_0}}{v^2} - qi\frac{ile^{ivl}-il_0e^{ivl_0}}{v}) =$$

$$= qi(\frac{l^2}{2}-\frac{l_0^2}{2}). \qquad (21)$$

Таким образом, система уравнений, описывающая один конечный элемент, имеет вид:

$$CU = -GN. \qquad (22)$$

Сравним результаты расчёта балки, полученные с использованием программного комплекса Midas Civil, и данного метода. В качестве примера рассмотрим железобетонную преднапрягаемую балку длиной 50 м прямоугольного сечения 2х0,3 м на двух опорах, загруженную распределенной нагрузкой интенсивностью q = 1т/м и сосредоточенной силой F = 10 т, приложенной на расстоянии x1 = 0,25L от края балки.

На рис. 3 ось ординат соответствует расхождению в расчётах, выраженному в процентах, а ось абсцисс – усилию в продольной преднапрягаемой арматуре, выраженному в тоннах. В случае, если прогиб балки стремится к нулю, расхождение достигает значительных величин. На графике это видно на участке, где продольная сила 325 т. Однако следует учитывать, что во всех остальных случаях, когда прогиб составляет u = L/2500÷L/400, расхождение оказывается не более полупроцента, что позволяет получать точные решения при расчёте реальных конструкций. Кроме того, следует отметить, что расхождение в изгибающем моменте и поперечной силе при любых значениях продольной силы дает ошибку менее процента.

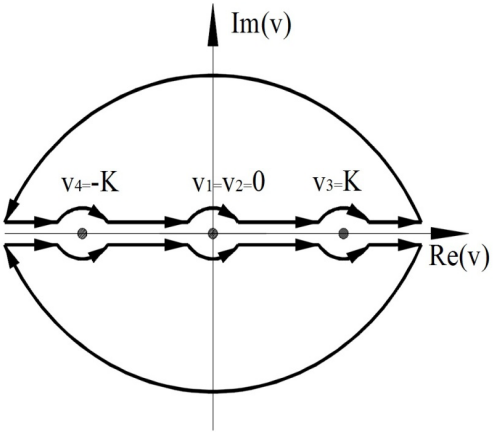


Рис. 2.

II.

Когда нет необходимости учитывать продольную силу, система уравнений принимает значительно более простой вид.

Дифференциальное уравнение прогиба балки:

$$EI\frac{d^4u}{dx^4} = q(x) + \frac{k}{GA}EI\frac{d^3Q_x}{dx^3}. \qquad (23)$$

После преобразования Фурье получим:

$$\tilde{U}(v)[v^4] = \frac{\tilde{S}(v)}{EI}; \qquad (24)$$

$$\tilde{U}(v) = \frac{1}{EI}\frac{\tilde{S}(v)}{v^4}; \qquad (25)$$

$$v^4 = 0. \qquad (26)$$

Изображение Фурье обобщенной нагрузки (27):

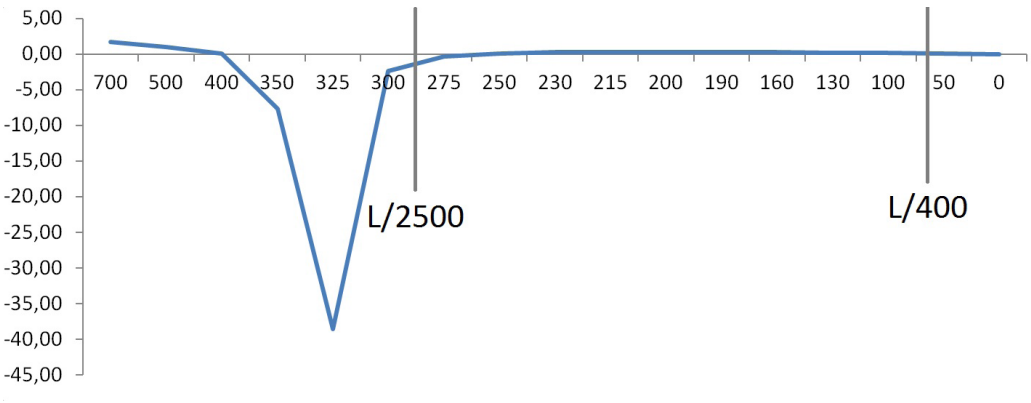


Рис. 3.

$$C=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -il & -i & i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2nEI & l^2-2nEI & 0 & -2l & -2EI & 2EI & 0 & 0 \\ 0 & il^3-6nEIil & 0 & -3il^2 & 0 & 6EIil & 6EIi & -6EIi \end{bmatrix}; \quad (30)$$

$$G=\begin{bmatrix} (\mathrm{l}-\mathrm{l}_0) & 1 & 0 \\ \mathrm{i}(\frac{\mathrm{l}^2}{2}-\frac{\mathrm{l}_0^2}{2}) & ix_1 & -i \\ (\frac{-l^3}{3}+\frac{l_0^3}{3})-2\mathrm{n}\,EI(\mathrm{l}-\mathrm{l}_0) & -x_1^2 & 2x_2 \\ \mathrm{i}(\frac{-l^4}{4}+\frac{l_0^4}{4})-3inEI(\mathrm{l}^2-l_0^2) & -ix_1^3 & 3ix_2^2 \end{bmatrix}. \quad (31)$$

$$\tilde{S}(v)=q(\frac{e^{ivl}-1}{iv})+Fe^{ivx_1}+m(-iv)e^{ivx_2}+ +Q(0)-Q(l)e^{ivl}+M(0)(-iv)-M(l)(-iv)e^{ivl}+ +EI\phi(0)(-iv)^2-EI\phi(l)(-iv)^2e^{ivl}+ +EIu(0)(-iv)^3-EIu(l)(-iv)^3e^{ivl}-nEI(Q(l)v^2e^{ivl}- -Q(0)v^2+qiv(e^{ivl}-1)). \quad (27)$$

Найдем корни уравнения:

$$v_{1,2,3,4}=0. \quad (28)$$

Должны выполняться условия:

$$\tilde{S}(v_1)=0,\ \dot{\tilde{S}}(v_2)=0,\ \ddot{\tilde{S}}(v_3)=0,\ \dddot{\tilde{S}}(v_4)=0. \quad (29)$$

Матрицы C и G принимают следующий вид: (30), (31).

Данная модель удобна прежде всего тем, что нет надобности каждый раз подставлять в матрицы C и G значения $v_{1,2,3,4}=0$, как в системе уравнений (18). Преимуществом модели является и то, что матрица C получается разреженной.

ВЫВОДЫ

1. Применение полученных систем уравнений при расчёте балочных, вантовых и экстрадозных мостов позволяет задавать любые виды нагрузок без необходимости замены их эквивалентными нагрузками.

2. Используемый метод не требует дополнительного разбиения конструкции на конечные элементы с целью получения точного решения в случае, если момент инерции постоянен.

3. Матрица C – эквивалент матрицы жёсткости в методе конечных элементов неизменна для всех конечных элементов в случае, когда нет продольной нагрузки. Если же ее учёт необходим, то в матрицу нужно подставить значения найденных корней уравнения

$$v_{1,2}=0, v_3=\sqrt{\frac{P_i}{EI}}, v_4=-\sqrt{\frac{P_i}{EI}}.$$

4. В методе построения системы линейных уравнений, ориентированной на конечный элемент в стержневой системе, за неизвестные принимаются перемещение, угол поворота сечения, изгибающий момент и поперечная сила на концах конечного элемента. Это позволяет сразу найти точное значение данных переменных без необходимости проведения дополнительных расчётов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Carroll W. F. A primer for finite elements in elastic structures / Carroll W. F. Weaver & Johnston.–1998.– P. 512.

2. Dean G. D. Advanced Engineering Mathematics / CRC Press. –1997.– P. 656.

3. Osgood B. The Fourier Transform and its Applications / Stanford University. –2009.– P. 428.

4. Владимиров В. С. Обобщенные функции в математической физике.– М.: 1979.– 320 с.

5. Курбацкий Е. Н. Метод решения задач строительной механики и теории упругости, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций / Дис... док.техн.наук.– М, 1995.– 205 с.

6. Лазарян В. А., Конашенко С. И. Обобщенные функции в задачах механики.– Киев: Наукова думка, 1974.– 189 с.

7. Тимошенко С. П. Прочность и колебания элементов конструкций.– М.: Наука,1975.– 704 с.

Координаты автора: **Косауров А. П.** – artkp14@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.03.2016, принята к публикации 16.06.2016.

USE OF FOURIER INTEGRAL TRANSFORM IN CALCULATION OF STRUCTURES

Kosaurov, Artem P., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

This paper presents a method to obtain a system of linear equations describing a final element in the frame structure. In solution process integral Fourier transform and generalized functions are used. The boundary conditions at the ends of the finite element are determined by the theorem of Paley–Wiener–Schwartz. Application of the method for calculation of beam, cable-stayed bridges and extradosed bridges allows to set all kinds of loads without replacing them with any equivalent.

Keywords: bridge, superstructure, reinforced concrete structure, finite element method, generalized functions, differential equation of Timoshenko beam, integral Fourier transform, theorem of Paley–Wiener–Schwartz.

Background. *The vast majority of calculations of beam, cable-stayed and extradosed bridges are performed using the finite element method (FEM). This method is based on decomposition of a calculated design into a number of small but finite in size elements – finite element (FE) and replacement of differential equations describing its stress-strain state with a system of linear algebraic equations.*

Despite its broad capacities, FEM has a number of disadvantages [1, p. 39]:

1) For each of a final element it is necessary to constitute a matrix of rigidity.

2) Distribution of the load must be replaced by equivalent generalized nodal forces.

3) Concentrated forces should be applied at the nodes.

4) It is necessary to carry out additional calculations to obtain the values of a bending moment and shear forces on the borders of the finite element.

5) It is necessary to divide the design into small finite elements in order to ensure calculation accuracy.

If a calculated design can be replaced by a frame system, these disadvantages can be eliminated. To do this, it is necessary to get a system of linear equations describing the finite element, using integral Fourier transform, finite generalized functions [4, 6] and theorem of Paley–Wiener–Schwartz. Details of the method are presented in the thesis of E. N. Kurbatsky [5].

In his work, E. N. Kurbatsky used the method in construction of finite element for a beam on an elastic foundation without taking into account longitudinal force and transverse shear.

The article describes an example of finding the model finite element of reinforced concrete beam of bridge superstructure:

– Taking into account longitudinal and shear forces impact;

– Without taking into account longitudinal forces.

Objective. *The objective of the author is to consider use of Fourier integral transform in calculation of structures.*

Methods. *The author uses general scientific and engineering methods, mathematical apparatus, graph construction, analysis.*

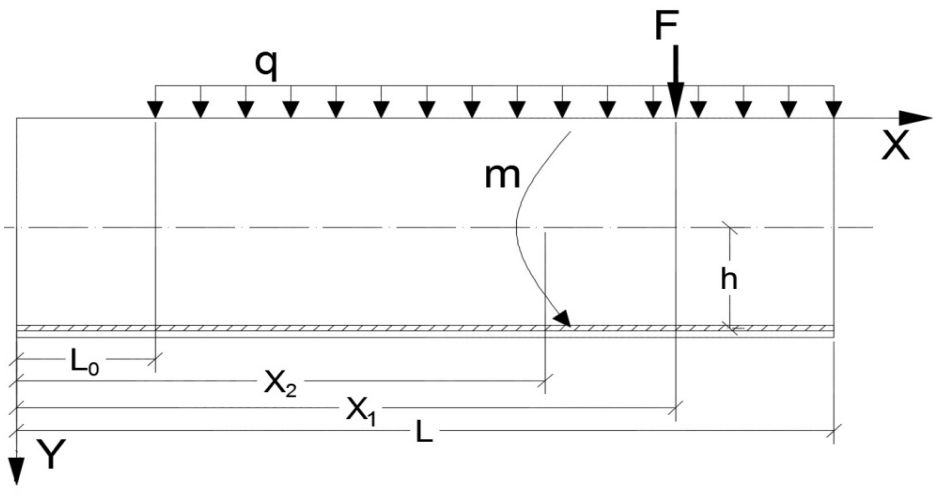
Results.

I.

We obtain a system of equations describing the finite element shown in Pic. 1. To do this, we use the differential equation of Timoshenko beam, which takes into account the effect of longitudinal and shear forces on the deflection [5]:

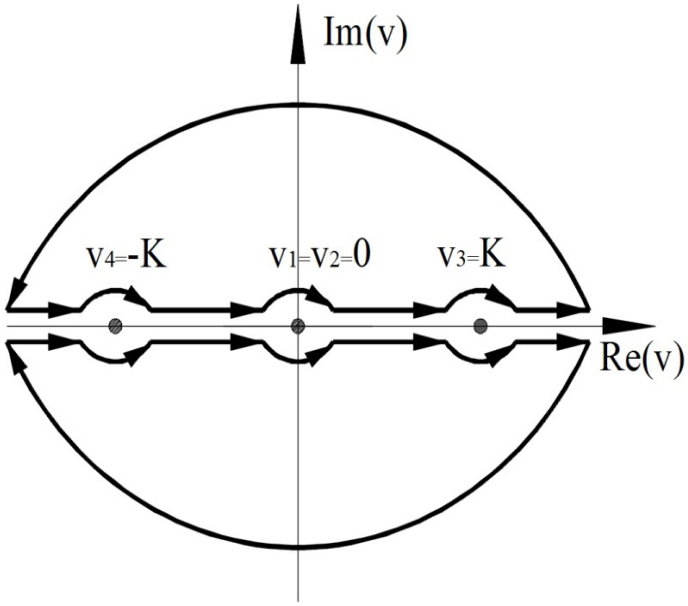
$$EI\frac{d^4u}{dx^4}+P_i\frac{d^2u}{dx^2}=q(x)+\frac{k}{GA}EI\frac{d^3Q_x}{dx^3}, \qquad (1)$$

where G is deformation module;



Pic. 1.

Pic. 2.



A is area of cross-section;

k is dimensionless coefficient that depends in the shape of cross-section [7]. For a rectangular cross-section:

$$k = \frac{12+11\upsilon}{10(1+\upsilon)}. \qquad (2)$$

The equation (1) should be represented in finite generalized functions. To do this, we write the deflection function and the function of lateral force:

$$U(x) = u(x)[H(x)-H(x-l)]; \qquad (3)$$

$$\overline{Q}(x) = Q(x)[H(x) - H(x-l)], \qquad (4)$$

where H(x) is Heaviside function.

Then the equation (1) gets the following form [2, 3]:

$$\begin{aligned} EI\frac{d^4U}{dx^4} + P_i\frac{d^2U}{dx^2} &= EI\frac{d^4u}{dx^4}[H(x) - \\ &-H(x-l)] + P_i\frac{d^2u}{dx^2}[H(x) - H(x-l)] - \\ &-EIn\frac{d^3Q_x}{dx^3}[H(x) - H(x-l)] + Q(x)\delta(x) - \\ &-Q(x)\delta(x-l) + M(x)\delta'(x) - M(x)\delta'(x-l) + \\ &+EI\phi(x)\delta''(x) - EI\phi(x)\delta''(x-l) + \\ &+EIu(x)\delta'''(x) - EIu(x)\delta'''(x-l) + \\ &+P(\phi(x)\delta(x) - \phi(x)\delta(x-l) + \\ &+u(x)\delta'(x) - u(x)\delta'(x-l)) - \\ &-EIn(Q(x)\delta''(x) - Q(x)\delta''(x-l) + \\ &+Q'(x)\delta'(x) - Q'(x)\delta'(x-l)), \end{aligned} \qquad (5)$$

where $n = \frac{k}{GA}$. (6)

In the equation (5) the feature of delta-function is used:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta(x-t)dx = f(t). \qquad (7)$$

The impact of prestressing reinforcement on the beam can be represented in the form of bending moments m, applied at the breakage of armature and longitudinal compressive force P.

Let's denote the right side of the equation (5), which is a generalized load S(x), and $\frac{P_i}{EI} = K_i^2$, *then:*

$$\frac{d^4U}{dx^4} + K_i^2\frac{d^2U}{dx^2} = \frac{S(x)}{EI}. \qquad (8)$$

Let's apply Fourier transform to both sides of the equation:

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{d^4U}{dx^4} + K^2\frac{d^2U}{dx^2}\right]e^{ivx}dx = \int_{-\infty}^{\infty}\frac{S(x)}{EI}e^{ivx}dx. \qquad (9)$$

We get [2]:

$$\tilde{U}(v)[v^4 - K^2v^2] = \frac{\tilde{S}(v)}{EI}, \qquad (10)$$

where $\tilde{U}(v)$ *is Fourier image of function U(x);*

$\tilde{S}(v)$ *is Fourier image of generalized load S(x);*

v is parameter of Fourier transform.

For preparation of the system of equations of the finite element we considered it is necessary to find Fourier image of generalized load [2, 3]:

$$\begin{aligned} \tilde{S}(v) &= q(\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{iv}) + Fe^{ivx_1} + m(-iv)e^{ivx_2} + \\ &+Q(0) - Q(l)e^{ivl} + M(0)(-iv) - M(l)(-iv)e^{ivl} + \\ &+EI\phi(0)(-iv)^2 - EI\phi(l)(-iv)^2e^{ivl} + \\ &+EIu(0)(-iv)^3 - EIu(l)(-iv)^3e^{ivl} + \\ &+P_i(\phi(0) - \phi(l)e^{ivl} + \\ &+u(0)(-iv) - u(l)(-iv)e^{ivl}) - nEI(Q(l)v^2e^{ivl} - \\ &-Q(0)v^2 + qiv(e^{ivl} - e^{ivl_0}) + \frac{F}{a}iv(e^{iv(x_1+a)} - e^{ivl(x_1-a)})). \end{aligned} \qquad (11)$$

Hence this method takes into account the impact of the shift, the concentrated forces should be represented as distributed load acting in the vicinity of the application points of respective concentrated forces. The length of the sections is taken equal to

half the height of the beam cross-section at the site. This must be done only in the term of equation (11), which is responsible for the account of shift under the action of concentrated forces, namely:

$$\frac{F}{a} iv(e^{iv(x_1+a)} - e^{ivl(x_1-a)}) . \qquad (12)$$

From the equation (10) we get:

$$\tilde{U}(v) = \frac{1}{EI} \frac{\tilde{S}(v)}{v^4 - K^2 v^2} . \qquad (13)$$

Theorem of Paley–Wiener–Schwartz for generalized functions allows to find the unknown, because, according to it, $\tilde{U}(v)$ function must be integral and, consequently, the numerator is the sum of integral functions that will contain the zeros of the denominator [4, 6].

The following conditions must be met:

$\tilde{S}(v_j) = 0, j = 1,3,4;$ (14)

$\tilde{S}'(v_j) = 0, j = 2,$ (15)

where v_j is roots of the expression

$v^4 - K^2 v^2 = 0.$ (16)

Let's find these roots (Pic. 2):

$v_{1,2} = 0, v_3 = K, v_4 = -K.$ (17)

Substituting these roots in the equation (11), we obtain a system consisting of four equations and describing one final element shown in Pic. 1:

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & C_{1,4} & C_{1,5} & C_{1,6} & C_{1,7} & C_{1,8} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & C_{2,4} & C_{2,5} & C_{2,6} & C_{2,7} & C_{2,8} \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & C_{3,4} & C_{3,5} & C_{3,6} & C_{3,7} & C_{3,8} \\ C_{4,1} & C_{4,2} & C_{4,3} & C_{4,4} & C_{4,5} & C_{4,6} & C_{4,7} & C_{4,8} \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} Q(0) \\ Q(l) \\ M(0) \\ M(l) \\ \phi(0) \\ \phi(l) \\ u(0) \\ u(l) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_{1,1} & G_{1,2} & G_{1,3} \\ G_{2,1} & G_{2,2} & G_{2,3} \\ G_{3,1} & G_{3,2} & G_{3,3} \\ G_{4,1} & G_{4,2} & G_{4,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ F \\ m \end{bmatrix}; \qquad (18)$$

$$C_{1,1} = 1 + nEIv_j^2$$

$$C_{2,1} = 2nEIv_j$$

$$C_{1,2} = -e^{ivl} - nEIv_j^2 e^{ivl}$$

$$C_{2,2} = -ile^{ivl} - 2nEIv_j e^{ivl} - nEIv_j^2 ile^{ivl}$$

$$C_{1,3} = -iv$$

$$C_{2,3} = -i$$

$$C_{1,4} = ive^{ivl}$$

$$C_{2,4} = ie^{ivl} - lve^{ivl}$$

$$C_{1,5} = -EIv^2 + P$$

$$C_{2,5} = -2EIv$$

$$C_{1,6} = EIv^2 e^{ivl} - Pe^{ivl}$$

$$C_{2,6} = 2EIve^{ivl} + EIv^2 ile^{ivl} - Pile^{ivl}$$

$$C_{1,7} = EIiv^3 - Piv$$

$$C_{1,7} = 3EIiv^2 - Pi$$

$$C_{1,8} = -EIiv^3 e^{ivl} + Pive^{ivl}$$

$$C_{1,8} = -3EIiv^2 e^{ivl} + EIlv^3 e^{ivl} + Pie^{ivl} - Plve^{ivl}$$

$$G_{1,1} = (\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{iv}) + nEIiv(e^{ivl} - e^{ivl_0})$$

$$G_{2,1} = \mathrm{i}\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{v^2} - \mathrm{i}\frac{ile^{ivl} - il_0 e^{ivl_0}}{v} + \qquad (19)$$

$$+nEI(ie^{ivl} - lve^{ivl} - ie^{ivl_0} + l_0 ve^{ivl_0})$$

$$G_{1,2} = e^{ivx_1}$$

$$G_{2,2} = ix_1 e^{ivx_1}$$

$$G_{1,3} = -ive^{ivx_2}$$

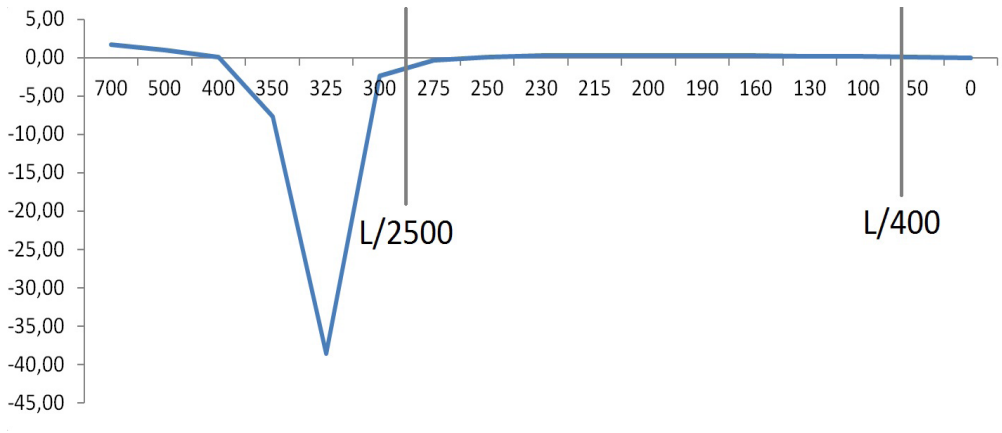
$$G_{2,3} = -ie^{ivx_2} + vx_2 e^{ivx_2} .$$

The difference between the first, third and fourth equations is only the multiplier v_j.

Since roots $v_{1,2}$ are always zero, it is necessary instead of the multiplier at q to write (20) for the first equation and (21) – for the second:

$$\lim_{v \to 0}(\mathrm{q}\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{iv}) = \mathrm{q}(\mathrm{l} - \mathrm{l}_0) ; \qquad (20)$$

$$\lim_{v \to 0}(\mathrm{qi}\frac{e^{ivl} - e^{ivl_0}}{v^2} - \mathrm{qi}\frac{ile^{ivl} - il_0 e^{ivl_0}}{v}) = \mathrm{qi}(\frac{\mathrm{l}^2}{2} - \frac{\mathrm{l}_0^2}{2}) . \qquad (21)$$



Pic. 3.

Thus, the system of equations describing a finite element has the form:

$$CU = -GN. \quad (22)$$

Let's compare the results of the calculation of the beam obtained using Midas Civil software system and the method. As an example, we consider a prestressing reinforced concrete beam 50 m long of rectangular cross-section 2x0,3 m on two supports, loaded with distributed load with intensity q = 1t / m and a concentrated force F = 10 t, applied at distance x1 = 0,25L from the edge of the beam.

In Pic. 3 vertical axis corresponds to a discrepancy in the calculation, expressed as a percentage, and the horizontal axis – longitudinal force in the prestressing reinforcement, expressed in tonnes. If the deflection of the beam tends to zero, the difference reaches significant values. In the graph it can be seen at the site where the longitudinal force is 325 tons. However, it is necessary to take into account that in all other cases, when the deflection is u = L / 2500 ÷ L / 400, the difference is not more than-half per cent that allows to obtain exact solutions in the calculation of real structures. In addition, it should be noted that the difference in bending moment and shear force at any value of the longitudinal force gives an error of less than one percent.

II.

When there is no need to consider the longitudinal force, the system of equations takes a much simpler form.

The differential equation of the deflection of the beam:

$$EI\frac{d^4u}{dx^4} = q(x) + \frac{k}{GA}EI\frac{d^3Q_x}{dx^3}. \quad (23)$$

After Fourier transform we get:

$$\tilde{U}(v)[v^4] = \frac{\tilde{S}(v)}{EI}; \quad (24)$$

$$\tilde{U}(v) = \frac{1}{EI}\frac{\tilde{S}(v)}{v^4}; \quad (25)$$

$$v^4 = 0. \quad (26)$$

Fourier image of generalized load:

$$\tilde{S}(v) = q(\frac{e^{ivl}-1}{iv}) + Fe^{ivx_1} + m(-iv)e^{ivx_2} + Q(0) - Q(l)e^{ivl} + M(0)(-iv) - M(l)(-iv)e^{ivl} + EI\phi(0)(-iv)^2 - EI\phi(l)(-iv)^2e^{ivl} + EIu(0)(-iv)^3 - EIu(l)(-iv)^3e^{ivl} - nEI(Q(l)v^2e^{ivl} - Q(0)v^2 + qiv(e^{ivl}-1)). \quad (27)$$

Let's find roots of the equation:

$$v_{1,2,3,4} = 0. \quad (28)$$

The following equations should be met:

$$\tilde{S}(v_1) = 0, \quad \dot{\tilde{S}}(v_2) = 0, \quad \ddot{\tilde{S}}(v_3) = 0, \quad \dddot{\tilde{S}}(v_4) = 0. \quad (29)$$

Matrices C and G get the following form:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -il & -i & i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2nEI & l^2 - 2nEI & 0 & -2l & -2EI & 2EI & 0 & 0 \\ 0 & il^3 - 6nEIil & 0 & -3il^2 & 0 & 6EIil & 6EIi & -6EIi \end{bmatrix}; \quad (30)$$

$$G = \begin{bmatrix} (l - l_0) & 1 & 0 \\ i(\frac{l^2}{2} - \frac{l_0^2}{2}) & ix_1 & -i \\ (\frac{-l^3}{3} + \frac{l_0^3}{3}) - 2n\,EI(l - l_0) & -x_1^2 & 2x_2 \\ i(\frac{-l^4}{4} + \frac{l_0^4}{4}) - 3inEI(l^2 - l_0^2) & -ix_1^3 & 3ix_2^2 \end{bmatrix}. \quad (31)$$

This model is useful primarily because there is no need each time to substitute in the matrices C and G values $v_{1,2,3,4} = 0$, as in the system of equations (18). The advantage of the model is the fact that the matrix C is tenuous.

Conclusion.

1. The application of the systems of equations when calculating beam, cable-stayed bridges and extradosed bridges allows to set any type of load without a need to replace them with equivalent loads.

2. The applied method does not require additional partition of structure into finite elements in order to obtain an exact solution when the moment of inertia is constant.

3. Matrix C is the equivalent of stiffness matrix in finite element method is unchanged for all finite elements in a case where there is no longitudinal load. If its account is required, in the matrix should be substituted the values of obtained roots of the equation

$$v_{1,2} = 0, v_3 = \sqrt{\frac{P_i}{EI}}, v_4 = -\sqrt{\frac{P_i}{EI}}.$$

4. In the method of constructing a system of linear equations, focused on a finite element in the frame system, for unknown are taken displacement, rotation angle of the cross section, bending moment and shear force at the ends of the finite element. This allows to immediately find the exact value of these variables without the need for additional calculations.

REFERENCES

1. Carroll, W. F. A primer for finite elements in elastic structures / Carroll W. F. Weaver & Johnston, 1998, 512 p.

2. Dean, G. D. Advanced Engineering Mathematics / CRC Press,1997, 656 p.

3. Osgood, B. The Fourier Transform and its Applications / Stanford University, 2009, 428 p.

4. Vladimirov, V. S. Generalized functions in mathematical physics [*Obobshhennye funkcii v matematicheskoj fizike*]. Moscow, 1979, 320 p.

5. Kurbatsky, E. N. Method of solving problems of structural mechanics and theory of elasticity based on features of Fourier image of finite functions [*Metod reshenija zadach stroitel'noj mehaniki i teorii uprugosti, osnovannyj na svojstvah izobrazhenij Fur'e finitnyh funkcij*]. D.Sc. (Eng.) thesis. Moscow, 1995, 205 p.

6. Lazaryan, V. A., Konashenko, S. I. Generalized functions in mechanical problems [*Obobshhennye funkcii v zadachah mehaniki*]. Kiev, Naukova Dumka publ., 1974, 189 p.

7. Timoshenko, S. P. The strength and vibrations of structural elements [*Prochnost' i kolebanija elementov konstrukcij*]. Moscow, Nauka publ., 1975, 704 p.

Information about the author:
Kosaurov, Artem P. – Ph.D. student at the department of Bridges and tunnels of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, artkp14@mail.ru.

Article received 14.03.2016, accepted 16.06.2016.

КОНТАКТНАЯ СЕТЬ 60

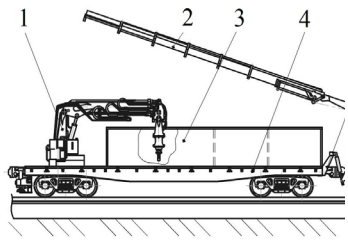
Полимерная консоль: испытания грозой.

ГИБРИДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ 72

Расчёты сил и ограничений.

ВИНТОВЫЕ СВАИ 80

Комплекс, выдающий себя за «шуруповёрт».



АВТОДОРОГА 88

Прогибаться можно и по логнормальному закону.

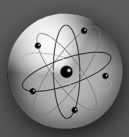
КРАН 98

Феррозонд и тут фиксирует вес.

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО 106

Фундамент – цель. Нагель – средство.

НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING



CONTACT NETWORK 60

Polymeric console

HYBRID ENGIN 72

Calculations of forces and limitations.

BORING PILE 80

A unit that likes to be deemed a «screwdriver».

MOTOR ROAD 88

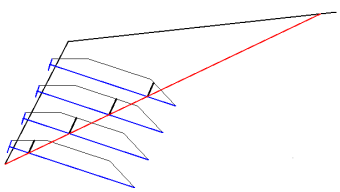
It is possible to bend following logarithmically normal law.

CRANE 98

Flux gate records everything again.

ROADBED 106

Foundation is an objective, and treenail is a tool.



УДК 629.4.0774, 624.19, 621.331, 621.311.

Разрабатываем полимерные консоли

Анатолий ЛУКЬЯНОВ
Anatoly M. LUKYANOV

Юрий ЧЕПЕЛЕВ
Yuri G. CHEPELEV

Александр БАРДИН
Alexander N. BARDIN

Лукьянов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Чепелев Юрий Георгиевич – заведующий отделом ВНИИЖТ, Москва, Россия.
Бардин Александр Николаевич – заведующий отделом ВНИИЖТ, Москва, Россия.

Development of Polymer Consoles
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 67)

Статья знакомит с разработкой новых полимерных консолей для высокоскоростного транспорта. Приведены результаты исследования электрофизических характеристик стеклопластиковых стержней. Показана возможность более широкого использования стеклопластика на основе эпоксидного связующего. Полимерные консоли испытаны на механическую и электрическую нагрузки, как и новейшие конструкции оконцевателей. Проверка проводилась в том числе и под напряжением грозового импульса.

Ключевые слова: высокоскоростной транспорт, консоли, контактная сеть, полимеры, стеклопластик, электрическая прочность, механические свойства, надежность.

Полимерные материалы, рекомендуемые для использования в устройствах и узлах контактной сети, должны обладать комплексом свойств, иметь большую механическую и электрическую прочность и длительно (не менее 20 лет) сохранять эти качества в условиях воздействия различных атмосферных факторов (влаги, изменения температуры, солнечных лучей, различных загрязнений в воздухе).

Особый интерес для деталей и устройств контактной сети представляют стеклопластики – полимерные материалы, в которых в качестве армирующего материала используется стеклопластиковый наполнитель.

Опыт применения полимерных материалов в устройствах контактной сети России и за рубежом изложен в [1, 2]. При этом показательны результаты испытания новейших несущих элементов контактной сети, изготовленных на основе композитных материалов. В первую очередь это относится к консолям контактной сети.

В зависимости от числа перекрываемых путей, как известно [3], консоли

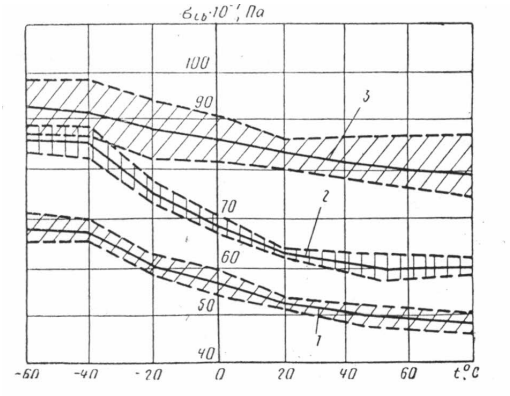


Рис. 1. Зависимость прочности при растяжении стеклопластиковых стержней от температуры: 1 – на полиэфирном связующем; 2 – на эпоксидно-полиэфирном связующем; 3 – на эпоксидном связующем.

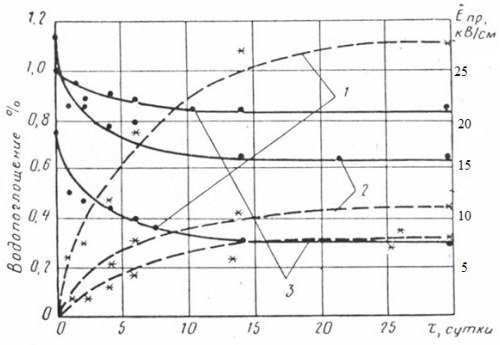


Рис. 2. Зависимость электрической прочности $E_{пр}$ (-), водопоглощения (--) стеклопластиковых стержней от времени τ пребывания в воде. Обозначения те же, что на рис. 1.

делятся на однопутные, двухпутные, многопутные. Применение полимерных консолей позволяет отказаться от фиксаторных кронштейнов, облегчить опорные и поддерживающие конструкции контактной сети, значительно повысить стабильность несущего троса, что является необходимой предпосылкой надежности сетей при высоких скоростях движения поездов. Использование таких консолей значительно повышает безопасность производства работ под напряжением.

1.

На первом этапе разработок, которыми нам поручили заниматься, необходимо было определить, на каком связующем должны быть изготовлены полимерные конструкции.

Исследованиям подверглись образцы на полиэфирном, эпоксидно-полиэфирном (содержание смол ЭД и ПН 1:2) и эпоксидном связующих. Арматура стеклопластиковых стержней представляет собой стекложгут – алюмоборосиликатного состава стекла с замасливателем № 289. Содержание стекла в композите по массе составляет 70%.

Методики механических испытаний изложены в [4]. Испытания на растяжение стеклопластика проводили в диапазоне изменения температуры от –60° до +80°С. Как при повышенных, так и пониженных температурах вместе с обычными образцами в камеру искусственного климата помещали контрольный образец с вмонтированной в него термопарой. Повышение прочности материала (рис. 1) сопровождалось увеличением разброса результатов испытаний.

Наибольшая прочность наблюдалась у стеклопластиковых стержней на эпоксидном связующим. В области положительных температур она уменьшалась.

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о необходимости учитывать снижение прочности материала при расчете стержней, работающих в условиях повышенных температур.

Водопоглощение стержней определяли согласно действующих в России методик. Стеклопластиковые стержни на основе эпоксидного связующего характеризуются значительно меньшим водопоглощением по сравнению со стержнями на основе эпоксидно-полиэфирной и полиэфирной смолы (рис. 2). В первом приближении определено время достижения образцами равновесного состояния, то есть момент насыщения влагой материала. Оно составляет не менее чем 30 суток.

Снижение механической прочности стеклопластиков (рис. 3) установлено от времени действия влаги. Так, выдержка образцов при температуре 80°С после пребывания в воде 720 ч позволила зафиксировать снижение прочностных данных у стеклопластиков на полиэфирном связующем – на 25,31%, на эпоксидно-полиэфирном – на 14,4%, на эпоксидном – на 9,7%.

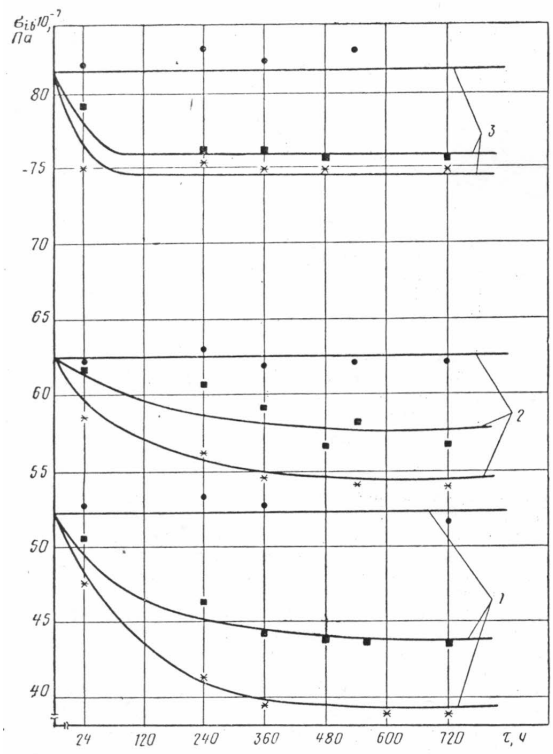


Рис. 3. Зависимость механической прочности $\sigma_в$ стеклопластиковых стержней от времени τ при относительной влажности 98% и температуре 20°С(●), в воде при температуре 20°С(■), в воде при температуре 80°С (✱).

Электрическую прочность стержней (рис. 2) исследовали напряжением промышленной частоты. Напряжение прикладывали вдоль волокон к образцам толщиной 10 мм. Стержни на основе эпоксидного связующего характеризуются более высокой электрической прочностью по сравнению с другими. В первые семь суток увлажнения электрическая прочность образцов резко снижается, что обусловлено интенсивным поглощением влаги. После 15 суток пребывания в воде она стабилизируется.

Исследования электрической прочности в зависимости от температуры проводили в диапазоне 20–80°С (рис. 4). Они показали, что с повышением температуры прочность снижается, причем наиболее сильно у стеклопластиковых стержней на эпоксидно-полиэфирном связующем, меньше – у стержней на эпоксидном связующем.

Анализ зависимости удельного объемного сопротивления стеклопластиковых стержней от продолжительности выдержки в воде показал (рис. 5), что величина ρ_v в первые сутки их пребывания в водной среде резко падает. Наименьшее снижение ρ_v наблюдается у стержней с эпоксидным связующим.

На основании данных исследования установлено, что для изготовления конструкций полимерных консолей следует использовать стеклопластиковые трубы на эпоксидном связующем.

Прочностные характеристики стеклопластиков труб, рекомендуемых для изготовления консолей при растяжении, сжатии, изгибе, даны в таблице 1.

Трубчатые профили изготавливали по технологии пултрузии.

Таблица 1

Прочностные характеристики стеклопластиковых труб, рекомендуемых для полимерных консолей контактной сети

Тип материала	Предел прочности, МПа			Модуль упругости, ГПа	
	растяжения	сжатия	изгиба	растяжения	сжатия
СПП – Э	850	431	890	52–53	30–38
СПП – Эв	920	660	1000	52–57	33–38
СПП – Эп	780	435	830	52–55	34–38

Кратко ознакомим читателя с процессом пултрузии:

– непрерывный стекложгут протягивается через фильеру, при этом он пропитывается связующим с одновременным нагревом, способствующим отвердеванию связующего;

– полимерное изделие подвергается дополнительной обработке поверхности и нарезается на куски определенной длины;

– при необходимости армирование полимерного изделия можно осуществлять в направление, отличное от 0°;

– процесс производства – непрерывный.

Для заполнения внутренней полости композитных труб использовался пенополиуретановый наполнитель (ППУ) с закрытой структурой ячеек. Такое решение позволяет предотвратить накопление конденсата в ходе эксплуатации.

Процесс залива внутренней полости трубы производился с помощью смесительно-дозирующей установки, которая предназначена для литья двухкомпонентных полиуретановых систем.

Подготовка внешней поверхности трубы к нанесению защитного покрытия осуществляли, использовав не содержащую хромата эпоксидную грунтовку с активной антикоррозийной защитой.

Покрытие состояло из двухкомпонентной универсальной полиуретано-акриловой эмали. Такая эмаль обладает высокими защитными свойствами – длительным временем сохранения открытой плёнки, стойкостью к УФ-излучению и атмосферным воздействиям, высокой водостойкостью, а также повышенной трекинго-эрозионной стойкостью.

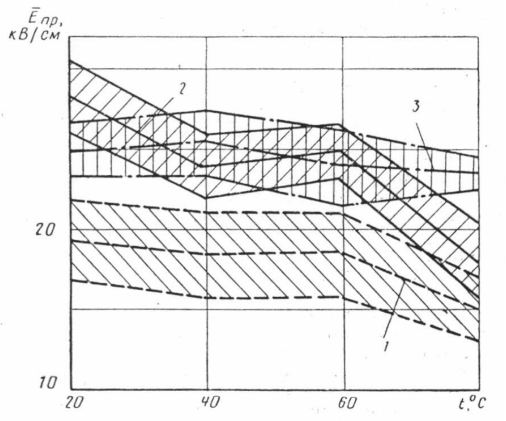


Рис. 4. Зависимость электрической прочности Епр стеклопластиковых стержней от температуры. 1 – на полиэфирном связующем; 2 – на эпоксидно-полиэфирном связующем; 3 – на эпоксидном связующем.

2.

Одним из основных вопросов механического расчета полимерных консолей является определение их геометрических размеров.

Консоли из стеклопластиковых труб рассчитывали на растягивающую нагрузку 70 кН и изгибающий момент в плоскости ушка оконцевателя 4 кН·м (разрушающая сила при изгибе 8 кН).

В результате проведенных работ был подобран трубчатый элемент с внешним диаметром 60 мм, внутреннем – 44 мм.

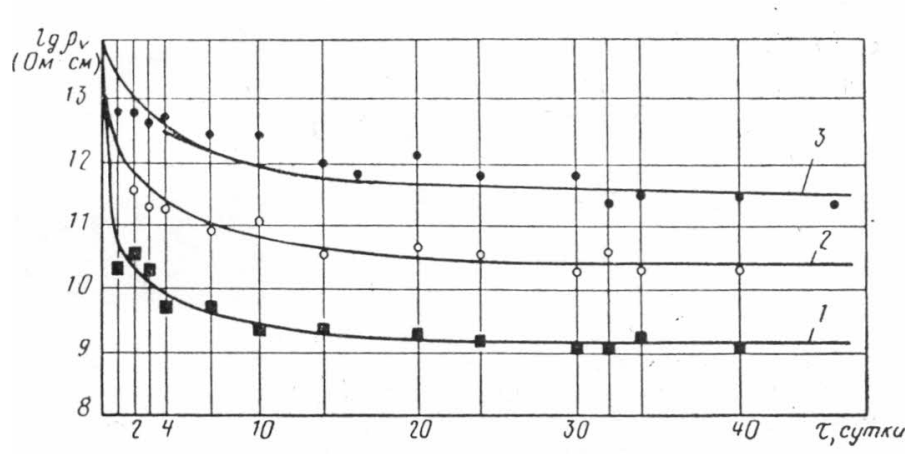


Рис. 5. Зависимость удельного объемного сопротивления ρv стеклопластиковых стержней от продолжительности τ выдержки в воде. 1 – на полиэфирном связующем; 2 – на эпоксидно-полиэфирном связующем; 3 – на эпоксидном связующем.

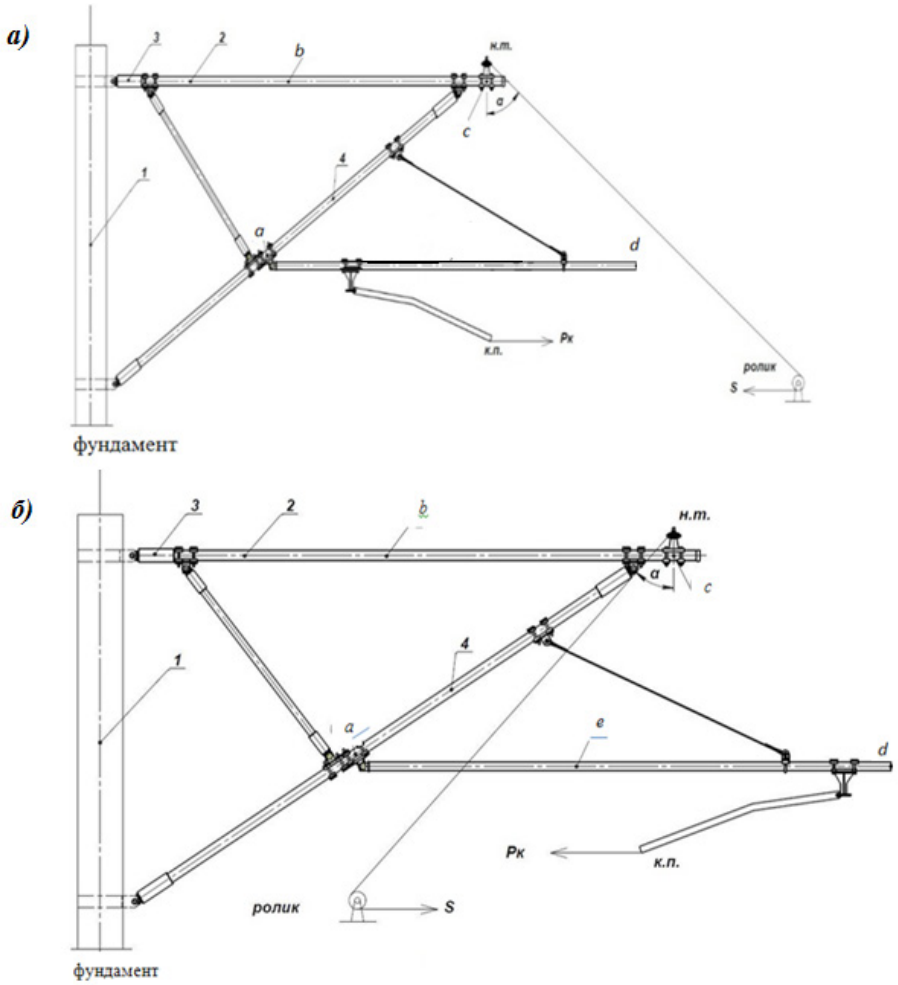


Рис. 6. Разработанные полимерные консоли: а – прямого нагружения; б – обратного нагружения; 1 – опорная стойка; 2 – горизонтальный элемент консоли; 3 – фитинги консолей; 4 – подкос консоли; a, b, c, d, e – точки измерения прогиба элементов консолей.

После подбора диаметров стеклопластиковой трубы приступили к выбору материала, из которого должен быть изготовлен оконцеватель.

Остановились на том, что первая партия оконцевателей будет изготовлена из алюминия. Соединение стеклопластиковой трубы и оконцевателя – механическое (на болтах).

Вторая партия оконцевателей была изготовлена из полиамида. Соединение трубы с оконцевателем клеевое.

Исследование прочности предложенных оконцевателей производили на образцах консоли длиной 1200 мм.

Разрушение соединения стеклопластиковой трубы с полиамидным оконцевателем происходило, как правило, по металлу оконцевателя – разрыв «ушка» или самого «тела» оконцевателя. Среднее значение разрушающей силы соединения «стеклопластиковая труба – оконцеватель из полиамида 66» – 2050 кг.

Характерный вид разрушения образцов с алюминиевыми оконцевателями – смятие стеклопластиковой трубы в месте ее соединения с болтами оконцевателя (пластическая деформация болтов). Такой вид разрушения наблюдали у всех образцов такого соединения. Среднее значение разрушающей силы «стеклопластиковая труба – алюминиевый оконцеватель» – 5150 кг. На основании проведенных исследований принято решение доработать узел соединения оконцевателя из полиамида в части увеличения прочности оконцевателя.

Изгиб. Испытания по определению разрушающей нагрузки и разрушающего

Таблица 2

Значения прогибов при прямом нагружении [мм]

S, кгс	Pk, кгс	Наименование нагрузок	Точка a	Точка b	Точка c	Точка d
			Суммарный прогиб	Суммарный прогиб	Суммарный прогиб	Суммарный прогиб
300	250	Допускаемая	20	19	21	224
500	500	Испытательная	37	32	33	310
Прогиб при испытательной нагрузке			37	32	33	310
Длина стержня			3626	3378	3378	3441
Фактический относительный прогиб			1/98,0	1/105,6	1/102,4	1/11,1

Таблица 3

Значения прогибов при обратном нагружении [мм]

S, кгс	Pk, кгс	Наименование нагрузок	Точка a	Точка b	Точка c	Точка d	Точка e
			Суммарный прогиб	Суммарный прогиб	Суммарный прогиб	Суммарный прогиб	Суммарный прогиб
260	250	Допускаемая	16	13	16	73	2
560	460	Испытательная	20	15	18	246	41
Прогиб при испытательной нагрузке			20	15	18	246	41
Длина стержня			3626	3378	3378	3061	3061
Фактический относительный прогиб			1/181,3	1/225,2	1/187,7	1/12,4	1/74,7

изгибающего момента трубчатых элементов консоли с алюминиевыми оконцевателями проводили на образцах длиной 1300 мм. В среднюю часть образца прикладывалась вертикальная сила. Испытания проводили до разрушения образцов. Среднее значение разрушающей нагрузки составило 2800 кг, разрушающего изгибающего момента – 8,91 кНм.

Испытания по определению величины прогиба в контрольных точках консоли прошли на собранных образцах (рис. 6). Материал стержней консоли – однонаправленный стеклопластик, покрытый разработанным защитным слоем. Материал оконцевателей стержней – алюминий.

Нагрузки, прикладываемые к конструкции консоли, измерялись динамометром по ГОСТ 13837. На каждой ступени нагружения производились замеры прогибов (см. таблицы 2, 3) в точках *a, b, c, d, e* с помощью прогибомера.

Испытания консоли в сборе при прямом нагружении показали:

– прогибы стержней консоли в стандартном исполнении не соответствуют «Техническим требованиям к полимерным консолям»» в части предельно допустимого относительного прогиба – 1/100 длины стержня;

– в случае, когда крепление подкоса сдвинуто к оконцевателю, прогибы всех стержней консоли (кроме фиксатора) близки к предельному значению, установленному в технических требованиях – 1/100 длины стержня;

– видимые повреждения элементов консоли при испытательной нагрузке отсутствуют, нет проскальзывания крепежной арматуры;

– стеклопластиковый стержень фиксатора не соответствует норме предельно допустимого относительного прогиба.

При обратном нагружении:

– прогибы всех стержней консоли (кроме фиксатора) соответствуют «Техническим требованиям к полимерным консолям» в части предельно допустимого относительного прогиба;

– видимых повреждений элементов консоли при испытательной нагрузке не возникает, нет проскальзывания крепежной арматуры;

– стеклопластиковый стержень фиксатора не соответствует техническим требованиям, кроме того он теряет устойчивость при испытательной нагрузке.

Высоковольтные испытания. Испытания электрической прочности разработанных полимерных консолей как с прямым, так и обратным фиксатором проводились по ГОСТ 1516.2. Целью их являлась проверка электрической прочности изоляции консоли, стержня и подкоса, в частности:

– испытания электрической прочности в сухом состоянии и под дождем;

– испытания электрической прочности изоляции при воздействии стандартного грозового импульса.

При проведении испытаний в сухом состоянии стержень и подкос были закреплены горизонтально. На один конец стержня или подкоса подавали напряжение 145 кВ. Второй конец был заземлен. Приложенное напряжение выдерживали в течение двух минут. За это время не произошло перекрытие изоляции как самого стержня, так и подкоса.

Испытания под дождем – использовалась специальная дождевальная установка. На один конец стержня подали напряжение 125 кВ. Второй конец был заземлен. Дождь падал равномерно под углом 45° к горизонтали. Параметры дождя определялись в соответствии с ГОСТ, проводимость воды составляла 110 мкSm/см. Время выдержки образцов составляло 5 минут. Перекрытие изоляции не произошло.

Во втором случае стержень был закреплен вертикально. На один его конец подали напряжение 70 кВ. Второй конец был заземлен. Параметры дождя были такие же, как и в предыдущем опыте. Приложенное напряжение выдерживали не менее 5 минут. За это время не произошло перекрытия изоляции.

Испытания напряжением грозового импульса. На один конец стержня и подкоса подавали импульс с формой волны 1,2/50 мкс и амплитудой 240 кВ. Второй конец был заземлен. Приложенное напряжение выдерживали 5 минут. За это время не произошло перекрытия изоляции.

Определение величины напряжения пробоя изоляции в сухом состоянии. Стержень и подкос были закреплены вертикально. Один из концов испытуемых элементов был заземлен. На другой конец подавали плавно растущее переменное напряжение промышленной частоты. По достижении величины 236 кВ (максимальной для испытательной установки) напряжение выдерживали в течение двух минут. За это время не произошло пробоя или перекрытия изоляции.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны новые полимерные консоли для высокоскоростного транспорта.

2. Для обеспечения достаточной устойчивости стержней консоли в части предельно допустимого относительного прогиба необходимо увеличить диаметр основных стержней, использовав стеклопластиковые стержни D70/d55 и D80/d65, а также доработать узел соединения оконцевателя со стеклопластиковым стержнем консоли и конструкцию самого оконцевателя из полиамида в целях увеличения его прочности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов В. Д., Горошков Ю. И., Лукьянов А. М. и др. Полимерные материалы в устройствах контактной сети.– М.: Транспорт, 1984.– 224 с.

2. Горошков Ю. И., Ильин В. Н., Лукьянов А. М., Чепелев Ю. Г. Применение полимерных изоляторов в устройствах контактной сети электрифицированных железных дорог.– М.: Транспорт, 1987.– 48 с.

3. Горошков Ю. И., Бондарев Н. А. Контактная сеть.– М.: Транспорт, 1981.– 400 с.

4. Потапов В. Д., Лукьянов А. М., Горошков Ю. И. Исследование прочности полимерных стержней изолирующих элементов // Вестник ВНИИЖТ.– 1977.– № 7.– С. 24–26.

5. Гершман И. С., Гершман Е. И. Фундаментальные основы разработки материалов и конструкций системы токосъема высокоскоростного железнодорожного транспорта по результатам исследования взаимодействия токосъемных элементов с контактным проводом // Интеллектуальные системы на транспорте: Материалы 3-й международной научно-практ. конференции.– СПб., 2013.– С. 300–306.

6. Chen Shaokuan, Wang Xiu-dan, Bai Yun, Liu Hai-dong, Mao Bao-huo. Tiedao xuebao J. China Railway Soe. 2013. 35, № 12, pp. 37–42.

7. Oberleitung Sicat SX – Zulassung und Betriebserfahrung in Ungarn. Kökényesi Miklös, Kunz Dietmar. Elek. Bahnen. 2013. 111, № 6–7, pp. 440–444.

8. Phase separation sections – passing with minimum constraints Arnaud Bastian, Christian Courtois, Alexandre Machet, La Plaine Saint Denis Elek. Bahnen. 2011, 4–5, pp. 197–203.

Координаты авторов: **Лукьянов А. М.** – (495) 684–2470, **Чепелев Ю. Г.** – yuriychepelev@yandex, **Бардин А. Н.** – bardin.aleksandr@vniizht.ru.

Статья поступила в редакцию 10.03.2015, принята к публикации 16.04.2016.

DEVELOPMENT OF POLYMER CONSOLES

Lukyanov ,Anatoly M., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Chepelev, Yuri G., *VNIIZhT, Moscow, Russia.*
Bardin, Alexander N., *VNIIZhT, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article introduces the development of new polymer consoles for high-speed transport. The results of research of electrophysical characteristics of fiberglass rods are provided. The possibility of a wider use of fiberglass based on epoxy binder is shown. Polymer consoles are tested for mechanical and electrical load, as well as the latest design of end terminals. The test was conducted including lightning impulse voltage.

Keywords: high-speed transport, console, contact network, polymers, fiberglass, electric strength, mechanical properties, durability.

Background. *Polymer materials that are recommended for use in devices and nodes of contact network should have a complex of properties, high mechanical and dielectric strength and for a long time (at least 20 years) maintain these properties under the impact of different weather conditions (moisture, temperature changes, sunlight, various contaminants in the air).*

Of particular interest to parts and devices of the contact network is fiberglass – polymeric materials in which a fiberglass filler is used as a reinforcing material.

Experience in the use of polymer materials in contact network devices in Russia and abroad is described in [1, 2]. In this test results of the newest bearing elements of contact network, made based on composite materials, are indicative. This primarily refers to the consoles of the contact network.

Depending on the number of overlapping routes, as known [3], the console is divided into single-track, double-track, multitrack. The use of polymer console allows to eliminate fixing mounting brackets, to lighten reference and support structure of the contact network, to enhance stability of a suspension cable greatly, which is a prerequisite for reliable networks at high speed of trains. The use of such consoles increases work safety under stress greatly.

Objective. *The objective of the authors is to consider new type of polymer consoles.*

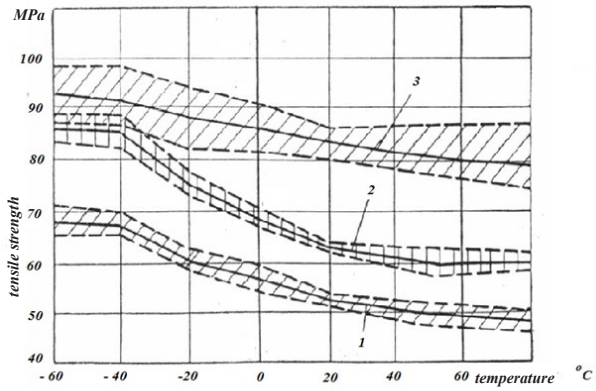
Methods. *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, graph construction, evaluation approach.*

Results.

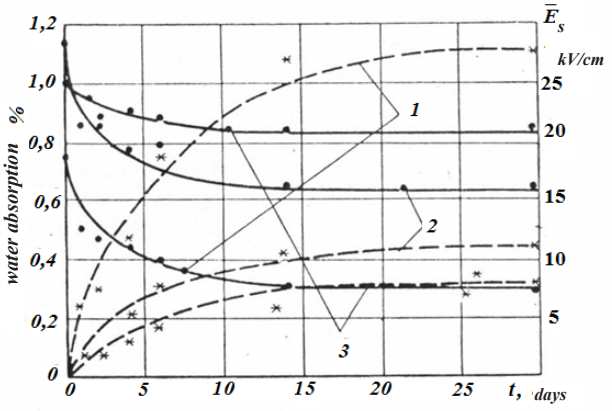
1.

In the first phase of development, which we were assigned to do, it was necessary to determine on which binder polymer structures must be made.

Research was conducted in respect of samples on polyester, epoxy-polyester (resin content of ED and NP 1: 2) and epoxy binders. Reinforcement of



Pic. 1. Dependence of tensile strength of fiberglass rods on temperature: 1 – on polyester binder; 2 – on epoxy-polyester binder; 3 – on epoxy binder.



Pic. 2. Dependence of electric strength E s (–), water absorption (--) of fiberglass rods on time τ of stay in the water. Designations are the same as in Pic. 1.

Table 1

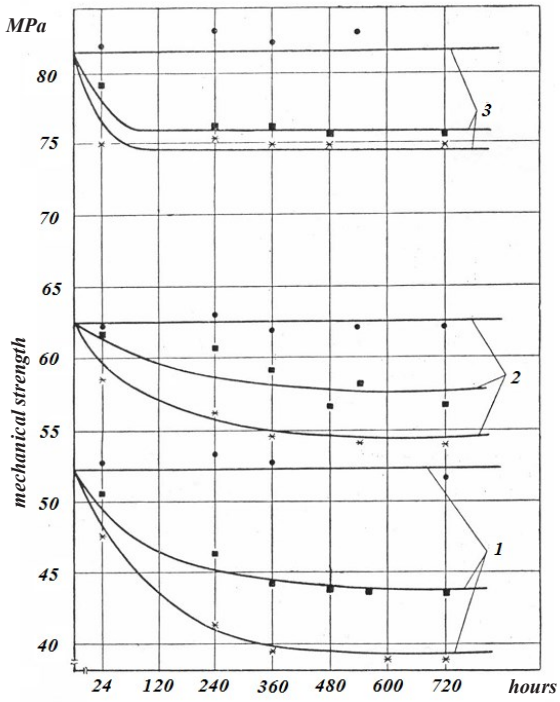
Strength characteristics of fiberglass pipes, recommended for polymeric consoles of a contact network

Type of material	Tensile strength, MPa			Elasticity modulus, hPa	
	tension	compression	deflection	tension	compression
SPP – E	850	431	890	52–53	30–38
SPP – Ev	920	660	1000	52–57	33–38
SPP – Ep	780	435	830	52–55	34–38

Table 2

The values of deflections for direct loading [mm]

S, kgs	Pk, kgs	Name of load	Point a	Point b	Point c	Point d
			Total deflection	Total deflection	Total deflection	Total deflection
300	250	Permissible	20	19	21	224
500	500	Test	37	32	33	310
Deflection under test load			37	32	33	310
Rod's length			3626	3378	3378	3441
Actual relative deflection			1/98,0	1/105,6	1/102,4	1/11,1



Pic. 3. The dependence of mechanical strength σв of fiberglass rods on time τ at relative humidity of 98% and temperature of 20°C(●), in water at temperature of 20°C(■), in water at a temperature of 80°C (✱). Designations are the same as in Pic. 1.

fiberglass rods is a glass roving – aluminum-boric-silica glass composition with a lubricant № 289. The glass content in the composite on mass is 70%.

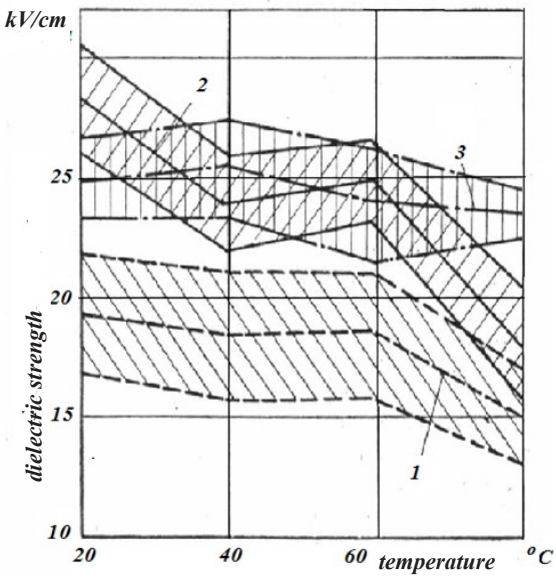
Methods of mechanical testing are presented in [4]. Fiberglass tensile tests were performed in the range of temperature change from –60˚to +80˚C. As at high and low temperatures with normal samples a control sample with thermocouple mounted in it was placed in an environmental chamber. Increase in material strength (Pic. 1) was accompanied by an increase in the scatter of the test results.

The greatest strength was observed in fiberglass rods on epoxy binder. In the field of positive temperatures it reduced.

Analysis of the dependency indicates the need to take into account reduction of strength of the material in the calculation of rods operating at high temperatures.

Water absorption of rods was determined according to techniques operating in Russia. Fiberglass rods on epoxy binders have much lower water absorption as compared with the rods based on polyester and epoxy-polyester resin (Pic. 2). As a first approximation time was determined to achieve equilibrium of samples, i.e. moisture saturation point of the material. It is not less than 30 days.

Reduction of mechanical strength of fiberglass (Pic. 3) is set from the time of moisture action. Thus, exposure of the samples at a temperature of 80˚C,



Pic. 4. Dependence of dielectric strength Es of fiberglass rods on temperature.Designations are the same as in Pic. 1.

after staying in water for 720 h allowed to fix the decrease of strength data of fiberglass on polyester resins – by 25,31%, on epoxy-polyester – by 14,4%, on epoxy – by 9,7%.

Dielectric strength of rods (Pic. 2) was examined via industrial frequency voltage. Voltage was applied along fibers to the samples of 10 mm thick. Rods on epoxy binder have a higher dielectric strength as compared with others. In the first seven days of wetting dielectric strength of samples decreases sharply due to heavy moisture absorption. After 15 days of stay in water, it is stabilized.

Studies of dielectric strength depending on temperature was carried out in the range of 20–80°C (Pic. 4). They showed that with increasing temperature the strength decreases, and most strongly in fiberglass rods on epoxy-polyester resins, less – in rods on epoxy binder.

Analysis of dependence of volume resistivity of fiberglass rods on duration of stay in water (Pic. 5) showed that ρv value in the first day of their stay in the aquatic environment falls sharply. The smallest ρv decrease is observed in rods with epoxy binder.

Based on survey data it found that to manufacture polymer console structures it is necessary to use fiberglass pipe on epoxy binder.

The strength characteristics of fiberglass of pipes, recommended for the manufacture of consoles in tension, compression, bending, are given in Table 1.

Tubular profiles were produced by pultrusion technology.

Let's briefly acquaint the readers with pultrusion process:

– Continuous glass roving is pulled through a die hole, while it is impregnated with a binder with simultaneous heating, contributing to hardening of a binder;

– Polymer object is subjected to additional surface treatment, and is cut into pieces of a certain length;

– If necessary, reinforcement of a polymer product can be carried out in a direction other than 0°;

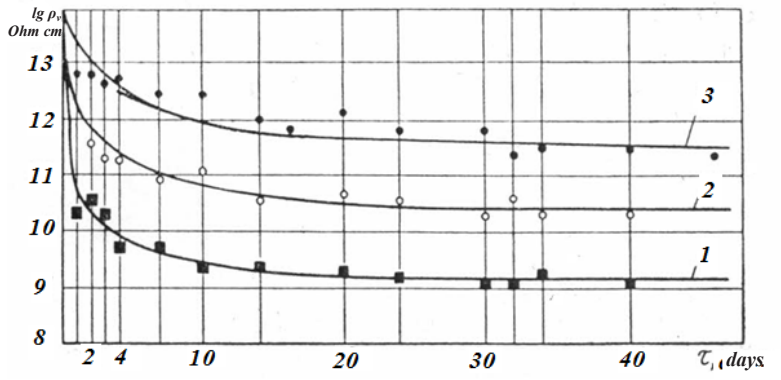
– The production process is continuous.

To fill an inner cavity of a composite pipe a polyurethane foam filler (PFF) with a closed cell structure was used. This solution allows to prevent condensation buildup during operation.

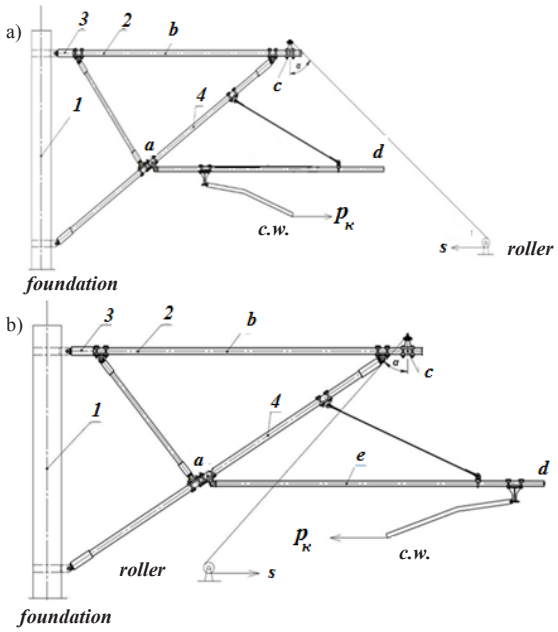
Process of filling with water of an inner cavity of a pipe was made using a mixing and dosing system, which is designed for two-component polyurethane casting systems.

Preparation of external surface of a pipe to application of a protective coating was performed using non-chromate epoxy primer with active corrosion protection.

The coating consisted of two-component universal polyurethane-acrylic enamel. This enamel has high protective properties – long-time preservation of open film, it is resistant to UV and



Pic. 4. Dependence of dielectric strength Es of fiberglass rods on temperature. Designations are the same as in Pic. 1.



Pic. 6. Developed polymer consoles: a – direct loading; b – reverse loading; 1 – support column; 2 – console horizontal element; 3 – fittings of consoles; 4 – strut of the console; a, b, c, d, e – measuring points of consoles elements deflection.

weathering, high water resistance, as well as enhanced tracking-erosion resistance.

2.

One of the main issues of mechanical calculation of polymer consoles is to define their geometric dimensions.

Console of fiberglass pipes was calculated on tensile load of 70 kN and bending moment in the plane of the staple of the end terminal 4 kN • m (breaking strength in bending 8 kN).

As a result of this work a tubular element with an external diameter of 60 mm, internal – 44 mm was selected.

After selection of the diameters of fiberglass pipe we turned to select a material of which an end terminal is to be made.

We stopped on the fact that the first batch of end terminals is to be made of aluminum. The connection of fiberglass pipe and end terminal is mechanical (bolt).

The second batch of end terminals was made of polyamide. Connection of pipe with end terminal is glue.

The study of strength of proposed end terminals was made on the console samples to 1200 mm in length.

The destruction of the connection of a fiberglass pipe with polyamide end terminal was made, usually on metal of end terminal – gap of «staple» or of the «body» of end terminal. The average value of breaking force of the connection «fiberglass pipe – end terminal made of polyamide 66» – 2050 kg.

A typical form of destruction of the samples with aluminum end terminals – crushing of fiberglass pipe at the point of connection with bolts of the end terminal (plastic deformation of bolts). This type of destruction was observed in all samples of this connection. The average value of breaking force «fiberglass pipe – aluminum end terminal» is 5150 kg. On the basis of research it was decided to finalize the connection node of the end terminal of polyamide, in terms of increasing the strength of the end terminal.

Bending. Tests to determine breaking load and destructive bending moment of tubular elements of a console with aluminum end terminals was performed on samples with a length of 1300 mm. In the middle part of the sample vertical force was applied. Tests were carried out till destruction of the samples. The average value of the breaking load was 2800 kg, destructive bending moment was 8,91 kNm.

Tests to determine the magnitude of deflection at control points of the console were made on collected samples (Pic. 6). Material of console rods is unidirectional fiberglass coated with a developed protective layer. Material of end terminals of rods is aluminum.

The loads applied to the design of the console were measured by dynamometers in accordance with GOST 13837. Deflection measurements were made at each stage of loading (see. Table 2, 3) at the points a, b, c, d, e by a deflectometer.

Test of console in assembly in direct loading demonstrated:

– Deflection of console's rods in standard embodiment do not meet «Technical requirements for polymer consoles»' in terms of maximum permissible relative deflection – 1/100 of the length of the rod;

– When fastening of a strut is shifted to end terminals, deflections of all rods of the console (except for the fixing element) are close to the limits set in specifications – 1/100 of the length of the rod;

– Visible damage to the console elements under test load are not available, there is no slippage of mounting fittings;

– Fiberglass rod of a fixing element does not comply with maximum permissible relative deflection.

In reverse loading:

– Deflection of all rods of the console (except for the fixing element) corresponds to «Technical requirements for polymer consoles» in terms of the maximum permissible relative deflection;

– Visible damage at the console elements under test load does not occur, there is no slippage of mounting fittings;

Table 3

The values of deflections for reverse loading [mm]

S, kgs	Pk, kgs	Name of load	Point a	Point b	Point c	Point d	Point e
			Total deflection	Total deflection	Total deflection	Total deflection	Total deflection
260	250	Permissible	16	13	16	73	2
560	460	Test	20	15	18	246	41
Deflection at test load			20	15	18	246	41
Rod's length			3626	3378	3378	3061	3061
Actual relative deflection			1/181,3	1/225,2	1/187,7	1/12,4	1/74,7

– Fiberglass rod of the fixing element does not meet technical requirements, except that it loses its stability at a test load.

High-voltage tests. Dielectric strength test of developed polymer consoles like direct and inverse fixing element was conducted in accordance with GOST 1516.2. Their purpose was to check dielectric strength of console insulation, rod and strut, in particular:

– Dielectric strength test in dry and rain;

– Dielectric strength test of insulation when subjected to standard lightning impulse.

When tested in the dry state, rod and strut were fixed horizontally. At one end of the rod or the strut voltage of 145 kV was applied. The other end was grounded. The applied voltage was maintained for two minutes. During this time there was no overlap of insulation of both the rod and the strut.

Tests in the rain – a special sprinkler was used. At one end of the rod voltage of 125 kV was applied. The other end was grounded. Rain fell uniformly at an angle of 45° to the horizontal. Rain parameters were determined in accordance with GOST, water conductivity was 110 mkSm/cm. Sample holding time was 5 minutes. Insulation overlap did not occur.

In the latter case the rod was fixed vertically. At one end voltage of 70 kV was applied. The other end was grounded. Rain parameters were the same as in the previous experiment. The applied voltage was maintained for at least 5 minutes. During this time there was no overlap of insulation.

Test on lightning impulse voltage. At one end of the rod and the strut an impulse with waveform 1,2/50 ms and an amplitude of 240 kV was applied. The other end was grounded. The applied voltage was maintained for 5 minutes. During this time there was no overlap of insulation.

Determination of the insulation breakdown voltage in the dry state. The rod and the strut were fixed vertically. One end of the test elements was grounded. On the other end continuously growing AC voltage of industrial frequency was supplied. Upon reaching 236 kV value (the maximum for the test set), the applied voltage was maintained for two minutes. During this time there was no breakdown or overlap of insulation.

Conclusions.

1. New polymer consoles were developed for high-speed transport.

2. There is a need to increase the diameter of main rods, using fiberglass rods D70 / d55 and D80 / d65, and finalize a connection node of an end terminal with fiberglass rod assembly and construction of the console terminations of polyamide in order to increase to ensure sufficient stability of the rods of the console in terms of maximum permissible relative deflection.

REFERENCES

1. Potapov, V. D., Gorshkov, Yu. I., Lukyanov, A. M. [*et al*]. Polymer materials in contact network devices [*Polimernye materialy v ustrojstvah kontaktnoj seti*]. Moscow, Transport publ., 1984, 224 p.

2. Goroshkov, Yu. I., Ilyin, V. N., Lukyanov, A. M., Chepelev, Yu. G. Application of polymer insulators in devices of a contact network of electrified railways [*Primenenie polimernyh izoljatorov v ustrojstvah kontaktnoj seti elektrificirovannyh zheleznyh dorog*]. Moscow, Transport publ., 1987, 48 p.

3. Gorshkov, Yu. I., Bondarev, N. A. Contact network [*Kontaktnaja set'*]. Moscow, Transport publ., 1981, 400 p.

4. Potapov, V. D., Lukyanov, A. M., Gorshkov, Yu. I. Study of strength of polymer rods of insulating elements [*Issledovanie prochnosti polimernyh sterzhnej izolirujushhih elementov*]. *Vestnik VNIIZhT*, 1977, Iss. 7, pp. 24–26.

5. Gershman, I. S., Gershman, E. I. Fundamentals for development of materials and designs high-speed rail current collection system after the study of interaction of current collecting elements with the contact wire [*Fundamental'nye osnovy razrabotki materialov i konstrukcij sistemy tokos'ema vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta po rezul'tatam issledovanija vzaimodejstvija tokos'emnyh elementov s kontaktnym provodom*]. *Intelligent transport systems: Proceedings of the 3rd International scientific-practical conference*. St. Petersburg, 2013, pp. 300–306.

6. Chen Shaokuan, Wang Xiu-dan, Bai Yun, Liu Hai-dong, Mao Bao-huo. Tiedao xuebao J. China Railway Soe. 2013. 35, № 12, pp. 37–42.

7. Oberleitung Sicat SX – Zulassung und Betriebserfahrung in Ungarn. Kökényesi Miklös, Kunz Dietmar. *Elek. Bahnen*. Vol. 111, 2013, Iss. 6–7, pp. 440–444.

8. Phase separation sections – passing with minimum constraints Arnaud Bastian, Christian Courtois, Alexandre Machet, La Plaine Saint Denis *Elek. Bahnen*. 2011, Iss. 4–5, pp. 197–203.

Information about the authors:

Lukyanov, Anatoly M. – D. Sc. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, (495) 684–24–70.

Chepelev, Yuri G. – head of the department of Russian Research Institute of Railway Transport (VNIIZhT), Moscow, Russia, yuriychepelev@yandex.

Bardin, Alexander N. – head of the department of Russian Research Institute of Railway Transport (VNIIZhT), Moscow, Russia, bardin.aleksandr@vniizht.ru.

Article received 10.03.2015, accepted 16.04.2016.

УДК 629.03:656.2.022.846

Гибридный движитель

Иван ГОРЮНОВ
Ivan O. GORYUNOV

Михаил ГЛУЩЕНКО
Mikhail D. GLUSHCHENKO

Глущенко Михаил Дмитриевич *– доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Горюнов Иван Олегович *– аспирант кафедры «Электропоезда и локомотивы» МИИТ, Москва, Россия.*

Hybrid Propulsion Unit

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 77)

Авторами представлена концептуальная идея о высокоскоростной магистрали с максимальной скоростью движения 400–450 км/ч. Использование ротационных двигателей требует больших энергозатрат на высоких скоростях, возникают сложности с токосъёмом, сцеплением колеса с рельсом и т.д. В то же время применение линейного тягового двигателя на низких скоростях не оправдано с экономической точки зрения, но эффективно на высоких с позиции эксплуатации. В связи с этим предлагается вариант совмещенного или гибридного тягового движителя, в котором сопрягаются положительные стороны прежних моделей.

Ключевые слова: транспорт, высокоскоростные поезда, высокоскоростные магистрали, линейный синхронный двигатель, асинхронный тяговый электродвигатель, сопротивление движению, сила сцепления колеса с рельсом, гибридный движитель, концептуальная идея.

Сегодня в мире эксплуатируется большое количество высокоскоростных магистралей, максимальная скорость движения на которых составляет 250–350 км/ч [1]. Чтобы достичь высокой скорости при традиционной системе колесо-рельс с классическим расположением тяговых электродвигателей на подвижном составе (от вала двигателя на ось колёсной пары через зубчатую передачу), необходимо решить несколько задач. Таких, например, как проблема сцепления колеса с рельсом, токосъём, мощность электропоезда.

Сцепление колёсных пар с рельсом является одним из ограничений тяговых характеристик подвижного состава, причем исходя из физических процессов с увеличением скорости коэффициент сцепления снижается, а это приводит к уменьшению силы тяги. Нетрадиционные системы, прежде всего подвижной состав с линейными синхронными двигателями (ЛСД), лишены этих проблем, тяговое усилие передается тут не через колесо-рельс, а за счет взаимодействия первичного и вторичных элементов, устроенных на подвижном составе и путях. Но у такой конструкции свой

недостаток – необходимость обустройства на всем протяжении пути одной из частей тягового линейного двигателя.

Проблема токосъёма выходит на передний план при увеличении скорости движения свыше 200 км/ч, когда повышается вероятность искрения между полозами и токоведущим проводом из-за вибрации и небольшого отрыва полозьев от провода, растёт аэродинамическое воздействие и т.д. [2]. Электропоезда с линейным синхронным двигателем не имеют проблемы токосъёма в принципе, поскольку электроэнергию подводят к статору, расположенному непосредственно на полотне. Однако применение ЛСД приводит к значительному удорожанию конструкции пути и подвижного состава.

Альтернативой предлагается двойной или гибридный тяговый движитель, т.е. на участках с относительно низкой скоростью (до 300 км/ч) можно использовать вращающиеся тяговые электродвигатели, а на участках со скоростью выше 300 км/ч применять линейные двигатели.

1. РАСЧЁТ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ

При обосновании предполагаемых изменений необходимо провести расчёт сил сопротивления движению и силы сцепления колеса с рельсом. В качестве примера был взят восьмивагонный электропоезд, в составе которого четыре моторных и четыре прицепных вагона с нагрузкой 160 и 150 кН/ось на каждом. Для такого варианта с формулой

МГ+П+М+П+П+М+П+МГ

(где М – моторный вагон, П – прицепной вагон, МГ – моторный головной вагон) силу сопротивления движения можно вычислить следующим образом.

Сопротивление движению зависит от конструкции и технического состояния подвижного состава, верхнего строения пути, профиля и плана пути, от скорости движения поезда, а также скорости и направления ветра. Оно обусловлено наличием трения в узлах подвижного состава, трением колёс о рельсы, деформациями пути и элементов подвижного состава, сопротивлением воздушной среды, а также характером силы тяжести на уклонах. Сопротивление движению условно делят на две главные составляющие.

Первую называют *основным сопротивлением движению* $W_о$, оно представляет собой сопротивление движению подвижного состава данного типа на прямолинейном горизонтальном открытом участке пути при любой скорости движения (в том числе и при $v = 0$). Эта составляющая обусловлена внутренним трением в узлах подвижного состава, сопротивлением, возникающим при взаимодействии подвижного состава и пути, а также сопротивлением воздушной среды (при отсутствии ветра) [3].

Вторую составляющую называют *дополнительным сопротивлением движению* $W_д$, оно производное от уклонов и кривых. Считают, что дополнительное сопротивление не зависит от скорости движения и определяется только планом и профилем пути. Далее расчёт ведётся без учёта влияния дополнительных сил сопротивления.

Основное сопротивление движению рассчитывается как сумма двух компонентов: $W_{мех}$ – механическое сопротивление движению и $W_{воз}$ – сопротивление воздушной среды. Удельное сопротивление движению всего поезда $w'_о$ рассчитывается как сумма удельных сил [3].

$$w'_о = w'_{мех} + w'_{воз}, \quad (1)$$

где $w'_о$ – основное удельное сопротивление движению, $\frac{H}{кН}$;

$w'_{мех}$ – механическое удельное сопротивление движению, $\frac{H}{кН}$;

$w'_{воз}$ – удельное сопротивление воздушной среды, $\frac{H}{кН}$.

Удельное механическое сопротивление движению:

$$w'_{мех} = 0{,}45 + \frac{7 + 0{,}12 \cdot V}{q_0}, \quad (2)$$

где V – скорость движения поезда, км/ч;

q_0 – вес, приходящийся на ось колёсной пары, кН/ось.

Удельное сопротивление воздушной среды:

$$w'_{воз} = \frac{C_x \cdot \Omega \cdot \rho \cdot V^2}{2 \cdot 3{,}6^2 \cdot q_{0ср}}, \quad (3)$$

Таблица 1

Основные и удельные силы сопротивления движению

v, км/ч	0	50	100	150	200	250	300	350	400
w′мех, Н/кН	0,90	1,29	1,68	2,06	2,45	2,84	3,22	3,61	4,00
w′возд, Н/кН	0	0,50	2,01	4,53	8,05	12,58	18,12	24,66	32,21
w′в/w′м,	0	0,39	1,20	2,20	3,29	4,43	5,62	6,83	8,05
w′o, Н/кН	0,90	1,79	3,69	6,59	10,50	15,42	21,34	28,27	36,20
Wo, Н	4472	8888	18296	32696	52088	76472	105848	140216	179576
Wo, кН	4	9	18	33	52	76	106	140	180

Таблица 2

Сила сцепления поезда с четырьмя моторными и четырьмя прицепными вагонами

v, км/ч	0	50	100	150	200	250	300	350	400
$\psi_{ксц}$	0,25	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05
$F_{сцось}$, Н	4000	2670	2000	1600	1330	1140	1000	890	800
$F_{сц}$, Н	640000	426666	320000	256000	213333	182857	160000	142222	128000
$F_{сцось}$, кН	640	427	320	256	213	183	160	142	128

где C_X – коэффициент воздушного сопротивления поезда;

Ω – расчётная площадь миделева сечения, 10,7 м^2;

ρ – плотность наружного воздуха, $0{,}125\ \frac{кг \cdot с^2}{м^4}$;

$q_{0ср}$ – средний вес, приходящийся на ось колёсной пары, кН/ось.

Коэффициент воздушного сопротивления поезда [3]:

$$C_X = C_0 + C_в \cdot (N - 1), \quad (4)$$

где C_0 – коэффициент воздушного сопротивления условного одиночного вагона, 0,55;

$C_в$ – коэффициент воздушного сопротивления вагона в середине поезда, 0,21;

N – число вагонов поезда.

Масса, приходящаяся на ось моторных и прицепных вагонов, различна, поэтому для расчётов используют среднее значение $q_{0ср}$:

$$q_{0ср} = \frac{q_{0м} \cdot N_{вм} + q_{0п} \cdot N_{вп}}{N_{вм} + N_{вп}}, \quad (5)$$

где $q_{0м}$, q_0 – вес, приходящийся на ось колёсной пары моторного и прицепного вагона соответственно, кН/ось;

$N_{вм}$, $N_{вп}$ – количество моторных и прицепных вагонов.

Средний вес, приходящийся на ось вагона для данной компоновки, равна 155 кН/ось.

Все расчёты сведены в таблицу 1.

Из расчётов следует, что при небольших скоростях движения преобладает механическое сопротивление движению, а при скоростях выше 100 км/ч большее значение имеют силы сопротивления воздушной среды.

2. ОГРАНИЧЕНИЕ ПО СЦЕПЛЕНИЮ

Одним из основных критериев движения поезда является ограничение силы по сцеплению колеса с рельсом $F_{сц}$. Внешней по отношению к колесу является та сила, благодаря которой вращающийся момент тягового двигателя реализуется в виде силы тяги, сообщающей поступательное движение колесу, а вместе с ним и всему поезду. Исходя из этого следует, что при традиционной конструкции подвижного состава с ротационными тяговыми двигателями сила сопротивления движению должна быть меньше по величине, чем сила сцепления колеса с рельсом.

В реальности коэффициент сцепления рассчитать трудно, поэтому формула для каждого типа подвижного состава определяется экспериментально, например, для выбранного подвижного состава коэффициент находится по формуле [4].

$$\psi_{ксц} = \frac{25}{100 + v}, \quad (6)$$

где v – скорость движения поезда, км/ч.

Сила сцепления, приходящаяся на одну моторную ось:

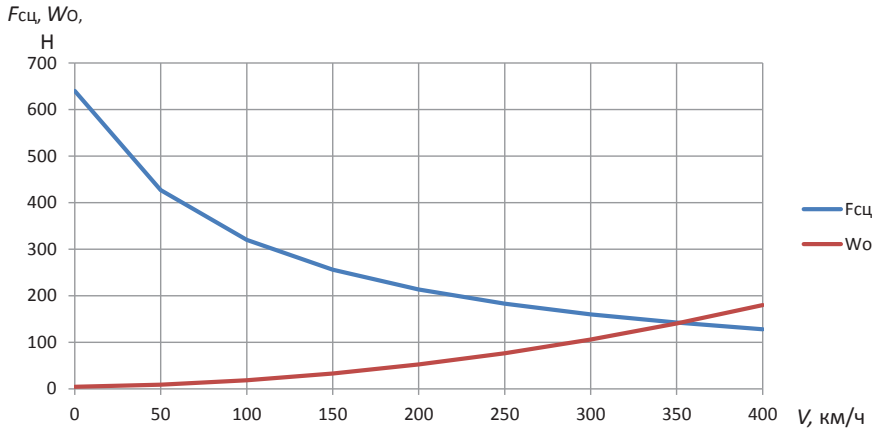


Рис. 1. Зависимости Fсц(V) и W'o(V).

$$F_{\text{сцось}} = \psi_{\text{ксц}} \cdot q_{0\text{м}}, \quad (7)$$

где $F_{\text{сцось}}$ – сила сцепления, Н.

Сила сцепления всего поезда:

$$F_{\text{с}} = F_{\text{сось}} \cdot N_{\text{ом}}, \quad (8)$$

где $N_{\text{ом}}$ – число осей с тяговым двигателем во всем поезде.

Расчёты силы сцепления колеса с рельсом в зависимости от скорости представлены в таблице 2. По данным таблиц 1 и 2 построенные на рис. 1 зависимости $F_{\text{сц}}(V)$ и $W\text{o}(V)$ приведены для удобства в размерностях [кН].

При принятой конфигурации электропоезда ограничение по сцеплению не позволит двигаться со скоростью выше 350 км/ч. Для её увеличения следует или уменьшить силу сопротивления движению, что представляется довольно сложным и требует внесения существенных изменений в конструкцию поезда, или увеличить силу сцепления. При традиционной системе колесо-рельс коэффициент сцепления колеса с рельсом увеличить невозможно; силы сцепления можно нарастить с помощью простого механического увеличения числа моторных осей (умножения мощности), однако это приведет к увеличению массы подвижного состава, что в свою очередь отрицательно скажется на динамическом воздействии на путь от высокоскоростного электропоезда [5].

3. ГИБРИДНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Для движения высокоскоростного электропоезда на скоростях, при которых сила сцепления колеса с рельсом будет ниже силы сопротивления движению и не может быть реализована сила тяги с помощью собственных вращающихся тяговых электродвигателей, предполагается использовать ЛСД. То есть придать подвижному составу двойной или гибридный движитель: тяговые электродвигатели и ЛСД.

Первичный элемент линейного двигателя, каким могут быть постоянные магниты, расположен на подвижном составе, а обмотка двигателя или вторичный элемент располагается на пути, например, между рельсами. Движение по высокоскоростной линии при наличии ЛСД будет происходить с помощью управления частотой обмоток независимо от поезда, централизованно. Сила сцепления колёс с рельсом в данном случае не играет большой роли, потому что рельсы используются

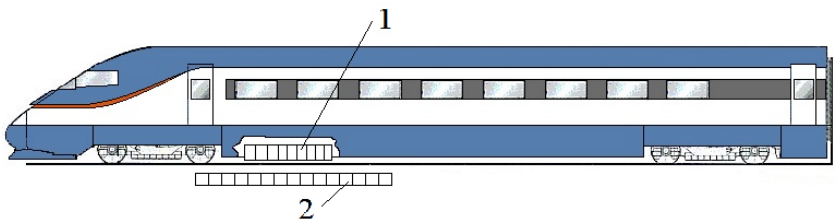


Рис. 2. Расположение первичного и вторичного элементов ЛСД на высокоскоростном электропоезде: 1 – первичная часть ЛСД, установленная на подвижном составе; 2 – вторичная часть ЛСД, установленная на полотне пути.

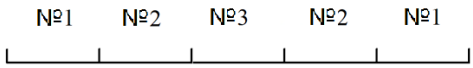


Рис. 3. Пример схемы высокоскоростной магистрали: 1 – участки разгона и торможения электропоезда от начала движения до скорости 200 км/ч; 2 – участки движения электропоездов с максимальной скоростью движения до 300–350 км/ч; 3 – участок магистрали, оборудованной ЛСД, со скоростью движения 400–450 км/ч.

только как направляющие для движения. Отсутствует и проблема токосъёма, поскольку на электропоезде установлен первичный элемент ЛСД, не требующий электропитания. Пример расположения первичной и вторичной обмоток такого двигателя показан на рис. 2.

Что касается порядка апробации гибридного движителя, то можно взять высокоскоростную магистраль и разбить её на несколько участков (рис. 3). Начальный и конечный участки (№ 1) линии служат для разгона и торможения высокоскоростного электропоезда до скорости 200 км/ч, на следующих участках (№ 2) поезд разгоняется до скорости 300–350 км/ч, на сегодняшний день это предельная коммерческая скорость эксплуатации подобных поездов в мире [6] с использованием традиционной системы колесо-рельс и тяговых вращающихся электродвигателей.

На участке № 3 поезд движется с помощью ЛСД, скорость может достигать 400–450 км/ч и выше, управление, сигнализация, централизация и блокировка происходят централизованно в диспетчерском центре без участия машиниста. На этом участке изначально на безбалластном пути предполагается установить вторичный элемент ЛСД. Так как питание первичного элемента не требуется (подключены элементы на полотне), то на столь высоких скоростях отсутствует проблема токосъёма, сцепления колеса с рельсом и система электрификации и СЦБ.

Расположение первичного элемента на подвижном составе не требует сложных изменений в конструкцию, это элементы с постоянными магнитами, которые надо установить под дном вагонов на определенной высоте (линейный синхронный двигатель позволяет иметь значительный воздушный зазор между первичными и вторичными элементами).

Применение гибридного движителя будет способствовать увеличению скорости на железнодорожной линии, в том числе на высокоскоростных магистралях, которые открываются или готовятся к эксплуатации, например, высокоскоростная магистраль VDE8 в ФРГ, Мадрид – район Галисия в Испании, вторая очередь линии TGV Est [7, 8]. У нового подвижного состава, допустим, поезда ICx, максимальная скорость движения составляет 250 км/ч [9], с применением гибридного движителя (установка первичной части ЛСД на поезде) реальным становится увеличение скорости без внесения изменений во вращающиеся тяговые двигатели. Условно движение на новых высокоскоростных магистралях можно организовать по схеме, согласно рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Necessities for future high speed rolling stock. [Электронный доступ]: http://www.uic.org/highspeed#General-definitions-of-highspeed. Доступ 02.03.2016.

2. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: Учеб. пособие в 2 томах / Киселёв И. П. и др.; под ред. И. П. Киселёва.– М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2014.– Т. 1.– 308 с.

3. Стромский П. П., Гуткин Л. В. О сопротивлении движению электропоезда для высокоскоростной специализированной магистрали // Эксплуатационные и технические параметры специализированных высокоскоростных пассажирских магистралей: Сб. науч. трудов ВНИИЖТ.– М.: Транспорт, 1989.– С. 41–46.

4. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / Под ред. Н. В. Колодяжного.– М.: Транспорт, 1976.– 416 с.

5. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: Учеб. пособие в 2 томах / Киселёв И. П. и др.; под редакцией И. П. Киселёва.– М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2014.– Т. 2.– 372 с.

6. Киселёв И. П., Сотников Е. А., Суходеев В. С. Высокоскоростные железные дороги.– СПб.: 2001.– 60 с.

7. Железные дороги. Проекты. Компании // Железные дороги мира.– 2016.– № 1.– С. 2.

8. Железные дороги. Проекты. Компании // Железные дороги мира.– 2016.– № 2.– С. 2.

9. Поезд ICx: на пути к опытной эксплуатации // Железные дороги мира.– 2015.– № 1.– С. 47–50.

Координаты авторов: **Глущенко М. Д.** – mr.gluschenko@mail.ru,
Горюнов И. О. – ivan.goryunov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 02.03.2016, принята к публикации 20.05.2016.

HYBRID PROPULSION UNIT

Glushchenko, Mikhail D., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Goryunov, Ivan O., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The authors presented a conceptual idea of a high-speed mainline with a maximum speed of 400–450 km/h. The use of rotary engines requires more energy at high speeds, there are difficulties with current collection, wheel-rail adhesion, etc. At the same time, the use of a linear traction motor at low speeds is not justified from an economic point of view, but efficient at high speed in terms of operation. In this regard, an option of a combined or hybrid traction propulsion unit is offered, in which the positive aspects of previous models interfit.

Keywords: transport, high-speed trains, high-speed lines, linear synchronous motor, asynchronous traction electric motor, resistance to motion, wheel-rail adhesion force, hybrid propulsion unit, conceptual idea.

Background. *Today, in the world a large number of high-speed mainlines is in operation, the maximum speed at which is 250–350 km/h [1]. To achieve high speed with conventional wheel-rail system with a classical arrangement of traction motors on the rolling stock (from a motor shaft on a wheel set axle via a gear) it is necessary to solve several problems. Such as for example the problem of wheel-rail adhesion, current collection, electric train power.*

Adhesion of wheel sets with rail is one of the limitations of traction characteristics of the rolling stock, and on the basis of physical processes with increasing speed adhesion coefficient reduces, and this reduces traction. Unconventional systems, especially on the rolling stock with linear synchronous motors (hereinafter – LSM), deprived of these issues, traction force is transmitted here not through the wheel-rail, but due to interaction of primary and secondary elements, arranged on the rolling stock and tracks. But such a design has a flaw – the need for resettlement throughout the track of one of the parts of the linear traction motor.

Current collection problem comes to the fore with increasing speed over 200 km/h, where we can speak about probability of arcing between the runner and the current wires due to vibration and a small detachment of the runners from the wire, increasing aerodynamic effects, etc. [2]. Electric trains with linear synchronous motor do not have current collection problems in principle, since electric power is supplied to the stator, located directly on the railway bed. However, the use of LSM results in a significant increase in the cost of track structure and rolling stock.

An alternative is offered: a double or hybrid traction propulsion unit, i.e. in areas with relatively low speed (up to 300 km/h) rotating traction motors may be used, and in areas with a speed higher than 300 km/h linear motors may be used.

Objective. *The objective of the authors is to consider a hybrid propulsion unit, which can be used on electric trains.*

Methods. *The authors use general scientific and engineering methods, simulation, comparative analysis, mathematical calculations.*

Results.

1. Calculation of motion resistance force

When substantiating the alleged change it is necessary to calculate motion resistance forces and rail adhesion forces. As an example, eight-car train was taken, which included four motor and four trailing cars with a load of 160 and 150 kN / axis on each. For this version with the formula MH + T + M + T + T + M + T + MH (where M – motor car, T – trailing car, MH – motor head car) motion resistance force can be calculated as follows.

The resistance to motion is dependent on the design and the technical condition of the rolling stock, track superstructure, profile and plan of the track, on the train speed, as well as wind speed and direction. It is due to the presence of friction in nodes of rolling stock, wheel friction on the rails, deformation of track and rolling stock elements, air resistance, as well as the nature of gravity on slopes. The resistance to motion is conventionally divided into two main components.

The first is called main resistance to motion W_m, it is resistance to motion of rolling stock of this type on a straight horizontal open section of the track at any speed (including when v = 0). This component is caused by internal friction in nodes of the rolling stock, resistance arising in interaction of the rolling stock and tracks, as well as air resistance (when there is no wind). [3]

The second component is called additional resistance to motion W_A, it is derived from slopes and curves. It is believed that additional resistance is independent on speed and is determined only by the plan and profile of the track. Next, the calculation is carried out without taking into account the effect of additional resistance forces.

The main resistance to motion is calculated as the sum of two components: W_{mech} – mechanical resistance to motion and W_{air} – resistance of air ambient. Specific resistance to motion of the entire train w'_m is calculated as the sum of specific forces [3].

$$w'_o = w'_{mech} + w'_{air}, \quad (1)$$

where w'_m is main specific resistance to motion, $\frac{\text{N}}{\text{kN}}$;

w'_{mech} is mechanical specific resistance to motion, $\frac{\text{N}}{\text{kN}}$;

w'_{air} is specific air resistance, $\frac{\text{N}}{\text{kN}}$.

Specific mechanical resistance to motion:

$$w'_{\text{mech}} = 0,45 + \frac{7 + 0,12 \cdot V}{q_0}, \quad (2)$$

where V is train speed, km/h;

q_0 is weight per axis of a wheel set, kN/axis.

Specific air resistance:

$$w'_{\text{air}} = \frac{C_x \cdot \Omega \cdot \rho \cdot V^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot q_{0\text{av}}}, \quad (3)$$

where C_x is coefficient of air resistance of a train;

Ω is calculated mid-section area, 10,7 m^2;

ρ is density of ambient air, 0,125 $\frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$;

Table 1

Main and specific motion resistance forces

v, km/h	0	50	100	150	200	250	300	350	400
w′mech, N/kN	0,90	1,29	1,68	2,06	2,45	2,84	3,22	3,61	4,00
w′air, N/kN	0	0,50	2,01	4,53	8,05	12,58	18,12	24,66	32,21
w′a/w′m,	0	0,39	1,20	2,20	3,29	4,43	5,62	6,83	8,05
w′m, N/kN	0,90	1,79	3,69	6,59	10,50	15,42	21,34	28,27	36,20
Wm, N	4472	8888	18296	32696	52088	76472	105848	140216	179576
Wm, kN	4	9	18	33	52	76	106	140	180

Table 2

Adhesion force of the train with four motor and four trailing cars

v, km/h	0	50	100	150	200	250	300	350	400
$_{cad}$	0,25	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05
F_{adaxis}, N	4000	2670	2000	1600	1330	1140	1000	890	800
F_{ad}, N	640000	426666	320000	256000	213333	182857	160000	142222	128000
F_{adaxis}, kN	640	427	320	256	213	183	160	142	128

q_{0av} is average weight per axis of a wheel set, kN/axis.

The coefficient of air resistance of the train [3].

$$C_X = C_0 + C_a \cdot (N - 1), \quad (4)$$

where C_0 is coefficient of air resistance of a conditional single car, 0,55;

C_a is coefficient of air resistance of a car in the middle of the train, 0,21;

N is a number of cars in the train.

Weight per axis of motor and trailing cars is different, so the calculations use the average value q_{0av}:

$$q_{0av} = \frac{q_{0m} \cdot N_{cm} + q_{0t} \cdot N_{ct}}{N_{cm} + N_{ct}}, \quad (5)$$

where q_{0m}, q_{0t} is weight per axis of a wheel set of a motor and trailing car respectively, kN/axis;

N_{cm}, N_{ct} is a number of motor and trailing cars.

Average weight per axle of a car for this arrangement is 155 kN / axis.

All calculations are summarized in Table 1.

Calculations show that at low speeds mechanical resistance to motion prevails, and at speeds above 100 km / h air resistance forces are more significant.

2. Limitation of adhesion

One of the main criteria of train movement is a restriction on wheel-rail adhesion forces F_{ad}. External to the wheel is a force, thanks to which the torque of the traction motor is realized in the form of traction, transmitting the forward movement of the wheel, and with it the entire train. From this it follows that for conventional design of the rolling stock with rotary traction motors motion resistance force should be smaller in magnitude than wheel-rail adhesion force.

In reality it is difficult to calculate the coefficient of adhesion, therefore the formula for each type of rolling stock is determined experimentally, for example, for the selected rolling stock the coefficient is determined by [4].

$$\psi_{cad} = \frac{25}{100 + v}, \quad (6)$$

where v is train speed, km/h.

Adhesion force per one motor axis:

$$F_{adaxis} = \psi_{cad} \cdot q_{0m}, \quad (7)$$

where F_{adaxis} is adhesion force, N.

Adhesion force of the entire train:

$$F_{ad} = F_{adaxis} \cdot N_{am}, \quad (8)$$

where N_{am} is a number of axes with traction motors in the entire train.

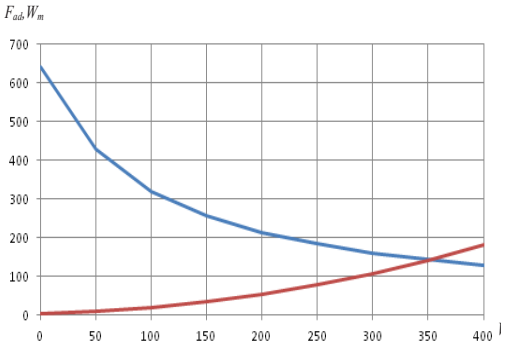
Calculations of wheel-rail adhesion force depending on speed are shown in Table 2. According to tables 1 and 2 built in Pic. 1 dependences $F_{ad}(V)$ and Wm(V) are shown for convenience in dimensions [kN].

With the adopted configuration of the electric train adhesion restriction does not allow moving at speeds above 350 km/h. To increase it, it is necessary either to decrease motion resistance force, which seems quite difficult and requires significant changes in the design of the train, or to increase adhesion force. In the traditional system of wheel-rail wheel-rail adhesion coefficient cannot be enlarged; adhesion forces can be extended by a simple mechanical increase in the number of motor axes (capacity multiplication), but this would increase the weight of rolling stock, which in turn will adversely affect the dynamic action on the track from the high-speed electric train [5].

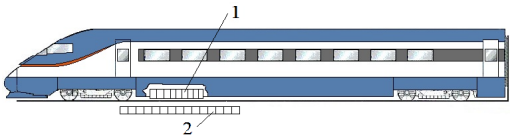
3.Hybrid propulsion unit

For the movement of high-speed electric trains at speeds at which wheel-rail adhesion force be lower than motion resistance force and traction force cannot be implemented with the help of its own rotating traction motors, LSM will be used. That is, to give the rolling stock double or hybrid propulsion unit: traction motors and LSM.

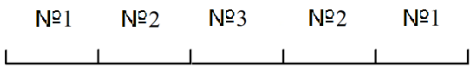
The primary element of the linear motor, what kind of some permanent magnets can be, is located on the rolling stock, and the motor winding or the secondary element is arranged on the track, for example, between the rails. Movement on high-speed lines in the presence of LSM will be with the use of control of windings' frequency regardless of the train, centrally. Wheel-rail adhesion force in this case does not play a big role, because the rails are used only as a guide for movement. There is also no problem of current



Pic. 1. Dependencies F_{ad}(V) and W m(V).



Pic. 2. Location of primary and secondary elements of LSM on the high-speed electric train: 1 – primary part of LSM mounted on the rolling stock; 2 – secondary part of LSM, mounted on the railway bed.



Pic. 3. Example of a high-speed mainline: 1 – areas of acceleration and deceleration of the electric train from beginning of movement to a speed of 200 km/h; 2 – areas of movement of electric trains with a maximum speed of up to 300–350 km/h; 3 – area of the mainline equipped with LSM, with speed of 400–450 km/h.

collection, since on the electric train a primary element of LSM is set, which does not require power supply. Example of location of primary and secondary windings of such a motor is shown in Pic. 2.

As for the order of testing of the hybrid propulsion unit, it is possible to take a high-speed mainline and divide it into several sections (Pic. 3). Start and end sections (№ 1) of the line are used for acceleration and deceleration of high-speed electric trains to a speed of 200 km/h, in the following areas (№ 2) the train accelerates to a speed of 300–350 km/h, to date, it is the marginal commercial rate of exploitation of such trains in the world [6] using the traditional wheel-rail system and rotating traction motors.

On a site № 3 the train moves with the help of LSM, speed can reach 400–450 km/h and above, control, signaling, centralization and blocking occur centrally in the control center without a driver. On this site natively on ballastless track secondary element of LSM will be installed. Since supply of primary element is not required (connected elements on the railway bed), then at such high speeds there is no problem of current collection, wheel-rail adhesion and the system of electrification and signaling.

Location of the primary element on the rolling stock does not require complex modifications, these are elements with permanent magnets that must be installed under the car bottom at a certain height (linear synchronous motor allows to have a significant air gap between the primary and secondary elements).

Conclusion. *The use of a hybrid propulsion unit will increase speed on the railway line, including high-speed mainlines that are in operation or are being prepared for operation, for example, a high-speed mainline VDE8 in Germany, Madrid – region of Galicia in Spain, the second phase of the line TGV Est [7, 8]. The new rolling stock, for example, trains ICx, have a maximum speed of 250 km/h [9], with the use of a hybrid propulsion unit (installation of the primary section of LSM on the train) increase in speed without any change in rotating traction motors becomes real. Relatively traffic on new high-speed mainlines can be arranged according to the scheme, as shown in Pic. 3.*

REFERENCES

1. Necessities for future high speed rolling stock. [Electronic access]: http://www.uic.org/highspeed#General-definitions-of-highspeed, Last accessed 02.03.2016.

2. High-speed rail transport. General Course: Tutorial in 2 volumes [*Vysokoskorostnoj zheleznodorozhnyj transport. Obshhij kurs: Uchebnoe posobie v 2 tomah*]. Kiselev, I. P. [*et al*]; ed. by Kiselev I. P. Moscow, Training Methodological Center for Education in rail transport, 2014, Vol. 1, 308 p.

3. On resistance to motion of electric trains for high-speed specialized line [*O soprotivlenii dvizheniju jelektropoezda dlja vysokoskorostnoj specializirovannoj magistrali*]. Stromsky, P. P., Gutkin, L. V. // In: *Performance and technical parameters of the specialized high-speed passenger mainlines. Proceedings of VNIIZhT*. Moscow, Transport publ., 1989, pp. 41–46.

4. High-speed passenger traffic (on railways) [*Vysokoskorostnoe passazhirskoe dvizhenie (na zheleznyh dorogah)*]. Ed. by N. V. Kolodyazhniy. Moscow, Transport publ., 1976, 416 p.

5. High-speed rail transport. General Course: Tutorial in 2 volumes [*Vysokoskorostnoj zheleznodorozhnyj transport. Obshhij kurs: Uchebnoe posobie v 2 tomah*]. Kiselev, I. P. [*et al*]; ed. by Kiselev I. P. Moscow, Training Methodological Center for Education in rail transport, 2014, Vol. 2, 372 p.

6. Kiselev, I. P., Sotnikov, E. A., Sukhodeev, V. S. High-speed railways [*Vysokoskorostnye zheleznye dorogi*]. St. Petersburg, Petersburg State Transport University,2001, 60 p.

7. Railways. Projects. Companies [*Zheleznye dorogi. Proekty. Kompanii*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2016, Iss. 1, p. 2.

8. Railways. Projects. Companies [*Zheleznye dorogi. Proekty. Kompanii*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2016, Iss. 2, p. 2.

9. The train ICx: on the way to trial operation [*Poezd ICx: na puti k opytnoj ekspluatacii*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2015, Iss. 1, pp. 47–50.

Information about the authors:
Glushchenko, Mikhail D.– D.Sc.(Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, mr.gluschenko@mail.ru.
Goryunov, Ivan O.– Ph.D. student of the department of Electric Trains and Locomotives of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, ivan.goryunov@yandex.ru.

Article received 02.03.2016, accepted 20.05.2016.

УДК 621.315.66

Комплекс для ремонта и восстановления контактной сети

Александр ШУБИН
Alexander A. SHUBIN

Павел ВИТЧУК
Pavel V. VITCHUK

Шубин Александр Анатольевич *– кандидат технических наук, заведующий кафедрой Калужского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Калуга, Россия.*
Витчук Павел Владимирович *– кандидат технических наук, доцент Калужского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Калуга, Россия.*

System for Maintenance and Recovery of Contact Network
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 85)

Проведён анализ возможности использования винтовых свай в качестве основания опор контактной сети железной дороги. Обоснована эффективность их применения. Предложен многофункциональный комплекс для установки опор контактной сети. Представлен элемент программно-аппаратной системы стабилизации и защиты комплекса от опрокидывания.

Ключевые слова: винтовые сваи, железнодорожный комплекс, контактная сеть, опора, ремонтные работы, строительство, устойчивость.

На электрической тяге осуществляется более 50% всех грузовых перевозок и примерно 77% пригородных пассажирских перевозок в стране [1, 2 и др.]. Этот факт, а также достаточно высокая степень изношенности существующей контактной сети (около 27% [3]) обуславливают актуальность разработки высокопроизводительных многофункциональных железнодорожных комплексов, предназначенных как для строительства новых электрифицированных участков, так и обслуживания, ремонта, поддержания в работоспособном состоянии существующих линий.

Неотъемлемым элементом электрифицированной железной дороги является ее контактная сеть, предназначенная для передачи электроэнергии с тяговых подстанций на электроподвижной состав. Основными элементами сети служат опоры и опорные конструкции, возводимые на фундаментах или забивных железобетонных сваях [4].

При возведении опор на фундаментах нужна трудоёмкая и длительная подготовка, а на забивных сваях – специальная строительная техника для погружения свай

Таблица 1

Сравнительная характеристика винтовых и железобетонных свай

Показатель	Винтовые сваи [7]	Сваи для вибропогружения типа ТСА [8]
Глубина завинчивания, м	4,5	4,5
Масса рабочего оборудования, т	1,5	2,0
Несущая способность F_d, кН	72,6	79
Вагонная норма, шт.	40	16(24)
Вынуждающая сила выбропогружателя F_o^T, кН	–	10
Максимальный крутящий момент, кН·м	50	–
Скорость вибропогружения, см/мин	–	15
Время погружения, мин	5	20
Сезон работ	в любое время года	летнее время
Стоимость сваи, руб.	800	2000
Срок службы, лет	100	50

[3]. Это требует закрытие перегона на значительный период времени, что, несомненно, является негативным фактором при электрификации существующих участков или ликвидации последствий аварий и чрезвычайных ситуаций.

1.

В последние годы в промышленном и гражданском строительстве вместо традиционных бетонных фундаментов все чаще используют винтовые сваи [6]. Такая свая представляет собой стальную трубу, нижняя часть которой оснащена режущими лопастями определенной формы. Лопасть позволяет преобразовать вращательный момент в поступательное усилие во время погружения сваи, благодаря чему она как шуруп вкручивается в грунт на необходимую глубину. Лопасть также служит для распределения усилия от опоры на большую площадь грунта и препятствует вырыванию сваи силами морозного пучения.

Сравнительная характеристика винтовых свай [7] и железобетонных свай для вибропогружения типа ТСА [8] (трехлучевая с заострением подземной части и анкерным креплением опор) дана в таблице 1. Несложный анализ ее данных показывает, что существенными преимуществами винтовых свай по сравнению с железобетонными забивными являются скорость монтажа и возможность заворачивания в плотный глубинный грунт. Кроме того, показатели их оперативности, надежности (долговечности) превосходят аналогичные показатели свай типа ТСА.

Поэтому применение винтовых свай в качестве опор контактной сети на железной дороге может быть весьма перспективным. Однако это потребует разработки специальных устройств и машин, автоматизирующих процесс завинчивания. К примеру, в промышленном и гражданском строительстве для монтажа винтовых свай используют различные бурильно-сваебойные машины [9, 10], в том числе БМ-811, УБМ-85 [11] и др.

Помимо непосредственного погружения свай рациональной видится автоматизация всего процесса текущего содержания, ремонта и восстановления контактной сети. Известно, что при этом выполняют следующие виды работ [3–5]: замена изношенных опор контактной сети; замена отказавших опор и свай, на которые монтируют опоры; замена изношенного контактного провода; замена несущего троса, арматуры, усиливающего провода в случае их повреждения. Для реализации указанного комплекса работ (установка свай, замена опор, раскатка контактного провода) предлагается разработать многофункциональный железнодорожный комплекс (рис.1).

2.

Предлагаемый комплекс (рис. 1) состоит из двух модулей: модернизированной автомотрисы АКС-01 (7) и несамоходной платформы (4) на базе грузовой четырехосной платформы 13–401 грузоподъемностью 63 тонны.

Автомотриса имеет раму, которая опирается на тележки. Снизу к раме при помо-

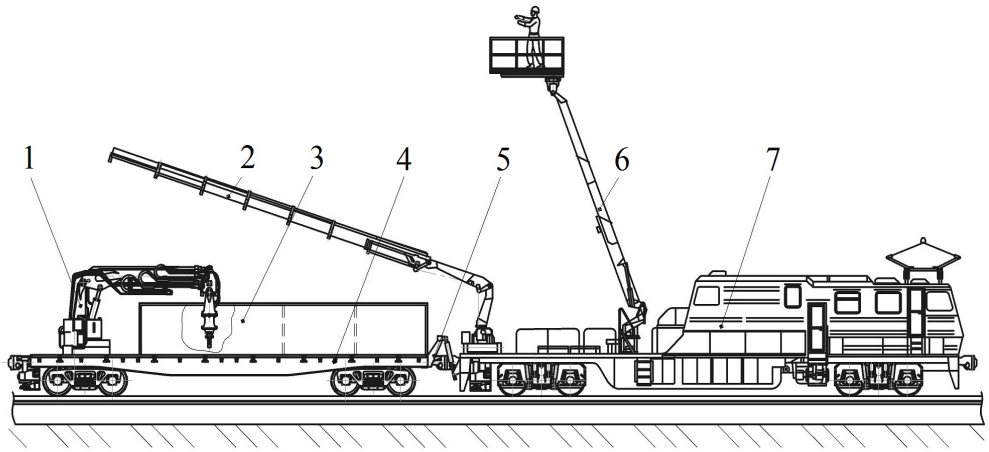


Рис. 1. Многофункциональный комплекс: 1 – универсальная бурильная машина УБМ-85; 2 – манипулятор TIRRE; 3 – открытый контейнер; 4 – несамоходная платформа; 5 – аутригеры; 6 – подъемно-поворотная площадка; 7 – автомотриса АКС-01.

щи силовых конструкций подвешены: тяговый электродвигатель привода тележки; аутригеры; с двух концов рамы – путеочистители; трубопроводы, электро-, пневмо- и гидрооборудование. На одном конце рамы оборудована грузовая платформа, где размещены манипулятор TIRRE (2) для монтажа опор контактной сети и подъёмно-поворотная площадка (6). Манипулятор нужен для обслуживания грузовой платформы комплекса и подачи расходных материалов в зону работы. Под пассажирской кабиной в специальном отсеке рамы автомотрисы между ее несущими поясами установлен дизель-генератор, предназначенный для энергообеспечения тягового двигателя ЭД-118АУ2 и питания всех систем АКС-01 переменным током. На крыше кузова размещены токоприемник и антенна системы безопасности. Под рамой находятся аутригеры для придания устойчивости раме автомотрисы и разгрузки рессор при работе манипулятора.

На несамоходной платформе (4) расположены универсальная бурильная машина УБМ-85 (1) для завинчивания свай под опоры контактной сети и открытый контейнер для транспортировки опор (3). На машине предусмотрено место для крепления сменного оборудования, что позволяет производить быструю смену рабочего органа в соответствии с выполняемой операцией; например, при замене опор контактной сети можно подвешивать буровое устройство, а при замене шпал на рельсо-шпальной решётке – оборудование для замены и подбивки шпал.

Комплекс позволит выполнять не только работы по замене шпал, но и доставку шпал и расходных материалов к месту проведения технологических операций, подачу шпал, расходных материалов в зону рабочего органа, производящего все необходимые манипуляции. Для этого вместо несамоходной платформы (4) к автомотрисе следует прицепить несамоходный модуль для перевозки шпал и расходных материалов, на которой будет установлен кран-манипулятор без аутригеров для разгрузки новых шпал и погрузки старых.

3.

При проектировании комплекса одной из основных решаемых проблем является стабилизация и сохранение устойчивости при работе манипулятора. Установленные в зоне УБМ-85 аутригеры (5) и жесткая блокировка платформы и автомотрисы нужны для увеличения опорного контура и повышения устойчивости комплекса при монтаже свай. Согласно [12] краны-манипуляторы должны быть устойчивы в рабочем состоянии, недопустимо и перемещение груза, находящегося в неустойчивом положении.

Устойчивость крано-манипуляторных установок проверяют расчетом, в ходе которого исходя из опорного контура, нагрузок и массовых характеристик элементов определяют опрокидывающий

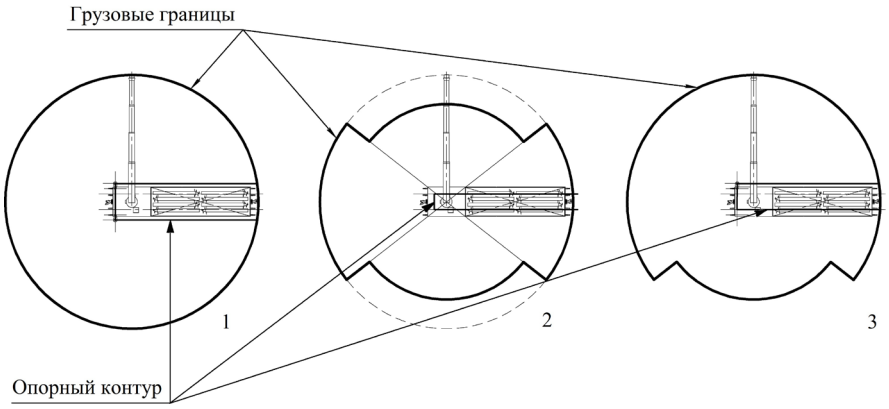


Рис. 2. Варианты установки опор: 1 – установлены опоры с обеих сторон; 2 – опоры не установлены; 3 – опора установлены только с рабочей стороны.

и восстанавливающий моменты. Восстанавливающий должен быть больше опрокидывающего не менее чем на 15%. Если это условие не выполняется, то необходимо изменение опорного контура (установка аутригеров) или ограничение по грузовым нагрузкам. В рассматриваемом комплексе на автомотрису АКС-01 при работе манипулятора TIRRE (2) действует опрокидывающий момент от веса стрелы манипулятора и груза на её конце, а восстанавливающим моментом становится вес самой автомотрисы.

В современных автомобильных кранманипуляторных установках используют электронные системы стабилизации и контроля устойчивости [13]. При помощи системы стабилизации блок управления реализует ограничение грузового момента исходя из текущего опорного контура (рис. 2). После установки крана на опоры система контроля устойчивости определяет грузовые границы (случай 1). Вследствие этого манипулятор может работать с неполностью выдвинутыми (случай 3) или вообще не выдвинутыми (случай 2) балками опор.

Максимальная грузоподъёмность крано-манипуляторной установки может быть реализована только тогда, когда транспортное средство установлено на полностью выдвинутые аутригеры. Если это невозможно, например, из-за наличия откоса, траншеи или близко расположенного второго пути, то крано-манипуляторная установка все равно функционирует, но на меньшей грузоподъёмности, даже если опоры вообще отсутствуют. Изменение границ опорного контура следует производить только в транспортном положении, чтобы избежать опрокидывания платформы.

Аналогичные системы могут быть использованы и на манипуляторах, установленных на железнодорожных платформах. Предлагается проводить анализ устойчивости в реальном времени в зависимости от показаний датчиков нагрузок на оборудовании с помощью разработанной в среде LabVIEW программы, фрагмент лицевой панели которой представлен на рис. 3. Входными данными являются: текущие значения массы автомотрисы и массы стрелы, файл с таблицей соответствия вылетов предельной грузоподъемности, нагрузки, вылет стрелы, угол наклона и угол поворота стрелы.

Программа получает информацию с датчиков, установленных на автомотрисе (вес элементов, вылет стрелы, вес груза на стреле, наличие опор и их вылет), проводит расчёт устойчивости, определяет грузовые границы и в случае, если они превышены, передает сигнал предупреждения на пульт оператора и ограничивает работу манипулятора. Процесс идет в режиме реального времени, информация с датчиков постоянно анализируется, что сводит к нулю вероятность опрокидывания при нарушении оператором грузовых пределов. Программа способна уменьшить время подготовки манипулятора к работе за счет возможности проведения операций с легкими грузами на небольших расстояниях (в пределах рассчитанных грузовых границ) без установки опор.

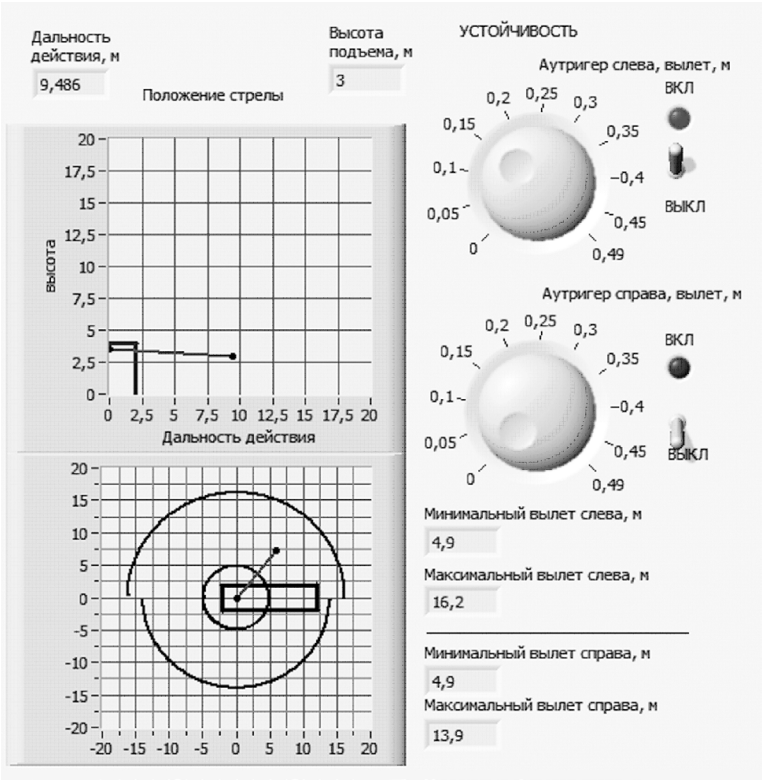


Рис. 3. Фрагмент лицевой панели прибора электронной системы стабилизации.

ВЫВОДЫ

Применение многофункционального комплекса позволит сократить время закрытия перегона и сократить количество путевой техники при выполнении необходимых работ, особенно связанных с устранением последствий аварии или крушения подвижного состава.

Оперативность и мобильность предлагаемого комплекса, многофункциональное оборудование, установленное на автомотрисе, обеспечивают не только ремонтно-строительные, но и инспекционно-диагностические работы, текущий осмотр контактной сети, а при случае и ремонт рельсо-шпальной решётки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вопросы государственного регулирования тарифов на железнодорожном транспорте: Аналитический сборник / Сост. и науч. ред. В. И. Братцев [Электронный ресурс]: http://web.archive.org/web/20120311224054/http://council.gov.ru/files/journalsf/number/20061109155409.pdf. Доступ 06.01.2016.

2. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики / Основные показатели транспорта. [Электронный ресурс]: http://www.gks.ru/bgd/regl/b09_13/IssWWW.exe/Stg/html4/17–01.htm. Доступ 06.01.2016.

3. Ерохин Е. А. Монтаж и капитальный ремонт контактной сети и воздушных линий.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2007.– 220 с.

4. Борц Ю. В., Чекулаев В. Е. Контактная сеть.– М.: Транспорт, 2001.– 247 с.

5. Михеев В. П. Контактные сети и линии электропередачи.– М.: Маршрут, 2003.– 416 с.

6. Железков В. Н. Винтовые сваи.– СПб.: Прагма, 2004.– 150 с.

7. Официальный сайт компании КСАМет. [Электронный ресурс]: http://ksamet.ru. Доступ 06.01.2016.

8. ГОСТ Р 54272–2010 «Фундаменты для опор контактной сети железных дорог. Технические условия».– М.: Стандартинформ, 2011.– 24 с.

9. Суровов А. В., Левинзон А. Л. Машины для свайных работ / Под ред. С. П. Епифанова и др.– М.: Стройиздат, 1982.– 150 с.

10. Волков Д. П., Крикун В. Я. Строительные машины и средства малой механизации.– М.: АСВ, 2002.– 480 с.

11. Универсальная бурильная машина УБМ-85. [Электронный ресурс]: http://sdm-zavod.ru/products/manipulyatory-dlya-bureniya-i-pogruzheniya-vintovyh-svay/ubm-85. Дотуп 06.01.2016.

12. ПБ 10–257–98 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов».– М.: НПО ОБТ, 2003.– 89 с.

13. Невзоров Л. А., Полосин М. Д. Краны башенные и автомобильные.– М.: Академия, 2011.– 416 с.

14. Трэвис Д., Кринг Д. LabVIEW для всех.– М.: ДМК Пресс, 2011.– 400 с.

Координаты авторов: **Шубин А. А.**– Shubin55@mail.ru, **Витчук П. В.**– zzzVentor@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 18.01.2016, принята к публикации 19.05.2016.

SYSTEM FOR MAINTENANCE AND RECOVERY OF CONTACT NETWORK

Shubin, Alexander A., *Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia.*
Vitchuk, Pavel V., *Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia.*

ABSTRACT

The authors analyzed the possibility of using screw piles as the basis of supports of railway catenary system. The efficiency of their use is justified. A multifunctional complex for installation of catenary system's supports is offered. The element of software and hardware system for stabilization and overturn protection of the complex is presented.

Keywords: screw piles, railway complex, catenary system, support, repair work, construction, stability.

Background. *More than 50% of all freight traffic and about 77% of suburban passenger transportation in the country [1, 2, etc.] are carried out on electric traction. This fact, as well as a sufficiently high degree of deterioration of existing catenary system (about 27% [3]) cause the urgency of development of high-performance multi-functional railway complexes designed for construction of new electrified sections, as well as maintenance, repair, maintenance in operational condition of existing lines.*

An integral element of electrified railway is its catenary system for transmission of electric energy from traction substations on electric rolling stock. The main elements of the system are supports and support structures erected on foundations or precast piles [4].

When erecting supports on foundations a labor-intensive and lengthy preparation is required, and on precast piles – special construction equipment for piling [3]. This requires closing of a railway haul for a considerable period of time, which undoubtedly is a negative factor for electrification of existing sections or elimination of consequences of accidents and emergencies.

Objective. The objective of the authors is to consider possibility of using screw piles in the framework of catenary system supports.

Methods. *The authors use general scientific and engineering methods, simulation, comparative analysis.*

Results.

1.

In recent years, in industrial and civil construction instead of traditional concrete foundations screw piles are used more often [6]. This pile is a steel pipe, the lower part of which is equipped with cutting blades of a specific shape. The blade can convert a torque into linear force during pile penetration, due to which it as a screw is screwed into the ground to the required depth. The blade also serves to distribute the force of the support on a large ground area and prevents tearing of the pile through frost heaving forces.

Comparative characteristics of screw piles [7] and reinforced concrete piles for vibropiling type TCA [8] (three-fold, with sharpening of an underground part and anchorage of supports) are given in Table 1. A simple analysis of its data indicates that significant advantages of screw piles in comparison with precast piles are speed of installation and ability to screw into tight deep soil. In addition, indicators of their efficiency, reliability (longevity) exceed similar indicators of TCA type piles.

Therefore, the use of screw piles as supports of catenary system on the railway can be very promising. However, this will require development of special devices and machines that automate screwing process. For example, in industrial and civil construction for installation of screw piles different boring and pile-driving machines are used [9, 10], including BM-811, UBM-85 [11], and others.

In addition to direct piling automation of the entire process of current maintenance, repair and restoration of catenary system seems rational. It is known that at the same time the following types of operations are carried out [3–5]: replacement of worn-out supports of catenary system; replacement of failed supports and piles, on which the supports are mounted; replacement of worn contact wire; replacement of suspension cable, fittings, reinforcing wire in case of damage. To implement this complex of operations (installation of piles, replacement of supports, reeling out of the contact wire) it is offered to develop a multifunctional railway complex (Pic. 1)

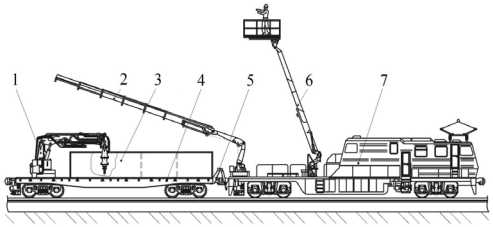
2.

The proposed complex (Pic. 1) consists of two modules: a modernized railcar AKS-01 (7) and non-self-propelled platform (4) on the basis of the cargo four-axis platform 13–401 with carrying capacity of 63 tons.

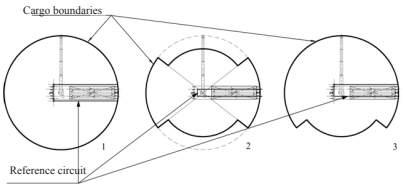
Table 1

Comparative characteristics of screw and reinforced concrete piles

Indicator	Screw piles [7]	Piles for vibropiling TCA type [8]
Depth of screwing, m	4,5	4,5
Weight of working equipment, t	1,5	2,0
Bearing capacity F_d, kN	72,6	79
Car norm, pcs.	40	16(24)
Driving force of vibratory pile-driver F_o^T,kN	–	10
Maximum torque, kN · m	50	–
Speed of vibro pile-driving, cm/min	–	15
Time of pile-driving, min	5	20
Season of works	Any time of a year	Summer season
Cost of pile, rub.	800	2000
Service life, years	100	50



Pic. 1. Multifunctional complex: 1 – universal boring machine UBM 85; 2 – manipulator TIRRE; 3 – open container; 4 – non-self-propelled platform; 5 – outriggers; 6 – lifting and rotating platform; 7 – railcar AKS-01.



Pic. 2. Options for installation of supports: 1 – supports are installed on both sides; 2 –supports are not installed; 3 – supports are installed only on the working side.

The railcar has a frame that rests on bogies. From below to the frame using power structures are suspended: traction electric motor of bogie's drive; outriggers; from two ends of the frame – track cleaners; pipe lines, electrical, pneumatic and hydraulic equipment. At one end of the frame a cargo platform is equipped, where manipulating equipment TIRRE (2) for installation of catenary system supports and lifting and rotating platform (6) are mounted. The manipulator is needed to serve the cargo platform of the complex and to supply consumables in the work zone. Under the passenger cabin in a special unit of the frame of the railcar between its carrying belts a diesel generator is installed for power supply of the traction motor ED-118AU2 and supply all AKC-01 systems with AC. On the roof of the body current collector and an antenna of safety system are placed. Under the frame there are outriggers to stabilize the railcar's frame and to unload springs while the manipulator is working.

On non- self-propelled platform (4) are located a universal drilling machine UBM-85 (1) for screwing piles for catenary system's supports and an open container to transport supports (3). On the machine a place is designed for fastening interchangeable equipment, that allows a quick change of the working body in accordance with the operation performed; for example, when replacing supports of catenary system it is possible to suspend drilling equipment, and when replacing sleepers on the rail-sleeper grid – equipment for replacement and tamping of sleepers.

The complex allows to carry out not only work on replacement of sleepers, but also delivery of sleepers and supplies to the place of technological operations, supply of sleepers and consumables in the area of the working body, producing all the necessary manipulations. To do this, instead of self-propelled platform (4) to the railcar non-propelled module to transport sleepers and supplies should be fastened, on which an articulated crane without outriggers will be installed for unloading of new sleepers and loading of old ones.

3.

When designing the complex, one of the main problems to be solved is stabilization and preservation of stability in the work of the manipulator. Installed in UBM-85 zone outriggers (5) and a rigid blocking of the platform and the railcar are required to increase the reference circuit and improve stability of the complex when mounting piles. According to [12] articulated cranes should be stable in operation, it is unacceptable to replace cargo which is in an unstable position.

Stability of articulated crane systems is checked through the calculation, in which on the basis of the reference circuit, load and mass characteristics of the elements are defined overturning and stabilizing moments. Stabilizing moment must be greater than the overturning by at least 15%. If this condition is not satisfied, then it is necessary to change the reference circuit (installation of outriggers) or limit on cargo loads. In this complex the railcar AKS-01 when the manipulator TIRRE (2) operates is affected by the overturning moment from the weight of the boom and cargo on its end, and stabilizing moment is the weight of the railcar itself.

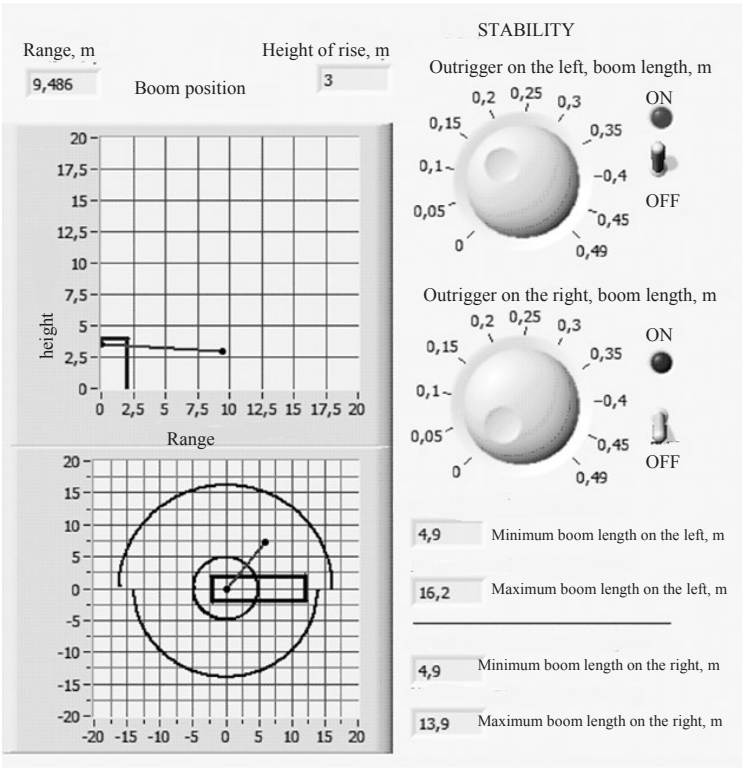
In modern automobile crane-manipulator installations electronic stabilization systems of stability and control are used [13]. With the stabilization system the control unit implements load moment limitation based on the current reference circuit (Pic. 2). After installing the crane on supports the stability control system defines cargo boundaries (case 1). As a result, the manipulator can operate with not fully forward based (case 3) or not forward based (case 2) support beams.

Maximum carrying capacity of crane-manipulator can be realized only when the vehicle is installed on fully forward based outriggers. If it is impossible, for example due to slope, trench or closely located second track, then the crane-manipulator is still functioning, but at a lower carrying capacity, even supports are absent at all. Changing the reference circuit boundaries should be carried out only in the transport position, to avoid overturn of the platform.

Similar systems can be used on manipulators mounted on railway platforms. It is proposed to analyze stability in real-time depending on indications of load sensors on the equipment using software developed in the environment LabVIEW, a part of the front panel of which is shown in Pic. 3. The input data are current values of the mass of railcars and the mass of the boom group, file with the compliance table of ultimate carrying capacity, load, boom length, angle of slope and rotation angle of the boom.

The program receives information from sensors mounted on the railcar (weight of elements, boom length, weight of load on the boom, availability of supports and their length), calculates stability, determines cargo boundaries and if they are exceeded, transmits a warning signal to the operator panel and limits the manipulator's operation. The process is in real time, information from sensors is constantly analyzed, that nullifies the chance of overturn in violation of freight limits by the operator. The program is able to reduce the time of preparation of the manipulator to work due to the possibility of carrying out operations with light loads over short distances (within the calculated freight boundaries) without installing supports.

Conclusion. *The use of a multifunctional complex will reduce the time for closing of a railway haul and*



Pic. 3. Part of the front panel of the device of electronic stabilization system.

reduce the amount of track equipment in carrying out the necessary work, especially related to elimination of consequences of accidents or crash of rolling stock.

Efficiency and mobility of the proposed complex, multifunctional equipment installed on the railcar, provide not only repair and construction, but also inspection and diagnostic work, current inspection of a catenary system, and if necessary repair of rail-sleeper grid.

REFERENCES

1. Issues of state regulation of tariffs for railway transport: Analytical compilation [*Voprosy gosudarstvennogo regulirovanija tarifov na zheleznodorozhnom transporte: Analiticheskij sbornik*]. Comp. and scientific. ed. by V. I. Brattsev [electronic source]: http://web.archive.org/web/20120311224054/http://council.gov.ru/files/journalsf/number/20061109155409.pdf. Last accessed 06.01.2016.

2. Official website of the Federal Service of State Statistics / Main transport indicators. [Electronic source]: http://www.gks.ru/bgd/regl/b09_13/IssWWW.exe/Stg/html4/17–01.htm. Last accessed 06.01.2016.

3. Erokhin, E. A. Installation and overhaul of catenary system and aerial circuits [*Montazh i kapital'nyj remont kontaktnoj seti i vozdushnyh lini*]. Moscow, TMC on education on railway transport, 2007, 220 p.

4. Bortz, Yu. V., Chekulaev, V. E. Catenary system [*Kontaktnaja set'*]. Moscow, Transport publ., 2001, 247 p.

5. Mikheev, V. P. Catenary systems and power lines [*Kontaktnye seti i linii elektroperedachi*]. Moscow, Marshrut publ., 2003, 416 p.

6. Zhelezkov, V. N. Screw piles [*Vintovye svai*]. St. Petersburg, Pragma publ., 2004, 150 p.

7. Official website of KSAMet. [Electronic source]: http://ksamet.ru. Last accessed 06.01.2016.

8. GOST R54272–2010 «Foundations for supports of catenary system of railways. Technical conditions». Moscow, Standartinform publ., 2011, 24 p.

9. Suvorov, A. V., Levinson, A. L. Machines for piling [*Mashiny dlja svajnyh rabot*]. Ed. by S. P. Epifanov [*et al*]. Moscow, Stroyizdat publ., 1982, 150 p.

10. Volkov, D. P., Krikun, V. Ya. Construction machinery and labor saving devices [*Stroitel'nye mashiny i sredstva maloj mehanizacii*]. Moscow, ASV publ., 2002, 480 p.

11. Universal boring machine UBM-85 [*Universal'naja buril'naja mashina UBM-85*]. [Electronic source]: http://sdm-zavod.ru/products/manipulyatory-dlya-bureniya-i-pogruzheniya-vintovyh-svay/ubm-85. Last accessed 06.01.2016.

12. PB10–257–98 «Rules for arrangement and safe operation of load-lifting articulated cranes» [*PB10–257–98 «Pravila ustrojstva i bezopasnoj ekspluatacii gruzopod'emnyh kranov-manipuljatorov»*]. Moscow, NPO OBT, 2003, 89 p.

13. Nevzorov, L. A., Polosin, M. D. Column and automobile cranes [*Krany bashennye i avtomobil'nye*]. Moscow, Akademia publ., 2011, 416 p.

14. Travis, D., Kring, D. LabVIEW for everyone [*LabVIEW dlja vseh*]. Moscow, DMK Press, 2011, 400 p.

Information about the authors:
Shubin, Alexander A. – Ph.D. (Eng.), head of department of Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia, Shubin55@mail.ru.
Vitchuk, Pavel V. – Ph.D. (Eng.), associate professor of Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia, zzzVentor@ya.ru.

Article received 18.01.2016, accepted 19.05.2016.

УДК 625.7/.8

Статистический анализ оценки прочности нежёстких дорожных одежд

Артём ТИРАТУРЯН
Artem N. TIRATURYAN

Евгения УГЛОВА
Evgenia V. UGLOVA

Тиратурян Артём Николаевич *– кандидат технических наук, старший преподаватель Ростовского государственного строительного университета (РГСУ), Ростов-на-Дону, Россия.*
Углова Евгения Владимировна *– доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Автомобильные дороги» РГСУ, Ростов-на-Дону, Россия.*

Statistical Analysis of Strength Assessment of Nonrigid Pavement Surfacing

(текст статьи на англ. яз.– English text of the article – p. 94)

Авторы рассматривают вопросы, связанные со статистической обработкой результатов измерения упругих прогибов на поверхности нежёстких дорожных одежд, сделанного с помощью установки ударного нагружения FWD. На основе полученных данных уточнен характер распределения упругих прогибов и осуществлена оценка их однородности для дорожных одежд на участках с различными сроками службы. При этом установлено, что с достаточной долей вероятности распределение таких прогибов может быть описано логнормальным законом.

Ключевые слова: автомобиль, нежёсткая дорожная одежда, упругий прогиб, модуль упругости, установка ударного нагружения, коэффициент вариации, логнормальное распределение.

Фундамент долговременной прочности нежёсткой дорожной одежды закладывается на стадии ее проектирования. Конструируя дорожную одежду и определяя основные механические параметры отдельных её слоёв, проектировщик осуществляет расчёт по трем критериям: расчёт конструкции в целом на допустимый упругий прогиб, расчёт конструкции на сопротивление монолитных слоёв усталостному разрушению от растяжения при изгибе, расчёт по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоёв. При этом единственным параметром, который возможно отслеживать на стадии эксплуатации, становится упругий прогиб на поверхности дорожной одежды. И только затем второй – рассчитываемый на его основе общий модуль её упругости, который можно оценить с использованием оборудования статического и динамического нагружения.

МЕХАНИЗМ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ

Следует отметить, что значение общего модуля упругости дорожной одежды (а соот-

ветственно и упругого прогиба) в предполагаемой конструкции, закладываемое на стадии проектирования, является детерминированным, в то время как в реальных условиях эксплуатации на его величину влияние оказывает значительное количество различных факторов вероятностной природы, связанных с технологическим процессами строительства, общими механизмами деградации несущей способности дорожной одежды, климатическими условиями и т.д. А уточнить реальные вероятностные характеристики распределения упругого прогиба (а с ним и общего модуля упругости дорожной одежды) дает лишь проведение масштабных измерений на участках эксплуатируемых автомобильных дорог.

Решение данной задачи требует применения высокопроизводительного оборудования для оценки прочности нежёстких дорожных конструкций. В качестве такого оборудования представляется возможным применение установки ударного нагружения FWD Primax 1500, представляющей собой двухосный полуприцеп со смонтированным на нем механизмом ударного нагружения и балкой с датчиками-геофонами для регистрации чаши прогиба на поверхности дорожной одежды. Механизм ударного нагружения позволяет прикладывать к поверхности покрытия нагрузку в диапазоне 20–110 кН при времени воздействия t = 0,03 с. В практике использования подобной установки на дорогах Российской Федерации испытания проводятся при нагрузке 50 кН. Производительность FWD Primax достигает 40 км/смену при измерениях с шагом в 100 м, что предполагает получать большие массивы данных о значениях упругого прогиба и общего модуля упругости дорожной одежды на протяжённых участках автомобильных дорог [1–5].

Наличие такой информации, безусловно, требует ее обработки и анализа в первую очередь на основе статистических методов. Вопросы применения методов математической статистики в задачах изучения однородности и надёжности автомобильных дорог исследуются в работах В. А. Семенова, И. А. Золотаря, В. В. Столярова, Н. Е. Кокодеевой [6–10] и других авторов. В частности, эти исследования касаются характера распределения таких параметров дорожной одежды, как упругие деформации, ровность (просвет под трёхметровой рейкой), толщина слоёв асфальтобетона, толщина слоя щебня. Полученные в ходе анализа результаты позволили установить, что при достаточно высокой однородности (т.е. при коэффициенте вариации Cv<20%) закономерности распределения рассматриваемых параметров не противоречат закону нормального распределения, а при более высокой неоднородности (коэффициенте вариации Cv>0,2) распределение исследуемых параметров может быть описано законом Вейбулла и экспоненциальным законом [6].

Результаты исследований, приведенные в нашей статье, акцентируются прежде всего на оценке деформативных характеристик дорожной одежды и направлены на уточнение реальных параметров распределения упругих прогибов поверхности современных нежёстких дорожных покрытий. Делается это на основе натурных измерений, которые осуществлялись с помощью установки ударного нагружения FWD.

СТАТИСТИКА И ЗАКОНЫ РАСПРЕДЛЕНИЯ

В течение 2015 года осуществлялась оценка прочности нежёстких дорожных одежд на участках автомобильных дорог М-4 «Дон» и М-1 «Беларусь». Обследуемые участки разбивались на три группы в зависимости от срока их эксплуатации. К I-й группе относились участки автомобильных дорог со сроком эксплуатации до 5 лет (четыре участка), ко II-й – со сроком 5–10 лет (четыре участка), к III-й группе – участки, находящиеся в эксплуатации более 10 лет (восемь участков).

С использованием установки FWD была произведена регистрация упругого прогиба покрытия дорожной одежды, после чего сделан расчёт общего модуля упругости. Измерения проводились с шагом 100 метров на участках дорог с одинаковыми конструкциями дорожных одежд. При этом они осуществлялись в течение весеннего и осеннего периодов года.

Всего на участках I-й группы было зарегистрировано 1242 значения упругого прогиба, II и III групп соответственно 328 и 1346 значений. Для каждой выборки приведена описательная статистика в таблице 1.

Таблица 1

Основные статистические параметры результатов измерения упругого прогиба нежёсткой дорожной одежды по группам участков

Группа участков	Объём выборки (количество измерений), N	Среднее значение динамического упругого прогиба, мм	Стандартное отклонение, s	Коэффициент вариации – Cv,%
I группа	1242	0.18	0.04	20
II группа	328	0.26	0.08	28
III группа	1346	0.36	0.14	39

Таблица 2

Оценка соответствия фактического закона распределения упругих прогибов нежёсткой дорожной одежды логнормальному закону

Участок	Число измерений	Характер распределения	S_Ω	p-value	S_Ω	p-value	χ_n^2	p-value
I группа								
414+700–464+300	397	Логнорм.	0.03	0.78	0.49	0.75	20	0.20
599+000–633+000	243	Логнорм.	0.04	0.74	0.36	0.89	6.46	0.60
907+000–913+000	198	Логнорм.	0.043	0.82	0.46	0.78	12.72	0.62
1207+000–1240+000	404	Логнорм.	0.031	0.82	0.23	0.97	9.9	0.35
II группа								
287+200–296+500	60	Логнорм.	0.057	0.98	0.19	0.99	4.07	0.66
401+000–414+700	102	Логнорм.	0.07	0.65	0.54	0.70	8.93	0.26
1119+500–1134+500	104	Логнорм.	0.071	0.65	0.48	0.76	10.92	0.090
1134+500–1138+500	62	Логнорм.	0.07	0.90	0.35	0.89	6.12	0.632
III группа								
1341+000–1351+000	82	Логнорм.	0.06	0.86	0.30	0.94	5.19	0.88
1537+000–1542+000	64	Логнорм.	0.036	0.99	0.13	0.99	2.25	0.94
299+000–308+000	184	Логнорм.	0.045	0.84	0.55	0.69	4.41	0.62
355+000–384+000	260	Логнорм.	0.044	0.70	0.62	0.63	5.6	0.35
460+000–463+000	62	Логнорм.	0.095	0.59	0.79	0.48	11.16	0.083
242+000–253+000	128	Логнорм.	0.053	0.85	0.28	0.94	7.0	0.95
315+000–325+300	162	Логнорм.	0.039	0.95	0.33	0.91	4.88	0.30
382–392	404	Логнорм.	0.036	0.65	0.45	0.80	14.69	0.32

На каждом отдельном участке осуществлялся анализ характера распределения упругих прогибов покрытия нежёсткой дорожной одежды в соответствии с критериями хи-квадрат Пирсона (1), Колмогорова–Смирнова (2) и Андерсона–Дарлинга (3).

$$\chi_n^2 = n\sum_{i=1}^{k}\frac{(n_i/n - P_i(\theta))^2}{P_i(\theta)}, \qquad (1)$$

где n – количество измерений; $P_i(\theta)$ – вероятность попадания измерения в интервал.

$$D_n = \sup_x \left|F_n(x) - F(x)\right|, \qquad (2)$$

где *Sup S* – точная верхняя грань множества $S = \left|F_n(x) - F(x)\right|$; F – предполагаемая модель.

$$S_\Omega = -n - 2\sum_{i=1}^{n}\left\{\begin{array}{l}\frac{2i-1}{2n}\ln(F(x_i,\theta)) + \\ +(1-\frac{2i-1}{2n})\ln(1-F(x_i,\theta))\end{array}\right\}, \qquad (3)$$

где $F(x_i, \theta)$ – теоретическое распределение исследуемой величины; n – объём выборки; $x_1, x_2, \ldots x_n$ – упорядоченные по возрастанию элементы выборки.

Анализ фактического распределения упругих прогибов осуществлялся на предмет соответствия его нормальному, логнормальному, экспоненциальному закону распределения и закону распределения Вейбулла. Для сравнения в таблицах 2 и 3 (на примере логнормального и нормального распределений (как наилучшим образом описывающих фактическое рас-

Таблица 3

Оценка соответствия фактического закона распределения упругих прогибов нежёсткой дорожной одежды нормальному закону

Участок	Число измерений	Характер распределения	S_Ω	p-value	S_Ω	p-value	χ_n^2	p-value
I группа								
414+700–464+300	397	Норм.	0.081	0.00	4.54	0.004	57.70	0.001
599+000–633+000	243	Норм	0.077	0.105	2.02	0.088	12.53	0.128
907+000–913+000	198	Норм.	0.087	0.092	1.89	0.104	23.27	0.078
1207+000–1240+000	404	Норм.	0.047	0.316	0.97	0.372	10.41	0.317
II группа								
287+200–296+500	60	Норм.	0.07	0.86	0.37	0.87	4.70	0.58
401+000–414+700	102	Норм.	0.05	0.92	0.30	0.93	10.17	0.17
1119+500–1134+500	104	Норм.	0.10	0.21	1.50	0.17	10.05	0.12
1134+500–1138+500	62	Норм.	0.09	0.65	0.56	0.68	13.22	0.10
III группа								
1341+000–1351+000	82	Норм.	0.11	0.24	1.21	0.26	0.10	0.39
1537+000–1542+000	64	Норм.	0.10	0.48	0.93	0.39	3.81	0.80
299+000–308+000 (а.н.)	184	Норм.	0.06	0.41	1.07	0.31	8.22	0.22
355+000–384+000 (а.н.)	260	Норм.	0.11	0.01	6.41	0.06	38.15	0.00
460+000–463+000 (а.н.)	62	Норм.	0.14	0.15	2.26	0.06	19.00	0.01
242+000–253+000	128	Норм.	0.16	0.00	22.77	0.00	183.4	0.00
315+000–325+300	162	Норм.	0.16	0.00	17.72	0.00	178.2	0.00
382–392	404	Норм.	0.09	0.02	5.04	0.02	49.30	0.00

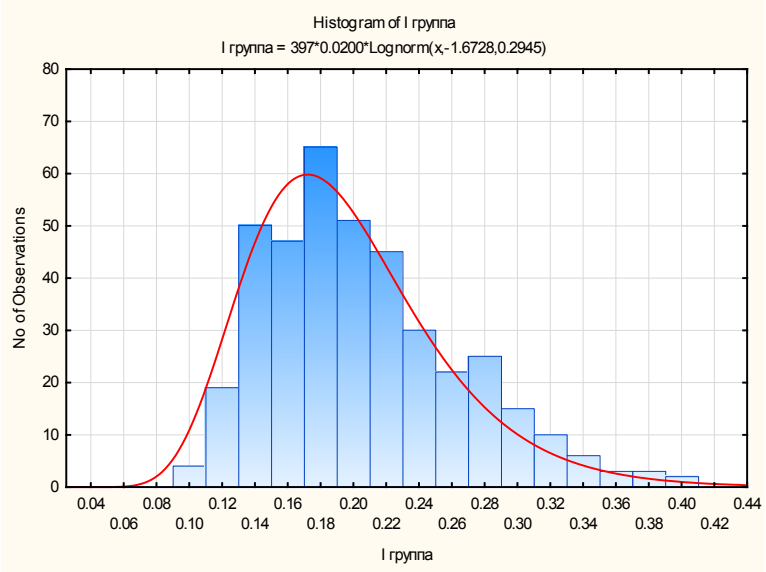


Рис. 1. Распределение динамических упругих прогибов на участке I группы (км 414+700–464+300).

пределение) приведены результаты оценки статистик по каждому из критериев соответствия и их уровней надежности (p-value), характеризующих вероятность ошибки в случае отклонения гипотезы о законе распределения (ошибки первого рода).

Сопоставление значений статистик и уровней надежности, рассчитанных по каждому из критериев, позволяет сделать вывод, что логнормальный закон достаточно адекватно описывает распределение упругих прогибов, а соответственно и общих модулей упругости дорожной кон-

Таблица 4

Средние значения параметров логнормального распределения для различных групп участков

Группы обследов. участков Статистический параметр	I группа (со сроком службы менее 5 лет)	II группа (со сроком службы 5–10 лет)	III группа (со сроком службы более 10 лет)
m	–1.72	–1.01	– 0.94
σ	0.22	0.24	0.36

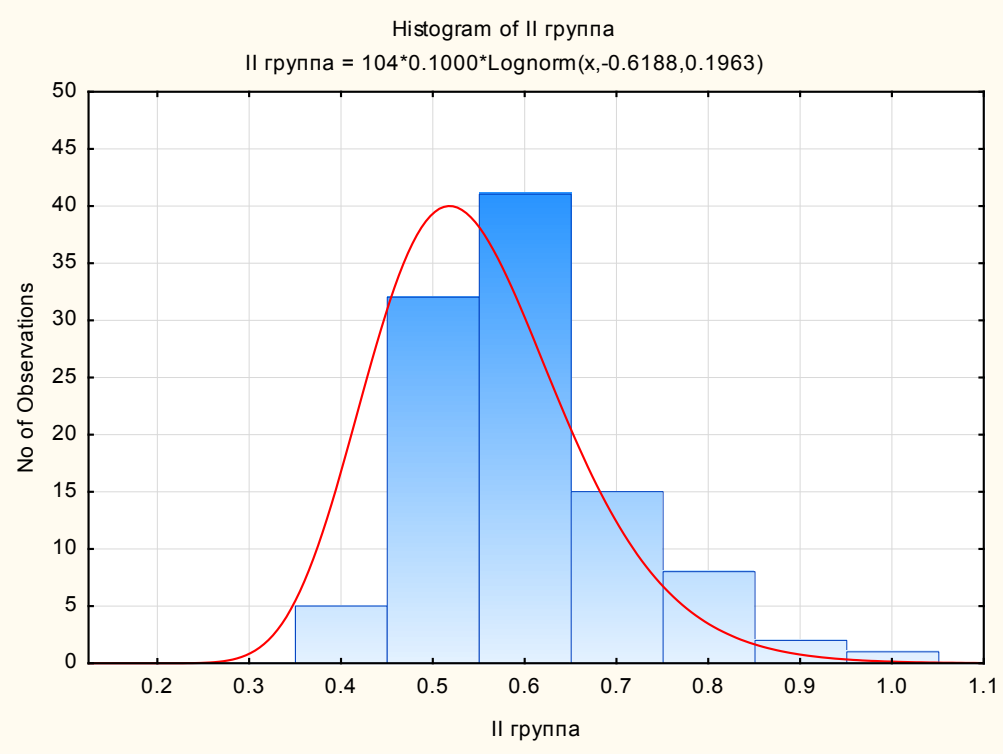


Рис. 2. Распределение динамических упругих прогибов на участке II группы (км1119+500–1138+000).

струкции на различных этапах ее эксплуатации. Примеры полученных результатов показаны на рис. 1–3.

Как известно, плотность логарифмически нормального распределения описывается законом:

$$f(t)=\frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\ln t-m)^2}{2\sigma^2}},$$

где m и σ – параметры логнормального распределения, называемые параметрами масштаба и формы распределения.

Средние значения параметров, позволяющих описать распределение упругих прогибов нежёсткой дорожной одежды на разных этапах ее эксплуатации, были рассчитаны на основе результатов натурных исследований для каждой из групп участков (таблица 4).

Используя данные параметры, возможным представляется описать характер распределения упругих прогибов на поверхности дорожной конструкции на различных этапах ее эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение установки ударного нагружения FWD на участках автомобильных дорог с различным сроком службы позволяет:

1. Оценить фактическую однородность значений упругих прогибов на поверхности дорожной одежды для участков с различным сроком службы. Так, для участков I-й

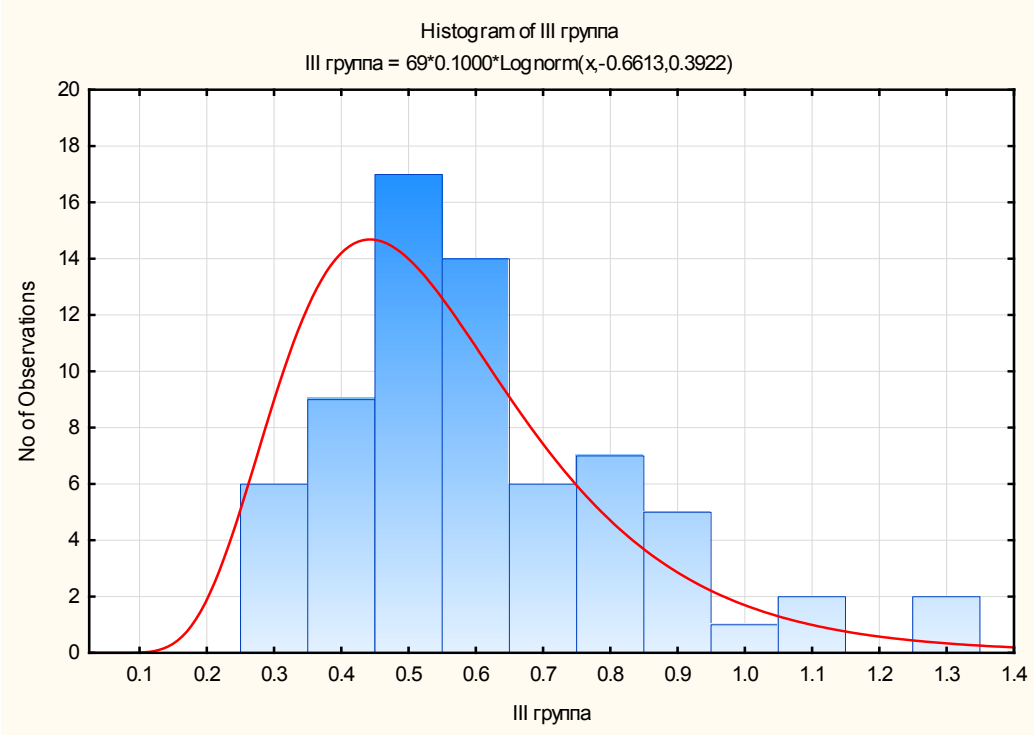


Рис. 3. Распределение динамических упругих прогибов на участке III группы (км 1341+000–1351+000).

группы коэффициент вариации составил 28%, II и III групп – 36% и 58%.

2. Уточнить характер распределения фактических упругих прогибов на поверхности нежёсткой дорожной конструкции для участков автомобильных дорог с различным сроком службы. Как показали результаты обработки измеренных значений упругих прогибов, с достаточной долей вероятности их распределение может быть описано логнормальным законом.

3. Установить средние параметры плотности логнормального распределения, позволяющие описать характер распределения упругого прогиба на поверхности дорожной одежды для участков автомобильных дорог с учётом срока эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Henderson G Long term pavement performance program manual for Falling Weight Deflectometer Measurements. Washington: Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2006. 98 p.

2. Kwasi Appea A Validation of FWD Testing Results at the Virginia Smart Road: Theoretically and by Instrument Responses. Blacksburg: Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2007. 130 p.

3. Углова Е. В, Тиратурян А. Н. Исследование однородности и прочности нежёсткой дорожной конструкции с использованием установки динамического нагружения FWD // Дороги и мосты.– 2015.– № 33.– С. 163–173.

4. Углова Е. В., Тиратурян А. Н. Оценка прочности нежёстких дорожных одежд // Дорожная держава.– 2014.– № 57.– С42–45.

5. Углова Е. В., Саенко С. С., Тиратурян А. Н. Эталонный участок // Автомобильные дороги.– 2014.– № 11.– С. 27–30.

6. Семенов В. А. Качество и однородность автомобильных дорог.– М.: Транспорт, 1989.– 122 с.

7. Золотарь И. А. Повышение надёжности автомобильных дорог.– М.: Транспорт, 1977.– 102 с.

8. Столяров В. В., Зверкова Е. Е., Фомина А. С. Оценка надёжности нежёстких дорожных одежд на основе законов распределения общих модулей упругости // Дороги и мосты.– 2014.– № 30.– С. 153–174.

9. Кокодеева Н. Е. Методологические основы комплексной оценки надёжности автомобильных дорог в системе технического регулирования дорожного хозяйства / Автореф. дис ... док. техн. наук.– Саратов, 2011.– 339 с.

10. Кокодеева Н. Е. Определение срока службы дорожной одежды и темпов ее разрушения с учётом изменения влажности грунта в расчётный период года (с позиции теории риска) // Известия ОрелГТУ: Строительство и реконструкция.– 2009.– № 6/26.– С. 86–93.

Координаты авторов: **Тиратурян А. Н.**– Tiraturjan@list.ru, **Углова Е. В.**– Uglova.ev@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 18.02.2016, принята к публикации 25.05.2016.

STATISTICAL ANALYSIS OF STRENGTH ASSESSMENT OF NONRIGID PAVEMENT SURFACING

Tiraturyan, Artem N., *Rostov State University of Civil Engineering (RSUCE), Rostov-on-Don, Russia.*
Uglova, Evgenia V., *Rostov State University of Civil Engineering (RSUCE), Rostov-on-Don, Russia.*

ABSTRACT
The authors examine the issues related to statistical processing of the results of measurement of elastic deflections on the surface of nonrigid pavement surfacing made by shock loading installation FWD. Based on these results the nature of distribution of elastic deflection was clarified and assessment of homogeneity for pavement surfacing in areas with different service life was carried out. It was found that with a sufficient degree of probability distribution of such deflections can be described by the lognormal law.

Keywords: car, nonrigid pavement surfacing, elastic deflection, modulus of elasticity, installation of shock loading, coefficient of variation, lognormal distribution.

Background. *The foundation of the long-term strength of nonrigid pavement surfacing is laid at the stage of its design. Constructing the pavement surfacing and determining main mechanical parameters of its individual layers, the designer carries out the calculation according to three criteria: calculation of the design as a whole on allowable elastic deflection, calculation of design on resistance of monolithic layers to fatigue fracture caused by bending tension, calculation on condition of shear-resistance of subsoil and lowly cohesive structural layers. Thus the only parameter which may be monitored at the operational phase, becomes elastic deflection on the pavement surface. And only then the second – calculated on its basis total modulus of its elasticity, which can be estimated with the use of static and dynamic loading equipment.*

Objective. *The objective of the author is to provide statistical analysis of strength assessment of nonrigid pavement surfacing.*

Methods. *The authors use general scientific and engineering methods, statistical analysis, mathematical calculation.*

Results.

Shock loading mechanism

It should be noted that the value of the common module of elasticity of pavement surfacing (and, accordingly, elastic deflection) in the proposed structure, laid at the design stage, is deterministic, while under real operating conditions its value is affected by considerable amount of various factors of probabilistic nature, involved in technological processes of construction, general mechanisms of degradation of bearing capacity of pavement surfacing, climatic conditions, etc. And to clarify the actual probalistic characteristics of distribution of elastic deflection (and with it the general module of elasticity of pavement surfacing) is possible only through extensive measurements at sites of operated highways.

The solution of this problem requires the use of high-performance equipment to assess the strength of nonrigid road constructions. As such it is possible to use the installation of shock loading FWD Primax 1500, which is a two-axle semi-trailer with mounted on it shock loading mechanism and a beam with geophone sensors for flexural bowl registration on the pavement surface. Shock loading mechanism allows to apply to the pavement surface load in the range of 20–110 kN at exposure time t = 0,03 s. In practice of use of such an installation on the roads of the Russian Federation tests are carried out under a load of 50 kN. Performance of FWD Primax reaches 40 km / shift in measurements in increments of 100 m, which expects to receive large amounts of data about the values of elastic deflection and total modulus of elasticity of pavement surfacing on extended road sections [1–5].

Availability of this information, of course, requires its processing and analysis, primarily based on statistical methods. Issues concerning the application of mathematical statistics methods in the study of uniformity and reliability of the roads are studied in the works of V. A. Semenov, I. A. Zolotar, V. V. Stolyarov, N. E. Kokodeeva [6–10] and other authors. In particular, these studies relate to the nature of distribution of such parameters of the pavement surfacing as elastic deformation, flatness (clearance under three-meter strip), thickness of layers of asphalt concrete, thickness of gravel layer. The findings, obtained in course of the analysis revealed that at sufficiently high homogeneity (i.e., with a coefficient of variation Cv <20%), regularities of distribution of considered parameters do not conflict with a normal distribution law, but at a higher heterogeneity (coefficient of variation Cv> 0,2) distribution of studied parameters can be described by the law of Weibull and exponential law [6].

The research results presented in this article, focus primarily on evaluation of deformation characteristics of pavement surfacing and aim to clarify the actual parameters of distribution of elastic deflections of the surface of modern nonrigid pavement surfacing. This is done on the basis of field measurements, which were carried out with the use of shock loading installation FWD.

Table 1

Basic statistical parameters of the results of measurement of elastic deflection of nonrigid pavement surfacing by groups of sections

Group of sections	Sample size (number of measurements), N	Average value of dynamic elastic deflection, mm	Standard deviation, s	Coefficient of variation – Cv
I group	1242	0.18	0.04	20
II group	328	0.26	0.08	28
III group	1346	0.36	0.14	39

Table 2

Assessment of conformity of actual law of distribution of elastic deflection of nonrigid pavement surfacing with lognormal law

Section	Number of measurements	Nature of distribution	S_Ω	p-value	S_Ω	p-value	χ_n^2	p-value
I group								
414+700–464+300	397	Lognorm.	0.03	0.78	0.49	0.75	20	0.20
599+000–633+000	243	Lognorm.	0.04	0.74	0.36	0.89	6.46	0.60
907+000–913+000	198	Lognorm.	0.043	0.82	0.46	0.78	12.72	0.62
1207+000–1240+000	404	Lognorm.	0.031	0.82	0.23	0.97	9.9	0.35
II group								
287+200–296+500	60	Lognorm.	0.057	0.98	0.19	0.99	4.07	0.66
401+000–414+700	102	Lognorm.	0.07	0.65	0.54	0.70	8.93	0.26
1119+500–1134+500	104	Lognorm.	0.071	0.65	0.48	0.76	10.92	0.090
1134+500–1138+500	62	Lognorm.	0.07	0.90	0.35	0.89	6.12	0.632
III group								
1341+000–1351+000	82	Lognorm.	0.06	0.86	0.30	0.94	5.19	0.88
1537+000–1542+000	64	Lognorm.	0.036	0.99	0.13	0.99	2.25	0.94
299+000–308+000	184	Lognorm.	0.045	0.84	0.55	0.69	4.41	0.62
355+000–384+000	260	Lognorm.	0.044	0.70	0.62	0.63	5.6	0.35
460+000–463+000	62	Lognorm.	0.095	0.59	0.79	0.48	11.16	0.083
242+000–253+000	128	Lognorm.	0.053	0.85	0.28	0.94	7.0	0.95
315+000–325+300	162	Lognorm.	0.039	0.95	0.33	0.91	4.88	0.30
382–392	404	Lognorm.	0.036	0.65	0.45	0.80	14.69	0.32

Statistics and distribution laws

During 2015 evaluation has been carried out in relation to strength of nonrigid pavement surfacing on sections of highways M-4 «Don» and M-1 «Belarus». Surveyed areas were divided into three groups depending on their service life. The I group included sections of roads with a service life of up to 5 years (four sections), to the II – with a service life of 5–10 years (four sections), to the III group – areas that are in operation for more than 10 years (eight sections).

With the use of FWD installation was carried out registration of elastic deflection of pavement

Table 3

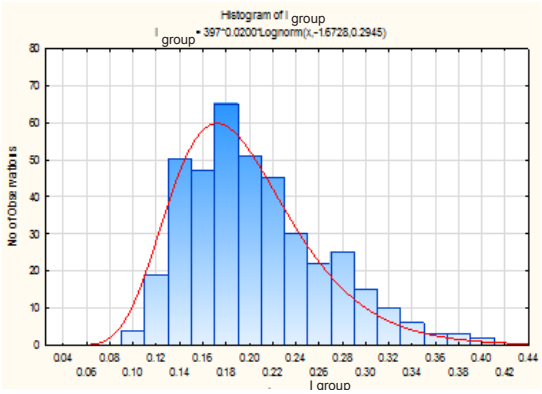
Assessment of conformity of actual law of distribution of elastic deflection of nonrigid pavement surfacing with normal law

Section	Number of measurements	Nature of distribution	S_Ω	p-value	S_Ω	p-value	χ_n^2	p-value
I group								
414+700–464+300	397	Norm.	0.081	0.00	4.54	0.004	57.70	0.001
599+000–633+000	243	Norm	0.077	0.105	2.02	0.088	12.53	0.128
907+000–913+000	198	Norm.	0.087	0.092	1.89	0.104	23.27	0.078
1207+000–1240+000	404	Norm.	0.047	0.316	0.97	0.372	10.41	0.317
II group								
287+200–296+500	60	Norm.	0.07	0.86	0.37	0.87	4.70	0.58
401+000–414+700	102	Norm.	0.05	0.92	0.30	0.93	10.17	0.17
1119+500–1134+500	104	Norm.	0.10	0.21	1.50	0.17	10.05	0.12
1134+500–1138+500	62	Norm.	0.09	0.65	0.56	0.68	13.22	0.10
III group								
1341+000–1351+000	82	Norm.	0.11	0.24	1.21	0.26	0.10	0.39
1537+000–1542+000	64	Norm.	0.10	0.48	0.93	0.39	3.81	0.80
299+000–308+000 (а.н.)	184	Norm.	0.06	0.41	1.07	0.31	8.22	0.22
355+000–384+000 (а.н.)	260	Norm.	0.11	0.01	6.41	0.06	38.15	0.00
460+000–463+000 (а.н.)	62	Norm м.	0.14	0.15	2.26	0.06	19.00	0.01
242+000–253+000	128	Norm.	0.16	0.00	22.77	0.00	183.4	0.00
315+000–325+300	162	Norm.	0.16	0.00	17.72	0.00	178.2	0.00
382–392	404	Norm.	0.09	0.02	5.04	0.02	49.30	0.00

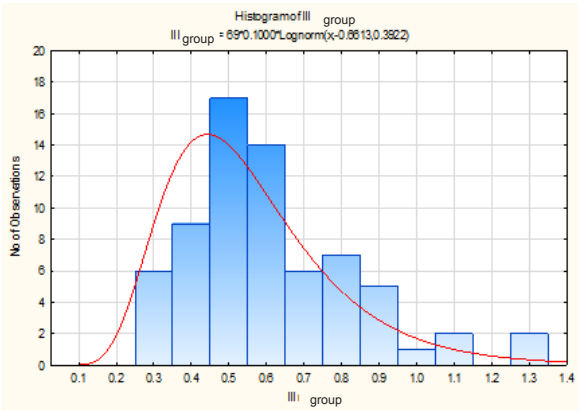
Table 4

The average values of parameters of lognormal distribution for various groups of sections

Groups of examined sections Statistical parameter	I group (with service life less than 5 years)	II group (with service life 5–10 years)	III group (with service life more than 10 years)
m	–1.72	–1.01	– 0.94
σ	0.22	0.24	0.36



Pic. 1. Distribution of dynamic elastic deflections on the section of I group (km 414+700–464+300).



Pic. 2. Distribution of dynamic elastic deflections on the section of II group (km1119+500–1138+000).

covering, and then was made a calculation of general modulus of elasticity. The measurements were performed in increments of 100 meters on the road sections with the same pavement surfacing structure. At the same time they were carried out during the spring and autumn periods of the year.

Altogether on sections of I group were recorded 1242 values of elastic deflection, of II and III groups, respectively, 328 and 1346 values. Descriptive statistics are given for each sample in Table 1.

On each section was analyzed the nature of distribution of elastic deflection of covering of nonrigid pavement surfacing according to criteria of chi-square of Pearson (1), Kolmogorov–Smirnov (2) and Anderson–Darling (3).

$$\chi_n^2 = n\sum_{i=1}^{k}\frac{(n_i/n - P_i(\theta))^2}{P_i(\theta)}, \qquad (1)$$

where n is a number of measurements; $P_i(\theta)$ is probability of measurement falling in the interval.

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|, \qquad (2)$$

where Sup S is least upper bound of the set $S = |F_n(x) - F(x)|$;

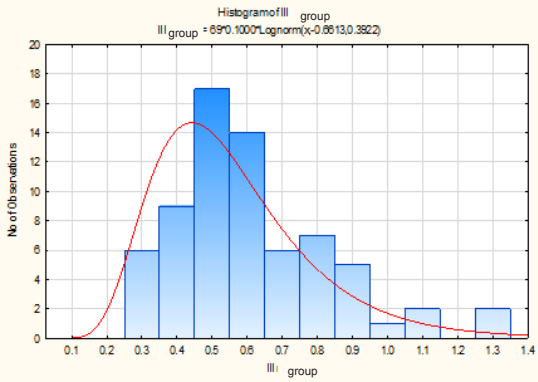
F is estimated model.

$$S_\Omega = -n - 2\sum_{i=1}^{n}\left\{\begin{array}{l}\frac{2i-1}{2n}\ln(F(x_i,\theta)) + \\ +(1-\frac{2i-1}{2n})\ln(1-F(x_i,\theta))\end{array}\right\}, \qquad (3)$$

where $F(x_i, \theta)$ is theoretical distribution of a studied value; n is sample size; x_1, x_2,…x_n are arranged by increase elements of the sample.

Analysis of the actual distribution of elastic deflection was carried out for its compliance with normal, lognormal, exponential distribution law and Weibull distribution law. For comparison, in Table 2 and Table 3 (through the example of lognormal and normal distributions as the best describing the actual distribution) shows the results of evaluation of the statistics for each of the criteria for compliance and their reliability levels (p-value), characterizing the probability of error in case of rejection of the hypothesis for distribution law (errors of the first kind).

A comparison of values of the statistics and levels of reliability calculated for each of the criteria leads to the conclusion that the lognormal law adequately describes distribution of elastic deflection, and thus general modulus of elasticity of road structure at



Pic. 3. Distribution of dynamic elastic deflections on the section of III group (km 1341+000–1351+000).

different stages of its operation. Examples of the results are shown in Pic. 1–3.

It is known that the density of lognormal distribution is described by the law:

$$f(t)=\frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\ln t-m)^2}{2\sigma^2}},$$

where m and σ are parameters of lognormal distribution, called parameters of scale and form of distribution.

The average values of parameters that allow to describe distribution of elastic deflection of nonrigid pavement surfacing at different stages of its operation, have been calculated on the basis of field studies for each of the groups of areas (Table 4).

Using these parameters, it seems possible to describe the nature of distribution of elastic deflections on the surface of road structure at various stages of its operation.

Conclusion. *Application of shock loading installation FWD on the sections of roads with different service life allows to:*

1. Assess the actual uniformity of values of elastic deflections on the pavement surface for areas with different service life. Thus, for sections of the I group coefficient of variation was 28%, of II and III groups – 36% and 58%.

2. Clarify the nature of distribution of actual elastic deflections on the surface of nonrigid road construction for road sections with different service life. As the results of processing of measured values of elastic deflections showed, with a sufficient degree of probability their distribution can be described by the lognormal law.

3. Set the average parameters of density of the lognormal distribution, allowing to describe the nature of distribution of the elastic deflection on the pavement surface for road sections taking into account service life.

REFERENCES

1. Henderson, G. Long term pavement performance program manual for Falling Weight Deflectometer Measurements. Washington: Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2006, 98 p.

2. Kwasi, Appea A Validation of FWD Testing Results at the Virginia Smart Road: Theoretically and by Instrument Responses. Blacksburg: Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2007, 130 p.

3. Uglova, E. V., Tiraturyan, A. N. Research on homogeneity and strength of nonrigid road construction with the use of dynamic loading installation FWD [*Issledovanie odnorodnosti i prochnosti nezhestkoj dorozhnoj konstrukcii s ispol'zovaniem ustanovki dinamicheskogo nagruzhenija FWD*]. *Dorogi i mosty*,2015, Iss. 33, pp. 163–173.

4. Uglova, E. V., Tiraturyan, A. N. Assessment of strength of nonrigid pavement surfacing [*Ocenka prochnosti nezhestkih dorozhnyh odezhd*]. *Dorozhnaja derzhava*, 2014, Iss. 57, pp. 42–45.

5. Uglova, E. V., Saenko, S. S., Tiraturyan, A. N. Model section [*Etalonnyj uchastok*]. *Avtomobil'nye dorogi*, 2014, Iss. 11, pp. 27–30.

6. Semenov, V. A. Quality and uniformity of highways [*Kachestvo i odnorodnost' avtomobil'nyh dorog*]. Moscow, Transport publ., 1989, 122 p.

7. Zolotar, I. A. Improving reliability of roads [*Povyshenie nadezhnosti avtomobil'nyh dorog*]. Moscow, Transport publ., 1977, 102 p.

8. Stolyarov, V. V., Zverkova, E. E., Fomina, A. S. Assesstment of reliability of nonrigid pavement surfacing on the basis of distribution laws of general moduli of elasticity [*Ocenka nadezhnosti nezhestkih dorozhnyh odezhd na osnove zakonov raspredelenija obshhih modulej uprugosti*]. *Dorogi i mosty*, 2014, Iss. 30, pp. 153–174.

9. Kokodeeva, N. E. Methodological bases of a complex assessment of reliability of highways in the system of technical regulation of road facilities [*Metodologicheskie osnovy kompleksnoj ocenki nadezhnosti avtomobil'nyh dorog v sisteme tehnicheskogo regulirovanija dorozhnogo hozjajstv*]. Abstract of D.Sc. (Eng.) thesis. Saratov, 2011, 339 p.

10. Kokodeeva, N. E. Determination of service life of pavement surfacing and rate of its destruction, taking into account changes of soil moisture in the accounting period of the year (from risk theory perspective) [*Opredelenie sroka sluzhby dorozhnoj odezhdy i tempov ee razrushenija s uchetom izmenenija vlazhnosti grunta v raschetnyj period goda (s pozicii teorii riska*]. *Izvestija OrelGTU. Stroitel'stvo i rekonstrukcija*, 2009, Iss. 6/26, pp. 86–93.

Information about the authors:
Tiraturyan, Artem N. – Ph.D. (Eng.), senior lecturer of Rostov State University of Civil Engineering (RSUCE), Rostov-on-Don, Russia, Tiraturjan@list.ru.
Uglova, Evgenia V. – D.Sc. (Eng.), professor, head of department of Highways of Rostov State University of Civil Engineering (RSUCE), Rostov-on-Don, Russia, Uglova.ev@ya.ru.

Article received 18.02.2016, accepted 25.05.2016.

УДК 621.86

Контроль грузов на подъёмно-транспортных машинах

Анатолий НИКИШЕЧКИН
Anatoly P. NIKISHECHKIN

Лев ДУБРОВИН
Lev M. DUBROVIN

Владимир ДАВЫДЕНКО
Vladimir I. DAVYDENKO

Дубровин Лев Михайлович *– старший преподаватель Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Никишечкин Анатолий Петрович *– кандидат технических наук, доцент МГТУ «Станкин», Москва, Россия.*
Давыденко Владимир Иванович *– старший электромеханик технического центра Московской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

Cargo Control on Handling Machinery
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 103)

Любые весоизмерительные системы создают при необходимости ими пользоваться немалые трудности в ходе транспортных и погрузочно-разгрузочных операций. В статье предлагается бесконтактный способ оценки предельно-допустимых значений массы груза, поднимаемого (перемещаемого) подъёмно-транспортными машинами, по значению величины напряженности магнитного поля, которое создается двигателем постоянного тока. Измерения не требуют сложной и дорогостоящей аппаратуры, вмешательства в электрические цепи и конструкцию устройства, но дают достаточную точность при определении нагрузки на кран.

Ключевые слова: подъёмно-транспортные устройства, двигатели постоянного тока, постоянное магнитное поле, напряжённость магнитного поля, феррозонды, масса груза, оценка предельно-допустимых величин.

Большое количество технологических операций металлургических и машиностроительных производств, горнодобывающих предприятий, в строительстве, на транспорте осуществляется посредством перемещения грузов подъёмно-транспортными устройствами. Такими устройствами являются различного рода тали, тельферы, лебедки, краны, подъёмники, электрические экскаваторы и другие машины. При выполнении ими операций возникает необходимость взвешивания грузов, в том числе для контроля массы поднимаемого (перемещаемого) груза, а также предотвращения перегруза подъёмно-транспортных механизмов и повышения безопасности их работы [1–3].

На сегодняшний день единственным способом оценки массы груза, поднятого краном, остается измерение силы, действующей на элементы его конструкции [2].

В зависимости от точки приложения силы, которая определяется назначением подъёмно-транспортного устройства, условиями эксплуатации, удобством встраива-

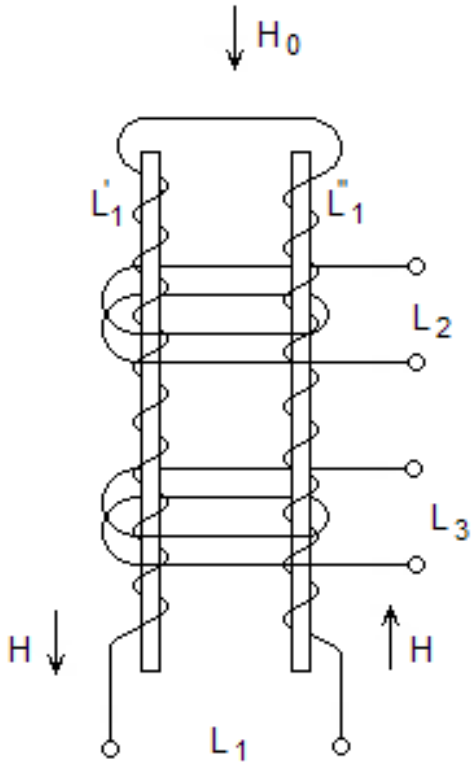


Рис. 1. Дифференциальный феррозонд.

ния весоизмерительного механизма, существуют различные схемы взвешивания. И в любом случае имеют место следующие недостатки:

1. Необходимость встраивания весоизмерительной системы в конструкцию подъёмно-транспортного устройства.

2. Обязательность подвода питания для весоизмерительной системы.

3. Потребность в специальных устройствах, сматывающих кабели линии связи с весоизмерительной системой.

Авторами предлагается принципиально новый бесконтактный способ взвешивания грузов по величине магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока грузоподъёмного устройства. Способ упрощает измерения. Они не требуют сложной и дорогостоящей аппаратуры, вмешательства в электрические цепи и конструкцию грузоподъёмной машины и обеспечивают при этом достаточную точность оценки.

В нашем решении используется известная связь между напряженностью магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока, и нагрузкой на валу двигателя. Нагрузка, в свою очередь, зависит от массы груза и условий перемещения – подъём, спуск, горизонтальное перемещение, скорость перемещения. Таким образом, если обеспечить одинаковые условия при измерении, то нагрузка будет определяться только массой груза, и следовательно, измерение массы сводится к измерению напряженности магнитного поля.

Для измерения постоянного или медленно меняющегося магнитного поля могут использоваться различные датчики, в частности феррозонды [4–6].

Феррозондовый метод измерения напряженности довольно прост, хорошо изучен и позволяет добиться необходимой точности.

Феррозонд обладает высокой чувствительностью и практически не требует усиления сигнала, при измерении сильных магнитных полей нет нужды ставить его в непосредственной близости от двигателя или силовых цепей питания. В качестве устройства индикации может использоваться амперметр (в частности, миллиамперметр), шкала которого оттарирована в единицах массы.

Место установки феррозонда значения, по сути, не имеет – важно лишь, чтобы оно было одним и тем же как при тарировании

Рис. 2. Структурная схема измерительного устройства.

шкалы миллиамперметра, так и при измерении массы. Миллиамперметр может располагаться практически в любом удобном для наблюдения пространстве.

То есть для реализации способа требуется само устройство, предварительно надо оттарировать шкалу миллиамперметра в единицах массы, а затем при измерении массы обеспечить движение груза в том же режиме, в котором производилась тарировка шкалы измерительного прибора.

Предлагается измерительное устройство на базе дифференциального феррозонда (рис. 1) с двумя пермаллоевыми сердечниками с обмоткой возбуждения L_1, состоящей из двух половин. Одна половина обмотки L'_1 находится на одном сердечнике, другая L''_1 (намотана встречно первой) – на другом [7–9].

Обмотка подключается к генератору импульсов. Половина L'_1 создает поле H и L''_1 – такое же, но направленное встречно.

Поверх двух сердечников с обмотками L'_1 и L''_1 располагается измерительная обмотка L_2. Она подключается через выпрямитель к измерительному прибору, в качестве которого используется миллиамперметр постоянного тока, а также к пороговому устройству, формирующему сигнал на внешнюю сигнализацию при превышении массы поднимаемого груза. К измерительной обмотке можно подключить и осциллограф, позволяющий наблюдать искажения выходного сигнала при воздействии внешнего магнитного поля H_0 [8–10].

Дополнительная третья обмотка (компенсационная) L_3, расположенная поверх основных обмоток, предусмотрена для установки с помощью компенсатора нулевого значения тока измерительного прибора при отсутствии нагрузки.

Для защиты феррозонда от механических внешних воздействий используется защитный кожух, представляющий собой трубку из латуни [7].

На рис. 2 представлена структурная схема измерительного устройства, посредством которого реализуется способ.

Структурная схема включает:

- генератор импульсов, формирующий прямоугольные импульсы, подаваемые на обмотку возбуждения L_1 феррозонда;
- феррозонд, включающей три обмотки;
- компенсатор;
- выпрямитель;
- измерительный прибор – миллиамперметр постоянного тока;
- пороговое устройство, обеспечивающее выработку сигнала на внешнее устройство сигнализации при превышении тока, соответствующего предельному значению массы поднимаемого груза.

Схема включения обмоток феррозонда приведена на рис. 3.

Компенсация постоянного магнитного поля, создаваемого двигателем при отсутствии груза, а также посторонних постоянных магнитных полей осуществляется переменным резистором R_3 компенсато-

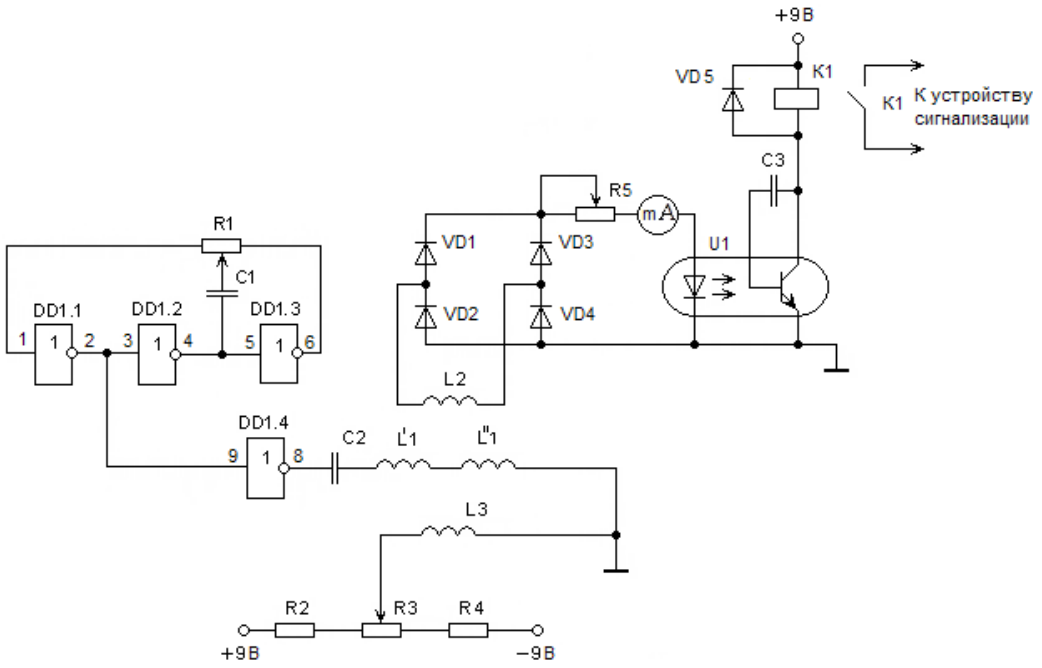


Рис. 3. Схема включения обмоток феррозонда.

ра – установкой нулевого значения тока миллиамперметра. Величины резисторов $R_2 = R_4$ и R_3 компенсатора выбираются в зависимости от величины напряжения питания.

Генератор импульсов выполнен на трех элементах НЕ (например, К561ЛН2), питающихся от источника 9 вольт. Четвертый элемент НЕ (DD1.4) оказывается полезным для уменьшения влияния обмотки возбуждения феррозонда на работу генератора. Регулирование частоты генератора осуществляется резистором R_1 в диапазоне 2–200 кГц [8, 10]. При таких частотах (свыше 2 кГц) микросхемы серии К561 устойчиво работают с напряжением 9 вольт.

Особенность схемы – ёмкость C_2, подбирая величину которой или изменяя частоту генератора, можно добиться резонанса напряжения в последовательном соединении: ёмкость C_2 – обмотка возбуждения L_1 феррозонда. Это позволяет заметно увеличить напряжение на обмотке L_1 и повысить чувствительность феррозонда без увеличения напряжения питания. При этом следует обеспечить резонансную частоту, равную той, на которую рассчитан феррозонд.

Величина напряженности магнитного поля, создаваемого двигателем, а следовательно, и величина массы груза определяются по показанию миллиамперметра. При превышении тока, соответствующего предельному значению массы поднимаемого груза, пороговое устройство (оптрон U_1 и реле K_1) вырабатывает сигнал на внешнее устройство сигнализации. Величина сопротивления R_5 подбирается таким образом, чтобы обеспечить при подъёме груза, масса которого превышает предельное значение, необходимый для срабатывания реле K_1 ток светодиода и, следовательно, коллекторный ток оптрона U_1.

Тарирование шкалы миллиамперметра осуществляется в следующей последовательности [10, 11].

1. При работе двигателя на подъём (перемещение) с определенной постоянной скоростью без груза показание миллиамперметра с помощью переменного резистора R_3 (рис. 3) устанавливается в ноль, что соответствует нулевой массе груза.

2. При подъёме (перемещении) груза предельно-допустимой массы с той же постоянной скоростью показание миллиамперметра будет соответствовать предельно-допустимой массе поднимаемого груза.

При подъёме груза с массой выше предельно-допустимой происходит срабаты-

вание реле K_1 порогового устройства и выдача сигнала на внешнее устройство сигнализации.

Шкала тарированного миллиамперметра оказывается близка к линейной.

Как при тарировании шкалы, так и при измерении массы надо учитывать массу выпущенной части троса, которая является балластной составляющей массы и которая непостоянна и зависит от высоты подъёма груза. Поэтому необходимо использовать датчик положения каната. Зная погонную массу каната, можно произвести достаточно точный учет влияния массы каната в зависимости от высоты подъёма груза.

При использовании метода на подъёмных устройствах одного типа, оборудованных двигателями одной марки, нет надобности в тарировании шкалы измерительного прибора для каждого устройства в отдельности. Достаточно обеспечить лишь одинаковое место установки чувствительного элемента (феррозонда).

ВЫВОДЫ

Предлагаемый способ исключает необходимость встраивания датчиков в электрические цепи и элементы конструкции подъёмного устройства, не требует сложного технологического оборудования и значительно снижает затраты на измерения. Стоимость новации в десятки раз меньше используемых в настоящее время методов измерения массы груза, поднимаемого кранами.

Предлагаемый способ позволяет устанавливать чувствительный элемент (феррозонд) практически в любом удобном месте в непосредственной близости от двигателя подъёмного механизма и использовать в качестве измерительного прибора миллиамперметр, что обеспечивает легкость фиксации результатов измерения.

Устройство, реализующее способ, компактно; его размеры не превышают габариты мобильного телефона. Оно не содержит дорогостоящих элементов и не нуждается в спецобслуживании. Подготовка устройства к работе заключается в тарировании шкалы измерительного прибора (миллиамперметра) в единицах массы.

Применение метода свидетельствует, что показания измерительного прибора практически не зависят от степени возможного раскачивания груза. Поэтому никаких особых мер при измерении массы не требуется. Достаточно обеспечить тот же режим работы двигателя, что и при тарировании шкалы измерительного прибора.

Поскольку феррозонд реагирует на постоянные и медленно меняющиеся магнитные поля, описываемые измерения возможны только при использовании двигателей постоянного тока без импульсного регулирования скорости, что является ограничительным фактором для заявленного способа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровских Ю. И., Бусыгин Б. П. Электрооборудование подъёмно-транспортных машин.– М: Машиностроение, 1979.– 184 с.

2. Александров М. П. Грузоподъёмные машины: Учебник.– М.: Изд-во МГТУ; Высшая школа, 2000.– 552 с.

3. Добронравов С. С., Дронов В. Г. Строительные машины и основы автоматизации: Учебник.– М.: Высшая школа, 2001.– 575 с.

4. Афанасьев Ю. В. Феррозондовые приборы.– Л.: Энергоатомиздат, 1986.– 188 с.

5. Афанасьев Ю. В., Студенцов Н. В., Щелкин А. П. Магнитометрические преобразователи, приборы, установки.– Л.: Энергия, 1972.– 272 с.

6. Миловзоров В. П. Электромагнитные устройства автоматики. Учебник для вузов.– М.: Высшая школа, 1983.– 408 с.

7. Дубровин Л. М., Никишечкин А. П. Исследование возможности использования параметров электромагнитного излучения для диагностирования режущего инструмента и управления процессом резания // Вестник МИИТ.– 2010.– Вып. 23.– С. 59–70.

8. Давыденко В. И., Дубровин Л. М., Никишечкин А. П. Феррозонды в оперативной диагностике стрелочных приводов // Мир транспорта.– 2015.– № 6.– С. 236–242.

9. Никишечкин А. П., Дубровин Л. М. Оперативное определение силы резания по параметрам магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока привода главного движения // Вестник МГТУ «Станкин».– 2015.– № 4.– С. 42–45.

10. Никишечкин А. П., Дубровин Л. М., Давыденко В. И. Способ оценки массы груза подъёмно-транспортных устройств по параметрам магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока // Вестник МГТУ «Станкин».– 2016.– № 1.– С. 64–67.

11. Дубровин Л. М., Никишечкин А. П., Давыденко В. И. Способ оценки массы железнодорожного состава // Мир транспорта.– 2016.– № 2.– 2016.– С. 58–65.

Координаты авторов: **Дубровин Л. М.** – wellew49@gmail.com, **Никишечкин А. П.** – anatolij-petrovich@yandex.ru, **Давыденко В. И.** – vlad47mir@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 08.02.2016, принята к публикации 04.04.2016.

CARGO CONTROL ON HANDLING MACHINERY

Dubrovin, Lev M., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Nikishechkin, Anatoly P., *MSTU «STANKIN», Moscow, Russia.*
Davydenko, Vladimir I., *Technical Center of Moscow railway – branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

Any weighing systems create, if it is necessary to use them, a lot of problems during transportation and handling. The paper proposes a non-contact method for evaluating maximum permissible load mass values of cargo lifted (moved) by handling machines according to the value of magnetic field strength, which is created by a DC motor. Measurements do not require complex and expensive equipment, intervention in electrical circuits and design of devices, but provide sufficient accuracy in determining load on a crane.

Keywords: handling machinery, DC motors, permanent magnetic field, magnetic field strength, ferroprobes, cargo weight, maximum permissible values estimation.

Background. *A large number of process steps of metallurgical and machine-building industries, mining enterprises, in construction, transport are carried out by moving cargo with the help of handling machinery. Such devices are different kinds of pulley blocks, movable hoists, winches, cranes, vertical conveyors, electric excavators and other machines. In carrying out their operations, it is necessary to weigh cargo, including to control weight of lifted (transported) goods as well as to prevent overload of handling mechanisms and improve safety of their work [1–3].*

To date, the only way to estimate the mass of the load raised by the crane, is measurement of forces acting on the elements of its structure [2].

Depending on the point of application of force, which is determined by the purpose of handling device, operating conditions, ease of integration of weighing mechanism, there are different weighting schemes. And in any case, there are following disadvantages:

1. The need for integration of a weighing system in the design of handling devices.

2. The need for current supply for a weighing system.

3. The need for special devices, coiling communication line cables with a weighing system.

The authors propose a fundamentally new method for non-contact weighing of goods according to the magnetic field generated by a DC motor of a handling device. The method simplifies the measurement. They do not require complex and expensive equipment, interference with electrical circuits and construction of hoisting machines and provide with sufficient accuracy of the estimate.

Objective. *The objective of the authors is to consider a non-contact method for evaluating maximum permissible load mass values of cargo lifted (moved) by handling machines.*

Methods. *The authors use general scientific and engineering methods, evaluation approach, simulation.*

Results. *Our solution uses a well-known connection between the strength of the magnetic field generated by the DC motor, and the load on the motor shaft. The load, in turn, depends on the weight of the load and movement conditions – ascent, descent, horizontal movement, speed of movement. Thus, if we provide identical conditions for the measurement, the load will be determined only by load mass, and thus mass measurement reduces to the measurement of the magnetic field strength.*

To measure permanent or slowly varying magnetic fields a variety of sensors can be used, in particular ferroprobes [4–6].

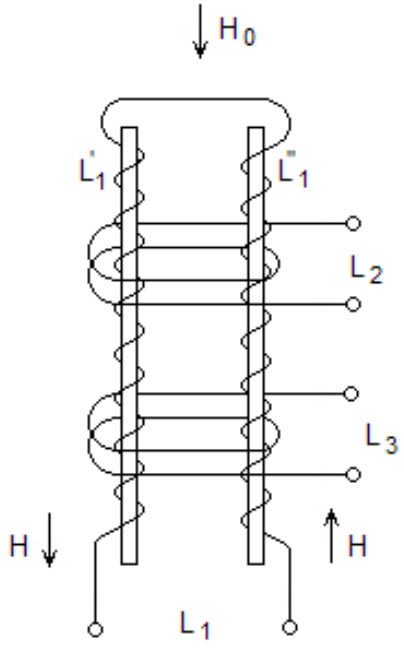
Ferroprobe method of measuring the intensity is quite simple, well studied and allows to achieve required accuracy.

Ferroprobe is highly sensitive and requires little or no signal amplification, when measuring magnetic field strengths there is no need to put it in close proximity to the motor or power circuits. The ammeter (particularly milliammeter), which scale is calibrated in mass units, can be used as a display device.

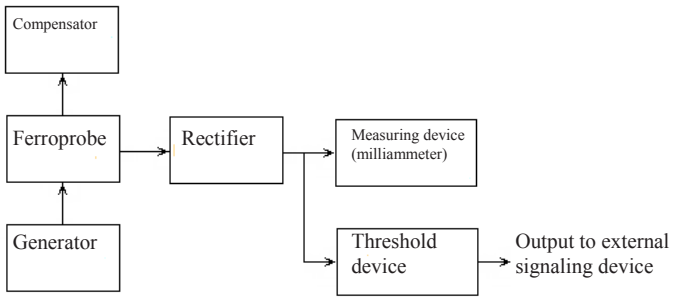
Place of ferroprobe installation is, in fact, not so important – it is only important that it is the same as in calibrating milliammeter scale, and in mass measurement. Milliammeter can be placed in virtually any space convenient for observing.

That is, for implementation of the method requires the device itself, it is necessary to pre-calibrate milliammeter scale in units of mass, and then while mass measurement to provide the goods movement in the same mode in which the calibration of meter scale was performed.

A measuring device is proposed on the basis of differential ferroprobe (Pic. 1) with two permalloy



Pic. 1. Differential ferroprobe.



Pic. 2. Block diagram of a measuring device.

cores with excitation winding L_1, consisting of two halves. One half of the winding L'_1 is on one core, the other L''_1 (wound opposed the first) – on the other [7–9].

The winding is connected to the pulse generator. Half L'_1 creates the field H and L''_1 – the same, but in the counter direction.

Over two cores with windings L'_1 and L''_1 a measuring winding L_2 is located. It is connected via a rectifier to the measuring device, as which is used as a DC milliameter, as well as to the threshold device generating a signal to an external signaling in excess of weight of lifted load. The oscilloscope can be connected to the measuring winding, allowing to observe the output signal distortion under the influence of the external magnetic field H_0 [8–10].

Additional third winding (compensation) L_3, located on top of the main windings, provided for the installation with the help of the compensator zero current of a meter in case of no load.

To protect ferroprobe against mechanical external influences a protective cover is used, which is a tube made of brass [7].

Pic. 2 is a block diagram of the measuring device, whereby the method is implemented.

The block diagram includes:

– A pulse generator that generates rectangular pulses supplied to the excitation winding L_1 of the ferroprobe;

– Ferroprobe comprising three windings;

– Compensator;

– Rectifier;

– Measuring device – DC milliammeter;

– Threshold device, ensuring generation of a signal to an external signaling device in excess of the current corresponding to the limit mass value of lifted load.

Connection diagram of the ferroprobe windings is shown in Pic. 3.

Compensation of a permanent magnetic field generated by the motor in the absence of the load, as well as foreign permanent magnetic fields is carried out by the variable resistor R_3 of the compensator – setting zero current of a milliammeter. The values of resistors $R_2 = R_4$ and R_3 of the compensator are selected depending on the magnitude of supply voltage.

The pulse generator is made on three elements NOT (e.g., K561LN2), powered by a 9 volt source. The fourth element NOT (DD1.4) is useful for reducing the influence of the excitation winding of the ferroprobe on generator operation. Generator frequency adjustment is performed by the resistor R_1 in the range 2–200 kHz [8, 10]. At these frequencies (above 2 kHz) K561 series chips are working steadily with voltage of 9 volts.

The peculiarity of the circuit – C_2 tank, while choosing the size of which or changing the generator frequency voltage resonance can be achieved in series type connection: tank C_2 – excitation winding L_1 of the ferroprobe. This allows to significantly increase voltage on the winding L_1 and increase ferroprobe sensitivity without supply voltage increase. Thus it is necessary to provide resonance frequency equal to that for which ferroprobe is designed.

The magnitude of the magnetic field strength generated by the motor, and hence the value of the mass of the load are determined by the milliammeter. In case of excess in current corresponding to limit value of the mass of the lifted load, the threshold device (optron U_1 and relay K_1) provides a signal to an external signaling device. Resistance value R_5 is selected in such a way as to ensure that when lifting the load, which exceeds the weight limit required for the operation of the relay K_1 LED current and, therefore, collector current of the optron U_1.

Milliammeter scale calibration is performed in the following order [10, 11].

1. When the motor works for lift (displacement) at a certain constant speed without load milliammeter reading through variable resistor R_3 (Pic. 3) is set to zero, corresponding to zero weight load.

2. When lifting (moving) cargo of maximum permissible mass with the same constant speed milliammeter reading corresponds to the maximum permissible weight of the lifted load.

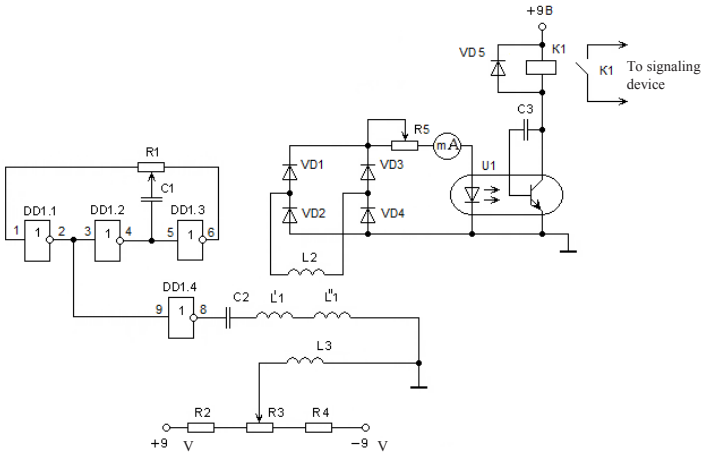
When lifting the load with a weight above the maximum permissible occurs the actuation of the relay K_1 of the threshold device and outputting a signal to an external signaling device.

Scale of calibrated milliammeter is close to linear.

As it is necessary to take into account the weight of the released cable, which is a ballast component of the weight and which is variable and depends on the height of the lifting when calibrating the scale, and when mass measuring. It is therefore necessary to use a rope position sensor. Knowing the mass per unit length of the rope, it is possible to make a fairly accurate account of the impact of the mass of the rope according to the lifting height.

When using the method on handling devices of one type equipped with motors of one brand, there is no need for calibrating the meter scale for each device individually. It is enough to provide only the same installation location of a sensor (ferroprobe).

Conclusions. *The proposed method eliminates the necessity of embedding sensors in electrical circuit and elements of design of the lifting device,*



Pic. 3. The scheme of connection of ferroprobe windings.

does not require complex technological equipment, and significantly reduces the cost of the measurement. The cost of innovation is ten times smaller than currently used methods of measuring the mass of the cargo, lifted by cranes.

The proposed method makes it possible to install the sensor (ferroprobe) in virtually any convenient location in close proximity to the motor of the lifting mechanism and use a milliammeter as a meter, which ensures ease of fixing the measurement results.

The device realizing the method is compact; its dimensions do not exceed the dimensions of a mobile phone. It does not contain expensive elements and does not require special service. Preparing for use lies in calibrating the meter scale (milliammeter) in units of mass.

Application of the method indicates that the meter reading is practically independent on the degree of possible load swinging. Therefore, no special measures when measured weight is required. It suffices to provide the same motor operating conditions as when calibrating the meter scale.

Since the ferroprobe responds to permanent and slowly varying magnetic fields, described measurement is only possible when using DC motors without pulse speed control, which is a limiting factor for the stated method.

REFERENCES

1. Borovskikh, Yu. I., Busygin, B. P. Electric equipment of handling machines [*Elektrooborudovanie pod'jomno-transportnyh mashin*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1979, 184 p.

2. Alexandrov, M. P. Lifting machines: Textbook [*Gruzopod'jomnye mashiny: Uchebnik*]. Moscow, Izd-vo MGTU; Vysshaja shkola publ., 2000, 552 p.

3. Dobronravov, S. S., Dronov, V. G. Construction machinery and automation basics: Textbook [*Stroitel'nye mashiny i osnovy avtomatizacii: Uchebnik*]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 2001, 575 p.

4. Afanasiev, Yu. V. Ferroprobe devices [*Ferrozondovye pribory*]. Leningrad, Energoatomizdat publ., 1986, 188 p.

5. Afanasiev, Yu. V., Studentsov, N. V., Shchelkin, A. P. Magnetometric converters, devices, installation [*Magnitometricheskie preobrazovateli, pribory, ustanovki*]. Leningrad, Energia publ., 1972, 272 p.

6. Milovzorov, V. P. Electromagnetic automation devices. Textbook for high schools [*Elektromagnitnye ustrojstva avtomatiki. Uchebnik dlja vuzov*]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 1983, 408 p.

7. Dubrovin, L. M., Nikishechkin, A. P. Study of the possibility of using electromagnetic radiation parameters for diagnosis of cutting tool and cutting process control [*Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovanija parametrov elektromagnitnogo izluchenija dlja diagnostirovanija rezhushhego instrumenta i upravlenija processom rezanija*]. *Vestnik MIIT*, 2010, Iss. 23, pp. 59–70.

8. Davydenko, V. I., Dubrovin, L. M., Nikishechkin, A. P. Ferroprobes for rapid diagnostics of switch machines. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 6, pp. 236–242.

9. Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M. Operative definition of cutting force on parameters of magnetic field generated by DC motor of the main movement drive [*Operativnoe opredelenie sily rezanija po parametram magnitnogo polja, sozdavaemogo dvigatelem postojannogo toka privoda glavnogo dvizhenija*]. *Vestnik MGTU «Stankin»*, 2015, Iss. 4, pp. 42–45.

10. Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M., Davydenko, V. I. Method for estimation of weight load of handling equipment on parameters of magnetic field generated by DC motor [*Sposob ocenki massy gruza pod'jomno-transportnyh ustrojstv po parametram magnitnogo polja, sozdavaemogo dvigatelem postojannogo toka*]. *Vestnik MGTU «Stankin»*, 2016, Iss. 1, pp. 64–67.

11. Dubrovin, L. M., Nikishechkin, A. P., Davydenko, V. I. A Method of Train Mass Estimation. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 2, pp. 58–65.

Information about the authors:

Dubrovin, Lev M. – senior lecturer of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, wellew49@gmail.com.

Nikishechkin, Anatoly P. – Ph.D. (Eng.), associate professor of MSTU «STANKIN», Moscow, Russia, anatolij-petrovich@yandex.ru.

Davydenko, Vladimir I. – senior electrician of Technical Center of Moscow railway – branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, vlad47mir@yandex.ru.

Article received 08.02.2016, accepted 04.04.2016.

УДК 625.12.001.76

Инновационный подход к реконструкции земляного полотна

Александр ГОРЛОВ

Aleksandr V. GORLOV

Горлов Александр Вячеславович *– аспирант кафедры «Путь и путевое хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

An Innovative Approach to Roadbed Reconstruction

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 116)

Статья знакомит с исследованиями в области реконструкции и усиления земляного полотна железных дорог, созданной с участием автора методикой расчётов и проектирования нагельно-сетчатых конструкций, укрепляющих поверхностные откосные части насыпи. Определены рациональные размеры нагелей, предложены инновационные технические решения для земляного полотна под строительство вторых путей, с использованием математического и физического центробежного моделирования. Разработаны лабораторная установка и методика стендовых испытаний армирующих элементов для разных типов нагельных конструкций.

Ключевые слова: железная дорога, земляное полотно, нагель, инновационные конструкции, моделирование, проектирование, стендовые испытания, реконструкция, методы расчёта, армирующие элементы.

Повышение надежности инфраструктуры железнодорожного и автомобильного транспорта и обеспечение безопасности движения за счёт внедрения инновационных и ресурсосберегающих технических решений – грунтовых нагельных систем при строительстве и реконструкции объектов земляного полотна (в том числе расположенного на сейсмически активных территориях) является востребованной технологией.

Многолетние исследования и опытно-производственные работы, выполненные в нашей стране и за рубежом, показали эффективность применения армогрунтовых сооружений и нагельно-сетчатых конструкций для усиления земляного полотна. Тем не менее анализ показывает, что недостаточно изучено напряженное состояние армированного грунта, а также мало внимания уделялось исследованиям деформативности армированных геоматериалами грунтовых конструкций.

Основным показателем надёжности строительных объектов является невозможность превышения в них предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчётных нагрузок в течение прогнозного срока службы [1].

В федеральных нормативных документах для оценки надёжности земляного полотна предлагается применять коэффициент запаса, который зависит от категории линии.

Устойчивость откосов определяется путем сопоставления значений расчётных коэффициентов запаса (устойчивости) K_s с допускаемым коэффициентом запаса (устойчивости) $[K_s]$ в соответствии с требованиями СП 32–104–98. Однако в нормативах не учитывается деградация свойств материалов во времени, влияние окружающей среды и т д. Возникает необходимость учёта потерь поперечного сечения арматуры в процессе эксплуатации.

Для полимерных армоэлементов рабочее усилие не может определяться разрывом при растяжении. Оно мотивировано деформациями, возникающими после завершения строительства, или нагрузками в армоэлементах после релаксации материала под влиянием постоянно действующих напряжений.

Принимая во внимание, что никакой материал не является неизменным, актуальными остается оценка возможных изменений его характеристик во времени и установка коэффициентов, учитывающих эти изменения.

Чтобы оценить рабочее усилие на армоэлементе в течение выбранного расчётного срока службы, надо дать информацию относительно развития деформации при ползучести.

Также актуальной остаётся задача оценки вибродинамического воздействия поездного состава на армогрунтовое сооружение.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА НАГЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При проектировании усиления земляного полотна следует различать особенности расчётов грунтовых анкеров от нагелей. Отличительной чертой нагелей от схожих удерживающих конструкций является совместная работа грунта и элемента крепления, при которой отсутствует передача выдергивающей нагрузки от закрепляемой призмы обрушения и происходит связывание грунтового массива по всей длине [1].

Среди грунтовых нагельных систем можно выделить два основных типа:

– армирование откоса/склона;

– закрепление откоса/склона нагелями с облицовкой сеткой.

Анализ отечественной литературы о производстве грунтовых нагелей показал, что процесс подбора таких параметров нагельного крепления, как шаг в вертикальном и горизонтальном направлениях, диаметр, угол наклона и длина нагелей, должен осуществляться путем расчёта по двум группам предельных состояний (несущей способности и деформативности). При этом отсутствует методика расчёта указанных параметров, а приводятся лишь рекомендуемые диапазоны их значений, которые требуют уточнения в зависимости от грунтовых условий и геометрии укрепляемых сооружений, также целесообразна разработка рациональных значений этих параметров. Для определения условий функционирования целесообразно применение физического центробежного моделирования.

В руководящих документах [1–3] представлена только методика выполнения расчёта по первой группе предельных состояний, исходя из условий устойчивости армогрунтовой стены против сдвига по подошве и опрокидывания относительно точки пересечения поверхности откоса с основанием.

Согласно [3, 4] нагельное крепление представляет собой геотехническую конструкцию, предназначенную для обеспечения устойчивости склонов, откосов насыпей и выемок, вертикальных и наклонных стен котлованов методом установки в грунтовый массив системы армирующих элементов (стальных стержней, труб, композитных элементов и т.п.). Нагели связывают грунтовый массив по всей своей длине, образуя самонесущую гравитационную подпорную стену из армированного грунта.

Нагельное крепление не требует возведения массивной ограждающей конструкции (свайная, шпунтовая, железобетонная и прочие. подпорные стенки), его применяют, когда естественные откосы невозможны или нецелесообразны по условиям существующей застройки.

Отсутствуют схемы вероятных разрушений конструкций нагельного крепления, которые необходимо учитывать при расчётах. Поскольку крепление представляет

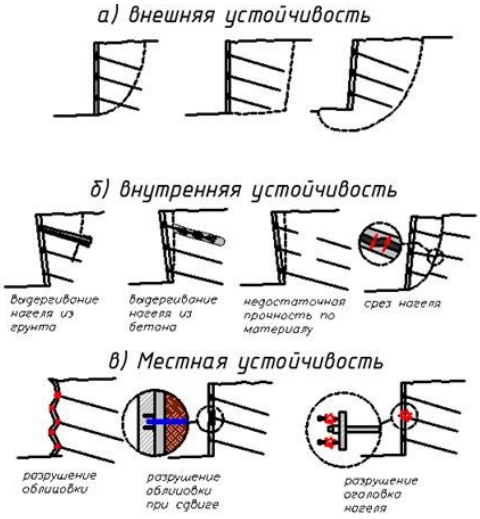


Рис. 1. Основные причины разрушения грунтовой нагельной системы.

собой армогрунтовую систему, то и основные причины ее разрушения подобны наблюдаемым с армогрунтовыми подпорными стенками (рис. 1).

И соответственно методика расчёта должна включать следующие этапы:

– определение параметров армирования массива (количество ярусов, шаг установки, длина, наклон, диаметр нагелей) из условия обеспечения совместной работы нагельных элементов и грунта (внутренняя устойчивость);

– проверка длины нагелей из условия устойчивости армированного массива на опрокидывание и сдвиг по основанию (внешняя устойчивость);

– определение характеристик защитного покрытия стенки (откоса) и проверка шага расстановки нагелей из условия предупреждения локального вывала грунта между нагелями.

Нами разработаны новая модель и расчётная схема внутренней устойчивости нагельного крепления.

Оценка внутренней устойчивости проверяется, исходя из двух типов поверхностей скольжения – ровной и ломаной.

Расчётом оценивается соотношение сил сопротивления и сдвига, действующих на поверхность скольжения. Кроме того, используются коэффициенты надёжности, которые не учитываются в российских нормах, но присутствуют в зарубежных методиках.

Для каждого нагеля оцениваются три параметра:

– сопротивление разрыву;

– сопротивление выдёргиванию из грунта;

– несущая способность оголовка нагеля.

Таким образом, для каждой поверхности скольжения определяется критический параметр для нагеля (по прочности, сопротивлению выдергиванию, несущей способности оголовка) (рис. 2). Несущая способность рассчитывается с учётом положения

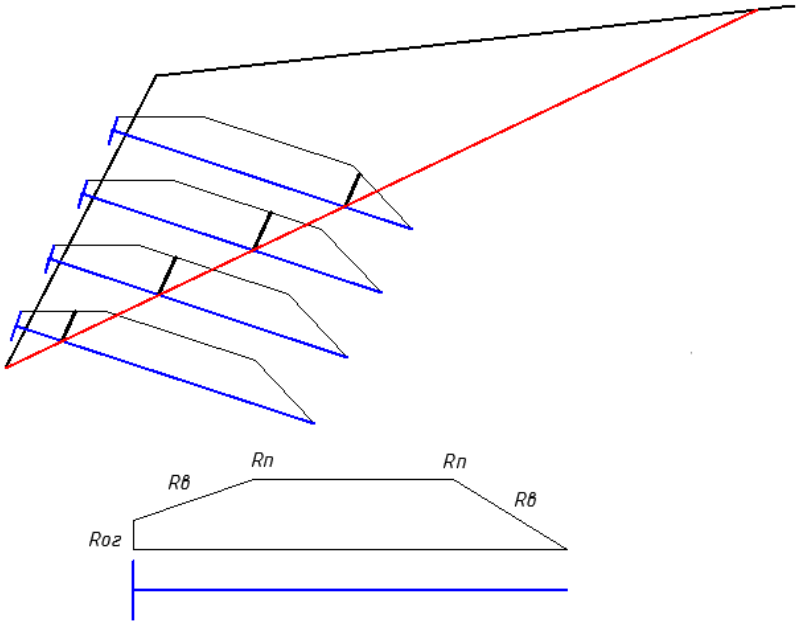


Рис. 2. Распределение силы растяжения вдоль нагеля.

Рис. 3. Общий вид объкта.

его линии пересечения с поверхностью скольжения. Нагель, который находится перед поверхностью скольжения, в расчёте не учитывается. Если поверхность скольжения пересекает нагель, то несущая способность определяется по формуле

$$F = \min(R_в \cdot x, R_п, R_{ог} + R_в \cdot y), \quad (1)$$

где x – длина нагеля позади поверхности скольжения в направлении массива грунта;

y – длина нагеля напротив поверхности скольжения;

$R_{ог}$ – допустимая нагрузка на оголовок;

$R_п$ – прочность нагеля;

$R_в$ – сопротивление выдергиванию.

За рубежом накоплен большой опыт применения анкерных и нагельных конструкций для стабилизации и усиления земляного полотна [5].

В отечественной практике имеется опыт эффективного применения таких конструкций для стабилизации земляного полотна железных дорог.

В июле-августе 2013 года в границах станции Владимир Горьковской железной дороги проводились работы по восстановлению земляного полотна после оползания откосов выемки, которое произошло в июле 2013 года после продолжительного ливня [6]. Решением вопроса стали выпуск скопившейся воды в откосе выемки с использованием поперечных дренажных прорезей и укрепление откосов анкерными конструкциями, представляющими собой два яруса железобетонных плит, размещенных вдоль откоса, с анкерами длиной 25 м (рис. 3) [7]. Предварительное натяжение в анкерах не производилось.

Еще в одном случае специалистами МИИТ были проведены геотехнические расчёты для оценки состояния деформирующегося земляного полотна на участке Таёжный–Камарчага Красноярской железной дороги и обоснования возможности его усиления нагельными конструкциями [8]. На основе материалов инженерных изысканий и проектной документации выполнен расчётный анализ для установления причин и условий деформирования длительно эксплуатируемой двухпутной насыпи высотой до 20 м.

УСИЛЕНИЕ НАСЫПЕЙ НАГЕЛЬНО-СЕТЧАТЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Длительно эксплуатируемые насыпи, как правило, повсеместно имеют развитые балластные шлейфы, которые образовались с течением времени при выполнении ремонтов и текущего содержания пути, часто с завышенной крутизной откосов, что может привести к сплывам и деформациям под воздействием природных и техногенных факторов.

Деформативность насыпей с балластными шлейфами во многом определяется влажностным режимом.

Деформации откосных частей насыпей, выемок и склонов могут быть связаны с недостаточной общей и местной устойчивостью.

Традиционным способом стабилизации и усиления таких насыпей является срезка шлейфов, уположение откосов и отсыпка контрбанкетов из дренирующих грунтов. Несмотря на надёжность этих мероприятий, они обладают существенными недостатками: требуют больших объёмов дефицитных дренирующих грунтов, отвода значительной площади под основания

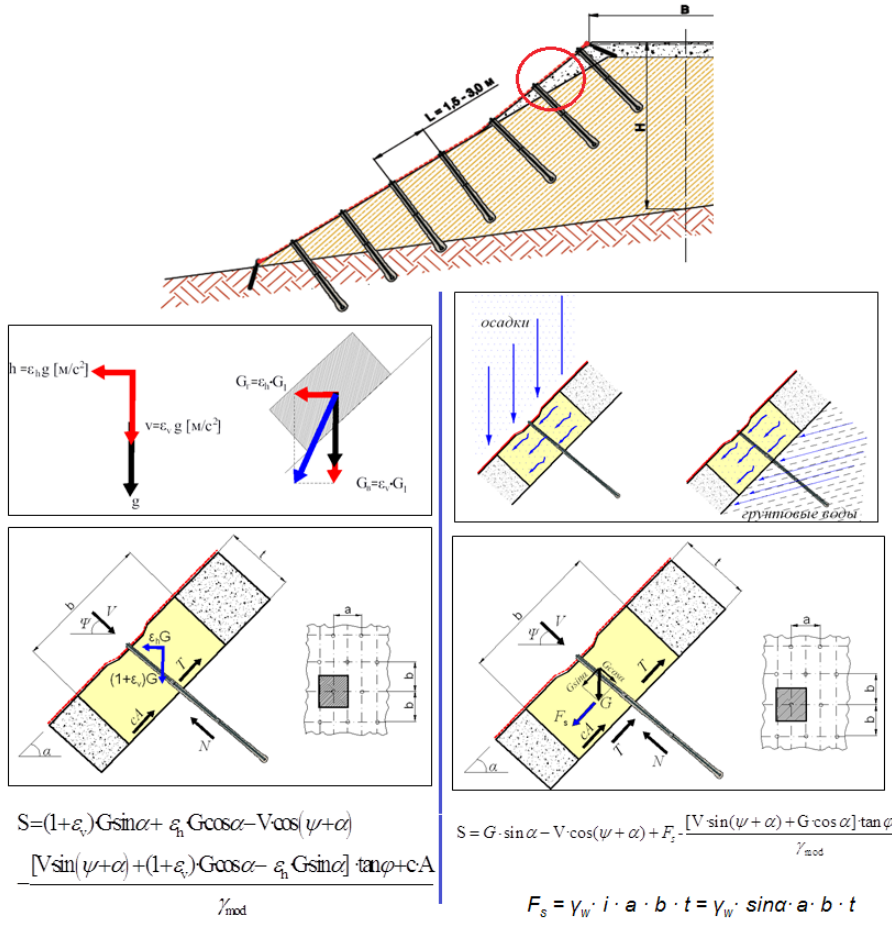


Рис. 4. Расчётные схемы для усиления земляного полотна железных дорог анкерными и нагельными конструкциями.

контрбанкетов, удлинения водопропускных труб, переноса коммуникаций, продолжительных «окон».

На основе выполненных исследований в МИИТ на кафедре «Путь и путевое хозяйство» ранее были созданы способы усиления земляного полотна железных дорог армогрунтовыми конструкциями и предложены технические указания, рекомендации, альбомы групповых технических решений, в числе которых и касающиеся анкерных конструкций.

Альтернативой им может послужить нагельно-сетчатое крепление откосов насыпей, выемок, надтрубной зоны.

Нагельно-сетчатая конструкция представляет собой систему защитного покрытия откоса или склона путём его закрепления высокопрочной металлической стальной сеткой через опорные зубчатые пластины при помощи нагелей, установленных с заданным шагом по вертикали и горизонтали.

Необходимая плотность армирования определяется расчётами методом конечных элементов.

Применительно к местной устойчивости, в особенности на участках с предопределенной поверхностью скольжения (насыпи с балластными шлейфами, поверхностные слои выемок), специалистами МИИТ разработана методика проектирования и расчётов усиления земляного полотна анкерными и нагельными конструкциями (рис. 4), в которой предусмотрено воздействие неблагоприятных факторов – в том числе землетрясений, инфильтрации атмосферных осадков и грунтовых вод.

В отличие от существующей методики расчёта нагельной крепи учитывается:

– шаг расстановки нагелей в продольном и поперечном направлении;

– различные траектории (механизм) возможных смещений поверхностных слоев насыпи (балластных шлейфов);

– наличие облицовки (сетки);

– влияние внешних факторов на поведение конструкции.

При рассмотрении неустойчивых участков откосов или склонов во внимание берутся две расчётные схемы возможного смещения:

– траектория смещения единого участка массива грунта;

– клиновидные траектории смещения отдельных неустойчивых участков массива грунта.

При оценке равновесия выделенного участка с учётом выполнения условий прочности теории Кулона-Мора величина удерживающей силы нагеля S с сопутствующей силой предварительного натяжения V может быть представлена расчётной формулой, критерием для которой является превышение величины суммарной удерживающей силы над сдвигающей, с учетом коэффициентов запаса.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛОТНА ПОД ВТОРЫЕ ПУТИ

В связи с этим целесообразно рассмотреть и возможность применения нагельных конструкций не только как основного способа усиления, но и как вспомогательной конструкции при устройстве армогрунтовых стен усеченных размеров.

Предложено инновационное техническое решение усиления эксплуатируемого земляного полотна железных дорог при его реконструкции под вторые пути за счёт уширения основной площадки, уположения откоса, устройством армогрунтовой стены с минимальным развитием ее основания и применением нагельных конструкций, которые укрепляют существующую откосную часть земляного полотна и соединяются армирующими элементами поддерживающего сооружения.

При этом решается проблема усиления нестабильных откосных частей, повышается устойчивость земляного полотна в целом, сокращается объем грунта и количество армирующих материалов в подпорной стене. В контексте обозначенной задачи предложен вариант, который позволяет обеспечить экономичность и повысить эффективность реконструкции земляного полотна в стесненных условиях [9].

На основе анализа инженерных изысканий и обследования натурных объектов, а также нормативной базы была выполнена оценка состояния земляного полотна, определены условия и причины его деформирования, разработана расчётная схема для типового профиля длительно эксплуатируемой насыпи. Подобраны параметры конструкции с учётом использования современных материалов армирования.

Использованные методы исследования: математическое моделирование (инженерные расчёты), макетирование и геотехническое физическое центробежное моделирование.

Земляное полотно было представлено эксплуатируемой насыпью с развитыми балластными шлейфами. Для установления количественных показателей характерного поперечного профиля изучены материалы анализа инженерно-геологических обследований по 183 поперечным профилям 73 эксплуатируемых насыпей. Обследованные насыпи высотой от 1 до 20 м имели возраст от 30 до 100 лет, сооружались из местных грунтов – суглинков и располагались на прочном основании. В качестве примера выбрана характерная насыпь из глинистых грунтов высотой 12 м.

Ради экономии пространства и материалов нами разработана конструкция, представляющая собой армогрунтовую подпорную стену, закрепленную в откосе с помощью нагелей (анкеров), внедренных в тело насыпи. Нагели выполняют две функции в конструкции:

– повышение устойчивости откоса насыпи;

– удержание армогрунтовой подпорной стены от опрокидывания.

Поскольку армогрунтовая подпорная стена расположена непосредственно у основания насыпи и в ее нижней части длина армирующих элементов ограничена откосом, то нужна дополнительная удерживающая сила для закрепления подпорной стены против сдвига и опрокидывания. Такую дополнительную силу создают нагели.

Расчётами была проверена устойчивость насыпи в построечный период после усиления откоса нагелями. Параметры нагелей подбирались с учётом зависимостей расчёт-

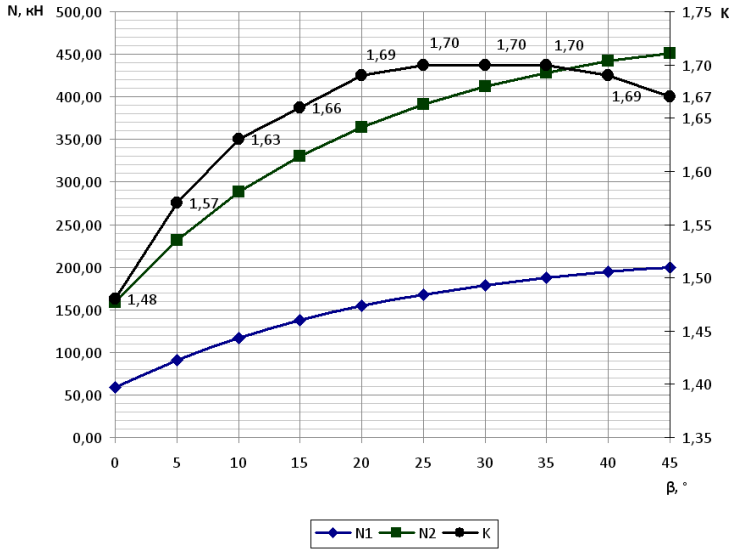


Рис. 5. График зависимости коэффициента устойчивости K от угла наклона нагелей и усилий в нагелях N от угла наклона нагелей β°.

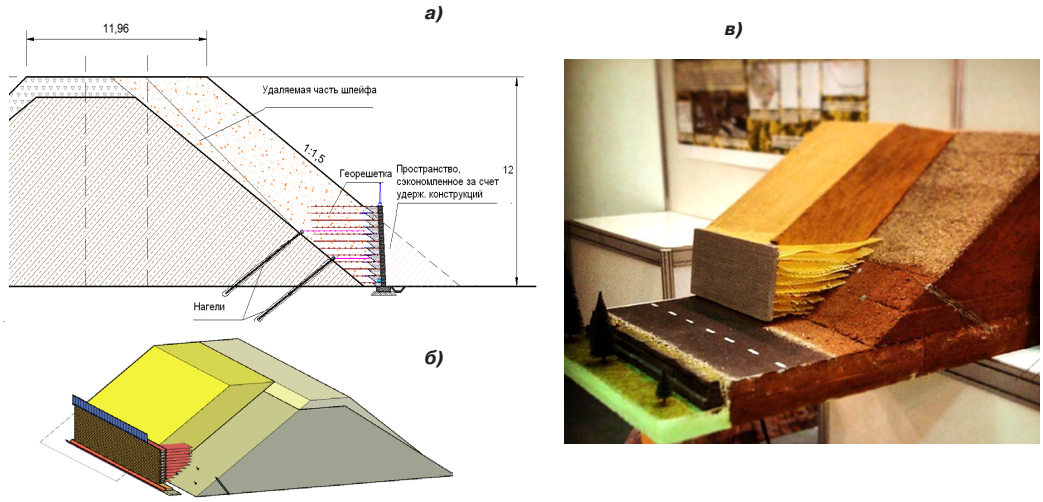


Рис. 6. Конструкция в трех измерениях: а) поперечный разрез насыпи; б) математическая объёмная модель; в) общий вид макета.

ных коэффициентов устойчивости насыпи *K* и усилий *N*, возникающих в нагелях от угла их наклона к горизонту. По результатам анализа графиков (рис. 5) был принят угол наклона нагелей 35 град. Поскольку при таком угле возникают наибольшие усилия в нагелях, достигается максимальный коэффициент устойчивости и обеспечивается наиболее эффективная работа конструкции.

Таким образом, была впервые предложена конструкция усиления насыпи под второй путь (рис. 6), которая рекомендуется для применения в стесненных условиях при строительстве и реконструкции земляного полотна железных дорог; при усилении откосных частей земляного полотна без подрезки, а также при укреплении оползневых склонов. Конструкция является технологичной и может возводиться с полевой стороны дороги.

По результатам расчётов и проектирования насыпи, усиленной армогрунтовой стеной и нагельными конструкциями, был изготовлен ее макет, который был представлен по разделу «Экология и рациональное землепользование» на выставке научно-технического творчества молодежи (НТТМ) на ВДНХ в Москве в 2014 году и награжден медалью [10].

В дальнейшем работоспособность конструкции предполагается проверить методом центробежного моделирования на геотехнической центрифуге МИИТ.

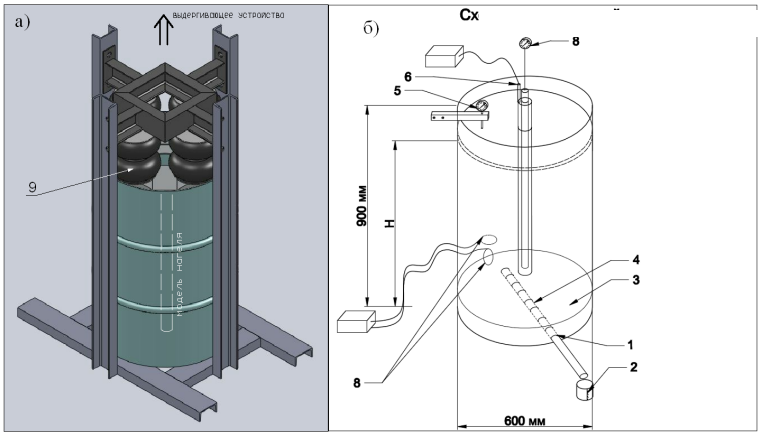


Рис. 7. Схема установки и измерительной системы: а) общий вид; б) измерительная система. 1 – отверстие для вывода жидкости; 2 – мерная ёмкость; 3 – дренаж; 4 – перфорированная трубка; 5, 6 – датчик перемещений; 7 – рама; 8 – датчик давления; 9 – пневматические домкраты.

Таблица 1

Сопротивление по боковой поверхности анкера/нагеля в зависимости от типа грунта

Тип грунта	Сопротивление по боковой поверхности q_{sk}, кПа
Средний и крупный гравий	200
Песок, гравелистый песок	150
Супесь, суглинок, глина	100

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для оценки параметров взаимодействия для разных конструкций нагелей и грунтовых условий проводятся испытания на выдергивание с учётом различного напряженного состояния.

Испытания на выдергивание моделируют реальные условия работы нагеля в грунте.

Целью испытаний, проведенных на стенде, является изучение на физических моделях зависимости сопротивления выдергиванию нагельного крепления от основных параметров: типа и показателя текучести грунта, диаметра нагеля и его обжатия окружающим грунтом.

Для понимания механизма взаимодействия по поверхности армирующий элемент-грунт планируется провести испытания на выдергивание. Они должны моделировать реальные условия работы нагеля в грунте.

Анализ существующих методик расчёта несущей способности нагелей по грунту показал, что они оценивают только нагели с цементным телом вокруг металлического элемента. Однако в ряде случаев целесообразно применение в качестве нагелей металлических армирующих элементов (винтовая арматура, труба, металлические стержни) без цементной оболочки, что даже при более плотной расстановке (меньший шаг в продольном и поперечном направлении) существенно сокращает время устройства и стоимость конструкции.

В соответствии с DIN1054–2005 расчётные значения сопротивлений различных типов грунта по боковой поверхности анкера/нагеля приведены в таблице 1.

Однако методика DIN1054–2005 предусматривает определение несущей способности только самозабуриваемого анкера/нагеля по формуле:

$$F_d = \varpi D l q_{sk}, \qquad (1)$$

где D – диаметр анкера/нагеля; l – длина анкера/нагеля; q_{sk} – сопротивление по боковой поверхности анкера/нагеля.

Из формулы (1) следует, что не учитывается влияние давления грунта на боковую поверхность анкера/нагеля, параметров глинистого и песчаного грунта (показатель текучести, коэффициент уплотнения).

Для изучения влияния этих факторов на несущую способность был разработан и изготовлен стенд для испытаний моделей нагелей и разработана методика испытаний.

С этой целью спроектирована и изготовлена новая установка, представляющая собой пространственную конструкцию, состоящую из металлической ёмкости с габаритами 900х600 мм на раме из швел-

леров, нагрузочного устройства из пневмодомкратов и выдергивающего силового агрегата, через который передается усилие на нагель (рис. 7). Ёмкость может заполняться песчаным и/или глинистым грунтом различной консистенции.

Измерение перемещения анкера/нагеля регистрирует датчик перемещений; силы выдергивания – динамометр статических растягивающих усилий, отградуированных в килоньютонах; давления грунта на нагель – датчики давления.

При подборе эквивалентного материала для пластичных грунтов в качестве определяющих характеристик используется совокупность значений удельного сцепления c и угла внутреннего трения ϕ.

Для учёта конструктивных особенностей различных армирующих элементов планируется испытать показанные в таблице 2 конструктивные типы нагелей.

Программой испытаний предусмотрено проведение четырех полнофакторных экспериментов типа 2^n при варьировании трех факторов: диаметра тела нагеля D (от 0,01 до 0,15 м), показателя текучести грунта I_L (от 0 до 0,5), давления грунта p (от 100 до 300 кПа).

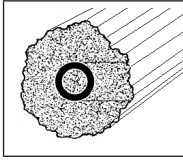
Чтобы учесть влияние трех факторов для четырех конструктивных типов нагелей необходимо провести $(2^3) \cdot 4 = 8 \cdot 4 = 32$ опыта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопрос повышения надежности инфраструктуры железнодорожного и автомобильного транспорта и обеспечение безопасности движения за счёт внедрения инновационных и ресурсосберегающих технических решений – грунтовых нагельных систем при строительстве и реконструкции объектов земляного полотна (в том числе расположенного на сейсмически активных территориях) является актуальным.

Таблица 2

Конструктивные типы нагелей

	гладкий арматурный стержень
	винтовая арматура
	металлическая труба
	винтовая арматура с цементной оболочкой

Анализ отраслевой нормативной литературы в области проектирования мероприятий по усилению и реконструкции объектов земляного полотна железных дорог показывает, что степень обеспеченности нормативной документацией по применению армогрунтовых конструкций недостаточна.

Не в полной мере в существующей документации отражены вопросы требований к проектированию, строительству и последующей эксплуатации армогрунтовых сооружений.

Основные научные разработки в области применения армогрунтовых конструкций при усилении и реконструкции земляного полотна были проведены в начале и конце 90-х годов, когда выбор армирующих материалов был однообразен.

Новизной подхода является разработка инструкции, регламентирующей порядок оптимального применения армогрунтовых конструкций для стабилизации и усиления земляного полотна железнодорожного пути.

Практическая значимость работ определяется тем, что внедрение грунтовых нагельных систем позволяет проводить усиление земляного полотна в сложных геологических условиях: земляное полотно и искусственные сооружения в районах размыва со стороны моря, на скально-обвальных участках, а также в условиях интенсивной городской застройки (урбанизированные территории).

Имеется положительный опыт применения нагельных систем на участках эксплуатации земляного полотна для усиления высоких насыпей, имеющих недостаточную устойчивость.

Для определения условий функционирования новых схем целесообразно применение физического центробежного моделирования. Поэтому требуются дополнительные исследования по оценке несущей способности нагельных конструкций при их использовании для укрепления земляного полотна.

Итогом таких исследований станет определение рациональной сферы приме-

нения инновационных ресурсосберегающих технических решений – грунтовых нагельных систем при строительстве и реконструкции объектов земляного полотна транспортной инфраструктуры (с использованием центробежного моделирования).

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

• выполнить анализ существующих методов расчёта анкерных и нагельных конструкций;

• исследовать особенности напряженно-деформированного состояния многорядных анкерных (нагельных) конструкций при различных условиях;

• исследовать закономерности распределения оползневого давления между анкерами (нагелями) в зависимости от конфигурации многоярусного сооружения;

• выявить рациональные конструктивные решения многоярусных анкерных (нагельных) конструкций;

• разработать рекомендации по рациональному использованию анкерных (нагельных) конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по проектированию и технологии устройства анкерного крепления в транспортном строительстве.– М.: ЦНИИС, 1987. [Электронный ресурс]: http://gostrf.com/normadata/1/4294851/4294851087.pdf. Доступ 22.03.2016.

2. Ведомственные нормы и правила ВСН-506–88. Проектирование и устройство грунтовых анкеров.

3. СТО НОСТРОЙ 109–2013. Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения. Требования к результатам работ.– М.: БСТ, 2013.– 215 с.

4. СТО-ГК «Трансстрой»-013–2007. Нагельное крепление котлованов и откосов в транспортном строительстве. Стандарт организации.– М.: Трансстрой, 2007.– 34 с.

5. Geotechnical engineering circular no. 7 Soil Nail Walls Publication FHWA-IF-03–017

6. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В., Соковых М. Г. Особенности проектирования усиления земляного полона анкерными и нагельными конструкциями // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: Материалы XI межд. науч.-техн. конф., посвящ. 110-летию Г. М. Шахунянца.– М.: МИИТ, 2014.– С. 263–268.

7. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Инновационные противооползневые конструкции с применением анкерных систем по укреплению земляного полотна при оползневых подвижках косогора на участке Петушки-Владимир Горьковской железной дороги // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике: Материалы науч.-техн. конф. Липецк, 27–29 октября 2013 г.– М.: ИНЭП: Палеотип, 2013.– С. 37–41.

8. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Геотехнические расчеты для обоснования усиления железнодорожной насыпи на участке Таёжный–Камарчага Красноярской железной дороги // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: Материалы межд. науч.-техн. конф.– Ч. 1.– СПб., 2014.– С. 460–465.

9. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Обоснование армогрунтово-нагельного конструктивного решения по устройству земляного полотна под второй путь // Инженерные сооружения на транспорте: Сб. научных трудов / Под общ. ред. Ю. И. Романова.– Вып. 6.– М.: МИИТ, 2015.– С. 49–57.

10. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Расчетное и макетное обоснование усиления земляного полотна армогрунтовыми поддерживающими сооружениями с применением нагельных конструкций // Политранспортные системы: Материалы VIII международной научно-техн. конференции, Новосибирск, 2015.– М.: СГУПС, 2015.– С. 226–232.

11. Виноградов В. В., Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В., Особенности применения методов расчётов устойчивости эксплуатируемого земляного полотна при проектировании мероприятий по его усилению в сложных природных условиях // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: Материалы трудов XII межд. науч.-техн. конф.– М.: МИИТ, 2014.

12. Выдрицкая М. П. Методика и планирование экспериментальных исследований анкерных систем // Строительство и техногенная безопасность: Сб. научных трудов.– Вып. 33–34.– Симферополь, 2010.– С. 65–76.

13. Востриков К. В., Скоркин В. Ф. К вопросу расчёта параметров нагельного крепления бортов котлованов // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: Материалы межд. науч.-техн. конф.– Ч. 1.– СПб., 2014.– С. 427–434.

14. Geotechnical engineering circular no. 7 Soil Nail Walls Publication FHWA-IF-03–017

15. Еремин В. Я. Крепление бортов котлованов. Авторский строительный блог «Геотехнические проблемы России», 2014. [Электронный ресурс]: http://blogostroy.ru/2011/10/06/крепление-бортов-котлованов/. Доступ 22.03.2016.

Координаты автора: **Горлов А. В.** – gorlov.alex.v@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.12.2015, актуализирована 14.03.2016, принята к публикации 22.03.2016.

Автор статьи является лауреатом конкурса «Молодые учёные транспортной отрасли», организованного Министерством транспорта Российской Федерации. В финале конкурса, состоявшемся 2 декабря 2015 года в рамках «Транспортной недели – 2015» в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), работа заняла первое место в номинации «Развитие транспортной инфраструктуры, инновационные подходы в строительстве и эксплуатации искусственных сооружений».

AN INNOVATIVE APPROACH TO ROADBED RECONSTRUCTION

Gorlov, Aleksandr V., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article introduces the research in the field of reconstruction and strengthening of the roadbed of railways, the method of calculation and design of dowel-lath structures, reinforcing the surface sloping parts of the subgrade, created with the author's participation. The rational dowel sizes are defined, innovative technical solutions for the roadbed for construction of the second tracks are offered, using mathematical and physical centrifugal modeling. The laboratory installation and technique of bench tests of reinforcing elements for different types of dowel structures are developed.

Keywords: railway, roadbed, dowel, innovative structure, modeling, design, bench testing, reconstruction, calculation methods, reinforcing elements.

Background.

Improving the reliability of infrastructure of rail and road transport and traffic safety through the introduction of innovative and resource-saving technical solutions – ground dowel systems in construction and reconstruction of the roadbed facilities (including those located in seismically active areas) is a promising engineering solution.

Years of research and development – production works carried out in our country and abroad have shown the effectiveness of application of reinforced ground structures and dowel-lath structures to reinforce the roadbed. Nevertheless, the analysis shows that stress state of reinforced soil is understudied, and little attention was paid to research of deformability of reinforced structures with geomaterials.

The main indicator of reliability of construction objects is the impossibility of exceeding the limit states in them under the influence of the most unfavorable combination of calculated loads over the forecast useful life [1].

In the federal regulations to assess roadbed reliability it is offered to apply the safety factor, which depends on the line category.

Stability of slopes is determined by comparing the calculated values of safety factors (sustainability) K_s with permissible safety factor (sustainability) $[K_s]$ in accordance with the requirements of SP 32–104–98. However, in the regulations degradation of properties of materials over time, environmental effects, etc. are not taken into account. There is a need to consider losses of reinforcement cross-section during operation.

For polymer reinforced elements the operating force cannot be determined by tensile fracture. It is motivated by deformations that occur after completion of construction, or loads in reinforced elements after relaxation of the material under the influence of permanent stress.

Taking into account that no material is constant, the assessment of possible changes of its characteristics in time and setting coefficients, taking into account these changes, remains acute.

To assess the operating force on the reinforced element within the design service life, it is necessary to give information on the deformation of creep.

Also the problem of estimating the vibrodinamic impact of train on the reinforced ground construction is still relevant.

Objective. *The objective of the author is to present an innovative approach to roadbed reconstruction.*

Methods. *The author uses mathematical modeling (engineering calculations), layout and geotechnical centrifugal physical modeling.*

Results.

The methodology of calculation of dowel structures

When designing strengthening of the roadbed it is necessary to distinguish the features of calculation of ground anchorages from dowels. A distinctive feature of dowels from similar retaining structures is a joint work of ground and the fastening element, in which there is no transmission of pulling load from the fastened sliding wedge and the binding of the soil mass along the entire length takes place [1].

Two main types can be distinguished among dowel ground systems:

1. reinforcing back slope / back fall;

2. fixation of back slope / back fall by dowels with lattice siding.

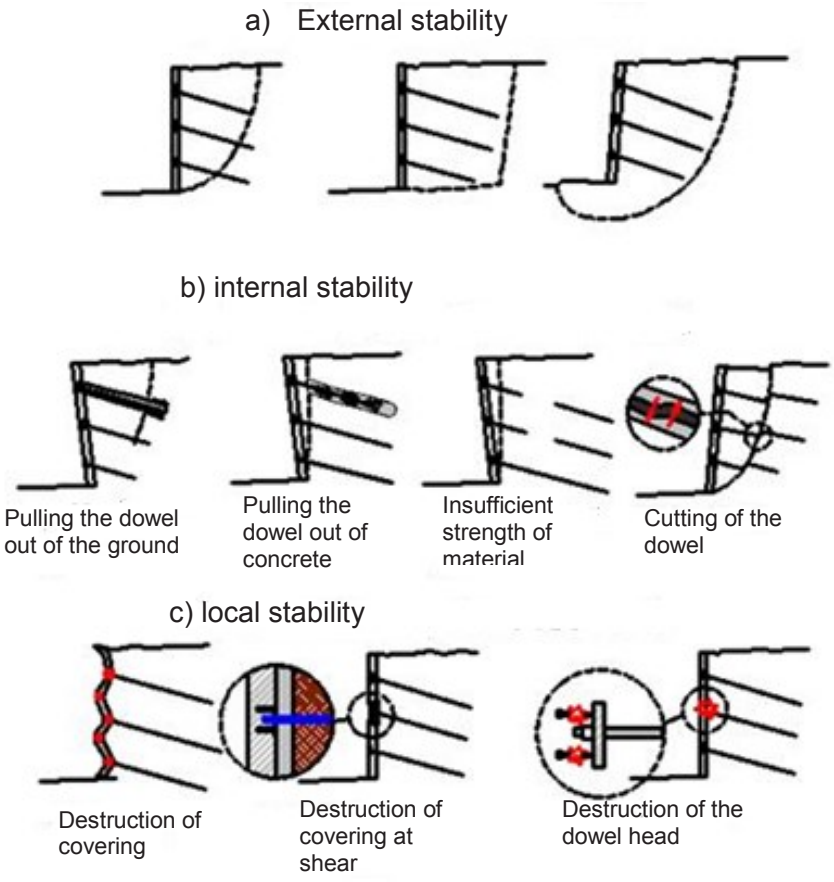
The analysis of national literature on the production of ground dowels showed that the process of selection of such parameters of dowel fastening as a step in vertical and horizontal directions, diameter, angle of slope and length of dowels must be carried out by calculating on two groups of limit states (load-bearing capacity and deformability). At the same time there is no method of calculating these parameters, and only recommended ranges of their values are given that need to be clarified, depending on ground conditions and the geometry of strengthened structures, the development of suitable values of these parameters is also appropriate. To determine the operating conditions the use of centrifugal physical modeling is advisable.

The guidance documents [1–3] present only a calculation method for the first group of limiting states, based on the conditions of stability of reinforced ground wall against the shear along the bottom and tilting over relative to the intersection point of the slope surface with the base.

According to [3, 4] dowel fastening is a geotechnical structure, designed to ensure the stability of slopes, embankment slopes and depressions, vertical and inclined walls of pits by installing in the ground array a system of reinforced elements (steel rods, tubes, composite elements, etc.). Dowels connect the ground array along its entire length, forming a self-supporting gravity retaining wall of reinforced soil.

Dowel fastening does not require the construction of a massive building envelope (piled, sheet pile, concrete and other retaining walls), it is used when natural slopes are impossible or impractical under the terms of an existing building system.

There are no schemes of possible failures of dowel fastening structures that must be considered in the calculations. Since the fastening is a reinforced ground system, the main reasons for its failure are



Pic. 1. The main reasons for the destruction of ground dowel system.

similar to those observed with reinforced ground retaining walls (Pic. 1).

And accordingly, the calculation method shall include the following steps:

– definition of the array of reinforcement parameters (number of storeys, installation step, length, slope, diameter of dowels) from the condition of ensuring joint work of dowel elements and ground (internal stability);

– checking the length of dowels from the condition of reinforced array stability for rollover and shift on the base (external stability);

– definition of characteristics of protective coating of walls (slope) and checking the step of placement of dowels from the condition of prevention of local overbreak between dowels.

We have developed a new model and calculation scheme of internal stability of a dowel fastening.

Evaluation of internal stability is tested on the basis of two types of sliding surfaces – flat and broken.

Calculation estimates the relation of forces of resistance and shear acting on the sliding surface. In addition, reliability coefficients are used, which are not taken into account in the Russian standards, but are present in the foreign techniques.

For each dowel three parameters are estimated:

– Tearing resistance;

– Resistance to pulling from the ground;

– Bearing capacity of the dowel head.

Thus, for each sliding surface a critical parameter for a dowel is determined (strength, resistance to pulling from the ground, bearing capacity of the head) (Pic. 2) is determined for each sliding surface. Bearing capacity is calculated taking into account the location of its line of intersection with the sliding surface. The dowel, which is in front of the sliding surface, is not taken into account in the calculation. If the sliding surface intersects the dowel, bearing capacity is determined by the formula

$$F = \min(R_в \cdot x, R_п, R_{or} + R_в \cdot y), (1)$$

where x is length of the dowel behind the sliding surface in the direction of the ground array;

y is length of the dowel opposite the sliding surface;

R_h is permissible load on the head;

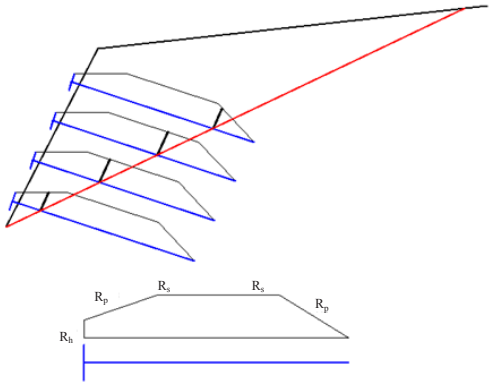
R_s is dowel strength;

R_p is resistance to pulling out.

Abroad broad experience in anchor and dowel structures to stabilize and strengthen the roadbed has been accumulated [5].

In domestic practice there is the experience in effective use of such structures to stabilize the roadbed of railways.

In July and August 2013 within the boundaries of the station Vladimir of Gorky Railway the reconstruction of the roadbed was carried out after slumping of excavation slopes, which occurred in July 2013 after a long rain [6]. The solution was discharge of water in the slope of the depression using lateral drainage slots and strengthening of slopes with anchor structures that represent two layers of reinforced concrete plates placed along the slope, with the anchors with the length of 25 m (Pic. 3) [7]. Pre-tension in anchors was not made.



Pic. 2. Distribution of tensile strength along the dowel.

In another case, specialists of MIIT carried out geotechnical calculations to assess the deformable roadbed state on the section Taezhniy – Kamarchaga of Krasnoyarsk railway and to study the possibility of its strengthening with dowel structures [8]. On the basis of materials of engineering research and project documentation calculation analysis was made to identify the causes and conditions of deformation of the double-track long exploited subgrade with the height of up to 20 m.

Strengthening of subgrades with dowel-lath structures

Long exploited subgrades, as a rule, have developed throughout the ballast tails, which were formed over time when performing repairs and routine maintenance of track, often with a high steepness of slopes, which can lead to slipouts and deformation under the influence of natural and anthropogenic factors.

Deformability of subgrades with ballast tails is largely determined by humidity conditions.

Deformation of sloping parts of subgrades, slopes and depressions may be associated with a lack of general and local stability.

The traditional way of stabilization and strengthening of such subgrades are cropping of tails, grade flattening and dumping of counter dams from draining soils. Despite reliability of these activities, they have significant drawbacks: require large amounts of scarce draining soils, allocation of a large area for the base of counter dams, extension of culverts, transfer of communication lines, duration of «windows».

On the basis of the research at MIIT at the department of Track and track facilities ways of strengthening of the roadbed of railways with reinforced ground structures have been previously created and technical guidance, recommendations, technical solutions group albums, including related to anchor structures have been offered.

The alternative may be dowel-lath fastening of slopes of subgrades excavations, over-tube zone.

Dowel-lath structure is a system of protective coating or the slope by its fixing with a high-tensile metallic steel lath through support gear plate using dowels mounted with predetermined step vertically and horizontally.

The required reinforcement density is determined by calculations using finite element method.

With regard to local stability, particularly in areas with a predetermined sliding surface (subgrade with ballast tails, surface layers of depressions), experts of MIIT developed a method of designing and calculation of strengthening of the roadbed with anchor and dowel structures (Pic. 4), which provides the impact of adverse factors – including earthquakes, infiltration of precipitation and groundwater.

In contrast to the existing methods of calculation of dowel shore are taken into account:

– Step of dowel placement in longitudinal and transverse directions;

– Different trajectories (mechanism) of possible displacement of the surface layers of the subgrade (ballast tails);

– The presence of the covering (lath);

– The impact of external factors on the behavior of the structure.

When considering the unstable areas of slopes two schemes of possible shift are taken into account:

– The trajectory of the displacement of a single plot of ground array;

– Wedge-shaped trajectory of displacement of certain unstable areas of ground array.

In assessing the balance of the selected section, taking into account the conditions of strength of Mohr-Coulomb theory the value of the holding force of dowel S with accompanying pre-tensioning force V can be represented by the calculated formula, the criterion for which is the excess of the total value of holding force over the shear, taking into account safety factors:

Reconstruction of the roadbed for the second tracks

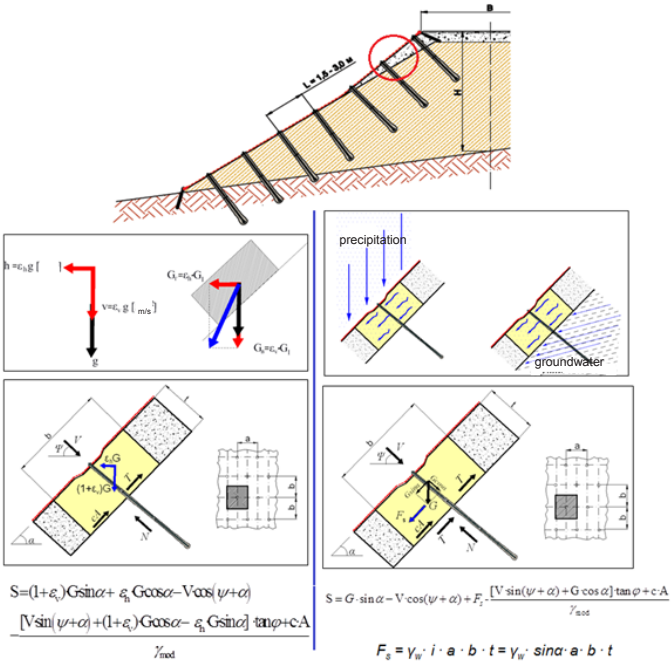
In this connection, it is advisable to consider the possibility of using dowel structures not only as the primary means of strengthening, but also as an auxiliary structure in arrangement of reinforced ground walls of truncated dimensions.

An innovative technical solution is offered for strengthening of the operated roadbed of railways during its reconstruction for the second tracks by broadening of the main site, grade flattening, arrangement of reinforced ground wall with minimal development of its base and using dowel structures that reinforce the existing sloping part of the roadbed and are connected via the reinforced elements of support structures.

This solves the problem of strengthening of unstable sloping parts, increases the stability of the roadbed as a whole, reduces the amount of soil and the amount of reinforcing material in a retaining wall. In the context of the specified task, a variant is offered that allows for efficiency and increase in effectiveness of reconstruction of the roadbed in constrained conditions [9].

Based on the analysis of engineering studies and field surveys of objects, as well as the regulatory framework assessment of the subgrade was completed, the conditions and the reasons for its deformation were

Pic. 3. General view of the object.



Pic. 4. Calculation scheme to reinforce the roadbed of railways with anchor and dowel structures.

defined, a calculation scheme for a typical profile of a long exploited subgrade was developed. Design parameters were chosen in view of the use of modern reinforcing materials.

Used methods of research: mathematical modeling (engineering calculations), layout and geotechnical centrifugal physical modeling.

Subgrade was represented by exploited subgrade with advanced ballast tails. To establish quantitative indices of characteristic transverse profile the materials of analysis of geological engineering surveys on 183 cross profiles of 73 exploited subgrades were studied. The surveyed subgrades with height from 1 to 20 m were aged from 30 to 100 years old, built of local soils–clay loams and placed on a solid foundation. As an example the characteristic subgrade of clay soils 12 m in height was selected.

For the sake of saving space and materials we have developed a design, which is a reinforced ground retaining wall, mounted in the slope using dowels (anchors), embedded in the subgrade body. Dowels perform two functions in the design:

– Improving the stability of the subgrade slope;

– Holding reinforced ground retaining wall from rollover.

Since reinforced ground retaining wall is located directly at the base of the subgrade and in the bottom the length of reinforcing elements is limited by the slope, additional holding force is required for fixing a retaining wall against the shear and rollover. This additional force is created by dowels.

Calculation have tested the stability of the subgrade in construction period after strengthening of the slope with dowels. Parameters of dowels were chosen taking into account dependencies of calculated coefficients of the subgrade stability K and forces N, arising in dowels from the angle of their inclination to the horizon. Based on analysis of the graphs (Pic. 5) the angle of inclination of dowels equal to 35 degrees was adopted. Because at this angle the greatest efforts in dowels arise, the highest stability factor is achieved and the most efficient operation of the structure is provided.

Thus, the structure of strengthening of the subgrade for the second track (Pic. 6) was offered, which is recommended for use in constrained conditions in construction and reconstruction of the roadbed of railways; while strengthening the sloping parts of the roadbed without cutting, as well as the strengthening of landslide slopes. The design is processable and can be built on the field side of the railway.

According to the results of calculations and design of the subgrade, enhanced with reinforced ground wall and dowel structures, its layout was made, which was presented in the section «Ecology and rational use of land» in the exhibition of scientific and technical creativity of youth at VDNH in Moscow in 2014 and was awarded a medal [10].

In the future performance of the construction is supposed to be checked using the method of centrifugal modeling on the geotechnical centrifuge of MIIT.

Development of the installation and techniques of bench tests

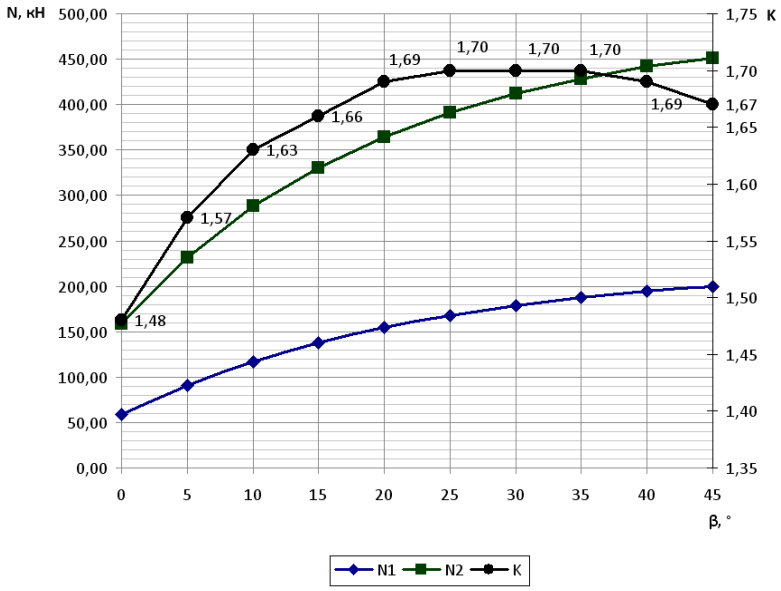
To assess the interaction parameters for different designs of dowels and ground conditions puling-out tests are conducted, taking into account various stress.

Tests for pulling-out simulate actual working conditions of the dowel in the ground.

The purpose of the tests carried out on the stand, is to study on physical models dependencies of resistance to pulling-out of a dowel fastening on the main parameters: type and soil flow index, the diameter of the dowel and its compression by the surrounding soil.

To understand the mechanism of interaction on the surface the reinforcing element-soil tests it is planned to conduct pulling-out tests. They must simulate real working conditions of the dowel in the ground.

Analysis of existing methods for calculating of the bearing capacity of dowels on the ground showed that they estimate only dowels with cement body around the metal element. However, in some cases it is expedient



Pic.5. Graph of dependence of stability coefficient K on the angle of inclination of dowels and forces in dowels N on the angle of inclination of dowels β°.

to use as dowels metallic reinforcing elements (screw fittings, pipe, metal rods) without cement shell that even with denser arrangement (smaller step in longitudinal and transverse directions) substantially reduces the time for installation and cost of the structure.

In accordance with DIN1054–2005 calculated values of resistance of different soil types on the lateral surface of the anchor / dowel are shown in Table 1.

However, the method of DIN1054–2005 provides for definition of the bearing capacity of only self-drilling anchor / dowel according to the formula:

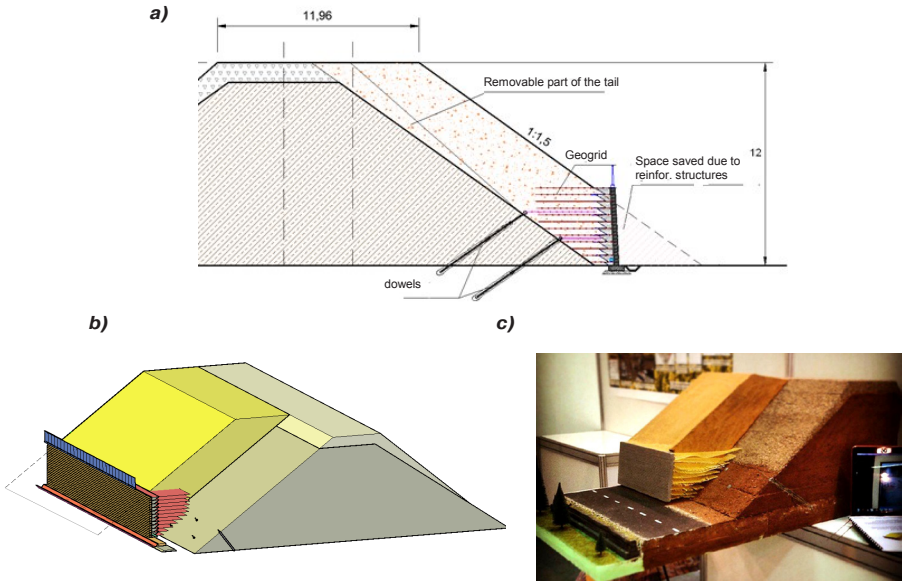
$$F_d = \varpi D l q_{sk}, \quad (1)$$

where D is diameter of anchor/dowel; l is length of anchor/dowel; q_{sk} is resistance on the lateral surface of anchor/dowel.

From the formula (1) it follows that it does not take into account the pressure of soil on the lateral surface of the anchor / dowel, parameters of clay and sandy soil (liquidity index, compression ratio).

To study the impact of these factors on the bearing capacity bench for dowel models test has been developed and manufactured, as well as testing procedures.

To that end, a new installation was designed and built, which is a three-dimensional structure consisting of a metal container with dimensions 900x600 mm on the frame of the channels, the load device from exhaust jacks and pulling out power unit, through which force on the dowel is transmitted (Pic. 7). Container can be filled with sand and / or clay soils of varying consistency.



Pic. 6. The design in three dimensions: a) cross-section of the subgrade; b) mathematical volumetric model; c) a general view of the layout.

Measuring movement of the anchor / dowel is recorded by displacement sensor; pulling out force – by dynamometer of static tensile forces, calibrated in kilonewtons; ground pressure on the dowel – by pressure sensors.

When selecting an equivalent material for plastic soils as defining characteristics, a set of values of specific adhesion c and internal friction angle is used.

To account for the structural characteristics of various reinforcing elements it is planned to test design types of dowels shown in Table 2.

Test program provides for holding four full factorial experiments of the type 2^n while varying three factors: dowel body diameter D (from 0,01 to 0,15 m), liquidity index of soil I_L (from 0 to 0,5), ground pressure p (from 100 to 300 kPa).

To account for the influence of three factors for four structural types of dowels it is necessary to conduct $(2^3) \cdot 4 = 8 \cdot 4 = 32$ experiments.

Conclusion.

1) The issue of increasing the reliability of infrastructure of rail and road transport and traffic safety through the introduction of innovative and resource-saving technical solutions – dowel ground systems in construction and reconstruction of the roadbed (including those located on the seismically active areas) remains acute.

Analysis of the regulatory professional literature in the design of measures for strengthening and reconstruction of the roadbed of railways shows that the degree of supply with regulatory documentation for use of reinforced ground structures is insufficient.

In the existing documentation issues of requirements for design, construction and subsequent operation of reinforced ground facilities are reflected not fully.

Basic scientific development in the field of application of reinforced ground structures during strengthening and reconstruction of the roadbed were conducted at the beginning and end of the 90s, when the choice of reinforcing materials was uniform.

Novelty of these works is the development of instructions regulating the procedure for optimal use of reinforced ground structures to stabilize and strengthen the roadbed of railway track.

The practical significance of the works is determined by the fact that the introduction of dowel ground systems allows strengthening of the roadbed under complex geological conditions: roadbed and artificial structures in the areas of erosion from the sea, on the rocky, in landslide areas, as well as in conditions of intense urban development (urban areas).

There is a positive experience of application in the areas of operation of the roadbed to reinforce high subgrades with a lack of stability.

To determine the operating conditions it is advisable to use physical centrifugal modeling. Therefore, more research is needed to assess the bearing capacity of dowel structures during their use to strengthen the roadbed.

The outcome of these studies is to define the scope of rational application field of innovative technical solutions – dowel ground systems in construction and reconstruction of the roadbed facilities of transport infrastructure (using a centrifugal modeling).

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

• perform analysis of existing methods of calculation of anchor and dowel structures;

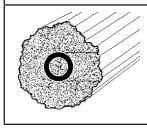
Table 1

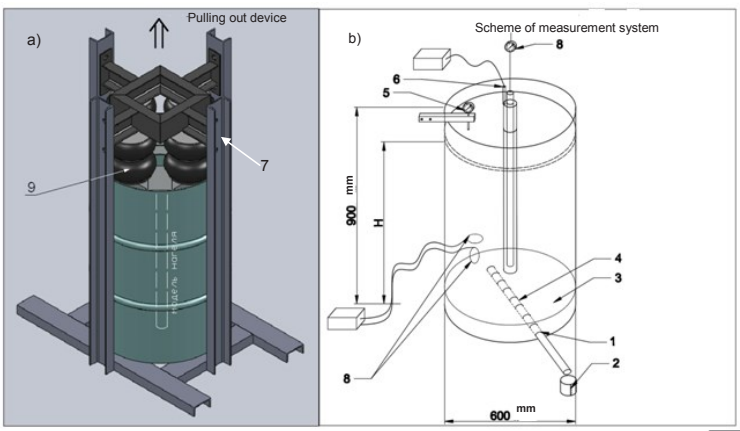
Resistance on the lateral surface of anchor / dowel, depending on the type of soil

Type of soil	Resistance on lateral surface q_{sk}, kPa
Medium and coarse gravel	200
Sand, gravel sand	150
Clay sand, loam, clay	100

Table 2

Structural types of dowels

	plain bar
	screwed fittings
	metal pipe
	screwed fittings with cement lining



Pic. 7. Scheme of installation and measurement system: a) general view; b) measuring system. 1 – fluid outlet opening; 2 – measuring container; 3 – drainage; 4 – perforated pipe; 5, 6 – displacement sensor; 7 – frame; 8 – pressure sensor; 9 – pneumatic jacks.

• *explore the features of the stress-strain state (SSS) of multi-row anchor (dowel) structures under various conditions;*

• *investigate the landslide pressure distribution patterns between anchors (dowels), depending on configuration of multi-storey buildings;*

• *identify the rational design solutions of multilevel anchor (dowel) structures;*

• *develop recommendations for the rational use of anchor (dowel) structures.*

REFERENCES

1. Guidelines for design and arrangement method of the anchor fastening in transport construction [*Rukovodstvo po proektirovaniju i tehnologii ustrojstva ankernogo kreplenija v transportnom stroitel'stve*]. Moscow, CNIIS publ., 1987. [Electronic source]: http://gostrf.com/normadata/1/4294851/4294851087.pdf. Last accessed 22.03.2016.

2. Departmental regulations BCH-506–88. Design and installation of ground anchors [*Vedomstvennye normy i pravila VSN-506–88. Proektirovanie i ustrojstvo gruntovyh ankerov*].

3. STO NOSTROY109–2013. Arrangement of ground anchors, dowels and micropiles. Regulation and control of implementation. Requirements for the results of work [*STO NOSTROJ 109–2013. Ustrojstvo gruntovyh ankerov, nagelej i mikrosvaj. Pravila i kontrol' vypolnenija. Trebovanija k rezul'tatam rabot*]. Moscow, BST publ., 2013, 215 p.

4. STO-SC «Transstroi»-013–2007. Dowel fastening of pits and slopes in transport construction. Organization standard [*STO-GK «Transstroj»-013–2007. Nagel'noe kreplenie kotlovanov i otkosov v transportnom stroitel'stve. Standart organizacii*]. Moscow, Transstroi publ., 2007, 34 p.

5. Geotechnical engineering circular no. 7 Soil Nail Walls Publication FHWA-IF-03–017

6. Frolovskiy, Yu. K., Zaitsev, A. A., Gorlov, A. V., Sokovykh, M. G. Design features of strengthening of the roadbed with anchor and dowel structures [*Osobennosti proektirovanija usilenija zemljanogo polona ankernymi i nagel'nymi konstrukcijami*]. Modern problems of design, construction and operation of railway track: Proceedings of XI international scientific-technical conference dedicated to the 110th anniversary of G. M. Shakhunyants. Moscow, MIIT publ., 2014, pp. 263–268.

7. Frolovskiy, Yu. K., Zaitsev, A. A., Gorlov, A. V. Innovative landslide protection structures with the use of anchor systems to strengthen the roadbed in case of landslide motions at hillside at the site Petushki –Vladimir of Gorky Railway [*Innovacionnye protivoopolznevye konstrukcii s primeneniem ankernyh sistem po ukrepleniju zemljanogo polotna pri opolznevyh podvizhkah kosogora na uchastke Petushki-Vladimir Gor'kovskoj zheleznoj dorogi*]. *Innovative structures and technology of foundation engineering and geotechnology: Proceedings of scientific-technical conference*. Lipetsk, 27–29 October 2013, Moscow, INEP: Paleotype publ., 2013, pp. 37–41.

8. Frolovskiy, Yu. K., Zaitsev, A. A., Gorlov, A. V. Geotechnical calculations to justify the strengthening of the railway subgrade at the site Taezhniy–Kamarchaga of Krasnoyarsk Railway [*Geotehnicheskie raschety dlja obosnovanija usilenija zheleznodorozhnoj nasypi na uchastke Tajozhnyj–Kamarchaga Krasnojarskoj zheleznoj dorogi*]. *Modern geotechnology in construction and their scientific and technical support: Proceedings of international scientific-technical conference. Part 1*. St. Petersburg, 2014, pp. 460–465.

9. Frolovskiy, Yu. K., Zaitsev, A. A., Gorlov, A. V. Substantiation of reinforced ground constructive solution for arrangement of the subgrade for the second track [*Obosnovanie armogruntovo-nagel'nogo konstruktivnogo reshenija po ustrojstvu zemljanogo polotna pod vtoroj put'*]. *Engineering structures in transport; Collection of scientific papers*. Ed. by Yu. I. Romanov. Iss. 6. Moscow, MIIT publ., 2015, pp. 49–57.

10. Frolovskiy, Yu. K., Zaitsev, A. A., Gorlov, A. V. Calculated and breadboard substantiation of subgrade strengthening by reinforced ground supporting structures using dowel structures [*Raschetnoe i maketnoe obosnovanie usilenija zemljanogo polotna armogruntovymi podderzhivajushhimi sooruzhenijami s primeneniem nagel'nyh konstrukcij*]. *Polytransport system: Proceedings of VIII International scientific- technical conference*. Novosibirsk, 2015, Moscow: STU publ., 2015, pp. 226–232.

11. Vinogradov, V. V., Frolovskiy, Yu. K., Zaitsev, A. A., Gorlov, A. V. Application features of methods of calculation of stability of exploited subgrade exploited in the design of measures to strengthen it under difficult natural conditions [*Osobennosti primenenija metodov raschjotov ustojchivosti ekspluatiruemogo zemljanogo polotna pri proektirovanii meroprijatij po ego usileniju v slozhnyh prirodnyh uslovijah*]. Modern problems of design, construction and operation of railway track: Proceedings of XII of international scientific-technical conference. Moscow, MIIT publ., 2014.

12. Vydritskaya, M. P. Technique and planning of experimental research of anchor systems [*Metodika i planirovanie eksperimental'nyh issledovanij ankernyh sistem*]. *Construction and technogenic safety: Collection of scientific papers*. Iss. 33–34. Simferopol, 2010, pp. 65–76.

13. Vostrikov, K. V., Skorkin, V. F. On the issue of calculation of parameters of dowel fastening of pits' boards [*K voprosu raschjota parametrov nagel'nogo kreplenija bortov kotlovanov*]. *Modern geotechnology in construction and their scientific and technical support: Proceedings of international scientific-technical conference. Part 1*. St. Petersburg, 2014, pp. 427–434.

14. Geotechnical engineering circular no. 7 Soil Nail Walls Publication FHWA-IF-03–017

15. Eremin, V. Ya. Fixing of pits' boards. Author's blog on construction «Geotechnical problems of Russia», 2014 [*Kreplenie bortov kotlovanov. Avtorskij stroitel'nyj blog «Geotehnicheskie problemy Rossii», 2014*]. [Electronic source]: http://blogostroy.ru/2011/10/06/kreplenie-bortov-kotlovanov/. Last accessed 22.03.2016.

Information about the author:
Gorlov, Aleksandr V. – Ph.D. student at the department of Track and track facilities of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia. gorlov.alex.v@yandex.ru.

Article received 09.12.2015, revised 14.03.2016, accepted 22.03.2016.

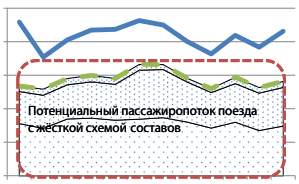
The author is a prize winner of the contest «Young transport scientists and researchers» organized by the Ministry of Transport of the Russian Federation within the framework of «Transport Week – 2015». The work was presented during the final round of the contest held on December 2, 2015 in Moscow State University of Railway Engineering (MIIT) and got the first place in nomination «Development of transport infrastructure, innovative approaches to construction and operation of artificial structures».

Т

ЭКОНОМИКА • ECONOMICS

ЦЕНА ВОПРОСА 124

Выгоден ли поезд с жёсткой схемой состава?



КРИТЕРИИ 132

В ожидании высоких скоростей. Мультипликативный эффект.

СЕТЕВОЙ КОНТРАКТ 142

Инфраструктурный интерес: власть не даст пропасть.

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ЛОГИСТИКА 154

Как добраться до учёбы? Возможны варианты.

COST OF THE PROBLEM 124

Can we afford rigidly composed train?

CRITERIA 132

Awaiting high speed: a multiplying effect.

NETWORK CONTRACT 142

Interested in the use of infrastructure? Your case will be examined.

PERSONALIZED LOGISTICS 154

How can one get to the university? Options are available.

УДК 656.224.003.12:336.7

Методика расчёта показателей, связанных с пассажирскими поездами неизменяемой композиции

Андрей СОКОЛОВСКИЙ
Andrey V. SOKOLOVSKY

Елена МАКАРОВА
Elena A. MAKAROVA

Макарова Елена Алексеевна *– доктор экономических наук, отделение «Пассажирские перевозки и АСУ «Экспресс» АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия.*
Соколовский Андрей Владимирович *– младший научный сотрудник АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия.*

The Methodology for Calculation of Indicators Related to Passenger Trains of Unchanged Composition
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 129)

На примере железнодорожного направления Москва–Пенза в статье дается экономическое обоснование использования пассажирских поездов неизменяемой композиции в условиях растущей конкуренции на транспортном рынке. При этом оцениваются роль укрепления лояльности клиентов в привлечении дополнительного пассажиропотока и значение предлагаемых методических средств, обеспечивающих расчёт совокупных затрат на организацию поездов с жёсткой схемой составов, а также доходов и показателей окупаемости капитальных вложений.

Ключевые слова: транспортный рынок, конкуренция, железная дорога, поезда неизменяемой композиции, пассажиропоток, инвестиции, окупаемость, экономическая эффективность.

Большинство пассажирских поездов дальнего следования имеет модульную схему состава. Она состоит из вагонов «ядра состава», которые всегда включены в схему поезда, и факультативных вагонов, число которых может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от динамики спроса. Между аналогичными по типу и классу обслуживания вагонами «ядра состава» и факультативными вагонами существуют отличия по возрасту и качественным характеристикам, влияющие на восприятие пассажиром уровня сервиса транспортной услуги, принимая во внимание одинаковую тарифную стоимость проезда. В ряде случаев в сознании пассажира формируется негативный опыт поездки на железнодорожном транспорте из-за несоответствия заявленного качества транспортной услуги ожиданиям. В противовес этому для повышения уровня обслуживания клиентов на ряде крупных магистральных направлений сети ОАО «РЖД» со стабильными объёмами спроса целесообразно, полагаем, назначать поезда с жёсткой схемой составов (композиция не изменяется в течение длительного периода).

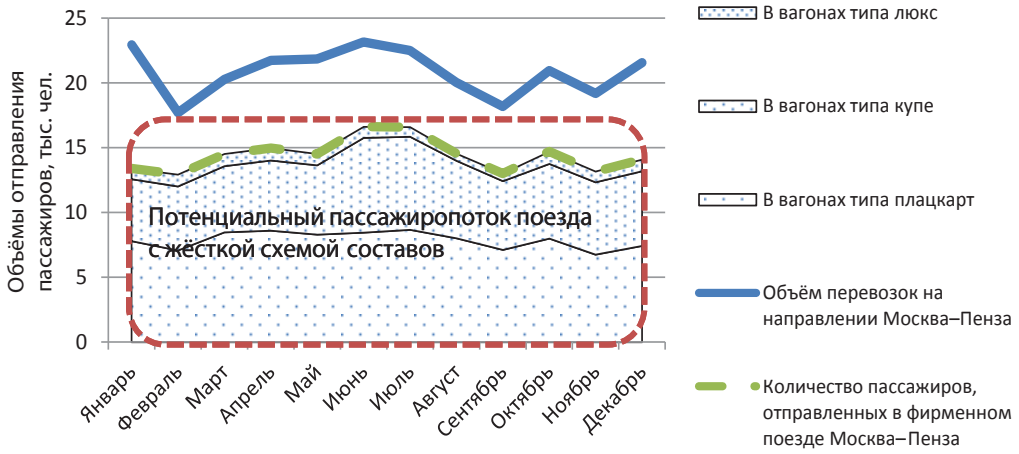


Рис. 1. Совокупный спрос по направлению Москва–Пенза и его охват фирменным поездом.

Ввод в обращение поездов неизменяемой композиции является одним из направлений привлечения дополнительного пассажиропотока в условиях растущей конкуренции на транспортном рынке. В вагонах одного типа и класса обслуживания поездов с жёсткой схемой составов пассажиру могут быть предложены сопоставимые по уровню качества услуги, которые отвечают его ожиданиям. Соответствие им со стороны железнодорожных компаний формирует лояльность клиента по отношению к перевозчику [1].

Под поездом неизменяемой композиции понимается поезд фиксированной схемы, в которой число, типы и порядок вагонов сохраняются в течение длительного периода времени. Эта особенность предполагает, что область рационального использования таких поездов ограничивается направлениями с крупным и стабильным пассажиропотоком [2]. Учитывая, что спрос пассажиров имеет неравномерный характер [3], организация перевозочного процесса на базе поездов неизменяемой композиции должна рассматриваться одновременно с использованием поездов модульной схемы. При этом значительная часть пассажиропотока осваивается поездами жёсткой схемы, а определённый объём спроса – модульными поездами (рис. 1).

Целесообразность ввода в обращение поездов с жёсткой схемой составов определяется на основе исследования транспортного рынка. К основным этапам аналитической работы следует отнести:

1) изучение спроса;

2) прогноз спроса;

3) анализ конкурентной среды транспортного рынка;

4) анализ потенциальных возможностей вагонного парка;

5) обоснование условий (требований) обеспечения эффективности ввода в эксплуатацию поездов с жёсткой схемой состава.

Первый этап включает оценку характеристик спроса по объёму и структуре пассажиропотока, исследование качественных показателей перевозок и их динамики во времени.

Второй этап. Ввод в эксплуатацию поездов с жёсткой схемой состава принимается на долгосрочную перспективу, в связи с этим необходимо получить данные и спрогнозировать объёмы перевозок не менее чем на среднесрочную перспективу [4].

Анализ конкурентной среды, выполненный в рамках *третьего этапа,* проводится для поиска возможностей по увеличению рыночной доли железных дорог на рынке транспортных услуг.

Что касается потенциальных возможностей вагонного парка (*четвёртый этап*), то здесь дается оценка существующему состоянию вагонов, идет отбор тех из них, которые удовлетворяют заданным условиям: одинаковый срок службы, единые технические характеристики и интервалы прохождения плановых ремонтов.

Обоснование эффективности ввода в эксплуатацию поездов с жёсткой схемой

Таблица 1

Перечень железнодорожных направлений, отвечающим требованиям стабильности и регулярности спроса

№ п/п	Направление	Число пассажиров, тыс. чел.	Коэффициент неравномерности	Длина маршрута, км	Сумма численности населения в корреспондирующих пунктах, млн чел.
1	Москва–Санкт-Петербург	6818	1,2	650	19,9
2	Москва–Нижний Новгород	1668	1,1	444	16,6
3	Москва–Ярославль	1026	1	793	16,1
4	Москва–Казань	1012	1,1	282	15,1
5	Москва–Саратов	941	1,1	856	15,3
6	Москва–Воронеж	715	1,1	583	15,7
7	Москва–Белгород	656	1,1	697	15,0
8	Москва–Самара	653	1,1	1044	17,0
9	Москва–Киров	629	1,2	917	15,3
10	Москва–Пенза	552	1,1	710	15,4

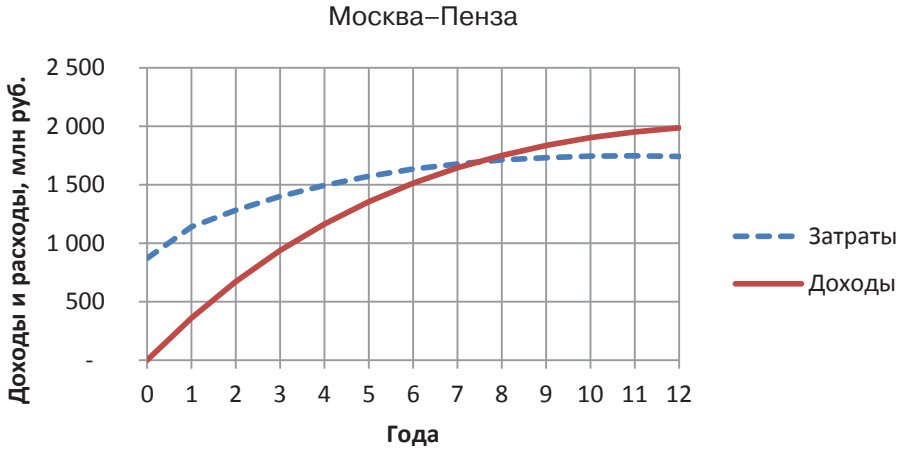


Рис 2. Определение минимальной экономически эффективной схемы поезда неизменяемой композиции (на примере направления Москва–Пенза).

составов – *пятый этап*. На этой стадии проводятся комплексный анализ и обобщение полученных результатов, определяются требования, обеспечивающие применение технологий, предназначенных для вариантов неизменяемой композиции.

По результатам исследований [5, 6] с использованием данных о реальных пассажиропотоках выделено десять крупнейших направлений (таблица 1), на которых целесообразно рассмотреть ввод в обращение поездов с жёсткой схемой составов. К ним относятся сообщения между Москвой и Санкт-Петербургом, а также главными региональными узлами Центрального и Приволжского федеральных округов.

Для оценки экономической эффективности ввода в обращение и эксплуатации поездов с жёсткой схемой составов разработана своя методика. Основные экономические показатели нового проекта на железнодорожном транспорте (чистый дисконтированный доход и срок окупаемости инвестиций) рассчитываются на основе обоснования суммы текущих эффектов за весь расчётный период, приведённой к начальному шагу, или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами [7]. Срок окупаемости инвестиций или срок возврата вложений – это время от начала реализации проекта, в течение которого интегральный эффект становится неотрицательным [8]. Оценка экономиче-

Таблица 2

Дисконтированные расходы и доходы по годам на примере направления Москва–Пенза

Года	Дисконтированные затраты, млн руб.	Дисконтированные доходы, млн руб.
0	872,2	0,0
1	1138,6	361,3
2	1281,2	672,0
3	1399,3	937,7
4	1495,6	1163,5
5	1572,7	1353,8
6	1633,0	1512,7
7	1678,4	1643,9
8	1710,8	1750,5
9	1731,8	1835,5
10	1743,0	1901,5
11	1745,6	1950,8
12	1740,7	1985,5

ской эффективности выполняется за весь период жизненного цикла проекта. В соответствии со стандартом АО «ФПК» [9] поезда повышенной комфортности формируются из вагонов не старше 12 лет – именно такой срок принят в качестве горизонта расчёта. Норма дисконта при этом определяется исходя из текущего значения ставки рефинансирования ЦБ РФ.

Исследование экономических показателей работы поезда с жёсткой схемой составов включает анализ структуры расходов и доходов, на базе которых формулируют критерии безубыточной (экономически эффективной) эксплуатации за весь период жизненного цикла проекта. Совокупные расходы состоят из затрат на приобретение нового подвижного состава и его эксплуатацию. Стоимость одного вагона каждого типа определяется по отчётным данным завода-изготовителя. Количество вагонов различных типов, необходимых для формирования поезда жёсткой схемы, устанавливается на основе информации о распределении спроса на те или иные их виды. Требуемое число составов поездов планируют исходя из времени оборота и регулярности выполнения рейсов.

Эксплуатационные расходы включают условно-постоянные и зависящие затраты. Последние состоят из собственных расходов АО «ФПК» на перевозку пассажиров, по оплате ОАО «РЖД» за предоставление услуг инфраструктуры, а также аренду локомотивов. Расходы перевозчика в части инфраструктурной составляющей (включая вокзальную) связаны с выполненными эксплуатационными показателями: поездо-километры, вагоно-километры и отправленные вагоны. Для каждого из них установлен свой уровень тарифа: И1, И2, И3. Договором аренды локомотивов предусмотрены кроме платы за эксплуатацию самой машины еще и плата за обеспечение арендованных локомотивов топливом, сезонное отопление пассажирских вагонов в пути следования на электрической тяге.

Расходы, связанные с производственной деятельностью АО «ФПК», в расчёте на конкретный поезд жёсткой схемы определяются методом единичных расходных ставок, относящимся к следующим измерителям: вагоно-час пассажирского вагона в составе поезда (ваг.-час), вагоно-километровая работа поезда (ваг.-км), вагоно-часы для перевозки пассажиров в движении поезда (ваг.-час в движении), число отправленных в поезде пассажиров (пасс.) и количество отправленных в поезде пассажирских вагонов (ваг.) [10, 11]. Результаты расчёта совокупных дисконтированных затрат перевозчика по приобретению нового подвижного состава и вводу его в обращение на примере направления Москва–Пенза представлены в таблице 2.

Доходные поступления генерируются за счёт продажи проездных документов (основной вид деятельности) и предоставления сопутствующих услуг (питание и прочее). В общем виде доход на одно

назначение поезда определяется как произведение средней цены билета, числа вагонов в составе поезда и средней населённости пассажирского вагона. Фактические данные для расчёта могут быть получены из аналитической базы данных системы «Экспресс-3». Расчёт значений чистого дисконтированного дохода по годам отражён в таблице 2.

Согласно выполненным расчётам дисконтированный доход по рассматриваемому проекту превышает дисконтированные затраты к восьмому году с момента ввода в обращение поезда неизменяемой композиции, что иллюстрирует график рис. 2. Точка пересечения кривых дисконтированных значений затрат и доходов является моментом, при котором интегральный эффект становится нулевым и служит графическим отражением срока окупаемости капитальных вложений. В дальнейшем интегральный поток денежных средств, генерируемых проектом, принимает положительные значения, что говорит об экономической эффективности ввода в обращение поездов неизменяемой композиции в условиях направления Москва–Пенза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Ввод в обращение поездов неизменяемой композиции является одним из направлений привлечения дополнительного пассажиропотока в условиях роста конкуренции на транспортном рынке за счёт укрепления лояльности пассажиров.

2. Разработана методика оценки экономической эффективности ввода в обращение поездов с жёсткой схемой составов, обеспечивающая расчёт совокупных затрат по проекту, доходов и показателей окупаемости капитальных вложений.

3. В соответствии с разработанной методикой проведены контрольные расчёты на примере направления Москва–Пенза, согласно которым срок окупаемости капитальных вложений по вводу в обращение поездов неизменяемой композиции составил менее 8 лет. Положительное значение чистого дисконтированного дохода позволяет сделать вывод, что рассматриваемый проект может считаться экономически эффективным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов М. П. Отвечая требованиям и ожиданиям пассажиров // Железнодорожный транспорт.– 2015.– № 2.– С. 10–12.

2. Hiroshi Okada. Features and Economic and Social Effects of The Shinkansen // Japan Railway & Transport Review. Sep 1994. № 3, pp. 9–16.

3. Niels van Oort, Marc Drost, Ties Brands, Menno Yap. Data-driven public transport ridership prediction approach including comfort aspects // Conference on Advanced Systems in Public Transport 2015 (CASPT 2015). July 2015. [Электронный ресурс]: http://nielsvanoort.weblog.tudelft.nl/files/2015/05/Oort-et-al-Datadriven-PT-modelling-CASPT2015FullPaperFinal.pdf. Доступ 08.04.2016.

4. Bernd Scholz-Reiter, Jens Heger and Christian Meinecke. Integration of demand forecasts in ABC–XYZ analysis: practical investigation at an industrial company // International Journal of Productivity and Performance Management. Vol. 61, № 4, 2012, pp. 445–451.

5. Макарова Е. А., Соколовский А. В. Классификация железнодорожных направлений по объёмам пассажирской работы на базе АСУ «Экспресс» // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: Сборник трудов / Под ред. Б. М. Лапидуса, Г. В. Гогричиани.– М.: ВМГ-Принт, 2014.– С. 57–63.

6. Макарова Е. А., Соколовский А. В. Методика аналитических исследований для определения целесообразности ввода в обращение поездов с жёсткой схемой состава // Вестник ВНИИЖТ.– 2014.– № 4.– С. 33–38.

7. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте.– М.: МПС, 1998.– 123 с.

8. Williams, J. R., et al. Financial and Managerial Accounting. McGraw-Hill, 2012. 1117 pp.

9. СТО ФПК 1.05.006.2012 «Обслуживание пассажиров в поездах формирования открытого акционерного общества «Федеральная пассажирская компания».

10. Порядок ведения раздельного учёта доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок. 2014. Утверждён приказом Минтранса России от 12 августа 2014 г. № 225.

11. Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е. Новые методические подходы при определении экономической эффективности пассажирского поезда дальнего следования в условиях функционирования ОАО «ФПК» // Вестник ВНИИЖТ.– 2013.– № 5.– С. 3–6.

12. Мирошниченко О. Ф., Морозова М. В., Фадейкина Н. В. Оценка себестоимости пассажирских перевозок дальнего следования в Федеральной пассажирской компании // Железнодорожный транспорт.– 2011.– № 10.– С. 63–66.

Координаты авторов: **Макарова Е. А.**– makarova.elena@vniizht.ru,
Соколовский А. В.– sokolovskiy.andrey@vniizht.ru.

Статья поступила в редакцию 08.04.2016, актуализирована 10.05.2016, принята к публикации 28.06.2016.

THE METHODOLOGY FOR CALCULATION OF INDICATORS RELATED TO PASSENGER TRAINS OF UNCHANGED COMPOSITION

Makarova, Elena A., *JSC VNIIZhT, Moscow, Russia.*
Sokolovsky, Andrey V., *JSC VNIIZhT, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

Using the example of railway direction Moscow–Penza the article provides economic justification for the use of passenger trains of unchanged composition in growing competition environment in the transport market. At the same time the role of strengthening customer loyalty in attracting additional passenger flow and the value of proposed methodological tools that provide the calculation of total costs for organization of trains with rigid train scheme, as well as revenue and payback indicators of capital investment are estimated.

Keywords: transport market, competition, railway, train of unchanged composition, passenger flow, investments, payback, economic efficiency.

Background. *Most long-distance passenger trains have a modular scheme of composition. It consists of cars «train's core» which are always included in the train scheme and optional cars, which number may increase or decrease depending on the dynamics of demand. Between the same type and class of service cars «train's core» and optional cars there are differences in age and quality characteristics that influence perception of the level of transport services by a passenger, taking into account the same tariff fare. In some cases, passengers form negative experience of a journey by rail due to mismatch of the claimed quality of transport service with expectations. In contrast, to improve customer service levels at a number of large main directions of the network of JSC Russian Railways with stable volumes of demand we believe it is reasonable to assign a train with a rigid composition scheme (a composition does not change over a long period).*

Commissioning of trains of unchanged composition is one of the ways to attract additional passenger flow in increasing competition in the transport market. In cars of the same type and class of service in trains with a rigid composition scheme trains scheme services comparable in terms of quality that meet passengers' expectations can be offered to them. Match of services with expectations by railway companies creates customer's loyalty to the carrier [1].

Objective. *The objective of the authors is to consider methodology used for calculation of indicators related to passenger trains of unchanged composition.*

Methods. *The authors use general scientific methods, comparative analysis, economic assessment, evaluation approach.*

Results. *The train of unchanged composition means a train of a fixed scheme in which the number, types and order of cars remain the same for a long period of time. This feature suggests that the area of rational use of such trains is limited to directions with a large and stable passenger flow [2]. Given that passenger demand is uneven [3], the organization of transportation process on the basis of trains of unchanged composition should be considered in conjunction with the use of trains of modular scheme. A substantial part of passenger flow is serviced by trains of rigid scheme and a certain amount of demand – by modular trains (Pic. 1).*

The expediency of commissioning of trains with rigid composition scheme is based on the study of the transport market. The main stages of analytical work should include:

1) market research;

2) demand forecast;

3) analysis of competitive environment of the transport market;

4) analysis of the potential of car fleet;

5) justification of conditions (requirements) to ensure effectiveness of commissioning of trains with a rigid composition scheme.

The first phase includes an assessment of characteristics of demand in volume and structure of passenger flow, the study of quality indicators of transportation and their dynamics over time.

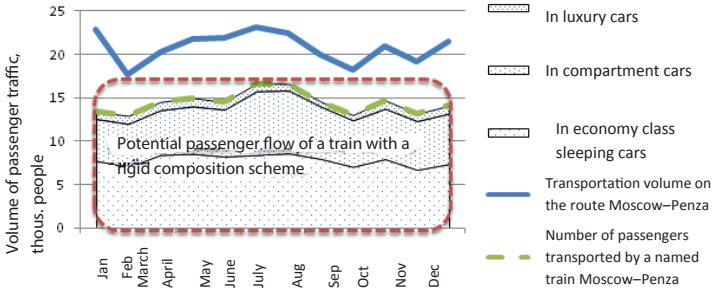
The second phase. Commissioning of trains with a rigid composition scheme is taken for a long term, in this connection it is necessary to get data and predict traffic volumes at least for a medium term [4].

The analysis of competitive environment, made in the third phase, is carried out to search for opportunities to increase the market share of railways in the transport market.

As for the potential of rolling stock (fourth stage), there is an assessment of the state of existing cars, there is a selection of those that meet specified conditions: the same service life, uniform specifications and intervals of scheduled repairs.

Justification of efficiency of commissioning of trains with rigid composition scheme is the fifth phase. At this stage, a comprehensive analysis and generalization of results are carried out, requirements are defined to ensure the use of technologies designed for options of unchanged composition.

According to the research [5, 6], using data of actual passenger flows ten major directions are



Pic. 1. Aggregate demand on the route Moscow–Penza, and its coverage by a named train.

Table 1

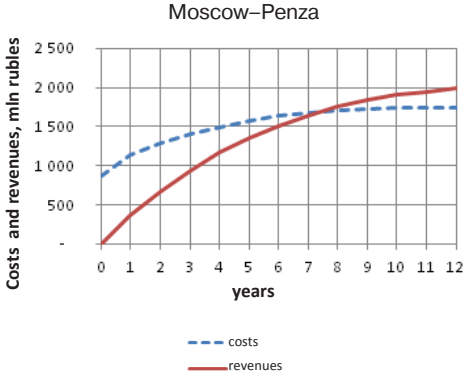
The list of railway directions, meeting requirements of stability and regularity of demand

№	Direction	Number of passengers, thous.people	Uneveness coefficient	Length of the route, km	The amount of population in corresponding points, mln people
1	Moscow – St.Petersburg	6 818	1,2	650	19,9
2	Moscow – Nizhny Novgorod	1 668	1,1	444	16,6
3	Moscow – Yaroslavl	1 026	1	793	16,1
4	Moscow – Kazan	1 012	1,1	282	15,1
5	Moscow – Saratov	941	1,1	856	15,3
6	Moscow – Voronezh	715	1,1	583	15,7
7	Moscow – Belgorod	656	1,1	697	15,0
8	Moscow – Samara	653	1,1	1044	17,0
9	Moscow – Kirov	629	1,2	917	15,3
10	Moscow – Penza	552	1,1	710	15,4

Table 2

Discounted costs and revenues from-year-to-year illustrated by the direction Moscow–Penza

Years	Discounted costs, mln rub	Discounted revenues, mln rub
0	872,2	0,0
1	1 138,6	361,3
2	1 281,2	672,0
3	1 399,3	937,7
4	1 495,6	1 163,5
5	1 572,7	1 353,8
6	1 633,0	1 512,7
7	1 678,4	1 643,9
8	1 710,8	1 750,5
9	1 731,8	1 835,5
10	1 743,0	1 901,5
11	1 745,6	1 950,8
12	1 740,7	1 985,5



Pic. 2. Determination of minimum cost-effective scheme of trains of unchanged composition (illustrated by the direction Moscow–Penza).

allocated (Table 1), where it is reasonable to consider commissioning of trains with rigid composition scheme. They include traffic between Moscow and St. Petersburg, as well as major regional units of Central and Volga federal districts.

To assess cost-effectiveness of commissioning and operation of trains with a rigid composition scheme its own method is developed. Key economic indicators of the new project on rail transport (net present value and payback period) are calculated based on justification of the sum of current effects for entire accounting period, reduced to the initial step, or as a result of excess of integral results over integral costs [7]. Payback period or the period of investment return is time from the start of project implementation, during which the integral effect becomes non-negative [8]. Cost-effectiveness analysis is performed for the entire period of the project life cycle. In accordance with the standard of FPC [9] trains of enhanced comfort are formed of cars not older than 12 years – it is a term taken as a calculation horizon. The discount rate is then determined based on the current value of refinancing rate of the Central Bank of the Russian Federation.

Study on economic performance of the train with a rigid composition scheme includes an analysis of the structure of expenditure and revenue, on the basis of which criteria are formulated for loss-free (cost-effective) operation for the entire period of the project life cycle. Total costs consist of the costs for purchase of new rolling stock and its operation. The cost of one car of each type is determined by the reported data of the manufacturer. The number of cars of various types required for formation of a train of a rigid scheme, is established on the basis of information on distribution of demand for certain types of them. The required number of train compositions is planned on the basis of turnover time and regularity of trips.

Operating costs include conditional permanent and dependent expenditures. The latter consist of own expenses of JSC FPC to transport passengers, to pay JSC Russian Railways for provision of infrastructure services, as well as locomotive rent. The costs of the carrier in terms of infrastructure component (including station) are associated with implementation of performance indicators: train-kilometers, car-kilometers and sent cars. For each of them its own fare level is set: I1, I2, I3. Contract for locomotives rent provides for in addition to payment

for operation of the machine itself, also payment for provision of leased locomotives with fuel, seasonal heating of passenger cars in transit on electricity.

The costs associated with operating activity JSC FPC, calculated for a specific train of a rigid scheme are defined by the method of single consumable rates related to the following measuring indicators: car-hour of a passenger car in the train (car-hour), car-kilometer train operation (car-km), car-hours for transportation of passengers in train movement (car-hour in motion), the number of passengers sent in train (pass.) and number of passenger cars sent in a train (car) [10, 11]. The results of calculation of total discounted costs of the carrier for purchase of new rolling stock and its commissioning illustrated by the direction of Moscow-Penza are given in Table 2.

Profitable revenues are generated through sale of travel documents (core business) and provision of related services (catering, etc.). In general, income for one assignment of a train is defined as a product of average ticket price, number of cars in the train, and average number of passengers in a passenger car. Evidence for calculation can be obtained from the «Express-3» analytic database system. Calculation of net present value from-year-to-year is reflected in Table 2.

According to calculations made discounted revenues for the present project exceed discounted costs for the eighth year from the date of commissioning of a train of unchanged composition, which is shown in Pic. 2. The intersection of curves of discounted values of costs and revenues is a moment at which the integral effect becomes zero and is a graphic reflection of payback period of capital investment. In the future, integrated cash flow generated by the project, takes positive values, indicating economic efficiency of commissioning of trains of unchanged composition for the direction Moscow–Penza.

Conclusion.

1. Commissioning of trains of unchanged composition is one of the ways of attracting additional passenger flow in growing competition in the transport market by strengthening customer loyalty.

2. A method for evaluating economic efficiency of commissioning of trains of a rigid scheme is developed that provides calculation of total project costs, revenues and payback indicators of capital investment.

3. In accordance with the established methodology control calculations were conducted on the example of the direction Moscow–Penza, according to which payback period of capital investment for commissioning of trains of unchanged composition is less than 8 years. A positive net present value leads to the conclusion that the project in question can be considered cost-effective.

REFERENCES

1. Akulov, M. P. Meeting demands and expectations of passengers [*Otvechaja trebovanijam i ozhidanijam passazhirov*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2015, Iss. 2, pp. 10–12.

2. Hiroshi Okada. Features and Economic and Social Effects of The Shinkansen. *Japan Railway & Transport Review*, Sep 1994, Iss. 3, pp. 9–16.

3. Niels van Oort, Marc Drost, Ties Brands, Menno Yap. Data-driven public transport ridership prediction approach including comfort aspects // Conference on Advanced Systems in Public Transport 2015 (CASPT 2015). July 2015. [Electoric source]: http://nielsvanoort.weblog.tudelft.nl/files/2015/05/Oort-et-al-Datadriven-PT-modelling-CASPT2015FullPaperFinal.pdf. Last accessed 08.04.2016.

4. Bernd Scholz-Reiter, Jens Heger and Christian Meinecke. Integration of demand forecasts in ABC–XYZ analysis: practical investigation at an industrial company. *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 61, 2012, Iss.4, pp. 445–451.

5. Makarova, E. A., Sokolovsky, A. V. Classification of railway directions in terms of volume of passenger operation on the basis of ACS «Express» [*Klassifikacija zheleznodorozhnyh napravlenij po ob'jomam passazhirskoj raboty na baze ASU «Ekspress»*]. Rail transport at the present stage of development: Proceedings. Ed. by B. M. Lapidus, G. V. Gogrichiani. Moscow, VMG-Print publ., 2014, pp. 57–63.

6. Makarova, E. A., Sokolovsky, A. V. Methodology of analytical studies to determine the feasibility of commissioning of trains with rigid composition scheme [*Metodika analiticheskih issledovanij dlja opredelenija celesoobraznosti vvoda v obrashhenie poezdov s zhjostkoj shemoj sostava*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2014, Iss. 4, pp. 33–38.

7. Guidelines on assessment of investment projects in rail transport [*Metodicheskie rekomendacii po ocenke investicionnyh proektov na zheleznodorozhnom transporte*]. Moscow, MPS publ., 1998, 123 p.

8. Williams, J. R., *et al.* Financial and Managerial Accounting. McGraw-Hill, 2012. 1117 pp.

9. STO FPC1.05.006.2012 «Passenger service in trains formed by JSC Federal Passenger Company [*STO FPK 1.05.006.2012 «Obsluzhivanie passazhirov v poezdah formirovanija otkrytogo akcionernogo obshhestva «Federal'naja passazhirskaja kompanija»*].

10. The order of separate accounting of revenues and expenses by subjects of natural monopolies in the field of rail transportation. 2014. Approved by the order of Ministry of Transport of Russia on August 12, 2014 № 225 [*Porjadok vedenija razdel'nogo uchjota dohodov i rashodov sub'ektami estestvennyh monopolij v sfere zheleznodorozhnyh perevozok. 2014. Utverzhdjon prikazom Mintransa Rossii ot 12 avgusta 2014 g. № 225*].

11. Miroshnichenko, O. F., Oginskaya, A. E. New methodological approaches in determining the cost-effectiveness of long-distance passenger train in the conditions of functioning of JSC FPC [*Novye metodicheskie podhody pri opredelenii ekonomicheskoj effektivnosti passazhirskogo poezda dal'nego sledovanija v uslovijah funkcionirovanija OAO «FPK»*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2013, Iss. 5, pp. 3–6.

12. Miroshnichenko, O. F., Morozova, M. V., Fadeykina, N. V. Evaluation of cost of long-distance passenger transportation in the Federal Passenger Company [*Ocenka sebestoimosti passazhirskih perevozok dal'nego sledovanija v Federal'noj passazhirskoj kompanii*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2011, Iss. 10, pp. 63–66. ●

Information about the authors:
Makarova, Elena A. – D.Sc. (Economics), Department of Passenger transportation and ACS «Express» of JSC Russian Research Institute of Railway Transport (VNIIZhT), Moscow, Russia, makarova.elena@vniizht.ru.
Sokolovsky, Andrey V. – junior researcher of JSC Russian Research Institute of Railway Transport (VNIIZhT), Moscow, Russia, sokolovskiy.andrey@vniizht.ru.

Article received 08.04.2016, revised 10.05.2016, accepted 28.06.2016.

УДК 332.1; 625.338; 656

Региональные эффекты проектов высокоскоростных железнодорожных магистралей

Максим ПЯТАЕВ

Пятаев Максим Викторович *– кандидат экономических наук, доцент кафедры «Системный анализ и управление проектами» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия.*

Maksim V. PYATAEV

Regional Effects of High-Speed Railways Projects

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 138)

Анализируются внешние эффекты, индуцируемые строительством высокоскоростных железнодорожных магистралей. Показано, что крупномасштабные транспортные проекты необходимо оценивать с позиции экономико-общественной эффективности. Брать в расчёт только финансовую эффективность межрегиональных высокоскоростных линий – задача теоретически некорректная, а практически – дезориентирующая инвесторов и государство как главных участников проектируемых ВСМ.

Ключевые слова: ВСМ, проект, строительство, железные дороги, мультипликативный эффект, общественный интерес, региональная экономика, государство, финансы, инвесторы.

Ещё в 1839 году в Великобритании был преодолён рубеж скорости в 161 км/ч, это был паровоз «Ураган». А в 1903 году с помощью электрической тяги скоростной рубеж железнодорожного транспорта в 203 км/ч был преодолён компанией Siemens & Halske. В 2007 году в ходе испытаний французская компания Alstom установила мировой рекорд скорости поезда AGV по рельсовому пути, доведя его до 574,8 км/ч [1]. В то время как последний мировой рекорд принадлежит KHP, компания CSR в тестовом режиме смогла достичь скорости 600 км/ч [2].

В эксплуатации первые высокоскоростные магистрали (ВСМ) появились в Японии в 1964 году. Сооружение их было обусловлено обострившейся транспортной ситуацией между городами Осака и Токио. Уже в 1967 году эта ВСМ стала приносить прибыль и за шесть лет эксплуатации полностью окупила затраты по её строительству [1]. В настоящий момент 14 стран мира имеют ВСМ. Лидерами по протяженности таких линий являются Китай, Япония, Франция, Испания и Германия. В них есть трассы длиной более 1000 км.

РЕАЛИИ И ЭКСТЕРНАЛИИ

В большинстве стран, где имеются ВСМ, масштаб строительства определяется как национальный приоритет. В нашей стране подобные проекты подвергаются жёсткой критике со стороны ряда государственных деятелей и экспертов, по мнению которых, инвестиционные риски очень высоки. Скажем, по проекту «ВСМ-2» (Москва–Казань) они ставят под сомнение оценку прогнозируемого пассажиропотока [3, 4]. И на то существуют основания.

Действительно, ежегодный прогнозный пассажиропоток между Москвой и Казанью оценивается разными специалистами в достаточно большом интервале от 1,5 до 7,4 млн человек в 2019 году. И до 10 млн – к 2030 году. Планируемый железнодорожный тариф между Москвой и Казанью в ценах 2019 года составляет 3778 рублей (для сравнения: тариф на «Сапсан» в ценах 2013 года – порядка 7 тыс. рублей). При таком пассажиропотоке и стоимости проекта в размере 1,068 трлн рублей (без учёта стоимости сооружения вокзалов и приобретения поездов указанная цифра снижается до 855 млрд) проект будет окупаться не один десяток лет. И это при том условии, что в ходе реализации стоимость проекта не будет увеличиваться.

В реальности разрабатываемые ныне ТЭО не учитывают многие компоненты затрат и результатов, особенно в части так называемых «внешних эффектов» и, как показывает опыт КИП (крупномасштабных инфраструктурных проектов), стоимость проектов при реализации возрастает. В этих условиях холдинг «РЖД» вынужден будет повышать тариф либо добиваться субсидирования со стороны государства, чаще всего в лице регионов [5].

Наколенный опыт высокоскоростного железнодорожного транспорта, имеющейся у развитых стран, показал, что основной вопрос, по которому нужно принять решение – как организовать движение:

– или использовать опыт Испании и Японии, где инфраструктура высокоскоростного движения независима от традиционной схемы движения железнодорожного транспорта, при этом пассажиры переходят с одного вида движения на другой с помощью пересадочных пунктов;

– или опираться на опыт Франции, где высокоскоростные магистрали пересекаются с традиционной схемой движения и частично её используют;

– или учесть опыт Германии и Италии, где высокоскоростное движение организовано в рамках действующих магистралей [6].

Чем же объяснить популярность дорогостоящих инфраструктурных проектов строительства высокоскоростных магистралей в различных странах?

В целом внешние эффекты строительства ВСМ можно разделить на две основные категории: а) индуцируемые процессом строительства и б) индуцируемые эксплуатацией линий. При этом эффекты, индуцируемые процессом строительства, характерны для всех крупномасштабных региональных проектов, и сам эффект носит мультипликативный характер, продолжает действовать и после завершения стадии строительства за счёт стимулирования экономического роста во многих отраслях народного хозяйства.

Мультипликативные эффекты (первая группа внешних эффектов) образуются в смежных отраслях экономики (в промышленности, строительстве, электроэнергетике и других сферах) в процессе строительства. Так, при строительстве ВСМ Пекин–Шанхай мультипликативный эффект, по предварительным оценкам, только в первые два года строительства составил 5,43 [7]. Прирост сопровождался созданием десятков тысяч рабочих мест. Такой эффект достигается во многом за счёт того, что Китай опирается на собственную рабочую силу и возможности использовать материалы, комплектующие и технологии, произведённые у себя. Страна, кроме того, почти не зависит от импорта, что еще больше увеличивает результат.

В России опыта строительства ВСМ «с нуля» нет, и доля экспорта будет значительно больше в общей стоимости проекта. По оценкам «Скоростных магистралей» (дочернее зависимое обще-

ство холдинга «РЖД»), российский бизнес получит при строительстве ВСМ-2 заказов на строительную продукцию в размере 274 млрд руб., что составляет лишь немногим более четвёртой части стоимости проекта [8]. Значит, и мультипликативный эффект будет значительно меньше. Для более точных прогнозов надо проводить оценку с использованием средств, базирующихся на глобальных моделях экономики (межотраслевой баланс, макромодели общего равновесия) с учётом прогнозов тарифной политики, которая будет вестись после строительства ВСМ.

Вторая группа внешних эффектов, индуцируемых эксплуатацией ВСМ, более сложна при оценке, но тем не менее она существует, и соответствующие мультипликативные эффекты необходимо учитывать. Опыт реализации ВСМ в Германии и Франции показал, что в случае если время поездки составляет менее трёх часов, то в этом направлении от 50 до 75% рынка пассажирских перевозок консолидируется на ВСМ. Поэтому можно наблюдать и столь оптимистические прогнозы холдинга «РЖД», касающиеся объёмов пассажиропотока.

Среди стран, продвигающих идею ВСМ, выделяется Китай. Если рассмотреть ВСМ Пекин–Шанхай, то на территории, где проходит эта магистраль, проживает порядка 300 млн человек. В то время как в районе ВСМ-2 проживает только 30 млн человек. Надо отметить и тот факт, что между городами Пекин и Шанхай имелась ВСМ со скоростью движения 350 км/ч, но строительство новой подобной линии на этом же маршруте со скоростью движения 380 км/ч привело к сокращению времени передвижения на 30 минут. Между тем, экономия времени на маршруте даже на 1 минуту оценивается для народного хозяйства Китая в 10 млн долл. США ежегодно [7].

Проведенная оценка показала, что такое сокращение времени передвижения привносит в экономику Китая каждый год 300–320 млн долл. США. Внешние эффекты такого рода возникают при строительстве и дальнейшей эксплуатации ВСМ за счёт роста пассажиропотока между отдельными станциями, стыковки магистрали с аэропортами, разгрузки автодорог и традиционных железнодорожных линий под массовые грузы, а также ускорение контейнерных перевозок. Выравнивание межрегионального развития происходит посредством роста межрегиональной торговли, выпуска продукции, инвестиций, бюджетных доходов, повышения безопасности и комфортности движения. Таким образом, ВСМ создают условия для индуцирования внешних положительных эффектов (экстерналий). Реализация таких КИП даёт не только прямые доходы от перевозки, но и доходы от выручки смежных отраслей, которые в конечном итоге влияют на доходы государственного бюджета и ВВП.

ПРОЕКЦИИ ПОЗИЦИЙ

Конечно, опасения экспертов по поводу окупаемости проектов ВСМ имеют свой резон. Но нужно отчетливо понимать, о какой окупаемости идёт речь – финансовой или экономической (общественной). При реализации крупномасштабных транспортных проектов типа ВСМ в первую очередь надо учитывать именно внешние эффекты (общественно полезные) от реализации начинаний подобного рода [9].

Экономисты Китая провели оценку, в ходе которой выяснилось, что скорость движения с точки зрения коммерческой эффектности на ВСМ должна быть не менее 140 км/ч, в том числе и для грузовых составов. Учитывая опыт Германии и Италии, где постоянно приходится искать компромисс между скоростью движения для пассажирских и грузовых поездов, в Китае было принято решение о строительстве отдельной магистрали для них. Кроме того, текущее затраты на содержание смешанных линий на 40–70% выше, чем на содержание линий только с грузовым движением [10]. У ОАО «РЖД» тоже уже есть негативный опыт использования существующей инфраструктуры на маршруте Москва–Санкт-Петербург. И теперь руководство «Скоростных магистралей» решило идти по пути Испании и Японии при строительстве ВСМ-2, то есть ориентировать-

ся на сугубо специализированный вариант, без какого-либо совмещения с традиционными схемами движения.

Установлен факт того, что строительство скоростных магистралей порождает также увеличение грузооборота на традиционных железнодорожных линиях между теми пунктами, где организовано высокоскоростное движение. Правда, выявлена пока сама зависимость, но причины её не установлены. Причин может быть несколько. Первая в том, что трафик, связанный с пассажирскими перевозками, выводится в отдельную магистраль, и тем самым стоимость обслуживания инфраструктуры уменьшается, она становится доступнее [10]. При таком подходе не учитывается институциональная среда, в которой происходит увеличение грузооборота. Надо полагать, что ВСМ увеличивает мобильность населения, и соответственно деловую активность, что и приводит в конечном счёте к увеличению грузооборота между городами. Данные по городам Японии, в которых были построены станции ВСМ, показывают, что рост бюджетных отчислений здесь превышает средний рост по стране на 45%, а рост численности населения – на 20%. Такие внешние эффекты в работе [11] называют агломерационными. В Великобритании, кстати, также отмечен высокий рост численности населения малых городов, расположенных в получасовой доступности от станций ВСМ.

Кроме обозначенных внешних эффектов ОАО «РЖД» оценивает и социально-экономические эффекты от сокращения времени передвижения пассажиров. Этот эффект рассчитывается с помощью экспертных оценок как средневзвешенная стоимость одного пассажиро-часа. К примеру, величина эффекта в направлении Москва–Казань определена в 459 млн руб. [12].

Эксперты, негативно оценивающие строительство ВСМ, критикуют только финансовую эффективность и скрывают необходимость оценки проектов подобного масштаба для развития экономики страны в целом в сценарии «если проект не будет реализован». Подавляющее большинство эффектов, которые создают крупномасштабные инвестиционные проекты типа ВСМ, как уже отмечалось, формируют внешние эффекты (экстерналии), которые остаются не учтёнными, а это снижает показатели от их реальной эффективности. В особенности, когда речь идёт о транспортных КИП, образующих устойчивую сетевую структуру, формируя взаимосвязи со всем народнохозяйственным комплексом страны.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

В рамках темы проводились исследования, которые связаны с мультипликатором Кейнса, на базе методики [13]. Утверждённая Минэкономразвития методика имеет как положительные, так и отрицательные стороны, но, на наш взгляд, попытка, которая была в ней сделана в отношении оценки крупномасштабных инвестиционных проектов (и в первую очередь транспортных), особенно важна, когда речь идёт об определении мультипликативных эффектов для экономики страны. Методика касается трёх разделов оценки КИП: финансовая эффективность, бюджетная эффективность и экономическая эффективность.

Под финансовой эффективностью понимается оценка проекта по показателям, основанным на чистом дисконтированном доходе (разработанных UNIDO) [14], бюджетную эффективность тоже можно рассчитать, используя эту методику. Расчёт таких показателей широко применяется при оценке инвестиционных проектов частными инвесторами, которые желают получить результат от вложенных средств. Тем не менее это является неприемлемым для оценки крупномасштабных инвестиционных проектов.

В мире при определении внешних эффектов оценивают прогнозный ВВП «с проектом» и «без проекта». Наряду с эффективностью непосредственно самого строительства ВСМ и отраслей, которые являются обеспечивающими строительство и дальнейшую эксплуатацию магистрали. Как правило, для оценки макроэкономического эффекта КИП в расчётах используются модели «затраты-выпуск», имитационная и общего равновесия. В то время как «экономиче-

ская эффективность инвестиционного проекта оценивается по его способности влиять на формирование ВВП экономики и обеспечивать динамику экономического роста» [14], причём в основе макрокосмических эффектов фигурирует сумма прямого макроэкономического и косвенного макроэкономического эффекта (мультипликативного). В этом, собственно, несомненное преимущество методики [14]. Впрочем, сама идея достаточно ясна для понимания лицам, принимающим решения, в сравнении, к примеру, с матричным мультипликатором, который рассчитывается в моделях межотраслевых балансов (что не является, конечно, их недостатком).

ОБЪЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Компания «Скоростные магистрали» сообщила о трёх возможных вариантах строительства ВСМ Новосибирск – Красноярск [15]. В настоящее время по существующим железнодорожным путям пассажирский поезд преодолевает расстояние между названными городами за 12 часов. При реализации ВСМ это время сократится в четыре раза, а скорость будет достигать 250 км/час.

Оценка финансовой эффективности может быть выполнена на основании информации о существующих аналогах, но в этом контексте возникает проблема, поскольку у ОАО «РЖД» нет достаточного опыта использования ВСМ. Учитывая большой массив данных, который нужен для расчётов, автор будет приводить итоговые цифры. Основная исходная информация по проекту: объём инвестиций 1,04 трлн рублей; стоимость билета 4 рубля за км (в ценах 2015 года).

Для прогноза пассажиропотока использовался коэффициент подвижности населения применительно к ВСМ. Для расчёта взят опыт «Сапсана», который в 2015 году перевёз 4 млн пассажиров. Коэффициент определяется как отношение количества отправленных пассажиров к численности населения. При этом под численностью населения подразумеваются жители прилегающих агломераций – Московской и Санкт-Петербургской, а также города Тверь.

В результате расчётов нами получен коэффициент подвижности 0,18. То есть каждый шестой житель на прилегающей к маршруту Москва–Санкт-Петербург территории проехал на «Сапсане» в минувшем году хоть один раз. Соответственно при определении прогнозного пассажиропотока по ВСМ Новосибирск–Красноярск использовался полученный на магистрали Москва–Санкт-Петербург коэффициент подвижности населения. Благодаря ему удалось получить прогнозные значения пассажиропотока: если ВСМ Новосибирск–Красноярск будет проходить через Томск, то нагрузка составит 0,702 млн чел., если через Тайгу – 0,579 млн, через Кемерово – 0,695 млн. Из полученных данных видно, что пассажиропоток будет в 5–7 раз меньше, чем на столичной ветке. Применив методику [14], получаем результат, при котором финансовая окупаемость наступит более чем через 50 лет, и это с учётом того, что цена на билет будет расти на 1,2%, а пассажиропоток на 4% в год.

Как уже отмечалось, при сооружении крупномасштабных проектов не следует использовать только методы финансовой оценки эффективности, поскольку в проекте основным инвестором выступает государство, а ему надо знать и косвенные эффекты от реализации подобного рода программ. В этом контексте и необходимо применять методики для оценки межотраслевого взаимодействия, результат которого будет определяться с позиций роста ВВП.

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Под макроэкономическими эффектами «понимаются доходы, формирующиеся в экономике в результате прямого и косвенного влияния инвестиционного проекта на процесс образования доходов» [13]. В соответствии с методикой [13] важным представляется объём закупок экспортируемых материалов и комплектующих, от которых зависят значения мультипликатора. В расчётах использовались различные варианты объёмов экспорта по проекту от 50 до 80%. Контрольный период 20 лет. Таким образом, в совокупности мультиплика-

тивный эффект в среднем составит 1,68 (по трём вариантам реализации проекта: Кемерово, Томск и Тайга). Наибольший по эффективности результат даст высокоскоростная магистраль, построенная через города Томск или Кемерово.

Следует заметить, что применённая методика [13] не позволяет определять, на какие именно отрасли экономики мультипликативный эффект окажет наибольшее влияние, для этого подходят методики, основанные на межотраслевых балансах [16]. Кроме того, в ходе строительства магистрали Москва–Пекин ВСМ перейдут на «следующий этап развития – движение в разряженной среде (вакуумирование), что позволяет повысить скорость от 400 до 600–800 км/ч» [17].

ВЫВОДЫ

С точки зрения финансовой эффективности проект ВСМ Новосибирск–Красноярск не перспективен и, следовательно, требует государственной поддержки, как это делается во всех странах, которые строят ВСМ.

Но с точки зрения совокупного макроэкономического эффекта организация на линии высокоскоростного движения принесёт в экономику нашей страны дополнительные денежные средства – при условии, что стоимость проекта не вырастет ввиду издержек трансакций. В расчёте на 20 лет мультипликативный эффект обеспечит рост ВВП.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСМ в мире // Сайт компании «Скоростные магистрали». URL: http://www.hsrail.ru/abouthsr/networksofhsr. Доступ 27.02.16.

2. Карапетянц И. В., Сазонов С. Л. Приоритеты китайских скоростей // Мир транспорта. – 2014. – № 4. – С. 76–87.

3. Улюкаев усомнился в проекте ВСМ Москва–Казань // Вести. Экономика. 27.09.2013. URL: http://www.vestifinance.ru/articles/33202. Доступ 27.02.16.

4. На инвестиционном форуме в Сочи обсудили риски проекта строительства ВСМ Москва – Казань. // Деловой квартал. 27.12.2013 URL: http://kazan.dk.ru/news/na-investicionnom-forume-v-sochi-obsudili-riski-proekta-stroitelstva-vsm-moskva-kazan-236765308 (дата обращения 27.02.16).

5. Пятаев М. В. Оценка эффективности формирования региональных транспортно-логистических кластеров (на примере Новосибирской области) / Дис... канд. экон. наук. – Новосибирск, 2010. – 179 с.

6. Быкадоров С. А. Проблемы повышения скорости движения на железнодорожном транспорте // Регион: экономика и социология. – 2005. – № 1. – С. 150–163.

7. Сазонов С. Л. Динамичное развитие высокоскоростных железных дорог (ВСЖД) Китая // Экономика железных дорог. – № 8. – 2011. – С. 82–92.

8. Мишарин А. С. Развитие скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. – № 7. – 2013. – С. 6–9.

9. Массе П. Критерий и методы оптимального определения капиталовложений. – М., 1971. – 503 с.

10. Перспективы пассажирских перевозок на грузовых линиях в США // Железные дороги мира. – 2011. – № 11. – С. 14–18.

11. Оценка крупных инфраструктурных проектов. Задачи и решения. Разработки в рамках проектов ЦСР. – М.: Фонд стратегических разработок, 2013. URL: http://aleksejev.ru/materials/1265/30250/. Доступ 25.02.2016.

12. Якунин В. И. В будущее России – с высокой скоростью. – М.: Научный эксперт, 2012. – 270 с.

13. Приказ Минэкономразвития РФ № 139, Минфина РФ № 82н от 23.05.2006. «Об утверждении Методики расчёта показателей и применения критериев эффективности инвестиционных проектов, претендующих на получение государственной поддержки за счёт средств Инвестиционного фонда Российской Федерации» (зарегистрировано в Минюсте РФ 21.06.2006 № 7959). Доступ из справ. – правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 10.02.2016).

14. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 № ВК 477)].

15. Предпроектные работы по ВСМ Новосибирск–Красноярск пройдут в 2014 году // Сайт компании «Скоростные магистрали» URL: http://www.hsrail.ru/press-center/smi/267.html. Доступ 25.02.2016.

16. Бузулуцков В. Ф., Пятаев М. В., Беспалов И. А. Макроэкономическая оценка транспортного проекта Транссиб с использованием инструментария ОМММ-ЖДТ. Методический аспект // Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты: Сборник научных трудов / Под ред. Е. А. Коломак, Л. В. Машкиной. – Новосибирск, 2014. – С. 87–125.

17. Мишарин А. С. Особенности развития инфраструктурного проекта «Евро-азиатский высокоскоростной транспортный коридор «Москва – Пекин» (по материалам доклада на международной промышленной выставке «Иннопром-2015» // Инновационный транспорт. – 2015. – № 3. – С. 3–5.

18. Левитин И. Е., Морозова Л. Э. Экспертные технологии оценки инвестиционных проектов транспортной отрасли // Мир транспорта. – 2009. – № 3. – С. 108–113.

Координаты автора: **Пятаев М. В.** – procedure@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 04.03.2016, принята к публикации 17.06.2016

REGIONAL EFFECTS OF HIGH-SPEED RAILWAYS PROJECTS

Pyataev, Maxim V., *Siberian Transport University (STU), Novosibirsk, Russia.*

ABSTRACT

External effects induced by construction of high-speed railways are analyzed. It is shown that large-scale transport projects need to be evaluated from the perspective of economic and social efficiency. Taking into account only the cost-effectiveness of inter-regional high-speed lines is a theoretically incorrect task and this will practically disorient investors and the state as main participants in designed high-speed lines.

Keywords: high-speed line, project, construction, railways, multiplicative effect, public interest, regional economy, state, finances, investors.

Background. *In 1839 in the UK speed limit of 161 km / h was overcome, it was the steam locomotive «Hurricane». And in 1903, with the help of electric traction speed limit of rail transport of 203 km / h was overcome by Siemens & Halske. In 2007, during the test the French company Alstom set a world speed record of AGV trains on the railway track, bringing it up to 574,8 km / h [1]. While the last world record belongs to China, CSR company in test mode could reach speeds of 600 km / h [2].*

The first high-speed lines (hereinafter – HSL) appeared in Japan in 1964. Their construction was caused by heightened traffic situation between the cities of Osaka and Tokyo. Already in 1967, this high-speed line became profitable and for six years of operation, fully repaid expenditures of its construction [1]. Currently, 14 countries have a high-speed line. Leaders on the length of these lines are China, Japan, France, Spain and Germany. They have tracks with a length of over 1000 km.

Objective. *The objective of the author is to demonstrate effects of implementation of projects in the field of high-speed line construction.*

Methods. *The author uses general scientific methods, comparative approach, economic analysis, evaluation method.*

Results.

Realities and externalities

In most countries where there are high-speed lines, the construction scale is defined as a national priority. In our country, these projects are subject to harsh criticism from a number of government officials and experts, according to which investment risks are very high. For example, as for the project «HSL-2» (Moscow–Kazan), they call into question the assessment of predicted passenger flow [3, 4]. And then there are grounds.

Indeed, the forecast annual passenger flow between Moscow and Kazan is estimated by different experts in a large enough range from 1,5 to 7,4 mln people in 2019. And up to 10 mln – by 2030. The planned rail fare between Moscow and Kazan in prices of 2019 year is 3778 rubles (for comparison: fare for «Sapsan» in the prices of 2013 year – about 7 thousand rubles). With this passenger flow and cost of the project in the amount of 1,068 billion rubles (without taking into account the cost of construction of stations and acquisition of trains, the specified figure is reduced to 855 billion) the project will pay off for more than a dozen years. And it provided that the project cost will not increase.

In reality, technical and economic assessments, which are being developed now, do not take into account many components of costs and results, in particular concerning the so-called «externalities» and, as the experience of LSIP (large-scale infrastructure projects) shows, the cost of projects under implementation increases. Under these conditions, the holding company Russian Railways will be forced to raise a tariff or seek subsidies from the state, often in the name of regions [5].

Accumulated experience of high-speed rail transport available to the developed countries, has shown that the main issue on which it is necessary to decide is how to organize movement:

– to use the experience of Spain, and Japan, where the infrastructure of high-speed traffic is independent on the traditional scheme of rail transport, at the same time, passengers transfer from one type of traffic to another via interchanges, or;

– to rely on the experience of France, where high-speed lines intersect with the traditional scheme of movement and partly use it, or;

– to take into account the experience of Germany and Italy, where high-speed movement is organized in the framework of existing main lines [6].

What explains the popularity of expensive infrastructure projects of high-speed lines construction in different countries?

In general, the external effects of HSL construction can be divided into two main categories: a) induced by construction process, and b) induced by operation of lines. At the same time the effects induced by the construction process, are common to all large-scale regional projects, and the effect is of a multiplicative nature, continues after completion of the construction phase due to stimulation of economic growth in many sectors of the economy.

Multiplier effect (the first group of external effects) is formed in adjacent sectors of the economy (industry, construction, electric power and other sectors) in the construction process. Thus, during the construction of HSL Beijing–Shanghai the multiplier effect, according to preliminary estimates, only in the first two years of construction was 5,43 [7]. The growth was accompanied by

creation of tens of thousands of jobs. This effect is achieved largely due to the fact that China is based on its own labor force and the possibility of using materials, components and technologies produced on its territory. The country, moreover, is hardly dependent on import, which further increases the result.

Russia does not have an experience in construction of HSL «from scratch», and the share of export will be significantly more in total cost of the project. According to estimates of «High-speed lines» (a subsidiary dependent company of Russian Railways holding), the Russian business will get in the construction of HSL-2 orders for construction products in the amount of 274 billion rubles, which is only a little over a fourth of the cost of the project[8]. Hence, the multiplier effect will be considerably less. For more accurate forecasts, it is necessary to assess, using means that are based on global models of the economy (intersectoral balance, macro model of general equilibrium) taking into account the forecasts of tariff policy, which will be carried out after the construction of HSL.

The second group of external effects induced by the operation of HSL is more complex when assessing, but it nevertheless exists, and the corresponding multiplier effects must be considered. Experience in the implementation of HSL in Germany and France showed that if travel time is less than three hours, then in this direction from 50 to 75% of passenger transportation market is consolidating on HSL. Therefore, we can observe so optimistic forecasts of Russian Railways holding concerning passenger flow volumes.

Among the countries that promote the idea of HSL, China stands out. If we consider HSL Beijing – Shanghai, then in the territory where this HSL goes about 300 million people reside. While only 30 million people live in the area of HSL-2. It is necessary to note the fact that between the cities of Beijing and Shanghai was a HSL with the speed of 350 km / h, but the construction of such a new line on the same route with a speed of 380 km / h led to a reduction in movement time by 30 minutes. Meanwhile, time-saving on the route even for 1 minute is estimated for the national economy of China as US $10 million per year [7].

The conducted assessment showed that a reduction in the time of movement brings to China's economy each year 300–320 million USD. External effects of this kind occur in construction and subsequent operation of HSL due to an increase in passenger flow between individual stations, connection of a line with airports, roads and unloading of roads and conventional railway lines for bulk cargo and acceleration in container transportation. Alignment of inter-regional development occurs through the growth of interregional trade, output of products, investment, fiscal revenues, improvement of safety and comfort of movement. Thus, HSL creates conditions for inducing external positive effects (externalities). Implementation of these LSIP provides not only direct income from transportation, but also income from revenue of related industries, which ultimately affect the state budget revenues and GDP.

Projections of positions

Of course, fears of experts in relation to payback of HSL projects have a reason. But we must clearly understand what kind of payback is in question – financial or economic (social). When implementing large-scale transport projects such as HSL in the first place it is necessary to consider external effects (socially useful) from implementation of undertakings of this kind [9].

Economists in China have evaluated, which revealed that the speed of movement in terms of commercial efficiency on HSL should be at least 140 km / h, including for freight trains. Given the experience of Germany and Italy, where it is necessary to constantly look for a compromise between speed of movement for passenger and freight trains, in China it was decided to construct a separate line for them. In addition, the current cost for maintenance of mixed lines is 40–70% higher than for maintenance of lines only with freight traffic [10]. JSC Russian Railways have also already a negative experience in the use of existing infrastructure on the route Moscow–St. Petersburg. And now, the management of «High-speed lines» have decided to follow the path of Japan and Spain in the construction of HSL-2, that is, to focus on purely specialized variant, without combining traditional movement scheme.

The fact was stated that the construction of high-speed lines also generates an increase in freight turnover on traditional railway lines between those points, where high-speed traffic is organized. However, the dependence itself has been revealed, but the reasons for it have not been set. There can be several. The first is that traffic associated with passenger transportation, is removed to a separate main line, and thus the cost of infrastructure services reduces, it becomes affordable [10]. This approach does not take into account the institutional environment in which there is an increase in freight turnover. We must assume HSL increases the mobility of population, and therefore economic activity, which leads ultimately to an increase in freight turnover between cities. Data on Japanese cities, where HSL stations were built, show that the growth of budget allocations are higher than the average growth in the country by 45% and population growth – 20%. Such externalities in the work [11] are called agglomerative. In the UK, by the way, a high population growth is also marked in small towns located in a half-hour availability of HSL stations.

In addition to designated external effects JSC Russian Railways evaluates socio-economic effects of reduction in passenger's travel time. This effect is calculated using expert assessments as weighted average cost per one passenger-hour. For example, the value of the effect in the direction of Moscow–Kazan is defined as 459 million rubles [12].

Experts, negatively evaluating HSL construction, criticize only financial efficiency and conceal the need to evaluate projects of this scale for development of

national economy as a whole in the scenario «if the project is not implemented». The vast majority of effects that create large-scale investment projects such as HSL, as already mentioned, form external effects (externalities) that are left out, and it reduces the performance of their real effectiveness. In particular, when it comes to transport LSIP forming a stable network structure, a relationship with the whole national economy is formed.

Methodological approaches

Within the topic studies were carried out that are associated with Keynes multiplier, based on the technique [13]. Approved by Economic Development Ministry technique has both positive and negative aspects, but, in our opinion, an attempt that was in it was made in the assessment of large-scale investment projects (and primarily transport) is particularly important when it comes to determining multiplicative effects for the country's economy. The technique relate to three sections of LSIP assessment: cost effectiveness, budgetary efficiency and cost-effectiveness.

The financial performance means evaluation of the project on indicators, based on the net present value (developed by UNIDO) [14], budgetary efficiency can also be calculated using this methodology. The calculation of these indicators is widely used in evaluation of investment projects by private investors who wish to receive the results from their investment. Nevertheless, it is unacceptable for evaluation of large-scale investment projects.

In the world in determination of external effects forecast GDP is estimated «with a project» and «without a project». In addition to efficiency of direct construction of HSL and industries that provide construction and subsequent operation of a main line. As a general rule, to assess the macroeconomic effect of LSIP in the calculation the following models are used: «input-output», simulation and general equilibrium. While the «economic efficiency of the investment project is assessed by its ability to influence the formation of GDP of the economy and ensure the dynamics of economic growth» [14], and in the basis of macrocosmic effects figures the sum of direct macroeconomic and indirect macroeconomic effect (multiplicative). This, in fact, is an obvious advantage of the technique [14]. However, the idea is clear enough for understanding of decision-makers, in comparison, for example, a matrix multiplier, which is calculated in the models of interbranch balances (which is not, of course, their disadvantage).

Design object

The company «High-Speed Lines» reported three possible options for construction of HSL Novosibirsk–Krasnoyarsk [15]. At present, on existing railway tracks a passenger train covers the distance between these cities for 12 hours. At HSL implementation this time will be reduced to four times, and the speed will reach 250 km / h.

Evaluation of cost-effectiveness can be made on the basis of information on existing analogs, but in this context there is a problem, because JSC Russian Railways do not have enough experience with HSL. Given the large amount of data, which is necessary for calculation, the author will give the final figures. The basic background information on the project: investment volume of 1,04 bln rubles; the ticket costs 4 rubles per kilometer (in prices of 2015).

For passenger flow forecast population mobility rate was used in relation to HSL. For calculation was taken the experience of «Sapsan», which transported 4 million passengers in 2015. The coefficient is defined as the ratio of the number of passengers sent to the population number. At the same time a population number refers to inhabitants of surrounding agglomerations – Moscow and St. Petersburg, as well as the city of Tver.

As a result of calculations we have received a mobility ratio of 0,18. That is, every sixth inhabitant of the area adjacent to the route Moscow – St. Petersburg used «Sapsan» in the past year at least once. Accordingly, in determining the projected passenger flow on HSL Novosibirsk–Krasnoyarsk obtained on the main line Moscow–St. Petersburg mobility rate of population was used. Thanks to it, it became possible to obtain predicted values of passenger flow: if HSL Novosibirsk-Krasnoyarsk will pass through Tomsk, the load will be 0,702 mln people, if through taiga – 0,579 mln, through Kemerovo – 0,695 mln. It is clear from the data that passenger flow will be 5–7 times less than on the capital branch. Applying the technique [14], we obtain the result that the financial payback comes after more than 50 years, and it is given the fact that the price of a ticket will increase by 1,2% and passenger flow by 4% per year.

As already noted, in the construction of large-scale projects we should not only use the methods of financial evaluation of effectiveness, as in the project the main investor is the state, and he should know also indirect effects of implementing such a program. In this context it is necessary to apply the methodology to assess cross-sectoral interaction, the result of which will be determined from the positions of GDP growth.

Macroeconomic effect

The macroeconomic effects «refers to income generated in the economy as a result of direct and indirect impact of the investment project on the process of income generation» [13]. In accordance with the technique [13] important is the volume of purchases of exported materials and components, which influence the value of the multiplier. In calculations different versions of export volumes of the project from 50 to 80% were used. The control period is 20 years. Thus, in the aggregate multiplier effect will average 1,68 (in three variants of the project: Kemerovo, Tomsk and Taiga). A high-speed line, built through the cities of Tomsk and Kemerovo will give the highest performance result.

It should be noted that the applied technique [13] does not allow to determine on what exactly industries multiplier effect will have the greatest impact, for this techniques are suitable, based on inter-sectoral balances [16]. In addition, during the construction of a main line Moscow–Beijing HSL will move to «the next stage of development – motion in depleted environment (vacuum) that allows to increase the speed from 400 to 600–800 km / h» [17].

Conclusions. *In terms of financial performance project of HSL Novosibirsk – Krasnoyarsk is not perspective and therefore requires state support, as it is done in all countries, which are constructing HSL.*

But in terms of aggregate macro-economic effect organization of high-speed traffic on the line will bring to the economy of our country additional funds – provided that the cost of the project will not increase due to transaction costs. With a view to 20 years the multiplier effect will ensure GDP growth.

REFERENCES

1. HSL in the world [*VSM v mire*]. Website of the company «High-speed lines». URL: http://www.hsrail.ru/abouthsr/networksofhsr. Last accessed 27.02.16.

2. Karapetyants, I. V., Sazonov, S. L. Priorities of Chinese speeds. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 4, pp. 76–87.

3. Ulyukayev questioned the project HSL Moscow–Kazan [*Uljukaev usomnilsja v proekte VSM Moskva–Kazan'*]. *Vesti. Ekonomika*. 27.09.2013. URL: http://www.vestifinance.ru/articles/33202. Last accessed 27.02.2016.

4. At the investment forum in Sochi the risks of the project of HSL Moscow–Kazan were discussed [*Na investicionnom forume v Sochi obsudili riski proekta stroitel'stva VSM Moskva–Kazan'*]. *Delovoj kvartal*. 27.12.2013 URL: http://kazan.dk.ru/news/na-investicionnom-forume-v-sochi-obsudili-riski-proekta-stroitelstva-vsm-moskva-kazan-236765308 (last accessed 27.02.16).

5. Pyataev, M. V. Evaluation of efficiency of formation of regional transport and logistics clusters (the example of Novosibirsk region) [*Ocenka effektivnosti formirovanija regional'nyh transportno-logisticheskih klasterov (na primere Novosibirskoj oblasti)*]. Ph.D. (Economics) thesis. Novosibirsk, 2010, 179 p.

6. Bykadorov, S. A. Problems of increasing speed of motion on railway transport [*Problemy povyshenija skorosti dvizhenija na zheleznodorozhnom transporte*]. *Region: ekonomika i sociologija*, 2005, Iss. 1, pp. 150–163.

7. Sazonov, S. L. Dynamic development of high-speed railways of China [*Dinamichnoe razvitie vysokoskorostnyh zheleznyh dorog (VSZhD) Kitaja*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, Iss. 8, 2011, pp. 82–92.

8. Misharin, A. S. Development of speed and high-speed railway transport [*Razvitie skorostnogo i vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2013, Iss. 7, pp. 6–9.

9. Masse, P. Criteria and methods for optimal determination of investment [*Kriterij i metody optimal'nogo opredelenija kapitalovlozhenij*]. Moscow, 1971, 503 p.

10. Prospects for passenger transportation on freight lines in the USA [*Perspektivy passazhirskih perevozok na gruzovyh linijah v SShA*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2011, Iss. 11, pp. 14–18.

11. Assessment of major infrastructure projects. Challenges and solutions. Developments in the framework of CSR projects [*Ocenka krupnyh infrastrukturnyh proektov. Zadachi i reshenija. Razrabotki v ramkah proektov CSR*]. Moscow, Foundation for Strategic Research, 2013. URL: http://aleksejev.ru/materials/1265/30250/. Last accessed 25.02.2016.

12. Yakunin, V. I. To the Future of Russia – at a high speed [*V budushhee Rossii – s vysokoj skorost'ju*]. Moscow, Nauchniy expert publ., 2012, 270 p.

13. The Decree of the Ministry of Economic Development № 139, the Ministry of Finance of Russia № 82n dated 23.05.2006. «On approval of the Methodology of calculation of indicators and application of criteria of efficiency of investment projects eligible for state support at the expense of the Investment Fund of the Russian Federation» (registered in the Ministry of Justice on 21.06.2006 № 7959) [*Prikaz Minjekonomrazvitija RF № 139, Minfina RF № 82n ot 23.05.2006. «Ob utverzhdenii Metodiki raschjota pokazatelej i primenenija kriteriev effektivnosti investicionnyh proektov, pretendujushhih na poluchenie gosudarstvennoj podderzhki za schjot sredstv Investicionnogo fonda Rossijskoj Federacii»* (*zaregistrirovano v Minjuste RF 21.06.2006 № 7959)*]. Access from legal reference system «ConsultantPlus» (Last accessed: 10.02.2016).

14. Methodical recommendations on evaluation of efficiency of investment projects (approved by Ministry of Economy of Russia, Ministry of Finance of Russia, the State Construction Committee of Russia 21.06.1999 № BK 477) [*Metodicheskie rekomendacii po ocenke effektivnosti investicionnyh proektov (utv. Minekonomiki RF, Minfinom RF, Gosstroem RF 21.06.1999 № VK 477)*].

15. Pre-operation on HSL Novosibirsk–Krasnoyarsk will be held in 2014 [*Predproektnye raboty po VSM Novosibirsk–Krasnojarsk projdut v 2014 godu*]. *Website of the company «High-Speed Main Lines»* URL: http://www.hsrail.ru/press-center/smi/267.html. Last accessed 25.02.2016.

16. Buzulutskov, V. F., Pyataev, M. V., Bespalov, I. A. Macroeconomic assessment of transport project Transsib using tools OMMM-ZHDT. Methodical aspect [*Makroekonomicheskaja ocenka transportnogo proekta Transsib s ispol'zovaniem instrumentarija OMMM-ZhDT. Metodicheskij aspect*]. Russian Economic development: regional and sectoral aspects: Proceedings / Ed. by E. A. Kolomak, L. V. Mashkina. Novosibirsk, 2014, pp. 87–125.

17. Misharin, A. S. Features of development of an infrastructure project «Euro-Asian high-speed transport corridor «Moscow–Beijing» (based on the report on the international industrial exhibition «Innoprom-2015» [*Osobennosti razvitija infrastrukturnogo proekta «Evro-aziatskij vysokoskorostnoj transportnyj koridor «Moskva – Pekin»* (*po materialam doklada na mezhdunarodnoj promyshlennoj vystavke «Innoprom-2015»*]. *Innovacionnyj transport,* 2015, Iss. 3, pp. 3–5.

18. Levitin, I. E., Morozova, L. E. Techniques of Expert Appraisal of Transport Investment Projects. *World of Transport and Transportation*, Vol. 7, 2009, Iss. 3, pp. 108–113.

Information about the author:
Pyataev, Maxim V. – Ph.D. (Economics), associate professor of the department System Analysis and Project Management of Siberian Transport University (STU), Novosibirsk, Russia, procedure@inbox.ru.

Article received 04.03.2016, accepted 17.06.2016

УДК 656.2.003.12

Определение поучастковых затрат на содержание и эксплуатацию инфраструктуры

Никита МОРОЗ
Nikita S. MOROZ

Светлана ИНОЗЕМЦЕВА
Svetlana M. INOZEMTSEVA

Иноземцева Светлана Михайловна *– кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление на транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Мороз Никита Сергеевич *– экономист ООО «ИТС Консалтинг», Москва, Россия.*

Determination of Section-to-Section Costs for Maintenance and Operation of Infrastructure
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 149)

Сетевой контракт как метод государственного регулирования инфраструктуры железнодорожного транспорта успешно применяется в целом ряде стран. Основными его целями являются гарантированное транспортное обеспечение социально-экономических потребностей территорий в рамках приоритетной географической конфигурации, оптимизация внутренних издержек владельца инфраструктурного комплекса и сохранение для населения доступности услуг в системе перевозок. Особое внимание при этом в статье уделено методике и экономической модели определения эксплуатационных затрат на содержание инфраструктуры малоинтенсивных участков железных дорог. Выполненные на их основе расчёты становятся обоснованием потребных размеров субсидий, бюджетных инвестиций и ассигнований на выполнение задач, предусмотренных в том числе и сетевым контрактом.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт общего пользования, инфраструктура, сетевой контракт, методы расчёта себестоимости, малоинтенсивные линии, эксплуатационные расходы, доходы, финансовый результат.

Перспективы развития как экономики страны, так и удовлетворения потребностей населения в пассажирских перевозках, ликвидации социально-экономической отсталости отдельных регионов зависят от состояния железнодорожной инфраструктуры и качественной работы транспортного комплекса. С этой точки зрения необходима высокоэффективная система государственного регулирования на рынке транспортных услуг, которая смогла бы гарантировать законную и справедливую конкуренцию в транспортной сфере, подняла бы отрасль на новый качественный уровень и дала ей толчок к инновационному развитию.

СТРУКТУРА ПО КОНТРАКТУ

Как известно, развитие инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД» осуществляется путём государственного регулирования цен (тарифов, сборов и платы) на железнодорожном транспорте, предоставления субсидий на компенсацию потерь в доходах, бюджетных инвестиций в уставный капитал акционерного общества и субсидий на развитие инфраструктуры

железнодорожного транспорта общего пользования.

Существующий порядок не снимает, разумеется, самих проблем транспортной инфраструктуры:

– совмещенность организации на одних линиях грузовых и пассажирских перевозок, особенно в крупных мегаполисах;

– негармонизированное состояние разных видов транспорта;

– отсутствие чётких разделительных линий ответственности за развитие транспортной инфраструктуры между федеральным центром и регионами;

– убыточность и высокие сроки окупаемости инвестиций в транспортные проекты (свыше 40 лет проекты не окупаются даже за срок службы основных элементов транспортных систем);

– сложность формирования и реализации федеральных и региональных целевых программ развития транспортной системы;

– перегруженность бюджета и несовершенство схем государственно-частного партнерства.

Государственное регулирование цен (тарифов) на товары и услуги субъектов естественной монополии осуществляется прежде всего в соответствии с двумя моделями – моделью регулирования нормы прибыли и моделью регулирования верхнего предела тарифа (дефлятор-Х). Их отличают выбор центрального контрольного параметра, периодичность пересмотра, способ его задания и другие существенные факторы [1].

В последнее время особую актуальность приобретает сетевой инфраструктурный контракт – новый метод государственного управления инфраструктурой железнодорожного транспорта общего пользования, успешно применяемый за рубежом [2].

Сетевой контракт на гарантированное транспортное обеспечение услугами инфраструктурного комплекса со стороны его владельца является механизмом заказа государством определённого объёма услуг, необходимого для социально-экономического развития страны, и определения достаточного для этого целевого состояния самого комплекса. Другими словами, сетевой контракт по своей сути выступает новой регуляторной моделью в области государственного управления инфраструктурным комплексом железнодорожного транспорта.

Соответственно такой контракт призван формализовать взаимоотношения между государством и владельцем инфраструктуры и фиксировать:

– целевое состояние инфраструктурного комплекса (требования государства к производственным мощностям, техническому состоянию железнодорожной сети, географической конфигурации и качеству услуг);

– перечень работ и смету затрат на содержание, эксплуатацию и развитие инфраструктурного комплекса;

– планируемые объёмы и источники финансирования затрат, размер потребных субсидий, бюджетных инвестиций на обеспечение целевого состояния инфраструктурного комплекса.

К объектам имущества, входящего в состав инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД», в рамках сетевого контракта могут быть причислены объекты, отвечающие следующим критериям:

– участки инфраструктуры, относящиеся к железнодорожным линиям и (или) участкам, имеющим оборонное и социальное значение;

– строительство объектов, направленное на расширение пропускной способности инфраструктуры;

– строительство новых железнодорожных линий;

– инновации в инфраструктурный комплекс;

– иные объекты, определенные сетевым контрактом.

Предметом сетевого контракта будет являться определение:

– показателей целевого состояния инфраструктурного комплекса (требований государства к географической конфигурации, производственным мощностям, техническому состоянию железнодорожной сети и качеству услуг комплекса, выполняемых путём его эксплуатации, модернизации и реконструкции, нового строительства и приобретения внеоборотных активов);

– мероприятий по содержанию и развитию инфраструктурного комплекса;

– уровней тарифов, сборов, платы за услуги железнодорожных перевозок на экономически обоснованном уровне.

Таблица 1

Основные преимущества и недостатки методов расчёта себестоимости перевозок железнодорожного транспорта

Наименование метода	Основные преимущества	Основные недостатки
Метод расчёта расходов по отдельным статьям классификатора расходов	- детализированные результаты расчёта себестоимости перевозок; - относительно точные результаты; - не содержит необходимости в предварительной группировке расходов; - возможность изменения различных приемов расчёта	- относительно низкая скорость расчёта в связи с максимальным объёмом исходной информации и формулами расчётов
Метод расходных ставок	- детализированные результаты расчёта себестоимости перевозок; - более точные результаты	- требуется меньший объем исходной информации по сравнению с расчётом по отдельным статьям, при этом трудозатраты на обработку информации значительные
Метод коэффициентов влияния	- простота результативных расчётов	низкая точность расчётов ввиду присущих этому методу допущений

Сетевой контракт как единый документ, определяющий требования государства к объёмным, стоимостным и качественным характеристикам услуг инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, должен формироваться на базе специальных расчётов сумм доходов, расходов, стоимости активов, обязательств и капитала ОАО «РЖД», подлежащих отнесению на его деятельность, связанную с исполнением контракта.

Важной частью сетевого контракта является определение уровня и направления инвестиций, что предполагает разработку методологии планирования и отчётности о соответствующих расходах и доходах при реализации активов.

Для обеспечения взаимодействия между сторонами сетевого контракта в части планирования доходов, связанных с инфраструктурой, и расходов, возникающих при эксплуатации, содержании, ремонте, модернизации и развитии комплекса, следует учитывать ряд требований, в числе которых прозрачность планирования и учёта фактических доходов и расходов, создание единого для всех участников порядка подготовки информации в различных аналитических разрезах [3].

В сетевом контракте должны быть предусмотрены источники формирования финансовых средств, необходимых для обеспечения договорных обязательств по контракту.

РАСЧЁТ СЕБЕСТОИМОСТИ

Решение различных социально-экономических задач железнодорожного транспорта общего пользования предполагает наличие данных о себестоимости грузовых и пассажирских перевозок в различных условиях:

– типы вагонов и категории поездов;

– груженый или порожний пробег;

– дальность перевозок;

– показатели технической оснащённости;

– отдельные направления и участки сети железных дорог.

В данный момент для расчёта себестоимости и выявления степени влияния показателей работы (времени) на производственные операции и величину измерителей используются пять основных методов:

– метод расчёта расходов по отдельным статьям классификатора расходов (входит в номенклатуру доходов и расходов субъектов естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок);

– метод расходных ставок;

– метод коэффициентов изменения среднедорожной себестоимости перевозок;

– метод удельных весов расходов;

– метод коэффициентов влияния [4].

Основные преимущества и недостатки методов расчёта себестоимости представлены в таблице 1.

ОАО «РЖД» как многопрофильная компания помимо задач, регламентируемых

сетевым контрактом, выполняет значительный объём работ, связанных с перевозками и иными видами деятельности. На этапах планирования и формирования отчётности о фактически понесённых затратах необходимо обеспечить достаточный уровень детализации информации о расходах, непосредственно относящихся к сетевому контракту. Надо найти долю этих расходов расчётным путём и сохранить при этом полную прозрачность методики.

Для упрощения планирования и анализа взаимосвязи между заданными целевыми параметрами работы в рамках исполнения сетевого контракта статьи расходов необходимо детализировать до уровня, позволяющего идентифицировать эту взаимосвязь [5].

В качестве исходных данных для составления расходной части среднесрочного плана используются:

– управленческая отчётность по видам деятельности;

– управленческая отчётность о расходах по перевозкам в разрезе тарифных составляющих;

– прогноз эксплуатационных расходов по перевозкам (эксплуатационные расходы в разрезе элементов затрат и видов перевозок);

– прогноз эксплуатационных расходов по прочим видам деятельности (расходы в разрезе элементов затрат и видов деятельности) на три года.

Прогнозирование структуры расходов должно осуществляться путём экстраполяции данных базового года в соответствии с прогнозными данными по объёму и структуре перевозок, перспективами выделения дочерних и зависимых обществ, тенденциями развития рынка.

За базовый в расчёте принимается год, по которому имеются фактические данные о структуре расходов.

Расходы за базовый период надо делить по видам деятельности и тарифным составляющим. Распределение расходов производится после обработки данных сводных форм управленческой отчётности по филиалам и подразделениям ОАО «РЖД» в соответствии с методикой определения расходов и доходов по участкам сети российских железных дорог, связанных с осуществлением перевозок, предоставлением услуг инфраструктуры и локомотивной тяги.

Методология учёта расходов и затрат должна строиться с соблюдением принципа общности процессов планирования затрат, а также общих систем планирования, бюджетирования и ведения бухгалтерского учета в ОАО «РЖД» [6]. Кроме того, требуется согласование с другими документами методического и регламентного обеспечения, а также с элементами системы управления затратами:

– целевых ключевых показателей сетевого контракта;

– норм и нормативов;

– мотивации и оценки персонала;

– классификации технико-экономической информации.

КРИТЕРИИ ОТНЕСЕНИЯ К МАЛОИНТЕНСИВНЫМ УЧАСТКАМ

Малоинтенсивные линии (участки) характеризуются низкими объёмами работы и устойчиво отрицательными финансовыми результатами операционной деятельности. Как правило, такими являются однопутные участки и однопутные с двухпутными вставками. Малоинтенсивные участки и линии, имеющие социальное, оборонное и другое государственное значение, становятся областью применения сетевого контракта. При этом участие государства ограничивается субсидированием операционной деятельности, обеспечивающим функционирование участков и выполнение ими задач государственного значения.

Железнодорожные линии общего пользования, которые являются ответвлениями от основных направлений грузопотоков и пассажиропотоков, причисляются к малоинтенсивным участкам, если они удовлетворяют одному из трёх критериев:

– грузонапряжённость нетто на участке составляет 1,0 млн т • км нетто/км в год и не менее 0,01; при этом общий объём перевозок грузов с участием данных участков не превышает 5% от общего объема перевезённых грузов по железнодорожной сети;

– размеры движения пассажирских поездов по графику не превышают 8 пар поездов в сутки;

– отрицательный финансовый результат работы линии.

Железнодорожные линии общего пользования, кроме тех, что служат ответвлениями от основных направлений, относятся

к малоинтенсивным, если они одновременно соответствуют следующим критериям:

– грузонапряжённость брутто на участке составляет 2,0 млн т • км брутто/км в год и менее;

– суммарные размеры движения грузовых и пассажирских поездов по графику не превышают 8 пар в сутки;

– отрицательный финансовый результат работы линии.

Здесь следует отметить, что репрезентативными являются те участки железнодорожной сети, у которых эксплуатационная длина соответствует диапазону от 15 до 120 км, а диапазон значения показателя приведённой грузонапряжённости варьируется от 0,01 до 1,0 т • км брутто/км в год.

Малоинтенсивные (малодеятельные) линии классифицируются в зависимости от их расположения: транзитные, тупиковые, пограничные, портовые. При этом по состоянию на 1 июля 2014 года такие линии составили 225 участков общей протяженностью 11964 км. Наибольший удельный вес по протяжённости малодеятельных линий занимают Горьковская, Юго-Восточная, Московская, Октябрьская и Калининградская железные дороги [7].

ПАРАМЕТРЫ ФИНАНСОВОГО РЕЗУЛЬТАТА

Для расчёта эксплуатационных затрат и решения задач, связанных с разработкой основных параметров сетевого контракта на гарантированное транспортное обеспечение инфраструктурным комплексом железнодорожных перевозок, были сформированы методические подходы, ориентированные на специфику малоинтенсивных линий. При этом использованы существующие методы расчёта доходов, расходов и финансовых результатов, а также предложены свои концептуальные основы. Объединение этих подходов в единое целое для упрощения процесса технико-экономических расчётов стало главной целью методики [8].

Основными требованиями, отражёнными в методике, являлись:

– использование доступных источников информации о доходах, расходах и натуральных показателях работы ОАО «РЖД»;

– определение экономически обоснованных измерителей для распределения расходов и доходов;

– обеспечение логических связей измерителей, используемых для формирования расходов и доходов, с распределяемыми пропорционально им группами статей доходов и расходов;

– применение общепринятых методов прогноза, используемых федеральными органами исполнительной власти при индексации тарифов на услуги инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования.

Наиболее полные и точные результаты расчёта и прогноза эксплуатационных расходов получаются в случае использования метода непосредственного расчёта и метода расходных ставок при определении себестоимости перевозок в конкретных условиях.

Все расчёты могут быть выполнены и представлены в виде экономической финансовой модели (рис. 1), которую можно условно разделить на два основных блока:

– блок ввода данных (управляющие параметры, входящие данные);

– блок расчётов и прогнозов доходов и расходов, а также расчёта финансового результата малоинтенсивных участков.

Модель определяет основные положения по расчёту:

– расходов по обычным видам деятельности, связанных с изготовлением, приобретением и продажей товаров и продукции, а также прочих расходов;

– доходов от обычных видов деятельности, определяемых как выручка от продажи товаров и продукции, поступлений от выполненных работ, оказанных услуг, а также прочих доходов;

– финансового результата работы малоинтенсивных участков.

ПРИМЕР РАСЧЁТА

Расчёты эксплуатационных затрат на услуги инфраструктуры выполнены на примере двух репрезентативных малоинтенсивных участков Октябрьской железной дороги: социально значимый участок 1 и участок 2, имеющий оборонное значение.

Малоинтенсивный участок 2 характеризуется следующими показателями:

– одна пара пассажирских поездов в сутки;

– эксплуатационная длина – 68 км (таблица 2).

Малоинтенсивный железнодорожный участок 1:

Рис. 1. Структура модели экономических расчетов для малоинтенсивных линий.

*Примечание. В связи с пониженными нормами при эксплуатации малоинтенсивных участков к полученным величинам расходов (за исключением затрат на электроэнергию на тягу поездов) по видам движения применяется коэффициент 0,7125. Данный поправочный коэффициент рассчитывается на основе:
- соотношения норм затрат труда работников, занятых на текущем содержании пути при среднесетевой грузонапряжённости, превышающей 25,0 млн т • км брутто в год и сроке эксплуатации пути 16,7–20 лет и при грузонапряжённости до 2,5 млн т • км брутто в год и сроке эксплуатации пути 16,7–20 лет;
- поправочного коэффициента к нормам затрат труда работников, занятых на текущем содержании пути на участках, не оборудованных автоблокировкой.

– приведённая грузонапряжённость – 0,15 млн т • км брутто/км в год;

– эксплуатационная длина – 101,5 км (таблица 2).

Результаты расчётов доходов, расходов и финансовых результатов по малоинтенсивным участкам приведены в таблицах 3 и 4.

Расчёт финансового результата работы малоинтенсивных участков Октябрьской железной дороги определяется как разность между проектируемыми доходами и расходами.

Данная экономическая модель расчёта эксплуатационных затрат для сетевого инфраструктурного контракта в целом и приведенная таблица финансового результата работы малоинтенсивных участков в частности достаточно полно обосновывают потребность к 2017 году в ежегодном субсидировании и бюджетном инвестировании государством в среднем на сумму 158 млн руб. на содержание малоинтенсивного участка 1 социального значения и на сумму 259,5 млн руб.– на участок 2, имеющий оборонное значение.

На прогнозируемый период 2014–2017 годов для обеспечения целевого состояния инфраструктурного комплекса малоинтенсивный участок 2 нуждается в суммарном бюджетном инвестировании и субсидировании в размере 633 млн руб., а участок 1 – в размере 1038 млн руб.

ВЫВОДЫ

Основными преимуществами для ОАО «РЖД» от применения рассматриваемой методики и экономической модели определения эксплуатационных затрат на содержание и эксплуатацию инфраструктуры по малоинтенсивным участкам железных дорог являются прозрачность, полнота учёта и высокая точность расчётов затрат. Выполненные с помощью методики расчёты могут быть обоснованием потребных размеров субсидий, бюджетных инвестиций и ассигнований на выполнение работ для обеспечения целевого состояния инфраструктурного комплекса.

Для полноценного качественного перехода к новой системе государственного управления железнодорожным транспортом и, в частности, его инфраструктурой в ближайшие годы видится целесообразным:

1. Применение механизма сетевого контракта.

Таблица 2

Характеристика малоинтенсивных участков Октябрьской железной дороги

Наименование	Экспл. длина, км	Объём перевозок грузов, т	Среднее расстояние перевозки грузов, км	Пар пассажирских поездов в сутки	
				дальних	пригородных
Участок 1	68,0	0	0	0	1
Участок 2	101,5	12009	1297	0	0
Всего	169,5	12009	1297	0	1

Таблица 3

Пример расчёта доходов и расходов по малоинтенсивным участкам Октябрьской железной дороги, млн руб.

Наименование	Расходы по обычным видам деятельности				Доходы по обычным видам деятельности			
	2014 г.*	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2014 г.**	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Участок 1	170	155	162	169	6	5	6	6
Участок 2	271	246	257	268	1	1	1	1
Всего	441	401	418	437	7	6	7	7

*с учётом прочих расходов
** с учётом прочих доходов

Таблица 4

Пример расчёта финансового результата по малоинтенсивным участкам Октябрьской железной дороги, млн руб.

Наименование	Финансовый результат			
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Участок 1	–164	–150	–156	–163
Участок 2	–270	–245	–256	–267

2. Формирование нормативно-правовой базы для тарифов на железнодорожные перевозки, способную обеспечить их стабильное существование на пятилетний период.

3. Переход к системе государственного транспортного контракта на долгосрочное субсидирование межрегиональных пассажирских перевозок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые формы долгосрочного государственного регулирования железнодорожного транспорта / А. К. Анжелину, М. Э. Дмитриев, Ю. В. Елизарьев и др. / Под ред. Ю. В. Елизарьева – М.: МЦФЭР, 2013.– 240 с.

2. Елизарьев Ю. В. Сетевой контракт – новый этап государственного регулирования железнодорожного транспорта //Экономика железных дорог.– 2013.– № 2.– С. 12–28.

3. Терёшина Н. П., Смехова Н. Г., Иноземцева С. М., Токарев В. А. Расходы инфраструктуры железнодорожного транспорта: Учеб. пособие.– М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010.– 224 с.

4. Издержки и себестоимость железнодорожных перевозок: Учеб. пособие / Н. Г. Смехова, Ю. Н. Кожевникова и др.– М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.– 472 с.

5. Иноземцева С. М. Влияние объема перевозок на расходы и себестоимость перевозок // Экономика железных дорог.– 2015.– № 8.– С. 43–52.

6. Королькова Н. В., Иноземцева С. М. Структурные особенности эксплуатационных расходов // Мир транспорта.– 2014.– № 6.– С. 86–99.

7. Писаревский Г. Е., Мартынова Л. А., Ломакина Н. М., Зарецкая Н. М. Экономические методы оптимизации работ малодеятельных линий // Экономика железных дорог.– 2015.– № 5.– С. 55–66.

8. Кожевников Ю. Н., Ильин И. П., Мороз Н. С. Методологические аспекты определения, классификации и расчёта финансовых результатов малоинтенсивных линий (участков)// Экономика железных дорог.– 2015.– № 7.– С. 56–67.

9. Иноземцева С. М. Анализ развития инфраструктуры железных дорог // Мир транспорта.– 2013.– № 5.– С. 68–77.

10. Benkler, M. Co-operation and innovation cut lifecycle costs / M. Benkler // Railway Gazette International.– 2010.– № 11.– pp. 37–40.

11. RFF signs performance contract // Railway Gazette International.– 2008.– № 12.– p. 926.

12. Maintenance outsourcing // Railway Gazette International.– 2009.– № 2.– p. 9.

13. Olson, J. Contracting Out Is In / J. Olson // Progressive Railroading.– 2009.– № 12.– pp. 30, 32, 34–38.

14. Scasso, Ch. La nouvelle bataille du rail / Ch. Scasso // Le Rail.– 2008.– № 150.– p. 5.

Координаты авторов: **Иноземцева С. М.** – inosveta@yandex.ru, **Мороз Н. С.** – q-s@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 11.01.2016, принята к публикации 23.05.2016.

DETERMINATION OF SECTION-TO-SECTION COSTS FOR MAINTENANCE AND OPERATION OF INFRASTRUCTURE

Inozemtseva, Svetlana M., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Moroz, Nikita S., *LLC ITS Consulting, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The network contract as a method of state regulation of rail infrastructure has been used successfully in a number of countries. Its main objectives are guaranteed transport support of socio-economic needs of areas within priority geographical configuration, optimization of internal costs of infrastructure complex owner and maintenance of service availability in transportation system to the public. Special attention is paid to the methodology and the economic model for determining operating costs for infrastructure maintenance of low intensity rail sections. Calculations made on that basis justify required subsidies, budget investments and allocations for implementation of the tasks provided for also by a network contract.

Keywords: railway transport of general use, infrastructure, network contract, methods for calculating the cost, low-intensity lines, operating costs, revenues, financial results.

Background. *Prospects of development of a country's economy and meeting the needs for passenger traffic, elimination of socio-economic backwardness of individual regions are dependent on the state of the railway infrastructure and qualitative work of the transport complex. From this point of view, we need a highly efficient system of state regulation at the transport services market, which could guarantee lawful and fair competition in the transport sector, would raise the industry to a new level and give it an impetus to innovative development.*

Objective. *The objective of the authors is to consider operating costs of railway infrastructure in terms of network contract application.*

Methods. *The authors use general scientific methods, comparative analysis, economic assessment, evaluation approach.*

Results.

Structure according to the contract

As it is known, the development of infrastructure complex of JSC Russian Railways is carried out by state regulation of prices (tariffs, fees and charges) in rail transport, providing subsidies to compensate for losses in revenue, budget investments in the authorized capital of the company and subsidies for infrastructure development of public rail transport.

The existing procedure does not remove, of course, transport infrastructure problems themselves:

– combined organization of freight and passenger traffic on some lines, especially in large metropolitan areas;

– non-harmonized state of different modes of transport;

– lack of clear division of responsibility for transport infrastructure development between the federal center and the regions;

– loss ratio and high return on investment in terms of transport projects (more than 40 years, projects are not paid off even during the life of the main elements of transport systems);

– complexity of formation and implementation of federal and regional target programs for transport system development;

– budget congestion and imperfect schemes of public-private partnership.

State regulation of prices (tariffs) for goods and services of subjects of natural monopolies is carried out primarily in accordance with two models – model of profit rate regulation and model of the upper tariff limit regulation (deflator-X). They are distinguished by the choice of the central control parameter, frequency of revision, the way of its setting, and other relevant factors [1].

In recent years special relevance is obtained by the network infrastructure contract – a new method of public management of railway infrastructure, successfully used abroad [2].

The network contract for guaranteed provision of transport services of the infrastructure complex on the part of its owner is a mechanism of state order of a certain volume of services required for socio-economic development of the country, and determination of the target state of the complex itself sufficient for this purpose. In other words, the network contract inherently is a new regulatory model in the field of public management of railway transport infrastructure complex.

Accordingly, such a contract is intended to formalize the relationship between the state and the infrastructure owner and record:

– target state of the infrastructural complex (state requirements for production capacities, technical state of the railway network, geographical configuration and quality of service);

– list of works and cost estimates for maintenance, operation and development of the infrastructure complex;

– planned volumes and sources of financing costs, the amount of required subsidies, budget investment to provide the desired state of the infrastructure complex.

The objects of the property included in the infrastructure complex of JSC Russian Railways, in the framework of the network contract may include objects that meet the following criteria:

– infrastructure areas related to railway lines and (or) sections having defense and social importance;

– construction of facilities aimed at enhancing infrastructure capacity;

– construction of new railway lines;

– innovations in the infrastructure complex;

– other objects defined by the network contract.

The subject of the network contract will be determination of:

– performance of target state of the infrastructure complex (state requirements for geographical configuration, production capacity, technical condition of the railway network and quality of services of the complex performed by its operation, modernization and reconstruction, new construction and acquisition of fixed assets);

– measures for maintenance and development of infrastructure complex;

Table 1

The main advantages and disadvantages of rail transportation cost calculation methods

Name of the method	Main advantages	Main disadvantages
method of calculation on individual articles of the costs classifier	- detailed calculation of the cost of transportation; - relatively accurate results; - does not require pre-grouping of costs; - ability to change different calculation methods	-relatively low speed of calculation in connection with the maximum volume of initial information and calculation formulas
method of expenditure rates	- detailed calculation of the cost of transportation; - more accurate results	- requires less initial information than calculation on individual articles, while labor costs for information processing are significant
method of influence coefficient	- simplicity of effective calculations	-low accuracy of calculations due to assumptions inherent in the method

– level of tariffs, fees, charges on rail transportation service at the economically reasonable level.

The network contract as a single document that defines requirements of the state for volumetric, value and qualitative characteristics of public rail transport infrastructure services should be formed on the basis of specific calculations of the amounts of income, expenses, value of assets, liabilities and equity of JSC Russian Railways to be allocated to its activities related to performance of the contract.

An important part of the network contract is to determine level and direction of investment, which involves development of methodology for planning and reporting on relevant costs and revenues at the disposal of assets.

To ensure interoperability between network contract parties with regard to planning of revenues related to infrastructure and costs arising from operation, maintenance, repair, modernization and development of the complex, it is necessary to consider a number of requirements, including transparency of planning and accounting of actual revenues and costs, creation of common to all the participants order of preparation of information in various analytical sections [3].

The network contract should provide sources of funding necessary to ensure contractual obligations under the contract.

Calculation of cost

Solution of various socio-economic tasks of public rail transport assumes the availability of data on the cost of freight and passenger transportation in different environments:

– types of cars and categories of trains;

– loaded or empty run;

– distance of transportation;

– performance of technical equipment;

– specific areas and sections of the rail network.

Currently five main methods are used to calculate cost and to determine a degree of influence of performance (time) on manufacturing operations and the value of meters:

– method of calculation on individual articles of the costs classifier (included in the nomenclature of revenues and costs of natural monopolies in the field of rail transportation);

– method of expenditure rates;

– method of change factors of average road cost of transportation;

– method of specific expenditure weights;

– method of influence coefficient [4].

The main advantages and disadvantages of cost calculation methods are shown in Table 1.

JSC Russian Railways as a versatile company in addition to the tasks regulated by the network contract, performs a significant amount of work related to transportation and other activities. On the stages of planning and formation of reports on actual costs incurred it is necessary to ensure a sufficient level of detalization of information about the costs directly attributable to the network contract. It is necessary to find a share of these costs by calculation while preserving full transparency of the method.

To simplify planning and analysis of the relationship between set target parameters of work within execution of the network contract it is necessary to detail cost items to a level that allows to identify this relationship [5].

The initial data for compiling expenditure part of the medium-term plan are used:

management reporting on activities;

management reporting on the costs of transportation in the context of tariff components;

forecast of operating costs for transportation (operating costs in the context of cost elements and types of transportation);

forecast of operating costs for other types of activities (expenses in the context of cost elements and activities) for three years.

Forecasting cost structure should be carried out by extrapolating base year data in accordance with forecast data on volume and structure of transportation, prospects of allocation of subsidiaries and affiliates, market development tendencies.

In the calculation as a base a year is taken for which there is evidence regarding the cost structure.

The costs for the base period should be divided by type of activity and tariff components. The allocation of costs is made after processing summary data of forms of management reporting by branches and divisions of JSC Russian Railways according to the procedure for determining costs and revenues for the network sections of the Russian railways, related to transportation, provision of services of infrastructure and locomotive traction.

The methodology of accounting of costs and expenses must be built in compliance with the principle of common processes of costs planning, as well as overall systems for planning, budgeting and accounting in JSC Russian Railways [6]. In addition, coordination with other documents of methodical and regulation support, as well as with elements of cost management system is required:

Pic. 1. The structure of economic calculations model for low-intensity lines

*Note. Due to lower standards when operating low-inte nsity sections to the obtained values of costs (excluding costs for electricity for train traction) by types of traffic the coefficient of 0,7125 is used. This correction factor is calculated on the basis of:

– The ratio of the norms of labor costs of workers involved in current track maintenance when average network freight traffic density exceeding 25,0 million tons • km gross per year and track service life of 16,7–20,0 years and freight traffic density up to 2,5 million tons • km gross per year and track service life of 16,7–20,0 years;

– Correction factor to the norms of the labor costs of workers involved in current track maintenance at sections that are not equipped with automatic block system.

– target key performance indicators of the network contract;

– norms and regulations;

– motivation and staff assessment;

– classification of technical and economic information.

Criteria for classification as low-intensity sections

Low-intensity lines (sections) are characterized by low volumes of work and persistently negative financial results of operations. Typically, they are single-track sections and single-track with double-

Table 2

Characteristics of low-intensity sections of October Railway

Name	Operational length, km	Freight traffic volume, t	Average distance of freight transportation, km	Pairs of passenger trains per day	
				long-distance	commuter
Section 1	68,0	0	0	0	1
Section 2	101,5	12009	1297	0	0
Total	169,5	12009	1297	0	1

Table 3

An example of calculation of revenues and expenses for low-intensity sections of October Railway, mln rubles

Name	Expenses from ordinary types of activity				Revenues from ordinary types of activity			
	2014 *	2015	2016	2017	2014 **	2015	2016	2017
Section 1	170	155	162	169	6	5	6	6
Section 2	271	246	257	268	1	1	1	1
Всего	441	401	418	437	7	6	7	7

*with account of other expenses
** with account of other revenues

Table 4

Example of calculation of the financial result for low-intensity sections of October Railway, mln rubles

Name	Financial result			
	2014	2015	2016	2017
Section 1	–164	–150	–156	–163
Section 2	–270	–245	–256	–267

track inserts. Low-intensity areas and lines of social, defense and other national importance, become the scope of the network contract. In this participation of the state is limited to subsidizing of operations, ensuring functioning of sections and the implementation of tasks of national importance.

Railway lines of public use that are branches of the main directions of freight and passenger flows, are ranked as low-intensity sections, if they satisfy one of three criteria:

– net freight traffic density at the section is 1,0 million tons • km net / km per year and not less than 0,01; while the total volume of cargo transportation with the participation of these sections does not exceed 5% of the total volume of goods transported on the rail network;

– amount of traffic of passenger trains on the schedule does not exceed 8 pairs of trains a day.

Railway lines of common use except for those that are branches from the main directions are low-intensity if they simultaneously meet the following criteria:

– gross freight traffic density at the section is 2,0 million tons • km gross / km per year or less;

– total amount of traffic of freight and passenger trains on the schedule does not exceed 8 pairs per day.

It should be noted that those sections of the rail network are representative, in which the operational length is in the range from 15 to 120 km, and the range of reduced freight traffic density varies from 0,01 to 1,0 tones • km gross / km per year.

Low intensity (low-density) lines are classified according to their location: transit, dead-end, border, port. At the same time, as of July 1, 2014 such lines totaled 225 sections with a total length of 11964 km. The largest share on the extent of low-density lines is occupied by Gorky, South-East, Moscow, October (Oktyabrskaya) and Kaliningrad railways [7].

The parameters of the financial result

For calculation of operating costs and solution of challenges associated with development of basic parameters of the network contract for provision of a guaranteed transport support of rail transportation by the infrastructure complex, methodological approaches were formed, focused on the specifics of low-intensity lines. At the same time existing methods used for calculating revenues, expenditures and financial results were used, as well as own conceptual framework was offered. Combining these approaches into a single unit to simplify the process of technical and economic calculations became the main purpose of this technique [8].

The main requirements that are reflected in the methodology were:

– use of available sources of information on revenues, expenditures and physical indicators of JSC Russian Railways;

– determination of economically sound meters for distribution of costs and revenues;

– providing logical links of meters used for formation of expenses and income with proportionally distributed groups of items of income and expenses;

– use of conventional forecasting methods used by federal executive bodies with indexation of tariffs for services of infrastructure of public railway transport.

The most complete and accurate results of calculation and forecast of operating costs are obtained when using the method of direct calculation and method of expenditure rates in determining the cost of transportation in specific conditions.

All calculations can be performed and presented in the form of financial economic model (Pic. 1), which can be divided into two main units:

– data input unit (control parameters, input data);

– unit of calculations and forecast of revenues and expenditures, as well as calculation of the financial result of low-intensity sections.

The model determines basic provisions on the calculation of:

– expenses from ordinary activities related to manufacture, purchase and sale of goods and products, as well as other expenses;

– revenues from ordinary activities, defined as revenue from the sale of goods and products, revenues from work performed, services rendered and other income;

– financial results of low-intensity sections.

Example of calculation

Calculations of operating costs for infrastructure services are performed on an example of two representative low-intensity sections of October Railway: socially significant section 1 and section 2 having defense significance.

Low-intensity section 2 is characterized by:

– one pair of passenger trains a day;

– operational length – 68 km (Table 2).

Low-intensity railway section 1:

– reduced freight traffic density –0,15 million tons • km gross / km per year;

– operational length – 101,5 km (Table 2).

The results of calculations of revenues, expenditures and financial results of low-intensity sections are shown in Tables 3 and 4.

Calculation of financial results of low-intensity sections of October Railway is determined as the difference between forecast revenues and expenses.

This economic model for calculating operating costs for the network infrastructure contract as a whole and given a table of the financial result of the work of low-intensity sections in particular adequately justify the need for the year 2017 for annual subsidies and budget investment by the state, on average amounting to 158 million rubles for maintenance of low-intensity section 1 of social significance and in the amount of 259,5 million rubles – section 2 having defense significance.

For the forecast period 2014–2017 to ensure the target state of the infrastructure complex low-intensity section 2 requires total budget investment and subsidies in the amount of 633 million rubles, and the section 1 – in the amount of 1038 mln rubles.

Conclusions. *The main advantages for JSC Russian Railways from the application of this technique and the economic model for determining operating costs for maintenance and operation of infrastructure for low-intensity railway sections are transparency, completeness of accounting and high precision of calculations of costs. Calculation made by this method justify required amount of subsidies, budget investments and allocations for the execution of works to ensure the target state of the infrastructure complex.*

For full qualitative transition to a new system of public rail transport management and, in particular, its infrastructure in the coming years the following steps seem to be appropriate:

1. The use of the network contract mechanism.

2. Formation of the regulatory framework for tariffs for railway transportation, capable of ensuring their stable existence for five years.

3. The transition to a system of public transport contract for long-term subsidies of inter-regional passenger transportation.

REFERENCES

1. New forms of long-term state regulation of railway transport [*Novye formy dolgosrochnogo gosudarstvennogo regulirovanija zheleznodorozhnogo transporta*] / A. K. Anzhelinu, M. E. Dmitriev, Yu. V. Elizariev [*et al*]. / Ed. by Yu. V. Elizariev. Moscow, MCFER, 2013, 240 p.

2. Elizariev, Yu. V. Network contract – a new stage of state regulation of railway transport [*Setevoj kontrakt – novyj etap gosudarstvennogo regulirovanija zheleznodorozhnogo transporta*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2013, Iss. 2, pp. 12–28.

3. Tereshina, N. P., Smekhova, N. G., Inozemtseva, S. M., Tokarev, V. A. Costs for railway infrastructure: educational guide [*Rashody infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta: Ucheb. posobie*]. Moscow, TMC on education on railway transport, 2010, 224 p.

4. Expenses and the cost of rail transportation: educational guide [*Izderzhki i sebestoimost' zheleznodorozhnyh perevozok: Ucheb. posobie*] / N. G. Smekhova, Yu. N. Kozhevnikova [*et al*]. Moscow, TMC on education on railway transport, 2015, 472 p.

5. Inozemtseva, S. M. Influence of traffic volume on expenses and the cost of transportation [*Vlijanie ob'ema perevozok na rashody i sebestoimost' perevozok*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2015, Iss. 8, pp. 43–52.

6. Korolkova, N. V., Inozemtseva, S. M. Structural features of operating costs. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 6, pp. 86–99.

7. Pisarevsky, G. E., Martynov, L. A., Lomakina, N. M., Zaretskaya, N. M. Economic optimization techniques of low-density lines work [*Ekonomicheskie metody optimizacii rabot malodejatel'nyh linij*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2015, Iss. 5, pp. 55–66.

8. Kozhevnikov, Yu. N., Ilyin, I. P., Moroz, N. S. Methodological aspects of determination, classification and calculation of financial results of low-intensity lines (sections) [*Metodologicheskie aspekty opredelenija, klassifikacii i raschjota finansovyh rezul'tatov malointensivnyh linij (uchastkov)*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2015, Iss. 7, pp. 56–67.

9. Inozemtseva, S. M. Analysis of infrastructure development of railways. *World of Transport and Transportation,* 2013, Iss. 5, pp. 68–77.

10. Benkler, M. Co-operation and innovation cut life-cycle costs. *Railway Gazette International*, 2010, Iss. 11, pp. 37–40.

11. RFF signs performance contract. *Railway Gazette International*, 2008, Iss. 12, p. 926.

12. Maintenance outsourcing. *Railway Gazette International*, 2009, Iss. 2, p. 9.

13. Olson, J. Contracting Out Is In. P*rogressive Railroading*, 2009, Iss. 12, pp. 30, 32, 34–38.

14. Scasso, Ch. La nouvelle bataille du rail. *Le Rail*, 2008, Iss. 150, p. 5.

Information about the authors:

Inozemtseva, Svetlana M. – Ph.D. (Economics), associate professor at the department of Transport Economics and Management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, inosveta@yandex.ru.

Moroz, Nikita S. – economist of LLC ITS Consulting, Moscow, Russia, q-s@bk.ru.

Article received 11.01.2016, accepted 23.05.2016.

УДК: 656.13:005

Логистическая субкультура студента транспортного вуза

Наиль АХТЯМОВ
Nail T. AKHTYAMOV

Радик ИЛЬЯСОВ
Radik R. ILYASOV

Виктория САМОЙЛЕНКО
Victoria A. SAMOYLENKO

Ахтямов Наиль Тагирович *– кандидат физ.-мат. наук, доцент Уфимского института путей сообщения (УфИПС) – филиала СамГУПС, Уфа, Россия.*
Ильясов Радик Равилович *– доктор философских наук, профессор УфИПС – филиала СамГУПС, Уфа, Россия.*
Самойленко Виктория Андреевна *– студент СамГУПС, Уфа, Россия.*

Logistics Subculture of a Transport University Student
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 160).

Одна из целей высшего учебного заведения – сформировать у студента объективную научную картину мира и сделать ее органичной частью его мировоззрения. Если нет возможности перевести теоретическое знание в практическое, рефлексируемое, то выпускник вуза останется без устойчивых жизненных ориентиров и установок, в том числе касающихся социально-экономической роли и функциональной значимости транспорта. В статье описан способ решения подобной задачи на основе логистической культуры. Эксперимент в Уфе, проводившийся в течение года, показал растущую потребность в формировании у будущего специалиста-транспортника отраслевой логистической субкультуры, способной адекватно воспринимать современные скорости и формат перемещений человека и товара.

Ключевые слова: *транспортный вуз, образовательная парадигма, научная картина мира, логистическая культура, субкультура студента, коэффициент конкурентности, исследовательский проект.*

В Российской Федерации разветвленная транспортная система, поэтому важно на микро- и макроуровнях социального действия научиться правильно составлять план перевозок, определять безопасные пути следования пассажиров и грузов. Логистика позволяет транспортным компаниям оптимизировать расходы, делать работу более качественной и оперативной, а клиентам обеспечивать сохранность грузов и приемлемый сервис. То есть логистические службы берут на себя значительную долю обязанностей в перевозочном процессе, и работающие в них люди должны быть готовы к столь ответственным функциям.

Любая готовность к осмысленной деятельности – это прежде всего результат обучения, передачи профессиональных знаний и опыта. И здесь, имея в виду логистику, очевидна роль транспортного вуза, готовящего специалистов такого профиля. Причем образовательные программы, на наш взгляд, кроме изучения самого предмета (основ логистики) уже на первом

Таблица 1

Месяц	Октябрь 2014	Ноябрь 2014	Декабрь 2014	Январь 2015	Февраль 2015	Март 2015	Апрель 2015	Май 2015	Июнь 2015	Средне-годовая скорость, км/ч	Среднее время пути (год), мин
Кол-во замеров: дом – вуз	24	23	26	15	21	24	26	20	6	17,83	57
Кол-во замеров: вуз – дом	24	20	25	13	17	20	23	18	6		
Средняя скорость: дом – вуз, км/ч	18,1	17,4	18	16,3	16,5	16,2	17	17,4	19,1		
Средняя скорость: вуз – дом, км/ч	20,4	18,2	18,1	17,2	17	17,5	17,9	18,5	21,1		
Среднемесячная скорость, км/ч	19,25	17,8	18	16,7	16,7	16,8	17,4	17,9	20		
Среднее время дороги (в обе стороны), мин	52,8	57	56,4	60,6	60,6	60,6	58,2	56,4	51		

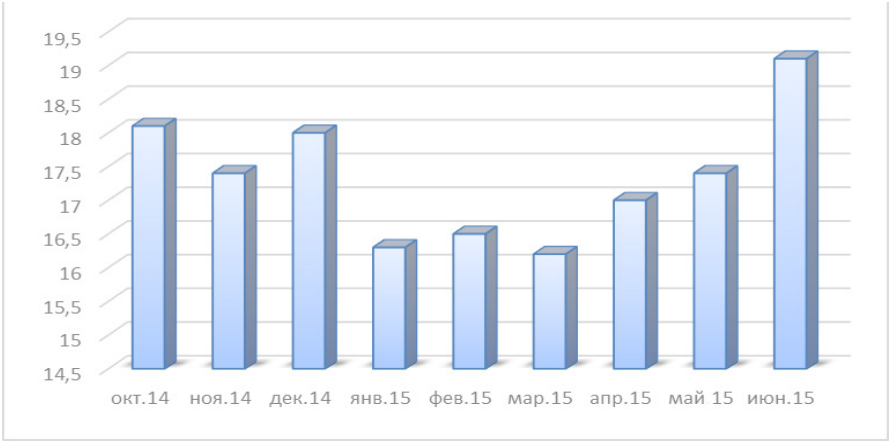


Рис. 1. Средняя скорость: дом – вуз, км/ч.

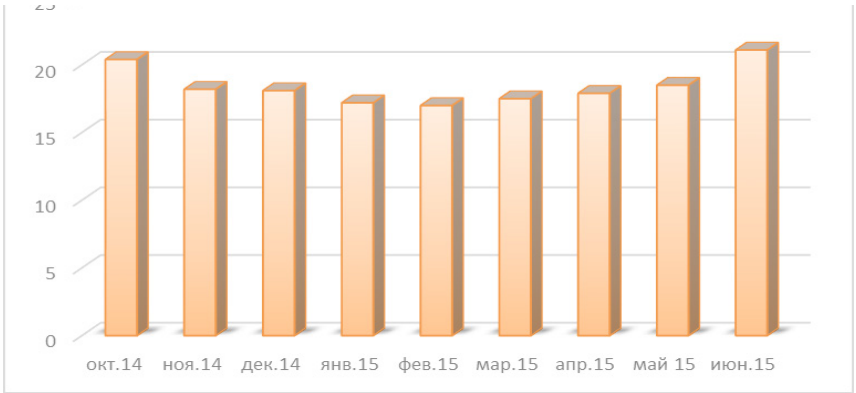


Рис. 2. Средняя скорость: вуз – дом, км/ч.

курсе должны предусматривать формирование отраслевой логистической субкультуры студента.

Первый корпус Уфимского института путей сообщения располагается в шаговой доступности от автобусных остановок

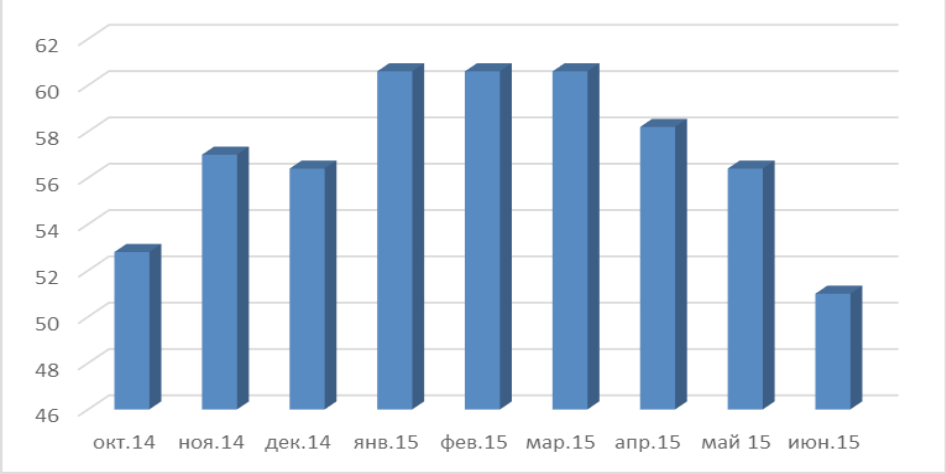


Рис. 3. Среднее время дороги (в обе стороны), мин.

и главной железнодорожной станции города, второй корпус стоит буквально на привокзальной площади. Студентам, чтобы привлечь их к постижению логистической субкультуры, было предложено решить следующую задачу: как рациональнее добраться из дома до первого корпуса и обратно, какой путь в какое время года будет наиболее эффективным. Решение подобных задач, лишь на первый взгляд кажущихся совсем простыми, приобщает субъекта к строгому научному и методологическому инструментарию, к тому же будущий инженер железной дороги вне зависимости от специальности – движенец, строитель, связист – априори как бы заочно включен в систему перемещения.

В стране транспортная логистика всегда актуальна, цифры поражают: 20 тыс. станций, 90 тыс. км железных дорог, 2 тыс. речных причалов, 43 морских порта, 540 тыс. км автомобильных дорог, 756 аэропортов. Но из этого вовсе не следует, что логистические задачи уже решены и не требуется конструирование новых парадигмальных подходов и методик. Более того, обычно быстро выявляется, что затруднительно проводить генерализацию единичного и частного, общее активно отрицает составляющие его части и компоненты.

К примеру, Н. В. Пеньшин, А. А. Титова указывают: «Отдавая прерогативу общественному транспорту, муниципальные власти снижают нагрузку на улично-дорожную сеть, это позволяет вводить ограничения для индивидуальных автомобилей на наиболее загруженных магистралях, особенно в пиковые часы» [1, с. 168]. Понятно, что при смене маршрутов, нагрузок какое-то улучшение ситуации на дорогах наступает, однако сама задача как быстрее и удобнее доехать жителю из точки А в точку Б в большом городе этим отнюдь не снимается.

Итак, вернемся к институтскому заданию: в течение календарного года модельный студент, проживающий в Октябрьском районе города Уфы, пять раз в неделю преодолевал расстояние 17 км (средний путь для студента очного отделения) на муниципальном автобусе, замерял время движения и сопутствующие ему показатели. Далее вычислялись: средняя скорость автобуса из дома в первый корпус и обрат-

Таблица 2

Вид транспорта	Автобус	Маршрутное такси	Городская лектричка	Личный автомобиль	Велосипед	Мопед
Оценка качества услуг (баллы)	80	85	90	100	90	95
Цена проезда (руб.)	18	25	18	100	0	17
Коэффициент конкурентности	4,4	3,4	5	1	∞	5,6

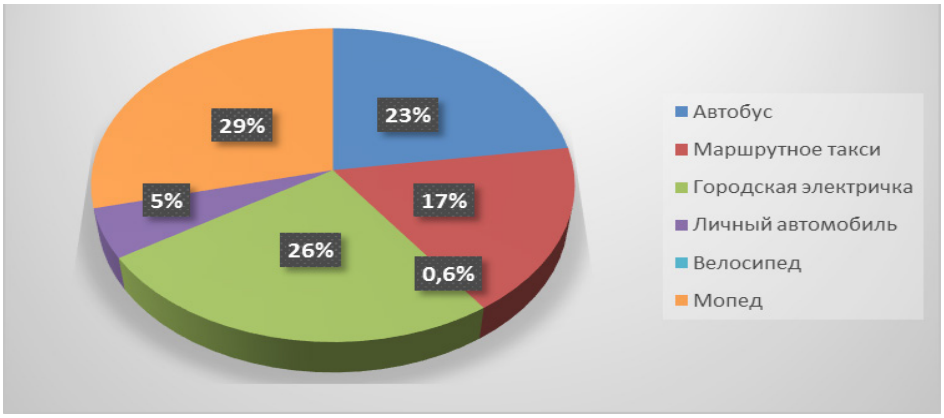


Рис. 4. Конкурентная доля видов транспорта (в процентах).

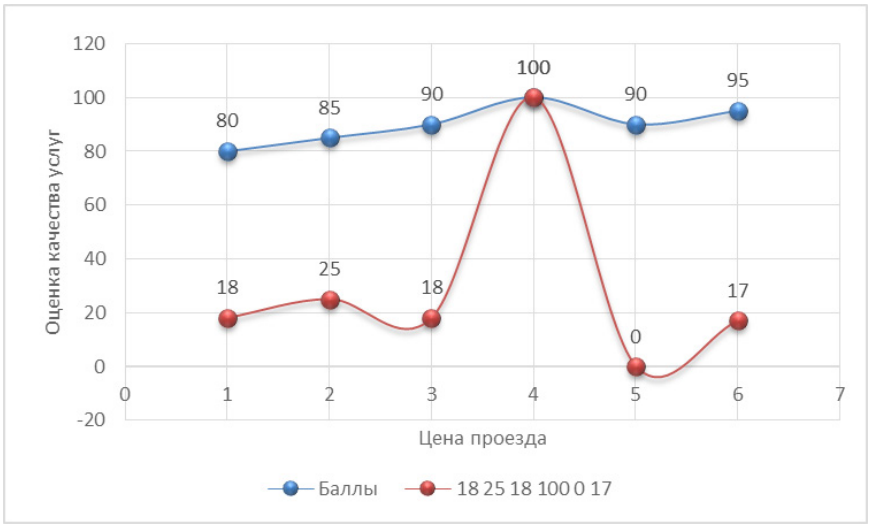


Рис. 5. Соотношение оценки качества услуг от цены проезда на том или ином виде транспорта.

но, среднемесячная скорость и среднее время на дорогу (таблица 1).

Для наглядности составлены диаграммы скорости и времени (рис. 1–3).

Как выяснилось, скорость муниципального автобуса незначительно зависит от направления движения и времени года. Парадоксально, но его средняя скорость сопоставима со скоростью дорожного велосипеда, хотя из этого не следует, что велосипед более конкурентоспособен.

Помимо муниципального автобуса уфимский рынок пассажирских перевозок насыщен и иными видами транспорта: маршрутное такси, легковое такси, электричка. Дополнительно можно использовать личный велосипед (в Уфе разветвленная сеть велодорожек и качественный сервис), личный автомобиль, скутер (мопед с объемом двигателя до 50 куб. см), мотоцикл (некоторые студенты приезжают на учёбу из пригородов именно на нем, зная о его высокой маневренности при заторах).

Привлеченные к исследованию студенты последовательно пересаживались с муниципального автобуса на маршрутное такси, электричку, легковой автомобиль, велосипед и скутер, преодолевая заявленные 17 км. В таблице 2 приведены сравнительные данные по этим видам транспорта.

Оценка качества вида транспорта производилась по стобалльной шкале, при этом учитывалось, что у каждого человека как потребителя услуг критерии субъективные, поэтому для него самого конкурентоспособность оценивается индивидуально. Но целью данного исследования было выявление общей оценки конкурентоспособности транспорта в зависимости от его

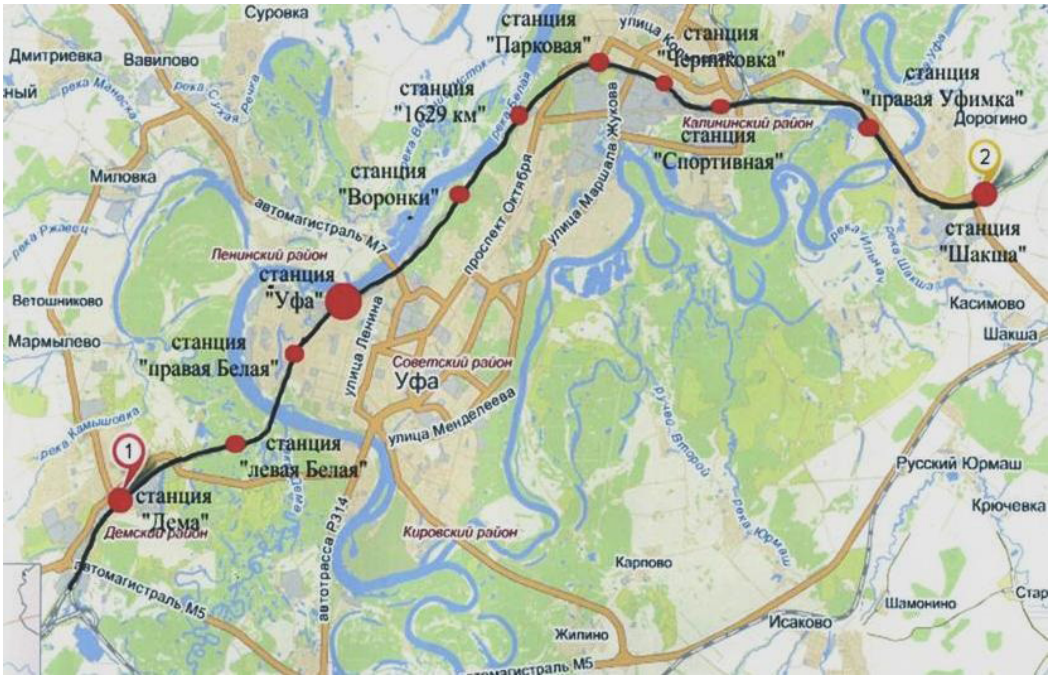


Рис. 6. Транспортный проект «Толпар» в Уфимском мегаполисе.

положения на рынке услуг (рис. 4), поскольку конкурентный статус зависит от реальных преимуществ, которые в большей своей части зависят от эффективности использования тех или иных видов ресурсов в процессе перевозки, обслуживания пассажиров. Коэффициент конкурентности рассчитывался по формуле:

$$К = Б/Ц,$$

где К – коэффициент конкурентности;

Б – балльная оценка качества транспортных услуг;

Ц – цена проезда на транспортном средстве.

На графике (рис. 5) представлена зависимость оценки качества услуг от цены проезда на транспортном средстве. По вертикали обозначены баллы качества предоставляемых услуг, а по горизонтали:

1 – автобус;
2 – маршрутное такси;
3 – городская электричка;
4 – личный автомобиль;
5 – велосипед;
6 – мопед.

Текстовый и графический материалы однозначно доказывают, что железнодорожным транспортом (электричкой) пользоваться предпочтительнее, поскольку на такие средства передвижения, как велосипед и мопед, оказывают ведущее влияние погодные условия. В Уфе реализован уникальный транспортный проект «Толпар». В его основе городская электричка, перемещающаяся по городу с запада на восток по шести посадочным платформам – станции «Дёма», «Уфа», «1629 км», «Спортивная», «Парковая», «Шакша». Цель – оптимизация проезда пассажиров из Дёмского района до Калининского (Шакша). Пригородный железнодорожный транспорт уже стал альтернативой метро, строительство которого в Уфе невозможно в силу геологических особенностей грунта, именно к такому выводу пришли проектировщики, подготовившие изменения в Генплан миллионного мегаполиса. Путь в 32 километра поезд преодолевает за 30 минут, что значительно меньше, нежели при использовании любого другого вида транспорта. Особенно удобна эта линия для жителей Дёмы и Шакши, которые могут в кратчайшие сроки добраться до другого конца города (рис. 6).

Стоит отметить, что пассажиры, относящиеся к категории «федеральных» льготников, едут в электропоездах бесплатно, а «региональные», школьники и студенты – со скидкой 50%. Такой базовый каркас в сочетании с другими видами транспорта

создает порядка 30 пересадочных пунктов, что позволяет жителям беспрепятственно попасть в любую точку города. В перспективе в Уфе появятся новые маршруты электропоездов, призванные еще полнее решить транспортную проблему. Это связано прежде всего с местоположением самой железнодорожной магистрали, проходящей через все основные административные районы города. По мнению градостроителей, использование столь популярного и общедоступного вида транспорта в пределах мегаполиса значительно снизит сетевую нагрузку в час-пик.

Корпуса УфИПС максимально удобно расположены именно на логистической линии Дёма–Шакша, по которой можно добираться от общежития до места обучения. От учебного корпуса до железнодорожной станции «Уфа» необходимо пройти около 800 м, а от общежития института до станции «Дёма» – приблизительно 1,6 км.

Как известно, 2016 год в холдинге «РЖД» объявлен Годом пассажира. Основной вектор работы в связи с этим направлен на удовлетворение потребностей населения в качественных и доступных железнодорожных перевозках, повышение экономической эффективности и развитие скоростного сообщения [2]. В рамках целевых мероприятий на Уфимском вокзале прошел очередной «День пассажира». Была открыта общественная приёмная, обратившись в которую, уфимцы и гости города сообщали свои предложения, замечания представителям пригородной пассажирской компании и других подразделений, занимающихся перевозками в зоне ответственности Башкирского региона Куйбышевской железной дороги.

Еще раз подтвердилось, что пассажирские перевозки по железной дороге востребованы и изначально конкурентоспособны. Олег Белозёров, глава ОАО «РЖД», отмечает, что в условиях конкуренции «перевозчики стали более активно бороться за клиента – предоставлять новые виды услуг, увеличивать количество маршрутов доставки грузов. Также особое внимание уделяется созданию необходимой транспортно-логистической инфраструктуры» [4, с. 17].

Разумеется, позиция «РЖД» определенным образом учитывалась при оценке выполненного студентами задания. Результаты исследовательского проекта по формированию логистической субкультуры будущих выпускников транспортного вуза помогают приоткрыть двери в сложный мир перемещений и перевозки, демонстрируя множество пока не учитываемых и не полностью изученных факторов. Более того, при обсуждении результатов в формате научного кружка и семинара многими выражалось недоумение по поводу недовостребованности основ логистики в курсе среднего образования, несмотря на свою очевидную значимость, логистика до сих пор не стала обязательной школьной дисциплиной. Отсутствие должного внимания к сфере транспорта на разных уровнях оборачивается значительными материальными и людскими потерями.

Безусловно, своевременное, со студенческого возраста формирование надежной логистической субкультуры усиливает позиции специалиста-транспортника. Каждый перевозчик находится в борьбе за клиентов и старается предложить максимальное качество услуг, но и сам их пользователь может разработать свой вариант удобного и комфортного перемещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеньшин Н. В., Титова А. А. Организация автодорожного движения: пассажиропоток и аварийность // Мир транспорта. – 2015. – № 3. – С. 168–176.

2. Карпова И. В. В ОАО «РЖД» 2016 год объявлен годом пассажира. [Электронный ресурс]: http://sodruzhestvoppk.ru/новости/-в-оао-ржд-объявлен-годом-пассажира. Доступ 19.04.2016.

3. На Уфимском железнодорожном вокзале прошел «День пассажира» / Информационное агентство «Башинформ. РФ». [Электронный ресурс]: http://www.bashinform.ru/news/835104-na-ufimskom-zheleznodorozhnom-vokzale-proshel-den-passazhira/. Доступ 19.04.2016.

4. Лядов В. И. Олег Белозёров: «Наша цель – сделать перевозки грузов по транссибирскому маршруту для наших клиентов надежными, быстрыми и дешевыми» // Железнодорожник. – 2016. – № 1. – С. 17–19.

Координаты авторов: **Ахтямов Н. Т.**, **Ильясов Р. Р.** – 8 (347) 229–14–14, **Самойленко В. А.** – viktoria.samoil@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 02.07.2015, актуализирована 19.04.2016, принята к публикации 10.05.2016.

LOGISTICS SUBCULTURE OF A TRANSPORT UNIVERSITY STUDENT

Akhtyamov, Nail T., *Ufa Transport University – branch of Samara Transport University, Ufa, Russia.*
Ilyasov, Radik R., *Ufa Transport University – branch of Samara Transport University, Ufa, Russia.*
Samoylenko, Victoria A., *Samara Transport University, Ufa, Russia.*

ABSTRACT

One of the objectives of a higher education institution is to form student's objective scientific picture of the world and make it an integral part of his world. If it is impossible to convert a theoretical knowledge into a practical, reflecting, a university graduate will have no sustainable life goals and attitudes, including those relating to the public role and functional significance of transport. This article describes a way to solve this problem on the basis of logistics culture. Experiment in Ufa, held throughout the year, showed a growing need for shaping for a future transport specialist an industrial logistics subculture able to perceive current speed and format of movement of people and goods.

Keywords: transport university, educational paradigm, scientific picture of the world, logistics culture, student's subculture, competiveness coefficient, research project.

Background. *The Russian Federation has an extensive transport system, so it is important at micro and macro levels of social action to learn how to make transportation plan, determine safe routes for movement of passengers and cargo. Logistics allows transport companies to optimize costs, to work better and faster, and customers to ensure safety of goods and acceptable service. That is, the logistics services take on a significant share of responsibility in transportation process, and people working in them have to be ready for such responsible functions.*

Any commitment to meaningful activity is primarily a result of training, transfer of professional knowledge and experience. Here, referring to the logistics, the role of a transport university, which trains specialists of this profile, is obvious. Moreover, educational programs, in our opinion, except for study of the subject (the basics of logistics) already in the first year should include the formation of industrial logistics subculture of a student.

Objective. *The objective of the authors is to consider logistics subculture, which is formed in students of transport universities, future transport specialists.*

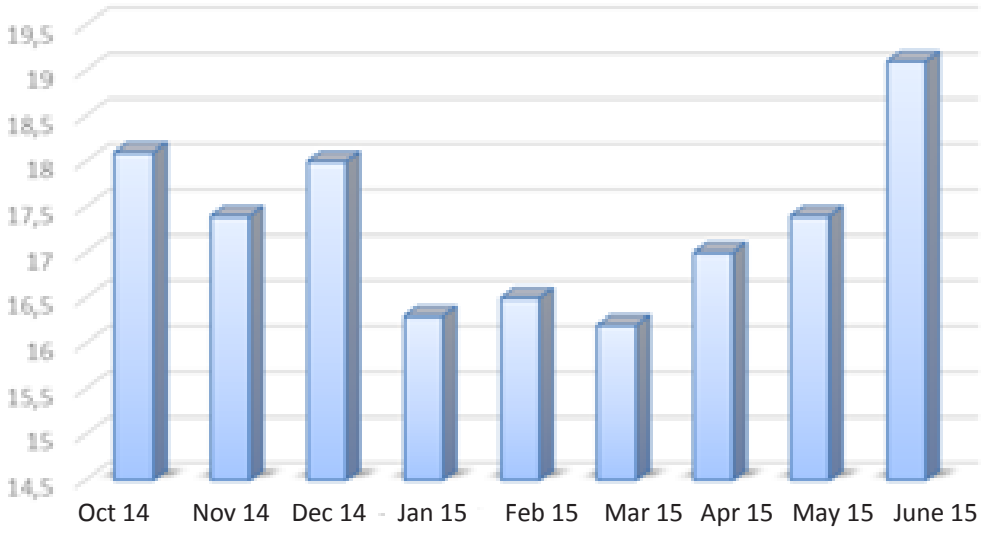
Methods. *The authors use general scientific methods, modeling, scientific analysis, assessment method, graph construction.*

Results. *The first building of Ufa Transport University is located within walking distance of bus stops and the main railway station of the city, the second building is literally on the railway station forecourt. It was offered to the students, to bring them to comprehend the logistics subculture, to solve the following problem: how to rationally get from home to the first building and back, which way at what time of the year is the most efficient. The solution of such problems, which only at first glance seem quite simple, acquaints the subject with rigorous scientific and methodological tools, in addition, a future railway engineer, regardless of specialty –traffic specialist, builder, communications operator – a priori, as he were included in absentia in traffic system.*

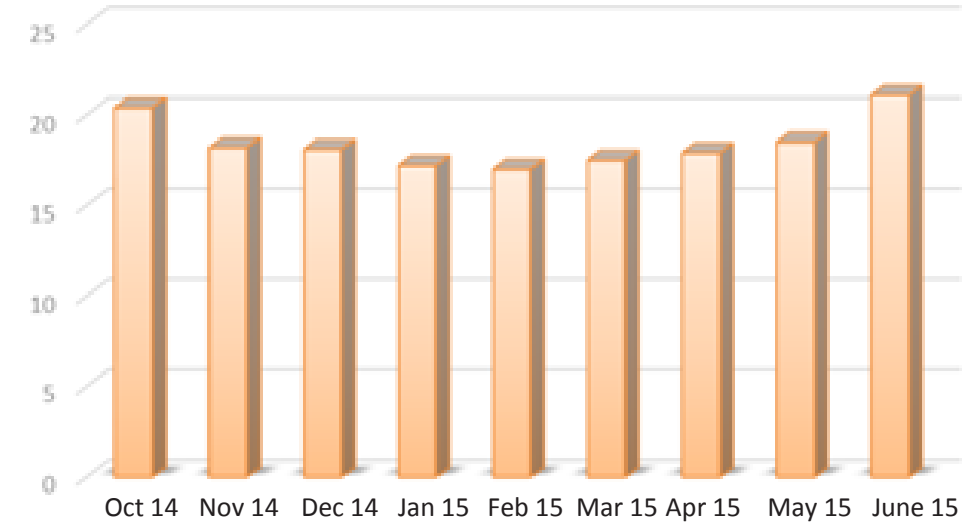
In our country transport logistics is always relevant, the figures are striking: 20 thousand stations, 90 thousand km of railways, 2 thousand river piers, 43 seaports, 540 thousand km of roads,

Table 1

Month	October 2014	November 2014	December 2014	January 2015	February 2015	March2015	April 2015	May 2015	June 2015	Average annual speed, km/h	Average travel time (year), min
Number of measurements: home – university	24	23	26	15	21	24	26	20	6	17,83	57
Number of measurements: university – home	24	20	25	13	17	20	23	18	6		
Average speed: home – university, km/h	18,1	17,4	18	16,3	16,5	16,2	17	17,4	19,1		
Average speed: university – home, km/h	20,4	18,2	18,1	17,2	17	17,5	17,9	18,5	21,1		
Average monthly speed, km/h	19,25	17,8	18	16,7	16,7	16,8	17,4	17,9	20		
Average travel time (roundtrip), min	52,8	57	56,4	60,6	60,6	60,6	58,2	56,4	51		



Pic. 1. Average speed: home – university, km / h.



Pic. 2. Average speed: university– home, km / h.

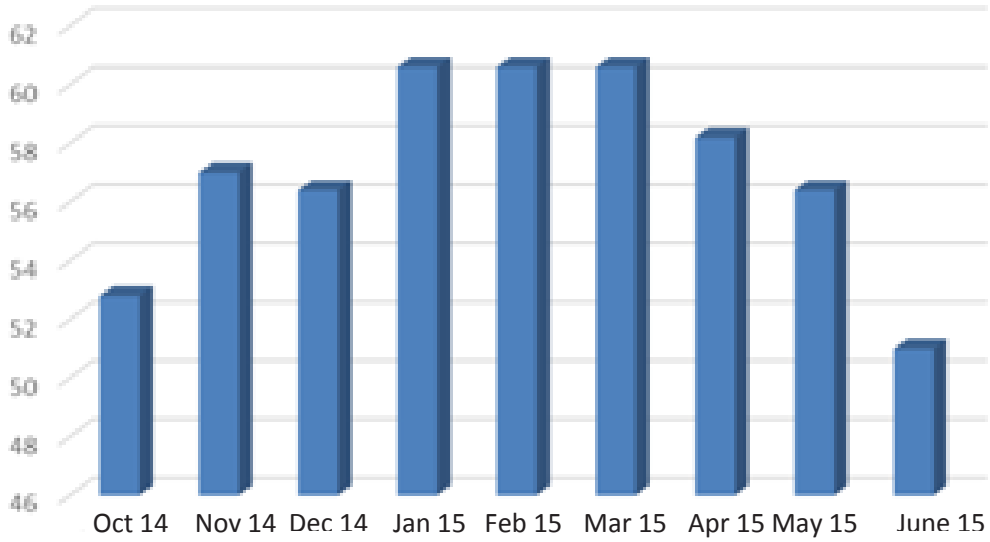
756 airports. But this does not mean that the logistical problems are solved, and it is not required to construct new paradigmatic approaches and techniques. Moreover, it is usually quickly detected, that it is difficult to carry out generalization of individual and private, general actively denies its parts and components.

For example, N. V. Penshin, A. A. Titova point out: «Giving the prerogative to the public transport, the municipal government reduce burden on the road network, it allows us to enter constraints for individual cars on the busiest highways, especially during peak hours» [1, p.168]. It is understood that by changing routes, loads, some improvement in the situation on the roads occurs, but the task itself of how faster and more convenient for people to get from point A to point B in a big city is not removed.

So let us return to the institute task: during a calendar year a model student, who lives in Oktyabrsky district of the city of Ufa, five times a week, overcame the distance of 17 km (average path for full-time students) using a municipal bus, measured time of motion and indicators related to it. Next were calculated: average speed of a bus from home to the first building of the university and back, average monthly speed and average travel time (Table 1).

For clarity, speed and time diagrams were built (Pic. 1–3).

As it turned out, the municipal bus speed significantly depends on direction of motion and time of the year. Paradoxically, but its average speed is comparable to speed of a road bike, but this does not mean that the bike is more competitive.



Pic. 3. Average travel time (roundtrip), min.

In addition to the municipal bus Ufa market of passenger transportation is saturated with other modes of transport: bus, taxi, commuter train. Additionally, it is possible to use own bike (Ufa has an extensive bikeways network and qualitative service), personal car, a scooter (motor bicycle with an engine capacity of up to 50 cub. cm), motorbike (some students come to the university from suburbs on it, knowing about its high maneuverability when congestion).

The students involved in the study changed consistently from a municipal bus to taxi, commuter train, car, bike and scooter, overcoming the declared 17 km. Table 2 shows comparative data for these modes of transport.

Assessment of quality of a type of transport was made by 100-point grading scale, at the same time it was taken into account that each person as a consumer of services has subjective criteria for services, therefore for him the competitiveness is assessed individually. But the purpose of this study was to determine overall assessment of competitiveness of transport, depending on its position in the market (Pic. 4). Since the competitive status depends on real benefits, which for the most part depend on efficiency of use of certain types of resources in the process of transportation, passenger service. The competiveness coefficient was calculated using the formula:

$$C = S/P,$$

where C is competitiveness coefficient;

S is score of quality of transport services;

P is price of travel by a vehicle.

The graph (Pic. 5) shows the dependence of assessment of quality of services depending on price of travel by vehicle. The vertical shows scores for quality of services rendered, and the horizontal:

1–bus;

2– route taxi bus;

3 – city train;

4 – private car;

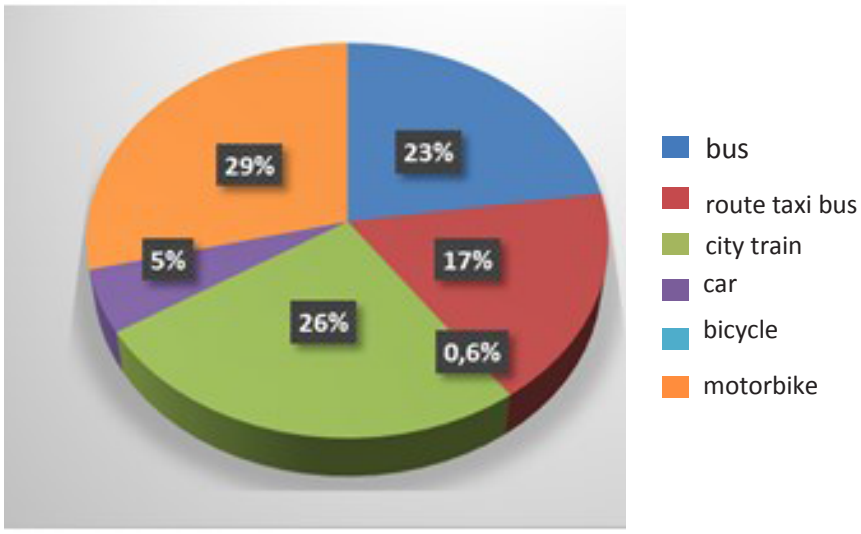
5 – bicycle;

6 – motor-bicycle.

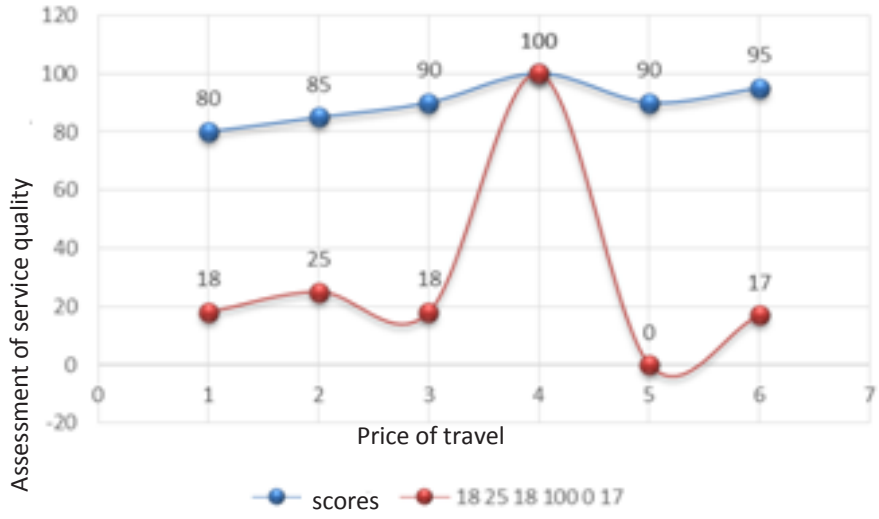
Text and graphic material clearly show that it is more preferable to use rail (train) transport because such vehicles as bicycles and motor-bicycles are subject to the influence of weather conditions. A unique transport project «Tolpar» is implemented in Ufa. It is based on a city train that moves through the city from west to east through six landing platforms – stations Dema, Ufa, 1629 km, Sportivnaya, Parkovaya, Shaksha. The goal is to optimize passenger travel from Demsky district to Kalininsky (Shaksha). Commuter rail transport has already become an alternative to metro, the construction of which in Ufa is impossible due to geological characteristics of soil, it is the conclusion made by designers, which prepared changes in the general plan of millionth metropolis. The train overcomes the distance of 32 km in 30 minutes, which is significantly less than with the use of any

Table 2

Type of transport	bus	route taxi bus	city train	car	bicycle	motorbike
Assessment of service quality (scores)	80	85	90	100	90	95
Price of travel (rub.)	18	25	18	100	0	17
Competitiveness coefficient	4,4	3,4	5	1	∞	5,6



Pic. 4 Competitive share of modes of transport (as a percentage).



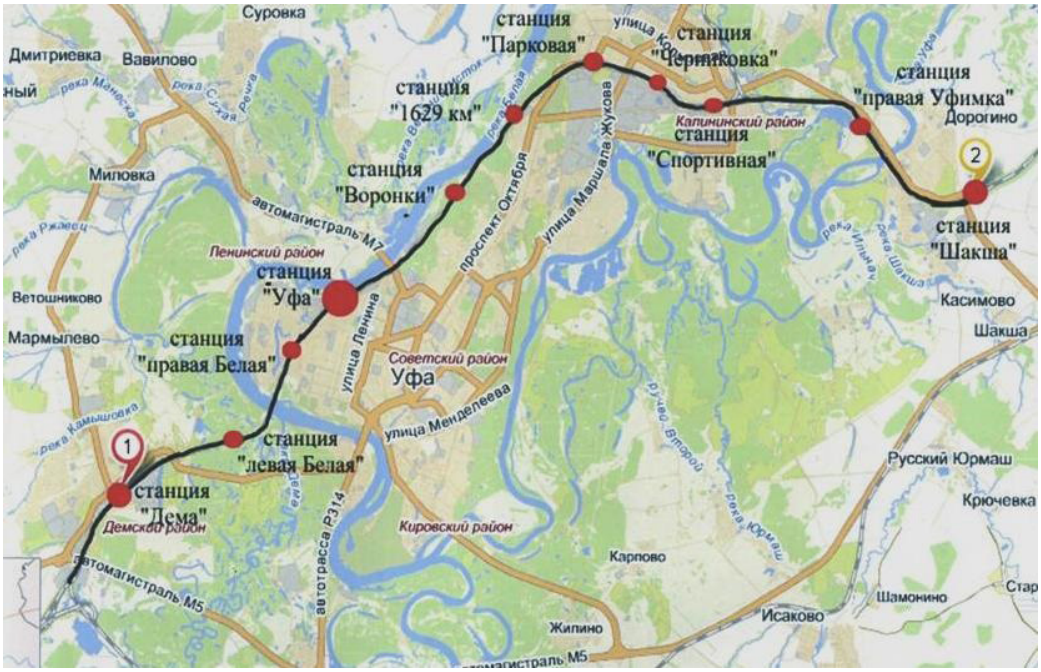
Pic. 5. The ratio of assessment of quality of services depending on price of travel by a particular mode of transport.

other mode of transport. This line is especially convenient for the residents of Dema and Shaksha, who can in the shortest time reach the other end of the city (Pic. 6).

It should be noted that passengers under the category of «federal» social security beneficiaries, travel by commuter trains for free, and «regional» social security beneficiaries, pupils and students – with 50% discount. This basic framework in combination with other modes of transport generates about 30 interchanges, allowing residents to freely get anywhere in the city. In the future there will be new routes of commuter trains in Ufa designed to more fully solve the transport problem. This is primarily due to location of the railway itself, passing through all the main administrative districts of the city. According to city planners, the use of such a popular and public means of transport within the metropolis will significantly reduce the network load during peak hours.

The buildings of Ufa Transport University are the most conveniently located in the logistics line Dema–Shaksha, on which it is possible to get from the hostel to the place of study. From the educational building to the railway station Ufa it is necessary to walk about 800 meters and from the hostel of the university to the station Dema – about 1,6 km.

As it is known, the holding company Russian Railways declared the year 2016 as the Year of passenger. The main vector of work in this regard is aimed at meeting the needs of population in high-quality and affordable rail transportation, improvement of economic efficiency and high-speed rail development [2]. Within the framework of targeted activities Ufa railway station hosted the «Day of passenger». The public counseling office was opened, to which residents and visitors of Ufa reported about their suggestions, comments to



Pic. 6. The transport project «Tolpar» in Ufa city (as described at P. 162).

the representatives of suburban passenger companies and other entities involved in transportation in the area of responsibility of Bashkirsky region of Kuibyshev Railway.

Once again it was confirmed that passenger transportation by rail are in demand and initially competitive. Oleg Belozerov, the head of JSC Russian Railways, said that in a competitive environment «carriers began to more actively fight for a client – to provide new services, to increase the number of routes of delivery. Also, special attention is paid to creation of a necessary transport and logistics infrastructure [4, p.17].

Conclusion. *Of course, the position of Russian Railways was in a certain way taken into account when evaluating the task completed by students. The results of the research project on development of logistics subculture of future transport university graduates help open up a door to the complex world of movement and transportation, showing the set of factors not yet taken into account and not fully studied. Moreover, during discussion of the results in the format of scientific circle and workshop many participants expressed bewilderment over under-demand of logistics bases in the course of secondary education, in spite of its obvious importance, logistics has not yet become a compulsory school discipline. Lack of proper attention to the transport sector at different levels causes significant material and human losses.*

Of course, timely formation of reliable logistics subculture from the students' age strengthens the position of a transport specialist. Each carrier is in the fight for customers and strives to offer the highest quality of services, but also the user can develop his own version of convenient and comfortable movement.

REFERENCES

1. Penshin, N. V., Titova, A. A. Car and pedestrian: conflict crossing points. *World of Transport and Transportation*, Vol.13, 2015, Iss. 3, pp. 168–176.

2. Karpova, I. V. JSC Russian Railways declared the year 2016 as the Year of passenger [*V OAO «RZhD» 2016 god ob'javlen godom passazhira*]. [Electronic source]: http://sodruzhestvoppk.ru/novosti/-v-oao-rzhd-ob#javlen-godom-passazhira. Last accessed 19.04.2016.

3. Ufa railway station hosted «Day of passenger» [*Na Ufimskom zheleznodorozhnom vokzale proshel «Den' passazhira»*]. Information Agency «Bashinform.RF». [Electronic source]: http://www.bashinform.ru/news/835104-na-ufimskom-zheleznodorozhnom-vokzale-proshel-den-passazhira/. Last accessed 19.04.2016.

4. Lyadov, V. I. Oleg Belozerov: «Our goal – to make cargo transportation by the trans-Siberian route reliable, fast and cheap for our customers [*Oleg Belozjorov: «Nasha cel' – sdelat' perevozki gruzov po transsibirskomu marshrutu dlja nashih klientov nadezhnymi, bystrymi i deshevymi*»]. *Zheleznodorozhnik*, 2016, Iss. 1, pp. 17–19. ●

Information about the authors:
Akhtyamov, Nail T. – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor of Ufa Transport University – branch of Samara State Transport University, Ufa, Russia, 8 (347) 229-14-14.
Ilyasov, Radik R. – Ph.D. (Philosophy), professor of Ufa Transport University – branch of Samara Transport University, Ufa, Russia, 8 (347) 229-14-14.
Samoylenko, Victoria A. – student of Samara Transport University, Ufa branch, Ufa, Russia, viktoria.samoil@mail.ru.
Article received 02.07.2015, revised 19.04.2016, accepted 10.05.2016.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

ЭФФЕКТИВНОСТЬ 166

Динамика перевозок и динамический резерв вагонов.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ 176

Как лучше доставить сыпучие грузы.

ГОРОД И ГРУЗЫ 182

Увеличение пропускной способности городских грузовых станций.

АВТОДВИЖЕНИЕ 190

Управление движением и управление автомобилем: две стороны одной проблемы.

EFFICIENCY 166

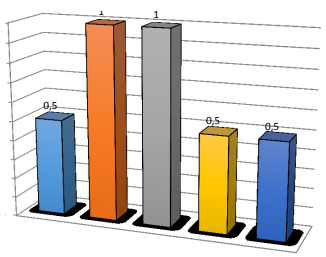
Dynamics of freightage and dynamic reserve of rail cars.

ENGINEERING SOLUTIONS 176

How should we better deliver loose goods.

THE CITY AND THE CARGO 182

Increasing transit capacity of urban cargo rail stations.



ROAD TRAFFIC 190

Traffic management and vehicle driving control: two sides of the same problem.

УДК 656.223

Как сократить простои грузовых вагонов в ожидании погрузки?

Андрей ШАТОХИН
Andrey A. SHATOKHIN

Сергей ЕЛИСЕЕВ
Sergey Yu. ELISEEV

Елисеев Сергей Юрьевич *– доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Шатохин Андрей Андреевич *– старший преподаватель кафедры «Эксплуатация железных дорог» МИИТ, Москва, Россия.*

How to Reduce Downtime of Freight Cars Awaiting Loading?
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 172)

Процесс обеспечения погрузки вагонов имеет большую зависимость от стохастических факторов. Наличие такой зависимости вынуждает операторов создавать технологический запас в местах совершения погрузочных операций. Рассмотрены влияние раздробленности грузового парка вагонов на размер запаса и экономические результаты работы, а также возможности консолидации управления ресурсами под единое начало с целью повышения производительности и прибыльности предприятий отрасли.

Ключевые слова: железная дорога, грузовой парк, операции погрузки, стохастические факторы, запас вагонов, снижение потерь, консолидация управления вагонами.

Рыночные отношения существенно отражаются на эффективности использования грузового подвижного состава. Например, по итогам сетевого совещания 19–20 февраля 2015 года в Тюмени «Современные методы управления вагонными парками» отмечено, что в 2014 году ежесуточно около 340 тыс. вагонов, находившихся на путях общего пользования сети ОАО «РЖД», были невостребованными. При этом большая их часть стояла в рабочем парке и простаивала в ожидании погрузки. До формирования рынка операторских услуг подобного не наблюдалось.

Согласно отчету ОАО «РЖД» за 2014 год, снижение эффективности использования подвижного состава отнесено к внутренним рискам холдинга. При этом нужно понимать, что специально держать в непроизводительных простоях вагоны никому не выгодно. Ни частным операторам, ни ОАО «РЖД». Основная причина скопления порожних вагонов в местах погрузки – наличие неопределенности [1, 4, 10, 11].

По статистике средняя продолжительность порожнего рейса составляет 3,5 су-

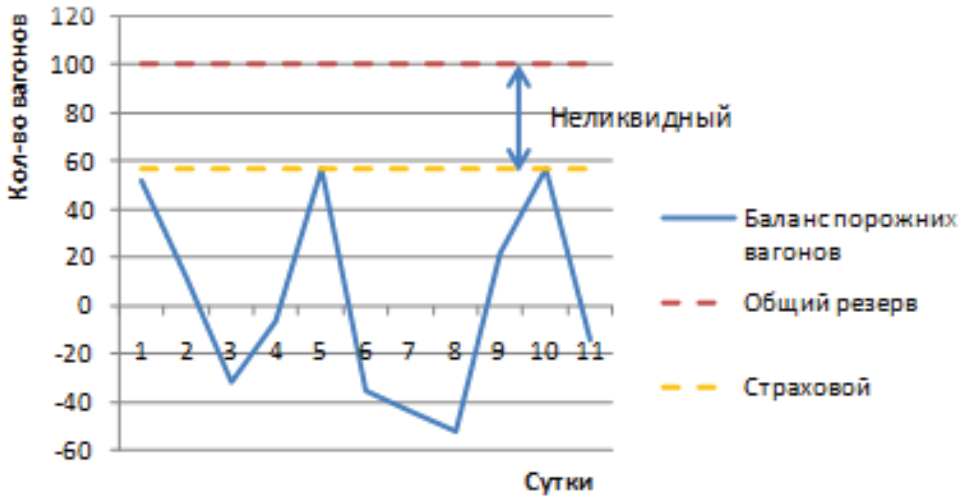


Рис. 1. Потребность в запасе при суточном дефиците вагонов.

ток. При перевозках экспортных грузов это время существенно больше. Поэтому на момент направления вагона на станцию погрузки невозможно знать ни точное количество требуемых единиц колёсной техники, ни время их прибытия. Для гарантированного обеспечения заказа операторы вынуждены создавать динамические резервы (страховой запас) из порожних вагонов в местах погрузки. И чем сильнее фактор неопределенности, тем большее количество вагонов следует держать в запасе.

Резерв вагонов в местах погрузки можно разделить на две категории:

– динамический (страховой) – позволяющий гарантировать бесперебойное обеспечение грузовых операций при колебаниях объёма погрузки и количества прибывших вагонов;

– неликвидный – когда вагоны не используются длительное время.

Наличие динамического резерва позволяет обеспечить погрузку при образовании суточного дефицита вагонов. Невостребованный резерв (неликвидный) приводит к неоправданно большому простою вагонов в ожидании погрузки. Присутствие неликвидного резерва крайне нежелательно, поскольку это приводит к снижению среднесуточной доходности вагона и создает сложности для работы станции.

Большинство операторов подвижного состава и грузоотправителей для гарантированного обеспечения погрузки вынуждены формировать динамические резервы порожних вагонов. Однако нужно понимать, что несмотря на необходимость наличия резерва, это не что иное, как непроизводительный простой вагонов. Оплачивает этот простой в конечном итоге грузовладелец. А следовательно, сокращение таких резервов позволит снизить долю транспортной составляющей в себестоимости конечной продукции, повысить её конкурентоспособность.

Возможны различные способы снижения фактора неопределённости, влияющего на размер динамического резерва. Например, повышение технологической дисциплины, совершенствование технологии работы железных дорог и качества услуг со стороны перевозчика. Это длительный, трудоёмкий и дорогостоящий процесс. При этом он никак не влияет на неопределённость, связанную с изменениями объёмов погрузки после направления порожних вагонов.

Возможно использование опорных станций в регионах погрузки для оперативного перераспределения порожних вагонопотоков. Такой подход позволит значительно или полностью сократить динамические резервы. Но в этом случае стоимость порожнего рейса увеличивается, ибо тариф одного общего порожнего рейса меньше, чем тариф двух порожних, из которых он состоит. Да еще и сама операция переадресовки порожнего вагона платная. В результате использование по-

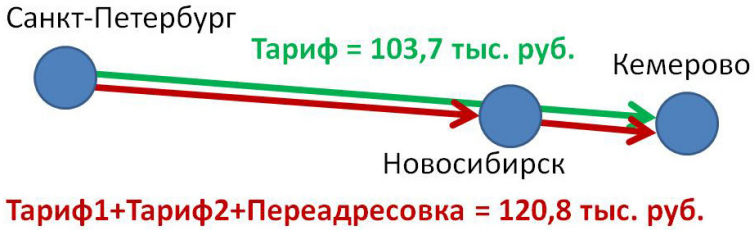


Рис. 2. Сравнение стоимости вариантов подвода порожнего вагона к станции погрузки.

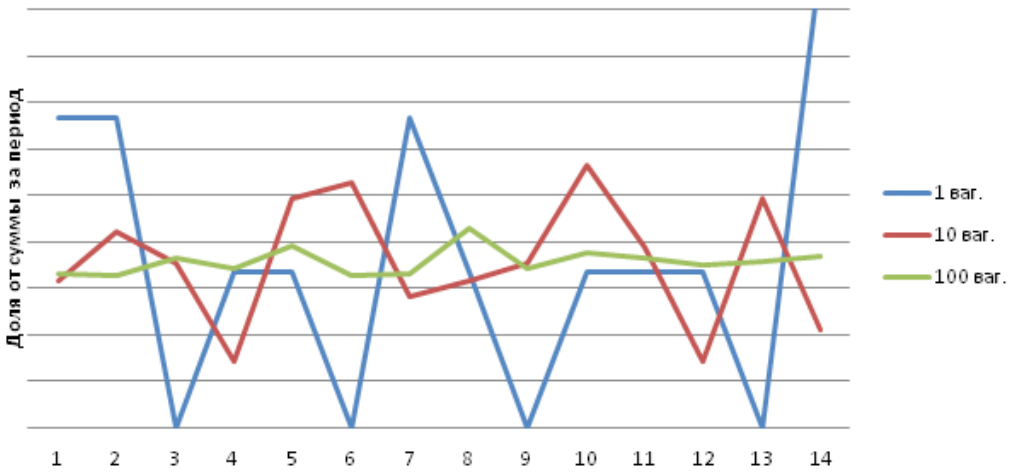


Рис. 3. Графики относительных колебаний количества прибывших вагонов по датам для струй мощностью 1, 10 и 100 вагонов в сутки.

добной схемы для обеспечения погрузки, как правило, становится экономически нецелесообразным.

Например, на маршруте Санкт-Петербург–Кемерово использование переадресовки по станции Новосибирск повышает стоимость порожнего рейса на 17,1 тыс. руб., что эквивалентно почти месяцу непроизводительного простоя вагона.

Остается еще и возможность повышения стабильности вагонопотоков за счёт их консолидации с несколькими операторами. Часто в обеспечении погрузки на станции принимает участие сразу несколько операторов. Причём они подводят порожние вагоны и формируют динамические резервы (страховые запасы) независимо друг от друга. Это приводит к разделению общего порожнего вагонопотока на несколько более мелких.

На стабильность вагонопотока заметно влияет количество отправок в его составе. Моделирование корреспонденции вагонопотока, состоящей из 1, 10 и 100 повагонных отправок, показывает существенное снижение относительных колебаний количества ежесуточно прибывающих вагонов на станцию назначения (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что чем больше размер вагонопотока, тем меньше относительные колебания количества прибывающих вагонов на станцию назначения. Соответственно и доля парка вагонов в динамическом резерве также сокращается без снижения гарантированности обеспечения погрузки.

Согласно теории управления запасами, зависимость оптимального темпа роста запасов и темпа роста спроса выглядит следующим образом [2, 3]:

$$n_{зап}^{стрх} \leftrightarrow \sqrt{U^{отпр}}, \qquad (1)$$

где $n_{зап}^{стрх}$ – потребное количество вагонов в страховом запасе на станции спроса (погрузки);

$U^{отпр}$ – среднесуточное количество независимых друг от друга отправок.

Используем данную зависимость с учётом специфики управления парком вагонов (в т.ч. различное количество вагонов в групповых и маршрутных отправках):

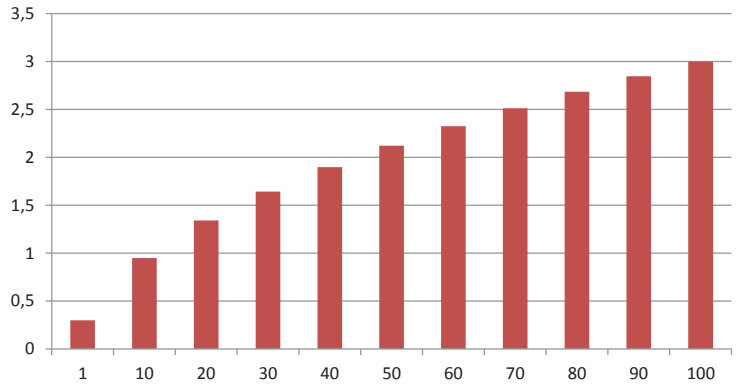


Рис. 4. Зависимость времени простоя вагонов в запасе от количества операторов при среднесуточном значении погрузки 100 вагонов.

$$n_{зап}^{стрх} = n_{зап}^{0}\sqrt{\sum_{1}^{i}\left(U_{отпр}^{i}\right)^{2}}, \qquad (2)$$

где i – количество отправок в вагонопотоке;

$U^{i}_{отпр}$ –количество вагонов в i-й отправке;

$n^{0}_{зап}$ – значение запаса вагонов при единичном вагонопотоке.

Определение запаса вагонов при единичном спросе было рассмотрено ранее [4]. На него большое влияние оказывает значение средних квадратичных отклонений времени прибытия вагонов на станцию назначения и объёмов погрузки. Зная объём погрузки, можно определить и среднее время простоя вагонов в запасе:

$$t_{зап}^{пот} = \frac{t_{зап}^{0}\sqrt{\sum_{1}^{i}\left(U_{отпр}^{i}\right)^{2}}}{n_{погр}}. \qquad (3)$$

На основе формулы (3) делаем оценку влияния раздробленности парка вагонов на непроизводительный их простой. Соотношение простоя вагонов в страховом запасе при обеспечении погрузки n-ым количеством операторов $t^{стрх}_{n\ зап}$ и простоя при обеспечении одним оператором $t^{стрх}_{1зап}$ будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{t_{n\,зап}^{пот}}{t_{1\,зап}^{пот}} = \frac{\sum_{1}^{n}\sqrt{\sum_{1}^{ni}\left(U_{ni}^{отпр}\right)^{2}}}{\sqrt{\sum_{1}^{i}\left(U_{i}^{отпр}\right)^{2}}}, \qquad (4)$$

где n – количество операторов, обеспечивающих погрузку на станции.

Если подвод порожних вагонов выполнять только повагонными отправками, то формула (4) принимает следующий вид:

$$\frac{t_{n\,зап}^{пот}}{t_{1\,зап}^{пот}} = \frac{\sum_{1}^{n}\sqrt{U_{погр}^{n}}}{\sqrt{\sum_{1}^{n}\left(U_{погр}^{n}\right)}}, \qquad (5)$$

где $U^{n}_{погр}$ – среднесуточный объём погрузки n-го оператора.

Используя формулу (5), можно определить изменение простоя вагонов в ожидании погрузки в зависимости от количества операторов, работающих на станции. Например, если при среднесуточной погрузке

Таблица 1

Сравнение консолидации парка вагонов крупнейших собственников на дорогах США и России

Наименование дороги США	Кол-во вагонов, тыс. ваг		Наименование оператора РФ
Юнион Пасифик (UP)	103820	675317	ОАО «ПГК»
Берлингтон Нортен И Санте фе (BNSF)	103061	216865	ОАО «ФГК»
Норфолк Саутерн (с дочерними компаниями)	90459	183480	ЗАО «НефтеТрансСервис»
СИ ЭС ИКС Транспортейшн (CSX)	72504	149719	ОАО «НПК»
Гранд Транк Корпорейшн (CNGT)	64442	113837	ООО «Трансойл»
Су Лайн (SOO)	52071	91391	ООО «Газпромтранс»
Всего:	1,3 млн	1,3 млн	

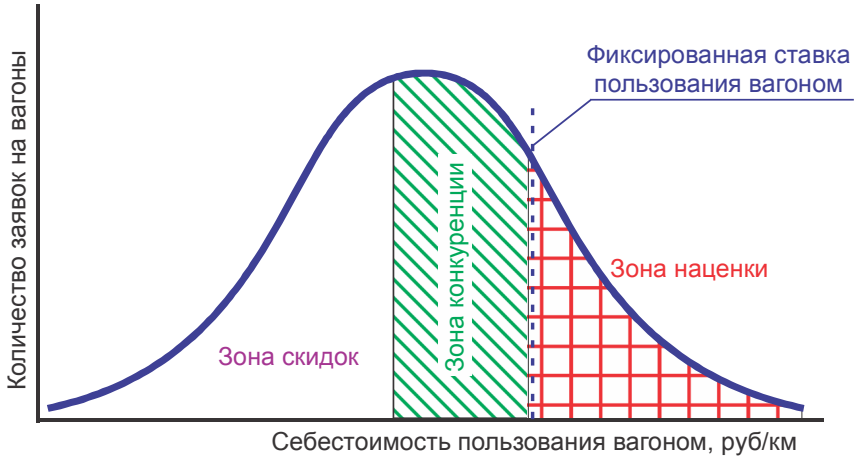


Рис. 5. Эффективность фиксированной ставки пользования вагоном в рыночных условиях.

16 вагонов вместо одного оператора заказывать вагоны у четырех в равных долях, то средний простой вагонов в динамическом резерве увеличится в 2 раза:

$$\frac{t_{n\,зап}^{пот}}{t_{1\,зап}^{пот}} = \frac{4\cdot\sqrt{4}}{\sqrt{16}} = 2[0{,}1].$$

На рис. 4 показана зависимость изменения времени простоя вагонов в запасе при увеличении количества операторов с 1 до 100 при условии подвода вагонов повагонными отправками.

С этой точки зрения интересен опыт зарубежных железных дорог. Например, на дорогах США размер парка вагонов сопоставим с парком вагонов в РФ. При этом нет какой-либо доминирующей компании (таблица 1) [5].

Грузоотправитель Северной Америки имеет возможность заказать перевозки в любой компании. Но за счёт вертикально интегрированной системы управления погрузка одного клиента и, как привило, одной станции обеспечивается вагонами одной–двух компаний. Это позволяет сократить размеры динамических резервов парка вагонов. Следует отметить, что на железных дорогах Северной Америки много внимания уделяется производительности грузовых вагонов во взаимодействии с грузовладельцами. Из-за высокой специализации подвижного состава коэффициент порожнего пробега составляет около 50%. Поэтому основные усилия направлены на сокращение простоя вагонов на станциях грузовых операций, управление размером парка исходя из планируемого объёма перевозок и повышения грузоподъёмности.

На европейских железных дорогах, где система управления железнодорожными перевозками схожа с системой управления в РФ, большая часть парка вагонов принадлежит доминирующей компании, имеющей до 70–80% от общего их числа. Это тоже создает предпосылки к сокращению динамических резервов на станциях погрузки.

Существенное влияние на рынок перевозок оказывают попытки ОАО «РЖД» создать консолидированный парк полувагонов. На базе парков «АГ», «ВСП», «КП».

Парк «АГ» – полувагоны, привлечённые ОАО «РЖД» под управление по «агентской схеме» в период с марта 2011-го по апрель 2012 года у дочерних компаний холдинга.

Парк «ВСП» – вагоны собственные привлечённые под управление у ООО «ВГК» (позже ООО «ФГК): ноябрь 2011 – июль 2013.

Парк «КП» – технологический аутсорсинг, при котором управление собственными вагонами выполняется ОАО «РЖД» по принципу балансового метода. Период существования – с января 2013-го по декабрь 2013 года.

Все три попытки не получили дальнейшего развития из-за отрицательного финансового результата. При этом эксплуатационные показатели использования вагонов в парках «ВСП» и «КП» были существенно лучше, чем у операторов

подвижного состава. Например, оборот вагона улучшен на 2–3 суток, производительность вагона на 20–30% (протокол сетевого совещания – Тобольск, Тюмень, 19–20.02.2015 г.).

Данный эффект был достигнут в том числе и за счёт консолидации парка вагонов, минимизации рисков, связанных с неопределённостью при планировании, поскольку распределение вагонов по станциям выполнялось в регионах погрузки в рамках сменно-суточного планирования.

Парадокс получения убытков при улучшении технологических показателей использования вагонов можно объяснить ограниченными возможностями ОАО «РЖД» при коммерческой работе с клиентами. Так, стоимость использования вагонов была привязана к прейскуранту 10–01, и лишь позже было разрешено предоставлять небольшую скидку в 10%. При том рынок перевозок неоднороден и имеет большой разброс себестоимости услуг.

Например, суммарная себестоимость пользования вагонами на корреспонденциях с большей скоростью пропуска будет дешевле. Не меньшее значение имеет и направление. Если погрузка осуществляется в направлении следования порожних вагонопотоков, то стоимость пользования вагонами может быть в 1,5–2 раза дешевле [6–9].

В результате перевозки, имеющие себестоимость пользования вагоном намного ниже прейскуранта 10–01, за счёт предоставления скидок забрали другие операторы подвижного состава. А перевозки с высокой себестоимостью достались ОАО «РЖД» (рис. 5).

Компенсация расходов при выполнении убыточных перевозок с высокой себестоимостью стала невозможной из-за ухода прибыльных перевозок к операторам подвижного состава.

Тем не менее имеющийся технологический резерв повышения эффективности использования вагонов может дать положительные экономические результаты при качественной организации коммерческой работы.

Сейчас ОАО «РЖД» предлагает операторам подвижного состава услуги технологического аутсорсинга, сохраняя за собой управление порожними вагонопотоками, а коммерческая работа с грузовладельцами остаётся в ведении компаний-операторов. Такое взаимодействие позволяет удовлетворить с*уществующий спрос на консолидированное управление парком вагонов*, *при котором сочетается эффективность балансового метода управления вагонами с реализацией рыночных принципов управления*.

То есть с учётом структуры управления железнодорожным транспортом на дорогах РФ консолидация парка вагонов одного рода под единым управлением становится едва ли не самым надежным методом повышения производительности для парка грузовых вагонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Основные рыночные факторы, влияющие на эффективность использования вагонов // Логистика сегодня.– 2015.– № 1.– С. 14–19.
2. Бродецкий Г. Л. Управление запасами: Учеб. пособие.– М.: Эксмо, 2008.– 352 с.
3. Управление запасами в цепях поставок: Учебник.– М.: Инфра-М, 2008.– 430 с.
4. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Логистические принципы эффективного взаимодействия операторов подвижного состава и грузовладельцев // Железнодорожный транспорт.– 2015.– № 10.– С. 30–33.
5. Railroad Facts (2012 г.) (Отчет по работе американских железных дорог за 2011 г.).– 87 с.
6. Апатцев В. И., Лёвин С. Б., Николашин В. М. и др. Логистические транспортно-грузовые системы: Учебник.– М.: Академия, 2003.– 304 с.
7. Анненков А. В. Организация производства и управление транспортной компанией в условиях конкуренции на транспортном рынке: Монография.– М.: РГОТУПС, 2003.– 235 с.
8. Балалаев А. С. Формирование конкурентоспособных транспортных составляющих логистических систем: Монография.– Хабаровск: ДВГУПС, 2007.– 224 с.
9. Прокофьева Т. А., Лопаткин О. М. Логистика транспортно-распределительных систем: региональный аспект: Учеб. пособие.– М.: РосКонсульт, 2003.– 400 с.
10. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Эффективное использование собственных вагонов транспортных компаний на логистических принципах // Транспорт: наука, техника, управление.– 2014.– № 9.– С. 48–51.
11. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Основные рыночные факторы, влияющие на эффективность использования вагонов // Экономика железных дорог.– 2015.– № 4.– С. 82–87.
12. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Логистические принципы и бизнес-взаимодействие операторов и грузовладельцев // Мир транспорта.– 2015.– № 5.– С. 100–113.

Координаты авторов: **Елисеев С. Ю.**– selis56@mail.ru, **Шатохин А. А.**– aassrv@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 24.12.2015, принята к публикации 16.04.2016.

HOW TO REDUCE DOWNTIME OF FREIGHT CARS AWAITING LOADING?

Eliseev, Sergey Yu., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Shatokhin, Andrey A., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The process of ensuring car loading is much dependent on stochastic factors. The presence of such a dependence forces operators to create technological reserve at the point of loading operations. The authors considered the impact of fragmentation of freight rolling stock on the stock level and economic results of work, as well as opportunities to consolidate resource management under a single basis in order to increase productivity and profitability of the industry.

Keywords: railway, freight yard, loading operations, stochastic factors, car stock, loss reduction, car management consolidation.

Background. *Market relations affect significantly the efficiency of freight rolling stock use. For example, on the basis of the network meeting held on 19–20 February 2015 in Tyumen «Modern methods of car fleet management» it was noted that in 2014 daily about 340 thousand cars, which were on the tracks of public use of the Russian Railways network were not in demand. At the same time most of them were standing on operational yard and were idle while waiting for loading. Prior to formation of operator's service market this situation has not been observed.*

According to the report of Russian Railways in 2014, reduction of efficient use of rolling stock is related to internal risks of the holding company. At the same time it is necessary to understand that it is unprofitable for anybody to specially keep cars in nonproductive idle hours. Neither for private operators, nor for JSC Russian Railways. The main reason for congestion of empty cars in places of loading is the presence of uncertainty [1, 4, 10, 11].

Objective. *The objective of the authors is to consider possible ways or reduction of downtime of freight cars awaiting loading.*

Methods. *The author uses general scientific methods, comparative approach, mathematical method.*

Results. *According to statistics, the average length of an empty run is 3,5 hours. When transporting export goods this time is much larger. Therefore, at the time of sending the car to loading station it is impossible to know either exact number of required units of wheeled equipment, nor time of their arrival. To ensure the order operators are forced to create dynamic reserves (reserve stock) of empty cars at loading. And the greater is uncertainty factor, the greater is the number of cars that should be kept in reserve.*

Reserve of cars at loading places can be divided into two categories:

– dynamic (insurance) – which allows to ensure uninterrupted supply of cargo operations at fluctuations of loading volume and the number of arrived cars;

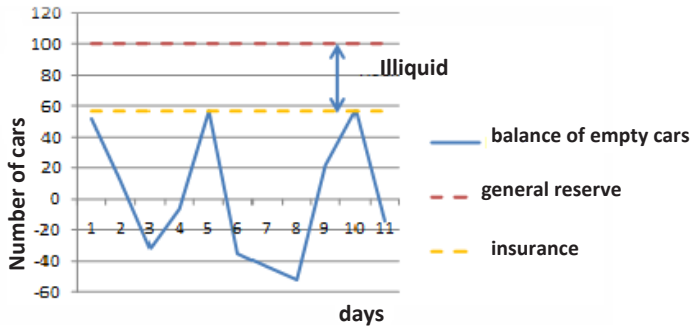
– illiquid – when cars are not used for a long time.

The presence of dynamic reserve allows to ensure loading in case of formation of daily car deficit. Not demanded reserve (illiquid) leads to unnecessarily large downtime of cars waiting for loading. The presence of illiquid reserve is highly undesirable, as it leads to a decrease in average daily yield of cars and makes it difficult to operate the station.

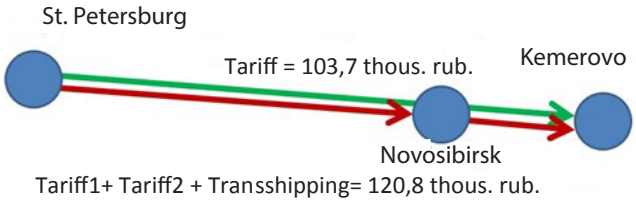
Most of rolling stock operators and shippers for guaranteed provision of loading have to form dynamic reserves of empty cars. However, it is necessary to understand that despite the need for reserves, it is not nothing but a simple unproductive downtime of cars. Eventually cargo owner pays for it. And thus reducing such reserves will reduce the share of transport component in the cost of final products and increase its competitiveness.

There are various ways to reduce the uncertainty factor affecting the size of dynamic reserve. For example, increase in technological discipline, improvement of technology of railways operation and quality of services on the part of the carrier. It is a long, time-consuming and expensive process. However, it has no influence on uncertainty associated with the change in loading volume after sending empty cars.

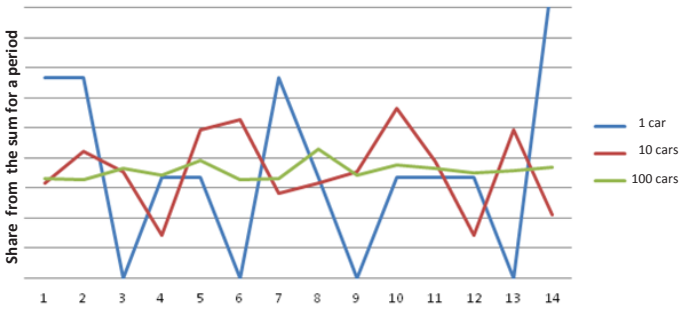
It is possible to use base reference stations in the regions of loading for rapid reallocation of empty car flows. This approach will significantly or completely reduce dynamic reserves. But in this case, the empty run cost increases because the rate of one total empty run is less than the rate of two empty runs, of which it is composed. And the operation of reshipping of empty car is paid. As a result, the use of such a scheme for loading generally becomes economically unviable.



Pic. 1. Need for reserve at daily deficit of cars.



Pic. 2. Comparison of cost for different options of supply of an empty car to a loading station.



Pic. 3. The graphs of relative fluctuations of the number of arriving cars on dates for jets with capacity of 1, 10 and 100 cars a day.

For example, on the route St. Petersburg–Kemerovo the use of reshipping on Novosibirsk stations increases the cost of empty run by 17,1 thousand rubles, which is equivalent to almost a month of unproductive downtime of a car.

The possibility remains to increase stability of car flows due to their consolidation with several operators. Often multiple operators are involved in ensuring loading at the station. And they bring empty cars and form dynamic reserves (insurance stocks) independently of each other. This leads to division of total empty car flow into several smaller ones.

The stability of car flow is significantly affected by the number of shipments in it. Modeling of car flow correspondence, consisting of 1,10 and 100 carload shipments, shows a significant reduction in relative fluctuations of the number of cars arriving daily at the destination station (Pic. 3).

Pic. 3 shows that the larger is the size of car flow, the less are relative fluctuations in the number of cars arriving at the destination station. And the share of car fleet in a dynamic reserve reduces also without reducing warranty to ensure loading.

According to inventory management theory, the dependence of optimal rate of growth stocks and the rate of demand growth is as follows [2, 3]:

$$n_{res}^{ins} \leftrightarrow \sqrt{U^{ship}}, \qquad (1)$$

where n^{ins}_{res} is required number of cars in insurance reserve at the station of demand(loading);

U^{ship} is average daily number of independent shipments.

We use this dependence, taking into account the specifics of cars fleet management (including a different number of cars in group and route shipments):

$$n_{res}^{ins} = n_{res}^{0}\sqrt{\sum_{1}^{i}\left(U_{ship}^{i}\right)^{2}}, \qquad (2)$$

where i is a number of shipments in a car flow;

U^{i}_{ship} is a number of cars in i-th shipment;

n^{0}_{res} is a value of reserve at a single car flow.

Determination of car stock at a single demand was considered earlier [4]. It is largely affected by the value of mean square deviation of arrival time of cars at the destination station and loading volumes. Knowing the volume amount of loading it is possible to determine average downtime of cars in reserve:

$$t_{res}^{req} = \frac{t_{res}^{0}\sqrt{\sum_{1}^{i}\left(U_{ship}^{i}\right)^{2}}}{n_{ship}}. \qquad (3)$$

On the basis of formula (3) we assess the impact of fragmentation of car fleet on their unproductive downtime. The ratio of downtime of cars in insurance reserve, while ensuring loading by n-th number of operators $t^{ins}_{n\,res}$ and downtime while ensuring by a single operator t^{ins}_{1res} will be as follows:

$$\frac{t_{n\,res}^{ins}}{t_{1\,res}^{ins}} = \frac{\sum_{1}^{n}\sqrt{\sum_{1}^{ni}\left(U_{ni}^{ship}\right)^{2}}}{\sqrt{\sum_{1}^{i}\left(U_{i}^{ship}\right)^{2}}}, \qquad (4)$$

where n is a number of operators, ensuring loading at a station.

If the supply of empty cars is performed by carload shipments, then the formula (4) takes the following form:

$$\frac{t_{n\,res}^{req}}{t_{1\,res}^{req}} = \frac{\sum_{1}^{n}\sqrt{U_{ship}^{n}}}{\sqrt{\sum_{1}^{n}\left(U_{ship}^{n}\right)}}, \qquad (5)$$

where U^{n}_{ship} is a daily average volume of loading of the n-th operator.

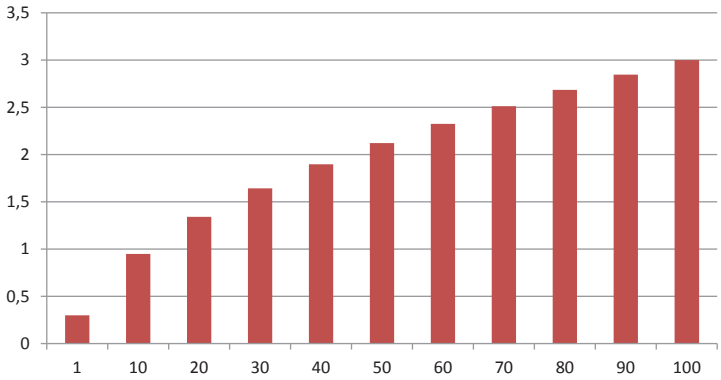
Using the formula (5) it is possible to determine the change in downtime of cars awaiting loading depending on the number of operators working at the station. For example, if the daily average loading of 16 cars instead of one operator to order the cars in four equal shares, the average downtime of cars in dynamic reserves will increase 2-fold:

$$\frac{t_{n\,res}^{req}}{t_{1\,res}^{req}} = \frac{4\cdot\sqrt{4}}{\sqrt{16}} = 2[0,1].$$

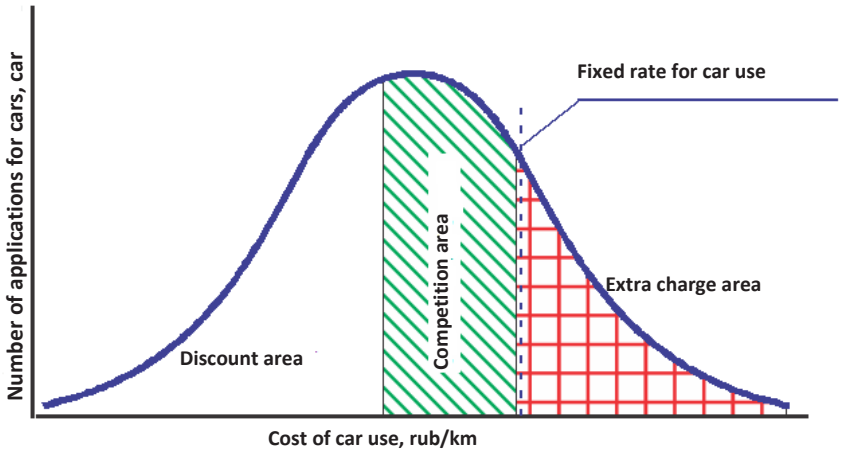
Table 1

Comparison of consolidation of car fleets of the largest owners on railways of the USA and Russia

Name of a railway in the USA	Number of cars, thous.cars		Name of operator in Russia
Union Pacific (UP)	103820	675317	JSC Freight One
Burlington North, and Santa Fe (BNSF)	103061	216865	JSC Federal Freight
Norfolk Southern (with subsidiaries)	90459	183480	CJSC NefteTransService
CSX Transportation (CSX)	72504	149719	JSC Novaya Perevozochnaya
Grand Trunk Corporation (CNGT)	64442	113837	LLC Transoil
Soo Line (SOO)	52071	91391	LLC Gazpromtrans
Total:	1,3mln	1,3 mln	



Pic. 4. Dependence of downtime of cars left in reserve on the number of operators with the average daily value of loading of 100 cars.



Pic. 5. Efficiency of a fixed rate for car use in market conditions.

Pic.4 shows the dependence of change in downtime of cars in reserve when the number of operators increases from 1 to 100, provided that cars are supplied in carload shipments.

From this point of view the experience of foreign railways is interesting. For example, on US roads the size of car fleet is comparable to car fleet in the Russian Federation. But there is not any dominant carrier (Table 1) [5].

The shipper in North America has an opportunity to order transportation in any company. But due to vertically integrated management system loading of one client, and as a rule, of one station is provided by one or two companies. This reduces the size of dynamic reserve of car fleet. It should be noted that railways in North America put much emphasis on performance of freight cars in conjunction with cargo owners. Due to high specialization of rolling stock the empty run ratio is about 50%. Therefore, the main focus is to reduce the downtime of cars at cargo operations stations, management of car fleet size based on anticipated traffic volume and increase in load capacity.

On European railways, where rail traffic management system is similar to management system in the Russian Federation, most of the car fleet is owned by a dominant company with up to 70–80% of their total number. It also creates

preconditions to reduce dynamic reserves at loading stations.

Significant impact on transport market is exerted by attempts of JSC Russian Railways to create a consolidated fleet of gondola cars. On the basis of fleets «AG», «VSP», «KP».

«AG» fleet is gondola cars, attracted by JSC Russian Railways under control on «agency scheme» from March 2011 to April 2012 from the holding's subsidiaries.

«VSP» fleet is own cars attracted under control from LLC VGK (later Federal Freight): November 2011 – July 2013.

«KP» fleet is technological outsourcing, in which private cars control is performed by JSC Russian Railways according to the balance method principle. The period of existence was from January 2013 to December 2013.

All three attempts were not developed further due to the negative financial result. At the same time operational characteristics of car use in fleets «VSP» and «KP» have been significantly better than that of the operators of rolling stock. For example, a car turnover was improved by 2–3 days, car performance by 20–30% (minutes of network meeting – Tobolsk, Tyumen, 19–20.02.2015).

This effect was achieved including due to consolidation of car fleet, minimization of risks associated with uncertainty in the planning, because the distribution of cars at stations was carried out in the regions of loading in the framework of shift-day planning.

The paradox of losses while improving process performance can be attributed to limited capacities of JSC Russian Railways in commercial work with customers. Thus, the cost of car use was tied to the price list 10–01, and only later it was permitted to provide a small discount of 10%. While the transportation market is not homogeneous and has a large spread in the cost of services.

For example, the total cost of car use in the correspondence with the greater speed of handling will be cheaper. The direction is equally important. If loading is carried out in the direction of following empty car flows, the cost of car use can be 1,5–2 times cheaper [6–9].

As a result transportation, which has the cost of car use much lower than the price list 10–01, at the expense of discounts was taken by other operators of rolling stock. And transportation with high production costs went to JSC Russian Railways (Pic. 5).

Reimbursement of expenses in performance of unprofitable transportation with high cost has become impossible due to removal of profitable transportation to rolling stock operators.

Nevertheless, the existing technological reserve of more efficient use of cars can yield positive economic results in qualitative organization of commercial work.

Conclusion. *Now JSC Russian Railways offers rolling stock operators services of technological outsourcing, reserving management of empty car flows and commercial work with cargo remains under the supervision of operating companies. This interaction allows to satisfy the existing demand for consolidated car fleet management, in which efficiency of the balance method of car management is combined with implementation of market-based management principles.*

That is, taking into account the railway transport management structures on Russian roads consolidation of car fleet of the same kind under a single management becomes perhaps the most reliable method to improve performance of freight car fleet.

REFERENCES

1. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Main market factors affecting efficiency of car use [*Osnovnye rynochnye faktory, vlijajushhie na effektivnost' ispol'zovanija vagonov*]. *Logistika segodnja*, 2015, Iss. 1, pp. 14–19.
2. Brodetsky, G. L. Inventory Management: educational guide [*Upravlenie zapasami: Ucheb. Posobie*]. Moscow, Eksmo publ., 2008, 352 p.
3. Inventory management in supply chains: Textbook [*Upravlenie zapasami v cepjah postavok: Uchebnik*]. Moscow, Infra-M publ., 2008, 430 p.
4. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Logistic principles of effective interaction of rolling stock operators and cargo owners [*Logisticheskie principy effektivnogo vzaimodejstvija operatorov podvizhnogo sostava i gruzovladel'cev*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2015, Iss. 10, pp. 30–33.
5. Railroad Facts (2012) (Report on work of American Railroads for 2011), 87 p.
6. Apattsev, V. I., Lievin, S. B., Nikolashin, V. M. [*et al*]. Logistics transport freight systems: Textbook [*Logisticheskie transportno-gruzovye sistemy: Uchebnik*]. Moscow, Academia publ., 2003, 304 p.
7. Annenkov, A. V. Organization of production and management of a transport company in competition environment in transport market: Monograph [*Organizacija proizvodstva i upravlenie transportnoj kompaniej v uslovijah konkurencii na transportnom rynke: Monografija*]. Moscow, RGOTUPS publ., 2003, 235 p.
8. Balalaev, A. S. Formation of competitive transport components of logistics systems: Monograph [*Formirovanie konkurentosposobnyh transportnyh sostavljajushhih logisticheskih sistem: Monografija*]. Khabarovsk: FESTU publ., 2007, 224 p.
9. Prokofieva, T. A., Lopatkin, O. M. Logistics of transport and distribution systems: regional aspect: educational guide [*Logistika transportno-raspredelitel'nyh sistem: regional'nyj aspekt: Ucheb. posobie*]. Moscow, RosKonsult publ., 2003, 400 p.
10. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Effective use of own cars of transport companies on logistics principles [*Effektivnoe ispol'zovanie sobstvennyh vagonov transportnyh kompanij na logisticheskih principah*]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2014, Iss. 9, pp. 48–51.
11. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Main market factors affecting efficiency of car use [*Osnovnye rynochnye faktory, vlijajushhie na effektivnost' ispol'zovanija vagonov*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2015, Iss. 4, pp. 82–87.
12. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Logistics principles and business interaction between rolling stock operators and cargo owners. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 5, pp. 100–113.

Information about the authors:
Eliseev, Sergey Yu. – D.Sc. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, selis56@mail.ru.
Shatokhin, Andrey A. – senior lecturer at the department of Operation of railways of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, aassrv@gmail.com.

Article received 24.12.2015, accepted 16.04.2016.

УДК 656.13

Бункер для сыпучих грузов без ручного труда

Максим ПРУСОВ

Maxim V. PRUSOV

Прусов Максим Владимирович *– старший преподаватель кафедры «Безопасность перевозок. Грузовая коммерческая работа» Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, Россия.*

Hopper for Bulk Cargo excluding Manual Labor

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 180)

Отечественные транспортно-складские и терминальные структуры в последние годы не справляются с нестабильной рыночной нагрузкой. Это наглядно видно на примере, в частности, грузоперевозок зерна. Инновационное решение проблем взаимодействия складского и транспортного комплексов в условиях антикризисных мер в стране, по мнению автора, содержит предлагаемая им конструкция зернового хранилища с легко управляемым технологическим процессом.

Ключевые слова: транспорт, инфраструктура, зерновое хранилище, погрузка/разгрузка, управляемый процесс, инновационная конструкция.

В 2014 году урожай зерна составил примерно 104 миллиона тонн, экспорт зерновых грузов – 32 миллиона тонн, что превышает объём 2013 года на 22 процента. И это при том, что по меньшей мере с 2009 года урожаи на полях по зерновым культурам были стабильно высокими, а продажа и транспортировка той же пшеницы востребованными остаются и по сей день.

Востребованность, однако, удовлетворяется далеко не полностью. Часть зерновой продукции перегружается на суда через морские порты соседних государств. Ситуация, по сути, такова, что темпы роста и уровень экспортных поставок зерновых грузов ограничиваются возможностями современной транспортной инфраструктуры и требуют модернизации логистической цепочки, включающей в себя накопление, транспортировку и перевалку.

Специалисты вынуждены признать, что главным тормозом на пути решения этой задачи являются изношенная, слаборазвитая инфраструктура транспортного комплекса, недостаточные логистические мощности зернового рынка. Налицо дефицит высокотехнологичных элеваторов, портовых терминалов, которые бы отвечали

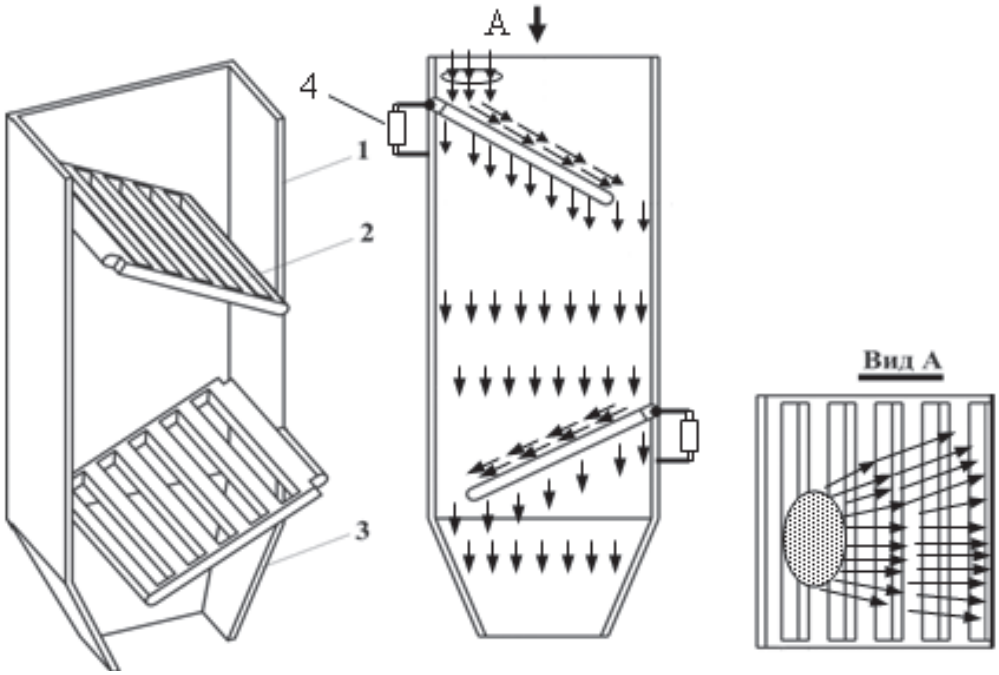


Рис. 1. Предлагаемая конструкция хранилища с управляемым технологическим процессом. Условные обозначения: 1– ёмкость; 2 – элемент устройства управления процессом загрузки/выгрузки; 3 – выгрузная воронка; 4 – пассивный привод (храповый механизм).

растущим требованиям транспортной логистики, имели бы определенный потенциал, чтобы своевременно наращивать пропускные способности и гибко реагировать на меняющуюся конъюнктуру [1–4].

Транспортная инфраструктура работает на пределе возможностей. В то же время нельзя не сознавать, что грузоперевозчик ориентируется на прогнозируемые средние значения годового экспорта зерна, а не на пиковые (рекордные), и вряд ли будет готов держать на простое спецоборудование [1].

Собственники вагонов в условиях конкуренции тоже не могут себе позволить неэффективную работу, и грузоотправителю приходится пересматривать свое отношение к покупаемой услуге.

Возникает обратная зависимость – стоимость услуги напрямую связана с оперативностью работы с парком вагонов, с тем, насколько быстро грузоотправитель и грузополучатель загружают и разгружают вагоны. По сути, грузовладелец сам формирует себе стоимость услуги, и это ключевое отличие нынешнего нового этапа. Хотя и не все оказались к тому готовы. В итоге до двух третей времени уходит на начально-конечные операции (то есть на погрузку и выгрузку зерновых грузов), а не на движение зерновоза.

Одной из важнейших проблем повышения эффективности перевозок стало на этом фоне взаимодействие разных видов транспорта, в том числе моряков и припортовых железных дорог. Не случайно значительная часть управленцев **считает**, **что обороту грузовых поездов мешает невысокая перерабатывающая способность морских и речных портов**.

Причем надо учесть, что российские порты играют весомую роль в обеспечении не только внешней торговли, но и внутренних перевозок. К примеру, в октябре 2014 года из-за срывов выгрузки груза скопление вагонов на припортовых железных дорогах превышало 47 тысяч единиц. Ежесуточно в ожидании выгрузки в портах от движения отставлялось более 130 грузовых поездов, что на 40% было выше уровня предыдущего года [7].

Совершенствование взаимодействия железнодорожного и морского транспорта во многом зависит от перегрузочных процессов и систем их организации, в частности, от комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ.

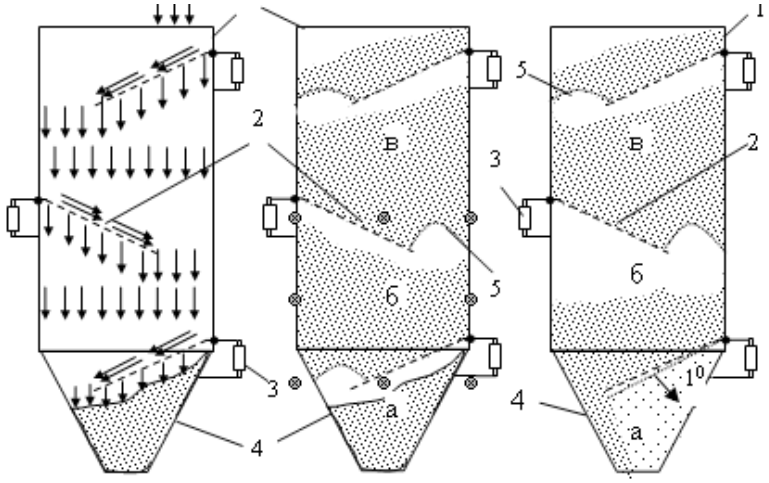


Рис. 2. Схема прогнозируемого процесса загрузки, хранения и выгрузки.

В настоящий момент ни одно производство, связанное с зерновыми грузами, не обходится без специального оборудования для аккумулирования, хранения и выгрузки транспортируемого товара. Роль вспомогательных устройств в транспортно-технологической цепи выполняют бункера, силоса и бункерные устройства.

Работа транспортно-технологических линий в целом оказывает непосредственное влияние на сохранность сыпучих грузов и их качество. Нарушение бесперебойности функций вспомогательного оборудования увеличивает время погрузо-разгрузочных операций, приводит к необходимости использования ручного труда. Следовательно, улучшение применяемых устройств для сыпучих материалов различной связности остается обязательной задачей.

Повысить эффективность работы транспортно-технологических линий можно путём совершенствования их элементов, в том числе бункерно-силосных систем. Большое количество реальных научных разработок по бункерному оборудованию и процессам, протекающим в их полости, практически игнорируется. Проектирование, правда, чаще всего ведётся на основе элементарных расчётов и грубых допущений. Естественно, при таком подходе восприятие хранилищ сыпучих грузов в качестве простых объектов не способствует развитию их технического уровня.

Имея в виду более высокие критерии и требования, для полной механизации и автоматизации процессов загрузки, хранения и выпуска сыпучих грузов бункерные устройства должны обеспечивать максимальную пропускную способность при низких энергозатратах и отсутствии ручного труда.

В качестве альтернативы прежним вариантам предлагается к использованию конструкция хранилища сыпучих грузов с управляемым в автоматизированном режиме технологическим процессом, см. рис. 1. Она состоит из корпуса бункера 1, на котором подвижно установлены элементы загрузочно-распределительного устройства 2 или решета, расположенные в шахматном порядке, что обеспечивает каскадное заполнение ёмкости, а также выгрузная воронка 3 [8].

Устройство работает следующим образом. Груз засыпается и хранится положенный по технологии срок и даже дольше. В процессе загрузки часть груза течет по решеткам, а другая – просыпается сквозь щели. Такая схема обеспечивает снижение сегрегации до минимума, уменьшение уплотнения груза в ёмкости и равномерное распределение частиц груза по всему сечению ёмкости. Поскольку в процессе хранения решета не извлекаются, то они являются опорой для возникновения сводов, но в свою очередь элементы загрузочно-распределительного устройства служат прерывателями давления, возникающего в процессе хранения.

Каждый элемент загрузочно-распределительного устройства делит ёмкость на отдельные участки, внутри которых давле-

ние минимальное, так как на решете лежит масса груза, ограничивающаяся верхним решетом. Материал в каждой зоне хранения находится в разуплотненном состоянии.

При необходимости опорожнения ёмкости открывается затворное устройство, после чего масса груза, находящегося в зоне «а», начинает свободно истекать. Затем, когда вся масса из зоны «а» выгрузится, первое решето от выгрузной воронки достаточно опустить на 1°, чтобы разрушить свод для истечения массы груза, находящейся в зоне «б», и т.д.– до полного опорожнения ёмкости (рис. 2).

ВЫВОДЫ

Предлагаемая установка позволит модернизировать и создать новые элеваторные мощности, что в итоге приведёт к повышению эффективности перевозок за счёт снижения логистических издержек:

– для грузоотправителей – сокращение сроков доставки, снижение стоимости перевозки, отсутствие сезонного недостатка вагонов, формирование судовых партий зерна на элеваторах;

– для российских железных дорог – ускорение оборота вагонов, увеличение грузооборота и расширение грузовой базы, отсутствие заторов на подъездных путях и возможность формировать маршрутные отправки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириченко С. А., Лахметкина Н. Ю. Мультимодальные контейнерные перевозки зерна // Мир транспорта.– 2015.– № 1.– С. 116–125.

2. Степанов А. Л., Куренков П. В. Проблемы экспорта транспортных услуг // Транспорт: наука, техника, управление.– 2007.– № 5.– С. 16–19.

3. Правительство России// Government.ru: Ежедн. интернет-изд.– 24.11.2014. URL: http://government.ru/news/15780/. Доступ 25.11.2014.

4. Администрация Ленинградской области // Ежедн. интернет-изд.– URL: http://agroprom.lenobl.ru/information/Speech_Minister. Доступ 29.10.2014.

5. Кириченко С. А., Кириченко А. С. Антикризисная контейнеризация // Вторичные металлы.– 2009.– № 3.– С. 70–71.

6. Лахметкина Н. Ю. Взаимодействие железнодорожного и морского транспорта в условиях глобализации // Мир транспорта: Приложение «Соискатель».– 2010.– № 2.– С. 8–11.

7. Информационный портал по логистике, транспорту и таможни// WWW.Logistic.ru: Ежедн. интернет-изд.– URL: http://www.logistic.ru/news/news.php?num=2014/11/10/61/31245682. Доступ 11.11.2014.

8. Патент 2219118 C1 RU МКИ B65, D88/64 / Бункер для сводообразующих сыпучих материалов. Третьяков Г. М., Горюшинский В. С., Горюшинский И. В., Фролов Н. Н., Прусов М. В., Мосина Н. Н. Заявлено 13.05.2002, опубл. 20.12.2003. Бюл. № 35.

9. Гагарский Э. А., Кириченко С. А. Зарубежный и отечественный опыт перевозок наливных, насыпных и навалочных грузов // Транспорт: наука, техника, управление.– 2009.– № 12.– С. 26–29. ●

Координаты автора: **Прусов М. В.** – Mak-prusov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 24.03.2015, принята к публикации 16.06.2016.

Статья подготовлена на основе материалов, представленных автором на Международной научно-практической конференции «Международная логистика: наука, практика, образование», состоявшейся 3 марта 2015 года в Институте управления и информационных технологий Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

HOPPER FOR BULK CARGO EXCLUDING MANUAL LABOR

Prusov, Maxim V., *Samara State Transport University, Samara, Russia.*

ABSTRACT

Domestic transportation, storage and terminal structures in recent years cannot cope with volatile market load. This is clearly illustrated by, in particular, grain transportation.

An innovative solution to the problems of interaction of storage and transport facilities in terms of anti-crisis measures in the country, according to the author, refers to a construction of grain storage with easily controlled technological process, proposed by the author.

Keywords: transport, infrastructure, grain storage, loading / unloading, controlled process, innovative design.

Background. *In 2014 grain harvest amounted to about 104 million tons, export of grain cargoes – 32 million tons, which exceeds the amount of 2013 by 22 per cent. And this despite the fact that at least since 2009 in the fields crops of grain have been consistently high, and sale and transportation of wheat remain in demand to this day.*

Demand, however, is not satisfied in full. Some grain products are reloaded on ships through sea ports of neighboring countries. The situation is, in fact, that the growth rate and level of exports of grain cargoes are limited to capacities of modern transport infrastructure and require modernization of supply chain, including storage, transportation and transshipment.

Specialists have to admit that the main obstacle in the way of solving this problem is worn, underdeveloped infrastructure of the transport complex, inadequate logistics capacity of the grain market. There is a shortage of high-tech elevators, port terminals, which would respond to increasing requirements of transport logistics, would have a certain potential to increase the capacities in a timely manner and to respond flexibly to changing market conditions [1–4].

Transport infrastructure works at full capacity. At the same time, we cannot ignore that fact that freight carrier is guided by the projected average annual grain exports, rather than the peak (record), and is unlikely to be ready to keep for a simple special equipment [1].

Owners of cars in competition environment, cannot also afford poor performance, and the shipper has to reconsider his attitude to a purchased service.

There is an inverse relationship – the cost of services is directly related to operational efficiency of work with car fleet, so how fast the consignor and the consignee load and unload cars. In fact, the cargo owner himself generates cost of services, and this is a key difference of this new stage. Although not everybody turned out to be ready for this. As a result, up to two-thirds of time is spent on initial-final operations (i.e. loading and unloading of grain cargoes), but not on movement of grain carrier.

One of the major problems of increasing efficiency of transportation became against this background the interaction of different types of transport, including sailors and port railways. Not by chance a significant portion of managers believes that low processing capacity of sea and river ports prevents the turnover of freight trains.

And we must note that Russian ports play an important role in ensuring not only foreign trade but also inland traffic. For example, in October 2014 due to disruption of cargo unloading congestion of cars on port railways exceeded 47 thousand units. Every day in anticipation of unloading at ports more than 130 freight trains set aside of motion, which was 40% higher than the previous year's level [7].

Improving interaction between rail and maritime transport is largely dependent on transshipment processes and systems of their organization, in particular, comprehensive mechanization of loading and unloading operations.

At the moment, none of production associated with grain cargoes cannot do without special equipment for accumulation, storage and unloading of the goods transported. The role of accessories in the transport and processing circuits is played by hoppers, silos and hopper devices.

Work of transport and technological lines as a whole has a direct impact on the safety of bulk cargo and their quality. Violation of continuity of functions of accessories increases the time of loading and unloading operations, leads to the need for manual labor. Therefore, improving the devices used for bulk materials of different connectivity remains an obligatory task.

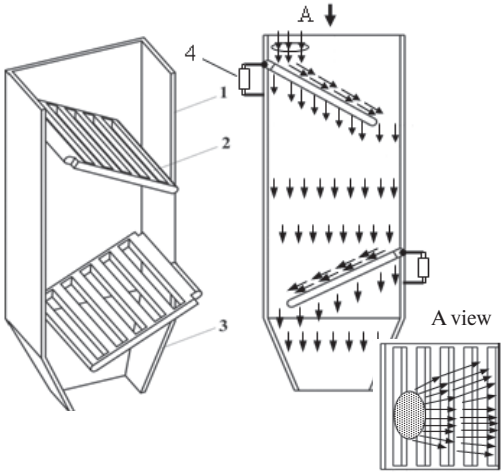
Objective. *The objective of the author is to present a new design of hopper used in bulk cargo transportation focused on elimination of manual labor.*

Methods. *The author uses general scientific and engineering methods, comparative analysis, simulation.*

Results. *Increase in efficiency of transport and processing lines is possible by improving their elements, including hopper-silo systems. A large number of real scientific research on hopper equipment and processes taking place in their cavity, is virtually ignored. Design, however, is most often conducted on the basis of elementary calculations and rough assumptions. Naturally, with this approach perception of storage of bulk cargo as simple objects is not conducive to development of their technical level.*

Due to the higher criteria and requirements for complete mechanization and automation of processes of loading, storage and release of bulk cargo hopper devices should provide the maximum bandwidth with low energy consumption and absence of manual labor.

As an alternative to previous options it is offered to use the design of bulk cargo storage with technological process controlled in an automated mode, see. Pic. 1. It consists of a body of a hopper 1, in which elements of loading-distribution device 2 are mounted movably or grid plate arranged in a checkerboard pattern, which provides a cascade filling of the tank, as well as unloading chute 3 [8].



Pic. 1. The proposed storage structure with a controlled technological process.
Legend: 1 – tank; 2 – element of a device for control of loading/unloading; 3 – unloading chute; 4 – passive drive (ratchet).

The device operates as follows. The cargo is filled and stored for period of time required by technology and even longer. During loading part of cargo flows on grid plates, and the other – is spilled through the cracks. This scheme reduces segregation to a minimum, reducing compression of cargo in the tank and a uniform distribution of particles of cargo throughout the cross section of the tank. Because in the process of storage grid plates are not removed, they are bearing support for emergence of vaults, but in turn the elements of loading-distribution device serve as breakers of pressure arising during storage.

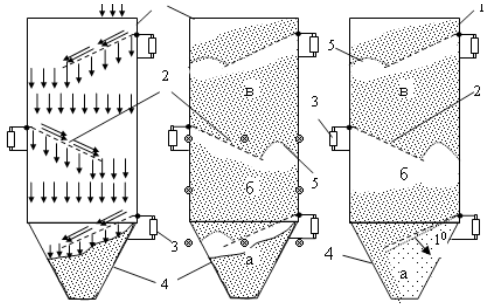
Each element of loading – distribution device divides the tank into individual sections within which the pressure is minimal, as on the grid plate lays the mass of cargo, confined to the upper grid plate. The material in each storage area is in decompressed state.

If it is necessary to empty the tank the gate device opens, after which the cargo weight that is in the «A» zone, starts to flow out freely. Then, when the whole mass of the area «A» is unloaded, it is sufficient to bring down the first grid plate of the unloading chute by 1° in order to destroy the vault for flowing out of cargo weight, located in the «B» zone, etc. – to complete emptying of the tank (Pic. 2).

Conclusion. *The proposed design allows to modernize and create new elevator capacities, which ultimately leads to higher transportation efficiency by reducing logistics costs:*

– For shippers – reducing delivery time, reducing cost of transportation, lack of seasonal shortage of cars, formation of shipload lots of grain in elevators;

– For Russian railways – acceleration of turnover of cars, increase in cargo turnover and expansion of cargo base, lack of congestion on approach lines and opportunity to form full train shipment.



Pic. 2. Scheme of predictable process of loading, storage and unloading.

REFERENCES

1. Kirichenko, S. A., Lakhmetkina, N. Yu. Multimodal container transportation of grain. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 1, pp. 116–125.

2. Stepanov, A. L., Kurenkov, P. V. Export problems of transport services [*Problemy eksporta transportnyh uslug*]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2007, Iss. 5, pp. 16–19.

3. The Government of Russia [*Pravitel'stvo Rossii*]. *Government.ru: daily Internet edition*.– 24.11.2014. URL: http://government.ru/news/15780/ (Last accessed: 25.11.2014).

4. Administration of Leningrad region [*Administracija Leningradskoj oblasti*]. *Daily Internet edition*.– URL: http://agroprom.lenobl.ru/information/Speech_Minister (Last accessed: 29.10.2014).

5. Kirichenko, S. A., Kirichenko, A. S. The anti-crisis containerization [*Antikrizisnaja kontejnerizacija*]. *Vtorichnye metally*, 2009, Iss. 3, pp. 70–71.

6. Lakhmetkina, N. Yu. Interaction of Railway and Sea Transport: Globalization Conditions. *World of Transport and Transportation: Annex «Applicant» [Soiskatel]*, 2010, Iss. 2, pp. 8–11.

7. Information portal for logistics, transportation and customs [*Informacionnyj portal po logistike, transportu i tamozhne*]. *WWW.Logistic.ru: daily Internet edition*.– URL: http://www.logistic.ru/news/news.php?num=2014/11/10/61/31245682 (Last accessed: 11.11.2014).

8. Patent 2219118 C1 RU MKI B65, D88/64 / Hopper for vault-forming bylk materials [*Bunker dlja svodoobrazujushhih sypuchih materialov*]. Tretyakov, G. M., Goryushinsky, V. S., Goryushinsky, I. V., Frolov, N. N., Prusov, M. V., Mosina, N. N. Applied 13.05.2002, published 20.12.2003. Bulletin № 35.

9. Gagarsky, E. A., Kirichenko, S. A. Foreign and domestic experience in transportation of liquid, dry and bulk cargoes [*Zarubezhnyj i otechestvennyj opyt perevozok nalivnyh, nasypnyh i navalochnyh gruzov*]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2009, Iss. 12, pp. 26–29.

Information about the author:
Prusov, Maxim V.– senior lecturer at the department of Transportation safety. Cargo commercial work of Samara State Transport University, Samara, Russia, Mak-prusov@yandex.ru.

Article received 24.03.2015, accepted 16.10.2015.

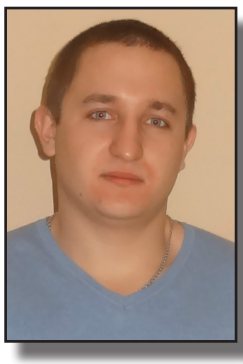
This article was prepared on the basis of papers submitted by the author at the International scientific and practical conference «International Logistics: science, practice and education», held on March 3, 2015 at the Institute of Management, Administration and Information Technologies of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

УДК 656:656.225:656.212.7

Модернизация – лучший путь к организации

Галина ЗАСОРИНА
Galina V. ZASORINA

Сергей ДЕЙКИН
Sergey A. DEIKIN



Алексей РОМАНОВ
Aleksey M. ROMANOV

Засорина Галина Валерьевна *– преподаватель Московского колледжа железнодорожного транспорта Института прикладных технологий Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Дейкин Сергей Александрович *– студент 4 курса ИПТ МКЖТ МИИТ, Москва, Россия.*
Романов Алексей Михайлович *– студент 4 курса ИПТ МКЖТ МИИТ, Москва, Россия.*

Modernization as the Best Way to Organization

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 187)

Современная транспортная инфраструктура Москвы претерпевает коренные изменения. Внутри города на крупных грузовых станциях создается каркас из терминально-логистических центров, позволяющий оптимизировать местную работу и в дальнейшем увеличить перерабатываемые объёмы грузов. В статье исследуются проблемы, с которыми сталкиваются столичные грузовые станции, и предлагаются методы решения вопросов, связанных с организацией местной работы, реконструкцией станций, увеличением объёмов грузоперевозок, логистической деятельностью транспортных компаний.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, терминально-складские комплексы, реконструкция, грузовые станции, Московский узел, местная работа, терминально-логистические центры.

Развитие терминально-складской системы в столице предусматривает формирование современной транспортно-логистической и складской инфраструктуры ОАО «РЖД», ориентированной в перспективе на растущие нужды города с полным исключением транзитных грузопотоков. При этом на 2020 год прогнозные объемы грузовой работы оцениваются на уровне 9,0 млн тонн, а на 2025 год – 11,0 млн тонн. И для таких объемов предполагается создание «грузового каркаса» из терминально-логистических центров (ТЛЦ) на станциях Кунцево-II, Москва-Товарная-Ярославская, Люблино, Ховрино.

Начатая реконструкция обещает обеспечить широкий перечень логистических операций, в том числе максимально использовать технологию обслуживания клиента «от двери до двери». Но прежде станциям, на которых есть и будут расположены терминально-логистические центры, придется справиться с целым рядом как общих, так и уникальных проблем.

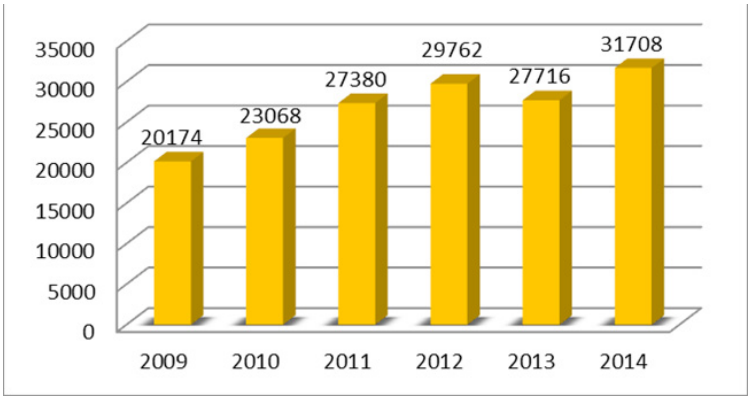


Рис. 1. Диаграмма выгрузки вагонов на станции Кунцево-II.

Рис. 2. Время на обработку одного контейнерного поезда с разбивкой на операции на станции Кунцево-II.

ДИСПОЗИЦИЯ СТАНЦИИ КУНЦЕВО-II

С 2009 года на станции «Кунцево-II» прослеживается тенденция увеличения грузопотока, об этом свидетельствует диаграмма на рис. 1.

Увеличение грузопотока выявило характерные проблемы грузового района станции:

1) дефицит длины приёмо-отправочных путей, из-за которого растет простой составов в ожидании выполнения грузовых операций;

2) отсутствие нужного количества погрузочно-разгрузочных устройств, что усугубляет ситуацию с простоями;

3) отсутствие на станции инфраструктурно развитого терминально-логистического центра;

4) неприспособленность грузового района станции к обработке большого количества вагонов.

Все эти проблемы ведут к увеличению времени обработки составов, прибывающих на станцию. Оно разное в зависимости от местных условий, но как результирующий критерий остается во многом определяющим.

Время, затрачиваемое на обработку одного контейнерного поезда на железнодорожной станции Кунцево-II, отображено на рис. 2.

Чтобы решить накопившиеся проблемы, на территории грузового района станции Кунцево-II планируется строительство терминально-логистического центра ПАО «ТрансКонтейнер». Терминал будет выполнять комплекс работ, связанных

Рис. 3. Время на обработку одного контейнерного поезда с разбивкой на операции на станции Кунцево-II после реконструкции.

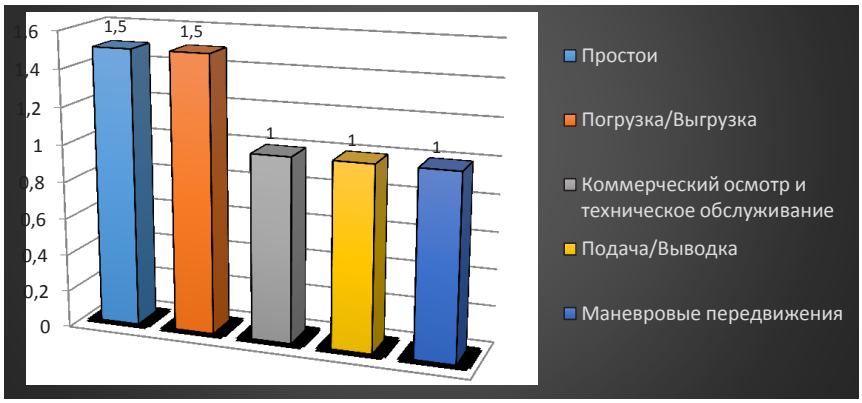


Рис. 4. Диаграмма соотношения затраченного времени на производство грузовых и маневровых операций ТЛЦ на станции Ховрино, в часах.

с приёмом, отправлением, перегрузкой и хранением контейнеров, а также выполнять их ремонт. Появление ТЛЦ позволит удлинить приёмо-отправочные пути, облегчит обработку длинносоставных поездов. Проект предусматривает модернизацию старых и закупку новых погрузочно-выгрузочных устройств, благодаря которым сократится время на наиболее трудоёмкие операции. Создание удобных и рациональных подъездов в зону грузового района обеспечит минимальные маневровые передвижения. Благодаря этим мерам время на обработку одного контейнерного поезда на станции Кунцево-II сократится (рис. 3).

Уменьшение продолжительности обработки контейнерных составов приведет к увеличению количества пропускаемых через станцию поездов в сутки.

ТЛЦ НА СТАНЦИИ ХОВРИНО

В 2014 году на станции Ховрино был построен терминально-логистический центр компании ООО «Логистик-КС». Его постройка была обусловлена увеличением грузопотока из портов Северо-Западного региона и стран Балтии. Терминал позволил проводить таможенное оформление, складирование, а также предоставлять логистические услуги с учетом московских особенностей – доставку грузов в торговые точки малотоннажным транспортом.

Увеличение грузопотока способствовало выявлению проблем, связанных с терминалом:

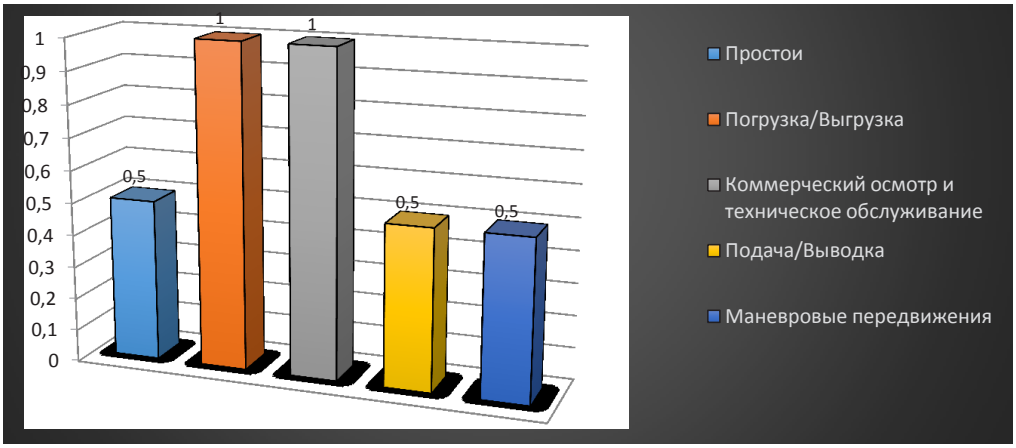


Рис. 5. Диаграмма соотношения затраченного времени на производство грузовых и маневровых операций ТЛЦ на станции Ховрино после реконструкции, в часах.

1) дефицит полезной длины путей, из-за которого увеличился простой составов в ожидании выполнения грузовых операций;

2) отсутствие в центре своих подготовленных кадров для производства маневровой работы на железнодорожных путях, которое не всегда способна компенсировать станция, обслуживающая более 15 путей необщего пользования;

3) на станции маневровые локомотивы жестко не привязаны к определенным районам обслуживания путей необщего пользования, в связи с этим происходят простои в ожидании локомотива для ТЛЦ, а значит, под потребности центра не производятся своевременная подача, перестановка и вывод составов;

4) неприспособленный к быстрой и своевременной подаче путь необщего пользования ТЛЦ.

Соотношение затраченного времени на производство грузовых и маневровых операций ТЛЦ на станции Ховрино представлено на рис. 4.

Чтобы решить имеющиеся на станции проблемы, нужно предпринять, полагаем, следующие шаги:

1) отсутствие подготовленных кадров, которые способны производить маневровые передвижения на железнодорожных путях необщего пользования, можно восполнить, наняв свой штат составителей поездов, ведь речь пока идет об одном-двух специалистах;

2) отсутствие обслуживающего тягового подвижного состава станция вполне компенсирует, если зонирует пути необщего пользования на маневровые районы и привяжет к ним определенные локомотивы;

3) дефицит полезной длины путей ликвидируется в ходе реконструкции территории контейнерного терминала;

4) неприспособленность путей к быстрой и своевременной подаче нейтрализуется укладкой централизованных стрелок, объединённых общей горловиной и созданием стрелочного поста.

В итоге будет получено:

1) уменьшение времени простоя составов в ожидании выводки их в парк отправления;

2) уменьшение времени простоя составов в ожидании их подачи в ТЛЦ;

3) уменьшение времени простоя составов в ожидании маневровых операций;

4) уменьшение времени простоя составов в ожидании грузовых и коммерческих операций;

5) увеличение скорости переработки грузов на территории терминала.

Изменения соотношения затраченного времени на производство грузовых и маневровых операций ТЛЦ на станции Ховрино после реконструкции иллюстрирует рис. 5.

ОТ ЧАСТНОГО К ОБЩЕМУ

На станциях Ховрино и Кунцево-II просматриваются общие проблемы, присущие грузовым станциям, на которых планируются терминально-логистические центры:

1) дефицит полезной длины железнодорожных путей;

2) нехватка нужного количества путей для обработки составов, а также развитых подъездов на территорию терминала для своевременного приёма, перестановки или вывода грузовых вагонов;

3) отсутствие у ТЛЦ подготовленных кадров для производства маневровой работы на железнодорожных путях необщего пользования на территории терминала;

4) недостаточность современных погрузочно-разгрузочных устройств;

5) отсутствие развитых подъездов для автотранспорта;

6) дефицит мест для надлежащего хранения контейнеров.

Подобные проблемы желательно решить до момента, когда произойдёт увеличение грузопотока, чтобы станции совместно с ТЛЦ работали в едином технологическом ключе, соответствующем требованиях дня.

На данный момент на станции Кунцево-II можно реализовать следующие мероприятия по переустройству:

– удлинение существующих приёмо-отправочных путей, которые специализируются на работе с полносоставными контейнерными поездами терминала «ТрансКонтейнер»;

– укладка дополнительных приёмо-отправочных путей;

– устройство горловины между путями терминала и приёмо-отправочными путями для контейнерных поездов, которая обеспечит прямую подачу вагонов на терминал и обратно, а также выход на пути выставочного парка для отсеивания вагонов без перевозочных документов или подлежащих ремонту;

– устройство погрузочно-выгрузочного контейнерного парка с установкой козловых кранов;

– строительство выставочных путей, при этом будут демонтированы пути сортировочного парка станции;

– строительство пункта отцепочного ремонта вагонов на две позиции с укладкой одного пути сугубо для отцепочного ремонта;

– реконструкция действующих путей примыкания.

Аналогично на станции Ховрино возможен вариант переустройства, предусматривающий пошаговую реконструкцию ТЛЦ и близлежащей территории:

– предполагается удлинить пути на территории самого терминала, а также построить горловину для удобной и своевременной подачи составов на ТЛЦ с централизованной системой стрелок и постом централизации;

– полностью арендовать 6-й парк станции и реконструировать его, включая демонтаж всех имеющихся путей, укладку по центру парка трех путей, на которых будут производиться погрузка-выгрузка грузов по прямому варианту, а также постройку автодороги с двух сторон от козлового крана;

– осуществить наём своих кадров, которые смогут производить маневровые передвижения на железнодорожных путях и обеспечат значительное сокращение простоев в ожидании операций.

В итоге реализация перечисленных мероприятий как на станции Ховрино, так и Кунцево-II позволит создать сеть современных контейнерных терминально-логистических центров, способных перерабатывать прибывающие составы с учётом значительного роста их объёмов и сохранять для клиентов высокое качество предоставляемых услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курганов В. М. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок товаров: Учебно-практ. пособие.– 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Книжный мир, 2009. – 512 с.

2. Координационно-логистические центры: Учеб. пособие / В. М. Николашин, С. Ю. Елисеев, А. С. Синицына, Е. П. Шмугляков.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2013.– 228 с.

3. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года. Утверждена советом директоров ОАО «РЖД» (протокол № 19 от 23 декабря 2013 г.).

4. Багинова В. В., Фёдоров Л. С., Лёвин С. Б. Логистический бизнес: гармония затрат и результата // Мир транспорта.– 2014.– № 5.– С. 112–115.

5. Елисеев С. Ю., Волкова С. Г. Оптимальное размещение терминалов в системе транспортных грузопотоков // Мир транспорта.– 2015.– № 6.– С. 160–171.

6. Кузнецова А. Н. Организация контейнерных перевозок: Монография.– М.: РГОТУПС, 2007.– 142 с.

Координаты авторов: **Засорина Г. В.** – zasorina-gv@mail.ru, **Дейкин С. А.** – mkgt-paravoz@yandex.ru, **Романов А. М.** – aleksey-romanov-96@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.11.2015, принята к публикации 16.04.2016.

MODERNIZATION AS THE BEST WAY TO ORGANIZATION

Zasorina, Galina V., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Deikin, Sergey A., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Romanov, Aleksey M., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

Modern transport infrastructure of Moscow is undergoing fundamental changes. Inside the city at large freight stations a frame made of terminal and logistics centers is created to optimize local work and to further increase the volume of cargo processed. The article examines challenges faced by metropolitan freight stations, and offers methods for solving issues relating to organization of local work, reconstruction of stations, an increase in the volume of cargo transportation, logistics activities of transportation companies

Keywords: transport, railway, terminal and storage complexes, reconstruction, freight stations, Moscow node, local work, terminal and logistics centers.

Background. *The development of terminal and storage system in the capital provides for formation of modern transport – logistics and storage infrastructure of JSC Russian Railways focused in the perspective on growing needs of the city with a full exception of transit cargo flows. At the same time the 2020 forecast volumes of freight operations is estimated as 9,0 million tons, and for 2025 – 11,0 million tons. And for such volumes it is expected to create «cargo frame» of terminal and logistics centers (hereinafter – TLC) at the stations Kuntsevo-II, Moscow-Tovarnaya-Yaroslavskaya, Lublino, Khovrino.*

Launched reconstruction promises to provide a wide range of logistics operations, including to use to a maximum extent technology of customer service «from door to door». But before it the stations, at which there are and will be located terminal and logistics centers have to cope with a variety of both common and unique problems.

Objective. *The objective of the author is to issues related to modernization of existing freight stations and consequences of these actions.*

Methods. *The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, modeling.*

Results.

Disposition of station Kuntsevo-II

Since 2009, at «Kuntsevo-II» station a tendency is observed to increase cargo traffic, the evidence of it is shown on a diagram in Pic. 1.

The increase in cargo traffic revealed specific problems of cargo area of the station:

1) Lack of length of receiving and departure tracks, due to which the downtime of trains in anticipation of cargo operations increases;

2) Absence of required number of cargo handling devices, which aggravates the downtime situation;

3) Lack of infrastructure – developed terminal and logistics center at the station;

4) Inability of the cargo area of the station for processing a large number of cars.

All these problems lead to an increase in processing time of trains arriving at the station. It is different, depending on local conditions, but as a resulting criterion remains decisive in many ways.

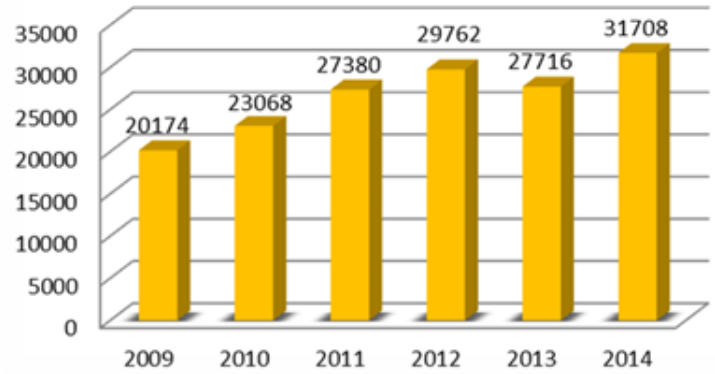
The time spent on processing one container train at the railway station Kuntsevo-II is displayed in Pic. 2.

In order to solve the outstanding problems in the territory of the cargo area of the station Kuntsevo-II construction of terminal and logistics center of PJSC TransContainer is planned. The terminal will perform the complex of works associated with receiving, departure, overloading and storage of containers, as well as carry out their repairs. The appearance of TLC will allow to extend receiving-departure tracks, facilitate processing of long trains. The project involves modernization of old and purchase of new cargo handling, through which will reduce time on the most time-consuming operation. Creation of comfortable and rational approach roads to the cargo area will provide minimal shunting movement. Due to these measures, the time to process one container train at the station Kuntsevo-II will be reduced (Pic. 3).

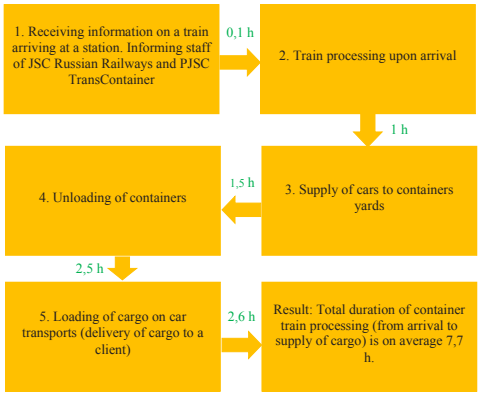
Reducing the duration of container trains processing will increase the number of trains handled through the station per day.

TLC at Khovrino station

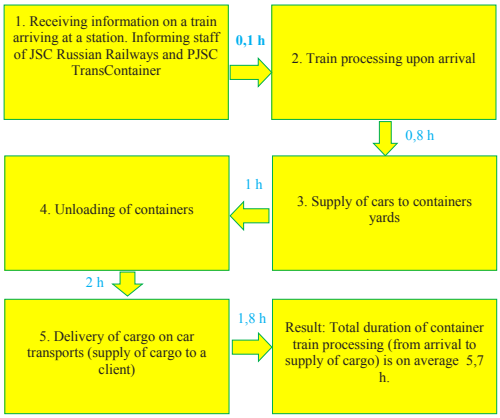
In 2014, at the station Khovrino was built a terminal and logistics center of LLC Logistik-KS. Its construction was conditioned with the increase in cargo traffic from the ports of the North-West region and the Baltic countries. The terminal allowed to carry out customs



Pic. 1. Diagram of unloading of cars at the station Kuntsevo-II.



Pic. 2. Time for processing of one container train, broken down into operation at the station Kuntsevo-II.



Pic. 3. Time for processing of one container train, broken down into operation at the station Kuntsevo-II after reconstruction.

clearance, warehousing, and provide logistics services, taking into account Moscow peculiarities – delivery of goods to retail outlets by low-tonnage transport.

The increase in cargo traffic helped to identify problems related to the terminal:

1) deficit of useful length of tracks, due to which increased the downtime of trains in anticipation of cargo operations;

2) absence of own trained personnel for production of shunting operations at railway tracks, which the station, serving more than 15 non-public tracks, is not always able to compensate;

3) at the station shunting locomotives are not rigidly tied to specific areas of service of non-public tracks, in this regard, occur downtime waiting for a locomotive for TLC, and hence despite the needs of the center timely supply, rearrangement and output of trains are absent;

4) failed to adapt to rapid and timely supply non-public track of TLC.

The ratio of time spent on production of cargo and shunting operations by TLC at Khovrino station is shown in Pic. 4.

In order to solve the existing problems at the station, it is necessary, we believe, to take the following steps:

1) lack of trained personnel, who are able to produce shunting movement on railway tracks of non-public use can be solved by hiring own staff of shunting masters, because it concerns only one or two experts;

2) lack of service traction rolling stock station is completely compensated by the station, if it zones tracks of uncommon use into shunting areas and link them to certain locomotives;

3) lack of useful length of tracks is eliminated during reconstruction of the territory of a container terminal;

4) inadaptability of tracks to fast and timely supply is neutralized by laying centralized arrows, united by a common neck and creation of a switch plant.

As a result we get:

1) reduction of downtime of trains while waiting for their output to departure yard;

2) reduction of downtime of trains waiting for their supply to TLC;

3) reduction of downtime of trains while waiting for shunting operations;

4) reduction of downtime of trains while waiting for cargo and commercial operations;

5) increase in cargo processing speed at the terminal.

Changes in the ratio of time spent on production of cargo and shunting operations at TLC at Khovrino station after reconstruction is illustrated by Pic. 5.

From private to general

At stations Khovrino and Kuntsevo-II we can observe general problems inherent in cargo stations, on which terminal and logistics centers are planned:

1) lack of useful length of railway tracks;

2) lack of required number of tracks to process trains, and also developed approach roads to the territory of the terminal for timely reception, rearrangement or output of freight cars;

3) lack of trained personnel at TLC for production of shunting operations at railway tracks of non-public use in the area of the terminal;

4) lack of modern cargo handling equipment;

5) absence of developed approach roads for vehicles;

6) shortage of places for proper storage of containers.

Such problems should be solved prior to the moment when there will be an increase in cargo traffic for the stations together with TLC to work in a single technological direction that corresponds to the requirements of the day.

At the moment, at the station Kuntsevo-II the following reconstruction measures can be implemented:

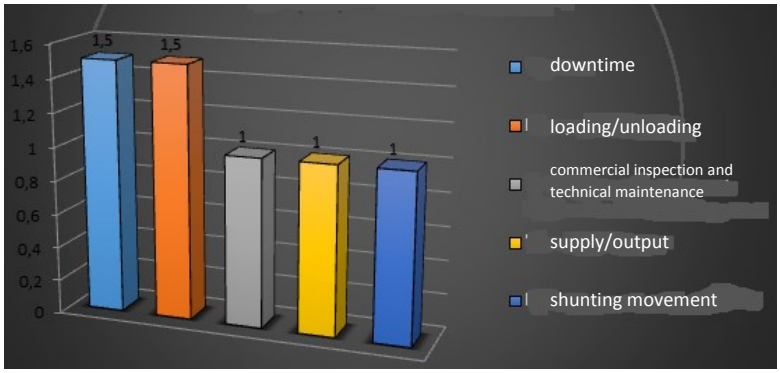
– Extension of existing receiving and departure tracks, which specialize in working with full-length container trains of TransContainer terminal;

– Laying of additional receiving and departure tracks;

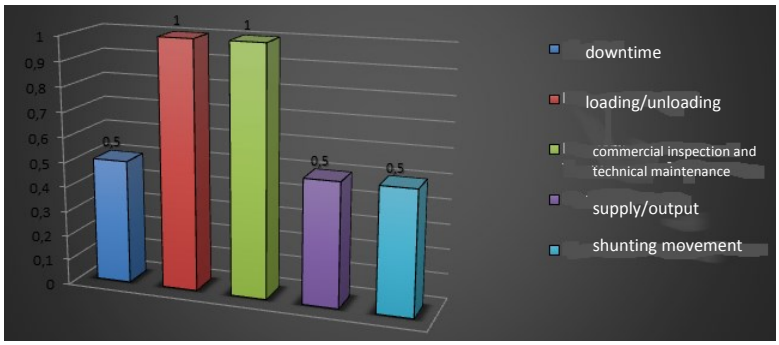
– Mounting of a neck between tracks of the terminal and receiving-departure tracks for container trains, which provide a direct supply of cars to the terminal and back, as well as access to the tracks of dead-end yard to exclude cars without transportation documents or subject to repair;

– Arrangement of cargo handling container park with installation of gantry cranes;

– Construction of dead-end tracks; tracks of marshalling yard of the station will be dismantled;



Pic. 4. Diagram of the ratio of time spent on cargo and shunting operations at TLC at Khovrino station in hours.



Pic. 5. Diagram of the ratio of time spent on cargo and shunting operations at TLC at Khovrino station in hours after reconstruction.

– Construction of point of uncoupling repair of cars at two positions with laying of one track specially for uncoupling repair;

– Reconstruction of existing adjacent tracks.

Similarly at Khovrino station such rearrangement option is possible, which provides for a step by step reconstruction of TLC and surrounding area:

– it is planned to lengthen tracks in the territory of the terminal itself, as well as to build a neck for easy and timely supply of trains at TLC with a centralized system of arrows and signal post;

– to rent fully the 6th station park and reconstruct it, including dismantling of all available tracks, laying in the middle of the park three tracks, where will be performed loading and unloading of goods on the direct variant, as well as construction of a highway on both sides of the gantry crane;

– to hire own staff, who will be able to produce shunting movement on railway tracks and ensure a significant reduction in downtime in anticipation of operations.

Conclusion. *As a result, implementation of these measures at the station Khovrino, as well as at the station Kuntsevo-II will create a network of modern container terminal and logistics centers capable of processing of arriving trains in view of significant growth in their volumes and retaining high quality of services for customers.*

REFERENCES

1. Kurganov, V. M. Logistics. Transport and storage of goods in the supply chain: educational-practical guide [*Logistika. Transport i sklad v cepi postavok tovarov: Uchebno-prakt. posobie*]. 2nd ed., rev. and ext. Moscow, Knizhnyj mir publ., 2009, 512 p.

2. Coordination and logistics centers: educational guide [*Koordinacionno-logisticheskie centry: Ucheb. posobie*] / V. M. Nikolashin, S. Yu. Eliseev, A. S. Sinitsyna, E. P. Shmuglyakov. Moscow, TMC on education on railway transport, 2013, 228 p.

3. The development strategy of Russian Railways holding company for the period until 2030. Approved by the Board of Directors of JSC Russian Railways (Minutes № 19 dated December 23, 2013.) [*Strategija razvitija holdinga «RZhD» na period do 2030 goda. Utverzhdena sovetom direktorov OAO «RZhD»* (*protokol № 19 ot 23 dekabrja 2013 g.)*].

4. Baginova, V. V., Fedorov, L. S., Lievin, S. B. Logistics business: harmony of costs and outcome. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 5, pp. 112–115.

5. Eliseev, S. Yu., Volkova, S. G. Optimal placement of terminals in the system of transport and cargo flows. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 6, pp. 160–171.

6. Kuznetsova, A. N. Organization of container transportation: Monograph [*Organizacija kontejnernyh perevozok: Monografija*]. Moscow, RGOTUPS publ., 2007, 142 p.

Information about the authors:
Zasorina, Galina V. – lecturer of Moscow College of Railway Transport of the Institute of Applied Technologies of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, zasorina-gv@mail.ru.
Deikin Sergey, A. – 4th year student of the Institute of Applied Technologies of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, mkgt-paravoz@yandex.ru.
Romanov, Aleksey M. – 4th year student of the Institute of Applied Technologies of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, aleksey-romanov-96@mail.ru.

Article received 25.11.2015, accepted 16.04.2016.

УДК 656.1

Мотивы поведения водителей при смене полосы движения

Михаил ЯКИМОВ

Mikhail R. YAKIMOV

Якимов Михаил Ростиславович *– доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Россия.*

The Motives of Drivers' Behavior when Changing Lanes

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 196)

В контексте психофизиологической модели поведения водителя автомобиля рассматривается место поведенческой ситуации «смена полосы» в общем наборе факторов, влияющих на продолжительность транспортной корреспонденции. Дается определение манёвра необходимой смены полосы собственным транспортным средством. С помощью математических расчётов и натурного видеонаблюдения исследуется изменение движения других транспортных средств при осуществлении перестройки на многополосной трассе.

Ключевые слова: автомобиль, дорога, поведение водителя, манера езды, психофизиологическая модель, транспортный поток, смена полосы.

Движение – обязательный компонент в жизни любого человека, а движение в XXI веке в крупных городах невозможно представить без транспорта – настолько большими стали осваиваемые нами расстояния. Причем масштабы перемещений таковы, что любой из пользователей транспортных средств оказывается в самых разных дорожных ситуациях.

ТИПИЧНОЕ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ

Транспортные корреспонденции осуществляются современным человеком едва ли не каждый день, и нельзя сказать, что продолжительность их всегда одинакова. Однако можно выделить несколько основных факторов, влияющих на выбор того или иного варианта.

Перед определением факторов стоит отметить, что дорожное движение состоит из движения отдельных автомобилей и транспортных потоков и является результатом взаимодействия элементов комплекса «автомобиль–водитель–дорога–среда» («АВДС») [1]. Вследствие этого факторы можно разделить на три группы соответственно элементам комплекса:

1. Характеристики проезжаемого участка улично-дорожной сети (расстояние между

начальной и конечной точкой, количество полос на проезжих частях, наличие регулируемых и нерегулируемых развязок, состояние дорожного покрытия и др.);

2. Технические характеристики транспортного средства. Здесь стоит отметить, что неизбежная модификация парка заставляет вести и поддерживать постоянный мониторинг меняющихся характеристик транспортного потока.

3. Особенности в манере управления автомобилем со стороны водителя.

И действительно, поведение водителя в различных ситуациях можно поставить в один ряд с другими факторами, которые, на первый взгляд, имеют большее влияние на ту же продолжительность транспортной корреспонденции. Активная роль человека в осуществлении транспортной корреспонденции заключается в планировании, принятии решения, выходе из определенной дорожной ситуации и, чаще всего, в быстрой переработке разнообразной информации в условиях ограниченности времени. Именно ему при этом принадлежит оценка опасности и обеспечение безопасности при управлении автомобилем [2].

Проведено множество исследований влияния особенностей характера водителя на управление автомобилем. Так, А. А. Макенов в [3] выявляет зависимость между манерой вождения машины и принадлежностью человека к тем или иным группам психологического типа. В результате выборочного тестирования водителей транспортных средств была выделена та психологическая группа – холериков, которая наиболее предрасположена к рисковому управлению автомобилем. А. А. Осеев в [4] исследует зависимость между чертами характера водителя (смелостью, повышенными моральными нормами, уравновешенностью, творческим воображением) и особенностями управления им автомашиной.

В основном же агрессивности за рулем подвержены люди, находящиеся под влиянием постоянных психологических стрессов, а также те, кто ощущает на себе сильное давление эмоций. Иногда это приводит к выплеску негативных эмоций на окружающих, зачастую нервный человек, и не желая этого, не в состоянии контролировать свои эмоции [5], что проявляется в пренебрежении дистанцией безопасности по отношению к впереди-идущему транспортному средству (далее – ТС), игнорировании предупреждающего сигнала светофора на регулируемых перекрестках, резком перестроении по полосам движения.

Все особенности поведения за рулем имеют огромное влияние на продолжительность транспортной корреспонденции и объединены психофизиологической моделью поведения водителя.

Психофизиологическую модель можно рассматривать как набор типовых поведенческих ситуаций:

1) Поведение водителя при следовании за идущим впереди ТС.

2) Поведение водителя ТС при смене полосы.

3) Поведение водителя по отношению к ТС, расположенным сбоку.

4) Реакция водителя на переключение сигналов светофором.

В данном случае нами не ставится цель исследовать каждый из этих модельных типов, наш интерес касается прежде всего поведения водителя при маневре смены полосы и сопутствующих ему изменениях в движении других ТС. Причина понятна: смена полосы характеризуется взаимодействием сразу нескольких участников дорожного движения, и особенности поведения водителей в столь напряженной ситуации проявляются наиболее явно. В сравнении, например, с соблюдением дистанции безопасности по отношению к впередиидущему ТС.

«ПРИОРИТЕТ» ШЕСТИ СЕКУНД

К поставленным в исследовании задачам относятся:

– определение маневра необходимой смены полосы;

– изучение условий осуществления маневра (их выявление и расчет);

– изучение взаимодействия водителей ТС при осуществлении маневра смены полосы (форма, варианты и расчет на участке улично-дорожной сети в момент времени).

В анализе процесса смены полосы используются следующие базовые термины.

Маневр смены полосы – выезд транспортного средства из занимаемой полосы с сохранением первоначального направления движения.

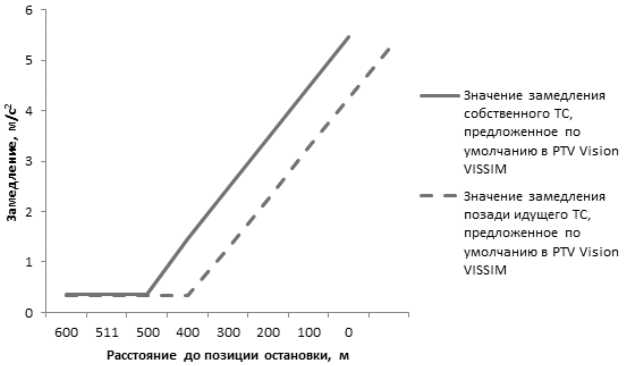


Рис. 1. График функции изменения замедления при осуществлении манёвра необходимой смены полосы при расчётных значениях параметров.

Собственное ТС – транспортное средство, водитель которого имеет намерение осуществить маневр смены полосы.

Впередиидущее ТС – транспортное средство, движущееся перед собственным транспортным средством по той же полосе.

Позадиидущее ТС – транспортное средство, движущееся за собственным транспортным средством по той же полосе.

Первый автомобиль промежутка на полосе – транспортное средство, движущееся первым в промежутке на желаемой полосе, в который имеет намерение встроиться водитель собственного транспортного средства при осуществлении маневра смены полосы.

Второй автомобиль промежутка на полосе – транспортное средство, движущееся вторым в промежутке на желаемой полосе, в который имеет намерение встроиться водитель собственного транспортного средства при осуществлении маневра смены полосы.

Желаемая полоса – полоса движения, на которую имеет намерение перестроиться водитель собственного транспортного средства при осуществлении маневра смены полосы.

Позиция вынужденной остановки – точка на занимаемой полосе, в которой вынужден будет остановиться водитель собственного транспортного средства, если ему не удастся осуществить маневр смены полосы.

Промежуток на полосе – дистанция между автомобилями, следующими друг за другом на желаемой полосе.

Приемлемый промежуток на полосе – дистанция между автомобилями, следующими друг за другом на желаемой полосе, которая позволит собственному ТС осуществить маневр смены полосы.

Стоит отметить, что важна и причина, по которой водитель ТС принимает решение о предстоящем маневре. В зависимости от этой причины смена полосы может классифицироваться двояко:

1. Произвольная смена полосы – это маневр смены полосы, осуществляемый водителем ТС для получения большей свободы движения или более высокой скорости.

2. Необходимая смена полосы – это маневр смены полосы, осуществляемый водителем ТС с целью в дальнейшем совершить маневр по изменению направления движения.

В обоих случаях, когда водитель принимает решение совершить маневр смены полосы, главным условием для этого становится наличие достаточного интервала времени – приемлемого промежутка на желаемой полосе. Проверка наличия приемлемого промежутка обычно происходит в условиях замедления собственного ТС. При этом:

1. Происходит последовательное замедление собственного ТС вплоть до позиции вынужденной остановки.

2. Следующий за собственным ТС автомобиль в этот момент наблюдает за маневром и начинает процесс торможения [6].

В совокупности поведение водителей при смене полосы можно представить в виде графика, содержащего функции замедления собственного и позадиидущего ТС в зависимости от расстояния до позиции вынужденной остановки (рис. 1).

Напомним, что слияние двух транспортных потоков возможно при наличии приемлемого промежутка на желаемой полосе. Однако не каждый промежуток на полосе будет являться приемлемым. К примеру, при максимальной интенсивности движения ТС

Таблица 1

Распределение промежутков на полосе между автомобилями, сек.

№ ТС / № мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,8	1,9	1,9	1,7	2,8	1	1,3	2	1,4	0,9	1,1	0,9	2,3	1,8	1,3	1,8	1,7	1,5	1	0,9
2	2,5	1,7	8,7	1,4	0,8	2,9	3,2	1,2	1,1	1,6	1,7	1,9	1,7	1,8	1,8	1,2	1,6	1,1	1,2	1,1
3	1,3	0,6	1,9	2,5	1,1	1,2	2,9	1,3	0,6	1,9	1,5	1,9	9,6	1,5	1,2	1,3	9,7	2,5	2,3	2,1
4	1,9	1,6	1,8	1,2	2	1,2	1,1	1,8	1,5	2,5	1,4	2	3,1	2	1,5	3,5	8,6	3,5	2,9	1,7

№ ТС / № мин	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	0,9	1,7	1,4	1,5	0,7	1,6	1,3	1,4	2,5	1,9	1,9	1,3	1	2,3	1,3	1,2	2,2	2,1	0,3
2	1,5	1,4	1,6	1,8	1	1,7	1	1,9	2,5	1,1	1,2	2,9	-	-	-	-	-	-	-
3	1	2,5	1,4	1,2	2,4	2,1	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	9,5	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

по одной полосе (600 авт./час) средняя величина промежутка на полосе равна примерно 6 секундам.

Надо полагать, 6 секунд – возможно, недостаточное время для совершения маневра смены полосы. Однако в силу того, что транспортный поток движется неравномерно (по причине светофорного регулирования, пешеходного движения через проезжие части и прочее), величина промежутков на полосе может как уменьшаться, так и увеличиваться. Практика показывает, что даже при высокой плотности движения имеются приемлемые для совершения маневра смены полосы промежутки времени.

ПРОВЕРКА НА ДОРОГАХ

Автором с коллегами было проведено специальное исследование распределения промежутков на полосе в 4-минутном диапазоне времени для одной из улиц Перми. Обследование проводилось с записей камер видеонаблюдения, входящих в состав АСУДД (автоматизированной системы управления дорожным движением).

Исследование проводилось следующим образом:

1. Засекалось время (сек.) с начала видеофрагмента до момента въезда в зону видимости первого ТС.

2. Фиксировалось время (сек.) с момента въезда в зону видимости первого ТС до момента въезда в зону видимости второго ТС, то есть время, которое также характеризует промежуток на полосе между автомобилями. Операция повторялась на протяжении 5 минут.

Параллельно с исследованием распределения промежутков на полосе учитывалась и средняя скорость транспортного потока.

В результате были получены значения времени, наблюдаемые между моментами въезда автомобилей в зону видимости (таблица 1). Эти цифры касаются транспортного потока, движущегося со скоростью 45,5 км/ч. Из таблицы видно, что в основном продолжительность промежутков на полосе между автомобилями составляет не более 3 секунд, но встречаются также промежутки и по 9 секунд.

Следующим шагом стало определение величины приемлемого промежутка на полосе между автомобилями на желаемой полосе. Величина промежутка должна быть такой, которая позволит собственному ТС осуществить маневр смены полосы.

Прежде чем переходить к расчету, стоит заметить, что взаимодействие автомобилей в зоне слияния транспортных потоков происходит следующим образом: собственное ТС (0) движется в ожидании приемлемого промежутка (Δd) (на основной (желаемой) полосе, по которой автомобильный поток движутся со скоростью V_m. И произвести маневр перестроения надо таким образом, чтобы не создать препятствий для ТС, едущих по желаемой полосе. То есть те не должны тормозить, пропуская собственное ТС, но и столкновения тоже не должно произойти.

Продолжительность приемлемого промежутка на полосе можно представить при помощи суммы двух величин:

$$\Delta d = d_1 + d_2, \quad (1)$$

где Δd – продолжительность приемлемого промежутка на полосе (сек.);

Таблица 2

Расчётные значения функции изменения замедления при осуществлении манёвра необходимой смены полосы

Расстояние до позиции вынужденной остановки, м	Расчётное значение собственного ТС	Расчётное значение позадиидущего ТС
600	0,35	0,33
500	0,35	0,33
400	1,46	1,25
300	2,46	2,25
200	3,46	3,25
100	4,46	4,25
0	5,43	5,25

d_1 – продолжительность промежутка между первым автомобилем приемлемого промежутка и собственным ТС (сек.);

d_2 – продолжительность промежутка между вторым автомобилем приемлемого промежутка и собственным ТС (сек.).

В свою очередь, d_1 опять же можно разделить на несколько составляющих:

1. Продолжительность реакции водителя собственного ТС ($T_{реак_0}$) и продолжительность приведения в действие тормозной системы ($T_{торм_0}$). В сумме эти два показателя – 1 секунда.

2. Статический габарит собственного ТС ($g_{авт_0}$) и минимальный зазор безопасности между автомобилями ($g_{авт_{1-0}}$). Сумма двух показателей была принята как 4,5 м.

3. Разность тормозных путей первого автомобиля при приемлемом промежутке на полосе и собственного ТС ($l_{авт_0} - l_{авт_1}$). Эта разность была вычислена с учетом коэффициентов эксплуатационных условий торможения заднего и переднего автомобилей (1,8), скорости транспортного потока на основной полосе, а также коэффициентов сцепного веса (0,5), сцепления шин с поверхностью дороги (0,7), дорожного сопротивления (0,425) и обзорности (1,8). В результате разность тормозных путей – 1,5 секунды.

Соответственно методом сложения составляющих была получена продолжительность промежутка d_1:

$$d_1 = 1 + 4,5 + 1,5 = 7 \text{ сек.} \quad (2)$$

Для получения Δd необходимо также рассчитать промежуток d_2, который включает:

1. Время реакции водителя собственного ТС ($T_{реак_0}$) и время приведения в действие тормозной системы ($T_{реак_0}$). В сумме эти два показателя – 1 секунда.

2. Минимальный зазор безопасности между автомобилями в отношении к средней скорости транспортного потока желаемой полосы. В результате расчета установлена величина – 0,004.

3. Разность тормозных путей первого автомобиля и собственного ТС ($l_{авт2} - l_{авт1}$). Она вычислена с учетом коэффициентов эксплуатационных условий торможения заднего и переднего автомобилей (1,8), а также коэффициентов сцепного веса (0,5), сцепления шин с поверхностью дороги (0,7), дорожного сопротивления (0,425) и обзорности (1,8). В результате разность тормозных путей – 1,5 секунды.

Соответственно методом сложения составляющих была получена продолжительность промежутка d_2:

$$d_2 = 1 + 0,04 + 1,5 = 2,54 \text{ сек.} \quad (3)$$

Напомним, что приемлемый промежуток представляет собой сумму промежутков d_1 и d_2. Тогда:

$$\Delta d = 7 + 2,54 = 9,54 \text{ сек.} \quad (4)$$

В ОЖИДАНИИ МАНЁВРА

Нужно отметить, что часть показателей, входящих в состав приемлемого промежутка, является неизменной в зависимости от скорости движения ТС и состояния дорожного покрытия, а часть изменяется с учетом тяговых и скоростных характеристик автомобиля. К постоянным показателям относятся интервал безопасности, габариты автомобиля. Переменные величины (время разгона, остановочный путь) зависят от мощностных характеристик двигателя, эффективности тормозной системы с учетом износа рабочих элементов и состояния дорожного покрытия [7].

При сравнении полученного значения приемлемого промежутка Δd в 9,54 секунды с распределением промежутков, представленных в таблице 1, было выявлено пять приемлемых промежутков. При этом время их ожидания значительно отличаются друг от друга – время ожидания первого приемлемого промежутка невозможно определить, время второго – 74, третьего – 13,7, четвертого – 57,5, пятого – 16,6 секунды. По этим значениям получено среднее время ожидания, которое равняется 40,55 секунды.

Не следует забывать, что при ожидании приемлемого промежутка на полосе для осуществления маневра смены полосы собствен-

ное ТС не стоит на месте, а движется по проезжей части. Чтобы получить расстояние, которое оно проезжает в ожидании приемлемого промежутка, необходимо среднее время ожидания умножить на скорость ТС:

$$S = V \cdot t = 40{,}55 \cdot 12{,}6 = 510{,}93 \approx 510 \text{ м}. \quad (5)$$

Однако одного значения расстояния недостаточно, чтобы полностью охарактеризовать маневр смены полосы. Нужно знать и значение приемлемого замедления.

В нашем случае его нашли с помощью исследования замедлений для разных скоростей. Впрочем, нас в первую очередь интересовало замедление, наблюдаемое при скорости в 45,5 км/ч, установленной по условиям изучения приемлемых промежутков на полосе. Значение это – 0,35 м/с^2.

Максимальное замедление было получено из исследования технически возможного режима. При скорости в 45,5 км/ч оно составляет 5,43 м/с^2.

Кроме того, в графике изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы учитывается еще и функция замедления позадиидущего ТС. Если впередиидущий автомобиль тормозит, то и идущий позади него тоже должен тормозить. При этом замедление позадиидущего может осуществляться не на таком расстоянии, как замедление собственного ТС. Так, если замедление собственного ТС происходило на 510 метрах, то позадиидущего на расстоянии, равном

$$S_{позадиидущ} = S_{собств} - d, \quad (6)$$

где $S_{позадиидущ}$ – расстояние, на котором будет происходить замедление позадиидущего ТС;

$S_{собств}$ – расстояние, на котором происходит замедление собственного ТС при осуществлении маневра смены полосы (принято как 510 м);

d – промежуток на полосе между $S_{позадиидущ}$ и $S_{собств}$ (принято как 20 м).

Было выявлено, что расстояние, которое пройдет в замедлении позадиидущее ТС, равняется 490 м.

Максимальное замедление и приемлемое замедление позадиидущего ТС также должно несколько отличаться от значений собственного ТС. Они были рассчитаны при помощи отношения $S_{позадиидущ}$ к $S_{собств}$:

$$S_{позадиидущ} = 0{,}96 \cdot S_{собств}. \quad (7)$$

На основе значений максимального и приемлемого замедления, которые были приняты как ограничивающие, и расстояния, которое пройдет собственное ТС во время ожидания приемлемого промежутка на полосе, получены значения функции изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы (таблица 2).

ВЫВОДЫ

В ходе исследования был осуществлен расчет условий осуществления маневра смены полосы, изменений в движении собственного транспортного средства и позадиидущего ТС. Полученные результаты можно использовать для определения возможностей автомобиля на любом участке улично-дорожной сети, а также при моделировании движения транспортных потоков, проведении комплексных исследований поведения водителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев С. А. Влияние параметров транспортного потока на повышение уровня безопасности дорожного движения // Наука и техника транспорта.– 2004.– № 4.– С. 30–35.

2. Доля В. К., Волобуева Т. В. Математическая модель поведения водителя в стрессовых ситуациях // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта.– 2008.– № 1.– С. 4–14.

3. Макенов А. А. Принятие решения водителем транспортного средства с учетом его психологического типа // Вестник МАДИ.– 2013.– № 2.– С. 92–96.

4. Осеев А. А. Роль характера водителя в снижении аварийности на автомобильном транспорте // Вестник Московского университета. Серия 18: Социология и политология.– 2005.– № 3.– С. 151–169.

5. Трофимов А. В., Пуляевская О. В. Влияние транспортных заторов на поведение водителей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук.– 2015.– № 6/2.– С. 187–188.

6. Корягин М. Е., Поздняков В. В., Протодьяконов А. В. Социально-экономическая модель смены полосы как часть системы имитационного моделирования транспортных потоков // Вестник Кузбасского государственного технического университета.– 2011.– № 6.– С. 96–97.

7. Цветков Г. А., Хлюпин А. С., Шевченко А. Е. Методика определения интервала безопасности автомобильной системы помощи при перестроении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета: Безопасность и управление рисками.– 2015.– № 2.– С. 67–72.

8. Якимов М. Р., Арепьева А. А. Определение технических характеристик: масса и мощность транспортных средств, входящих в состав транспортных потоков крупных городов на примере г. Перми // Образование и наука в современных условиях.– 2015.– № 4.– С. 229–232.

Координаты автора: **Якимов М. Р.** – auto@perm.ru.

Статья поступила в редакцию 25.01.2016, принята к публикации 20.04.2016.

THE MOTIVES OF DRIVERS' BEHAVIOR WHEN CHANGING LANES

Yakimov, Mikhail R., *Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.*

ABSTRACT

In the context of psycho-physiological model of the car driver's behavior a place of behavioral situation «lane change» is considered within a common set of factors affecting the duration of transport correspondence. The definition of required lane change maneuver by own vehicle is given. With the help of mathematical calculations and full-scale video surveillance change in movement of other vehicles when changing lanes on a multilane highway is investigated.

Keywords: car, road, driver's behavior, manner of driving, psychophysiological model, traffic flow, lane change.

Background. *Movement is a mandatory component in the life of any human being, but movement in large cities in XXI century cannot be imagined without transport – so large distances we began to develop. Moreover, movement scale is such that any of the vehicle users faces different driving situations.*

Objective. *The objective of the author is to consider lane change maneuver and driver's behavior in this situation.*

Methods. *The author uses general scientific methods, simulation, comparative analysis.*

Results.

Typical in individual

Transport correspondence is made by a modern man almost every day, and we cannot say that their duration is always the same. However, there are several key factors that influence the choice of one or another variant.

Before determining factors it should be noted that the traffic consists of movements of individual vehicles and traffic flows, and is a result of interaction of the elements of the complex «car–driver–road–environment» («CDRE») [1]. Consequently, the factors can be divided into three groups corresponding to the elements of the complex:

1. Features of a passed section of the road network (distance between start and end points, the number of lanes on the roadway, the presence of regulated and non-regulated intersections, road surface condition, and others.);

2. Technical characteristics of a vehicle. It is worth noting that the inevitable modification of the fleet makes to conduct and maintain a constant monitoring of changing characteristics of the traffic flow.

3. Features in the driving style of a driver.

Indeed, the driver's behavior in different situations can be put on a par with other factors which, at first glance, have a greater impact on the same duration of the transport communication. An active human role in the transport correspondence manifests itself in planning, decision-making, exit from a particular traffic situation and, more often, in rapid processing of a variety of information in a limited time. It is he who in this case assesses the risk and ensures safety while driving [2].

A lot of research on influence of character features of the driver to drive a car was conducted. Thus, A. A. Makenov [3] identifies the relationship between the manner of driving of the car and the person belonging to different groups of psychological type. As a result of selective testing of drivers it was highlighted that psychological group – cholerics, which is most prone to risk driving. A. A. Oseev [4] examines the relationship between personality traits of the driver (courage, elevated moral standards, equability of mind, creative imagination) and his features of a car driving.

Generally those people are most prone to aggressive driving who are under the influence of constant psychological stress, as well as those who are feeling the strong pressure of emotions. Sometimes this leads to a splash of negative emotions on others, often a nervous man, and not wanting that, is unable to control his emotions [5], which manifests itself in neglecting safety distance with respect to the vehicle ahead, ignoring warning traffic signals at controlled crossings, abrupt lane changing.

All features of the behavior behind the wheel have a huge impact on duration of the transport correspondence and are unified by a psycho-physiological model of driver's behavior.

The psychophysiological model can be viewed as a set of standard behavioral situations:

1) The behavior of the driver друт following the vehicle ahead.

2) The behavior of the vehicle driver when changing lanes.

3) The behavior of the driver with respect to the vehicle, located next to him.

4) The reaction of the driver to changing traffic light signals.

In this case, our aim is not to examine each of these model types, our interest concerns primarily the behavior of the driver when lane change maneuvering and accompanying changes in the movement of other vehicles. The reason is clear: lane change is characterized by interaction of several road users and features of drivers' behavior in such a tense situation manifest themselves most clearly. In comparison, for example, with keeping safety distance with respect to the vehicle ahead.

«Priority» of six seconds

The tasks of the study include:

– Determining the required lane change maneuver;

– Study of the maneuver conditions (their detection and calculation);

– The study of interaction of the vehicle drivers when lane changing (form, options and calculation at the section of the road network at the time moment).

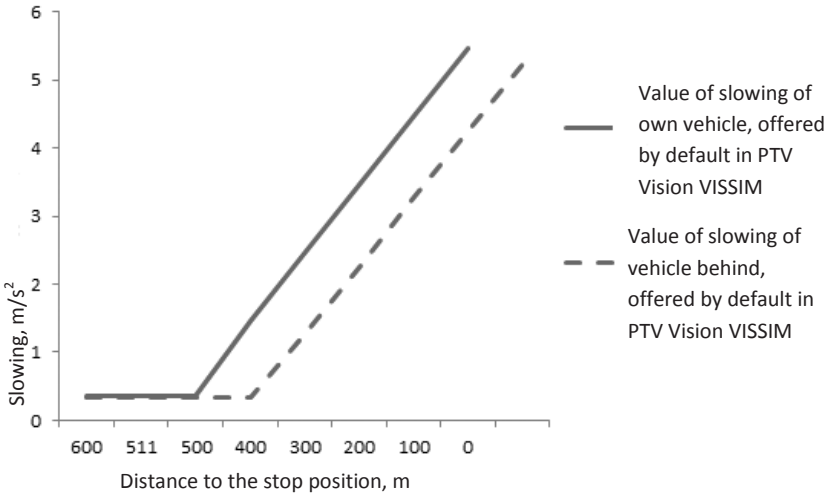
In the analysis of lane change process, the following basic terms are used:

Lane change maneuver – exit of the vehicle from the occupied lane while preserving the original traffic direction.

Own vehicle – a vehicle which driver has committed to the lane change maneuver.

Vehicle ahead – a vehicle moving in front of own vehicle on the same lane.

Vehicle behind – a vehicle moving behind own vehicle on the same lane.



Pic. 1. Graph of slowing function when performing required lane change maneuver with calculated values of parameters.

The first vehicle of the interval on the lane – a vehicle moving the first in the interval on the desired lane, in which the driver of own vehicle has an intention to integrate while performing lane change maneuver.

The second vehicle of the vehicle on the lane – a vehicle moving the second in the interval on the desired lane, in which the driver of own vehicle has an intention to integrate while performing lane change maneuver.

Desired lane – driving lane, which the driver of own vehicle has an intention to take while performing lane change maneuver.

Position of forced stop – a point on the occupied lane, where the drive of own vehicle will be forced to stop if he fails to perform lane change maneuver.

Interval on the lane – distance between vehicles moving one after another in the desired lane.

Suitable interval on the lane – distance between vehicles moving one after another in the desired lane, which will allow own vehicle to perform lane change maneuver

It is worth noting that the reason why the driver of the vehicle makes a decision about the upcoming maneuver is also important. Depending on this reason lane change can be classified in two ways:

1. An arbitrary lane change – lane change maneuver carried out by the vehicle driver for more freedom of movement and a higher speed.

2. Required lane change – lane change maneuver carried out by the vehicle driver with a view to further make the maneuver to change traffic direction.

In both cases, when the driver decides to make a lane change maneuver, the main condition for this becomes adequate time interval – suitable interval on the desired lane. Check for a suitable interval occurs usually occurs while slowing own vehicle. Wherein:

1. There is a consistent slowing of own vehicle up to the position of forced stop.

2. Vehicle behind own vehicle at this time is watching the maneuver and starts braking process [6].

In aggregate, behavior of drivers when changing lanes can be represented as a graph containing the function of slowing of own and behind vehicles, depending on the distance to the position of forced stop (Pic. 1).

Recall that convergence of two transport flows is possible with the presence of a suitable interval on the

Table 1

Distribution of intervals between vehicles on the lane, seconds

№ min \ № vehicle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,8	1,9	1,9	1,7	2,8	1	1,3	2	1,4	0,9	1,1	0,9	2,3	1,8	1,3	1,8	1,7	1,5	1	0,9
2	2,5	1,7	8,7	1,4	0,8	2,9	3,2	1,2	1,1	1,6	1,7	1,9	1,7	1,8	1,8	1,2	1,6	1,1	1,2	1,1
3	1,3	0,6	1,9	2,5	1,1	1,2	2,9	1,3	0,6	1,9	1,5	1,9	9,6	1,5	1,2	1,3	9,7	2,5	2,3	2,1
4	1,9	1,6	1,8	1,2	2	1,2	1,1	1,8	1,5	2,5	1,4	2	3,1	2	1,5	3,5	8,6	3,5	2,9	1,7

№ min \ № vehicle	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	0,9	1,7	1,4	1,5	0,7	1,6	1,3	1,4	2,5	1,9	1,9	1,3	1	2,3	1,3	1,2	2,2	2,1	0,3
2	1,5	1,4	1,6	1,8	1	1,7	1	1,9	2,5	1,1	1,2	2,9	-	-	-	-	-	-	-
3	1	2,5	1,4	1,2	2,4	2,1	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	9,5	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 2

Calculated values of the function of change in deceleration when making required lane change maneuver

Distance to the position of forced stop, m	Calculated value of own vehicle	Calculated value of the vehicle behind
600	0,35	0,33
500	0,35	0,33
400	1,46	1,25
300	2,46	2,25
200	3,46	3,25
100	4,46	4,25
0	5,43	5,25

desired lane. However, not every interval on the lane will be suitable. For example, at a maximum intensity of the vehicle movement on one lane (600 vehicles / h), the average interval on the lane is about 6 seconds.

Presumably, 6 seconds are perhaps insufficient to perform lane change maneuver. However, due to the fact that the transport flow is uneven (because of traffic signalization, pedestrian traffic across the roadways, etc.), the size of intervals on the lane can either decrease or increase. Practice shows that even under high traffic density there are suitable time intervals for lane change maneuver.

Check on the roads

The author and his colleagues made a special study of the distribution of intervals on the lane at the 4-minute time range for one of the streets of Perm. The survey was conducted with records from CCTV cameras included in ATCS (Automated Traffic Control System).

The study was conducted as follows:

1. Time (sec.) was noted since the beginning of the video clip to the moment of entry of the first vehicle into the zone of visibility.

2. Time (sec.) was fixed from the moment of entry of the first vehicle into the zone of visibility until the entry of the second vehicle into the zone of visibility, that is time, which also characterizes the interval between vehicles on the lane. The operation was repeated for 5 minutes.

In parallel with the study of distribution of intervals on the lane the average speed of traffic flow was taken into account.

As a result, values of time were obtained, which are observed between the moments of vehicles' entry into the zone of visibility (Table 1). These figures relate to the transport flow, moving at a speed of 45.5 km / h. The table shows that generally the duration of intervals between vehicles on the lane is not more than 3 seconds, but there are also intervals of 9 seconds.

The next step was to determine the value of a suitable interval on the lane between vehicles on the desired lane. Interval size should be such that enables own vehicle to perform lane change maneuver.

Before proceeding to the calculation, it should be noted that the interaction of vehicles in the zone of traffic flow convergence is as follows: own vehicle (0) moves in anticipation of a suitable interval (Δd) (on the main (desired) lane, on which car traffic moves at a speed of V_t. And it is necessary to make lane change maneuver so as not to create obstacles to the vehicles moving on the desired lane. That is, they should not slow down, giving way to own vehicle, but the collision should not occur.

The duration of a suitable interval on the lane can be represented using a sum of two quantities:

$$\Delta d = d_1 + d_2, \quad (1)$$

where Δd is a duration of a suitable interval on the lane (sec.);

d_1 is a duration of the interval between the first vehicle of the suitable interval and own vehicle (sec.);

d_2 is a duration of the interval between the second vehicle of the suitable interval and own vehicle (sec.).

In turn, d_1 can again be divided into several components:

1. The duration of reaction of the driver of own vehicle (T_{reac_0}) and duration of the actuation of the braking system (T_{brak_0}). In sum, these two indicators – one second.

2. Static external dimension of own vehicle (g_{veh_0}) and a minimum safety clearance between vehicles ($g_{veh_{i-0}}$). The sum of two figures was accepted as 4,5 m.

3. The difference in braking distances of the first car at the suitable interval on the lane and own vehicle ($l_{veh_0} - l_{veh_i}$) . This difference was calculated based on coefficients of operating conditions of braking of front and rear vehicles (1,8), traffic speeds on the main lane and coefficients of coupling weight (0,5), tire traction (0,7), road resistance (0,425) and visibility (1,8). As a result, the difference in braking distances is 1,5 seconds.

Accordingly, by adding the components the duration of the interval d_1 was obtained:

$$d_1 = 1 + 4.5 + 1.5 = 7 \text{ sec.} \quad (2)$$

To obtain Δd it is necessary also to calculate the interval d_2, which includes:

1. The duration of reaction of the driver of own vehicle (T_{reac_0}) and duration of the actuation of the braking system (T_{brak_0}). In sum, these two indicators – one second.

2. The minimum safety clearance between vehicles in relation to the average traffic flow speed on the desired band. As a result of the calculation the value was set as 0.004.

3. The difference in braking distances of the first car at the suitable interval on the lane and own vehicle ($l_{veh_2} - l_{veh_0}$). This difference was calculated based on coefficients of operating conditions of braking of front and rear vehicles (1,8), coefficients of coupling weight (0,5), tire traction (0,7), road resistance (0,425) and visibility (1,8). As a result, the difference in braking distances is 1,5 seconds.

Accordingly, by adding the components the duration of the interval d_2 was obtained:

$$d_2 = 1 + 0.04 + 1.5 = 2{,}54 \text{ sec.} \quad (3)$$

Recall that a suitable interval is a sum of intervals d_1 and d_2. Then:

$$\Delta d = 7 + 2{,}54 = 9{,}54 \text{ sec.} \quad (4)$$

Waiting for maneuver

It should be noted that some of the indicators included in the suitable interval is constant regardless of the speed

of movement of the vehicle and the road surface condition, and a part changes based on traction and speed characteristics of the vehicle. Constant indicators include safety distance, vehicle external dimensions. Variables (acceleration time, stopping distance) depend on power characteristics of the engine, braking system efficiency, taking into account wear of working elements and the road surface condition [7].

When comparing the obtained value of the suitable interval Δd of 9,54 seconds with distribution of the intervals, shown in Table 1, five suitable intervals were identified. At their waiting times are significantly different from each other – waiting time of the first suitable interval cannot be determined, waiting time of the second – 74, of the third – 13,7, of the fourth – 57,5, of the fifth – 16,6 seconds. From these values the average waiting time was derived, which is equal to 40,55 seconds.

We should not forget that while waiting for a suitable interval on the lane for lane change maneuver own vehicle does not stand still, but is moving along the roadway. To get the distance that it covers in anticipation of a suitable interval, it is necessary to multiply the average waiting time by the speed of the vehicle:

$$S = V \cdot t = 40,55 \cdot 12,6 = 510,93 \approx 510 \text{ m}. \quad (5)$$

However, only distance value is not sufficient to fully characterize the lane change maneuver. It is necessary to know the value of a suitable deceleration.

In our case, it was found through studies of decelerations for different speeds. However, we were primarily interested in the slowing observed at a speed of 45,5 km / h, established under the terms of the study of suitable intervals on the lane. This value is 0,35 m / s².

Maximum deceleration was obtained from the study of technically feasible mode. At a speed of 45,5 km / h, it is 5,43 m / s².

In addition, in the graph of changes of deceleration when making required lane change maneuver a slowing function of the vehicle behind is also taken into account. If the vehicle ahead is braking, then the vehicle behind should also brake. At the same time deceleration of the vehicle behind can be carried out not at the same distance, as slowing of own vehicle. So, if slowing of own vehicle occurred along 510 meters, then for the vehicle behind at a distance of

$$S_{behind} = S_{own} - d, \quad (6)$$

where S_{behind} is a distance at which slowing of the vehicle behind will occur;

S_{own} is a distance at which slowing of own vehicle occurs while lane changing (taken as 510 m);

d is an interval on the lane between S_{behind} and S_{own} (taken as 20 m).

It was found that the distance, which will be covered by the vehicle behind during slowing, is equal to 490 m.

The maximum deceleration and suitable deceleration of the vehicle behind should also be slightly different from the values of own vehicle. They were calculated using the relationship of S_{behind} to S_{own}:

$$S_{behind} = 0,96 \cdot S_{own}. \quad (7)$$

On the basis of maximum and suitable deceleration, which were taken as limiting, and the distance that own vehicle will cover while waiting for suitable interval on the lane, were obtained the values of change in deceleration when making required lane change maneuver (Table 2).

Conclusions. *In the course of studies calculation of conditions was carried out for lane change maneuver, changes in the movement of own vehicle and the vehicle behind. The obtained results can be used to determine the capacity of a vehicle at any section of the road network, as well as in modeling traffic flows, carrying out comprehensive research on the driver's behavior.*

REFERENCES

1. Sergeev, S. A. Influence of traffic flow parameters on increase in the level of road safety [*Vlijanie parametrov transportnogo potoka na povyshenie urovnja bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija*]. *Nauka i tehnika transporta*, 2004, Iss. 4, pp. 30–35.

2. Dolya, V. K., Volobueva, T. V. Mathematical model of driver's behavior in stressful situations [*Matematicheskaja model' povedenija voditelja v stressovyh situacijah*]. *Vestnik Doneckoj akademii avtomobil'nogo transporta*, 2008, Iss. 1, pp. 4–14.

3. Makenov, A. A. Decision-making by a car driver, taking into account his psychological type [*Prinjatie reshenija voditelem transportnogo sredstva s uchetom ego psihologicheskogo tipa*]. *Vestnik MADI*, 2013, Iss. 2, pp. 92–96.

4. Oseev, A. A. The role of the driver's character in reducing the accident rate in road transport [*Rol' haraktera voditelja v snizhenii avarijnosti na avtomobil'nom transporte*]. *Bulletin of Moscow University. Series 18: Sociology and Political Science*, 2005, Iss. 3, pp. 151–169.

5. Trofimov, A. V., Pulyaevskaya, O. V. Influence of traffic congestion on the driver' behavior [*Vlijanie transportnyh zatorov na povedenie voditelej*]. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, 2015, Iss. 6/2, pp. 187–188.

6. Koryagin, M. E., Pozdnyakov, V. V., Protodyakonov, A. V. Socio-economic model of lane change as part of traffic flows simulation system [*Social'no-ekonomicheskaja model' smeny polosy kak chast' sistemy imitacionnogo modelirovanija transportnyh potokov*]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*, 2011, Iss. 6, pp. 96–97.

7. Tsvetkov, G. A., Khlyupin, A. S., Shevchenko, A. E. Technique of determination of safety interval of automotive assistance system in the course of lane changing evolution [*Metodika opredelenija intervala bezopasnosti avtomobil'noj sistemy pomoshhi pri perestroenii*]. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University: Safety and risk management*, 2015, Iss. 2, pp. 67–72.

8. Yakimov, M. R., Arepieva, A. A. Definition of technical characteristics: weight and power of vehicles belonging to transport flows of major cities illustrated by the example of the city of Perm [*Opredelenie tehnicheskih harakteristik: massa i moshhnost' transportnyh sredstv, vhodjashhih v sostav transportnyh potokov krupnyh gorodov na primere g. Permi*]. *Obrazovanie i nauka v sovremennyh uslovijah*, 2015, Iss. 4 pp. 229–232.

Information about the author:
Yakimov, Mikhail R. – D.Sc. (Eng.), professor of Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, auto@perm.ru.

Article received 25.01.2016, accepted 20.04.2016.

Уважаемые читатели!

Оформить подписку на журнал «Мир транспорта» можно в любом отделении почтовой связи:

- в каталоге «Газеты. Журналы» Роспечати – подписной индекс 80812.

Журнал выходит шесть раз в год

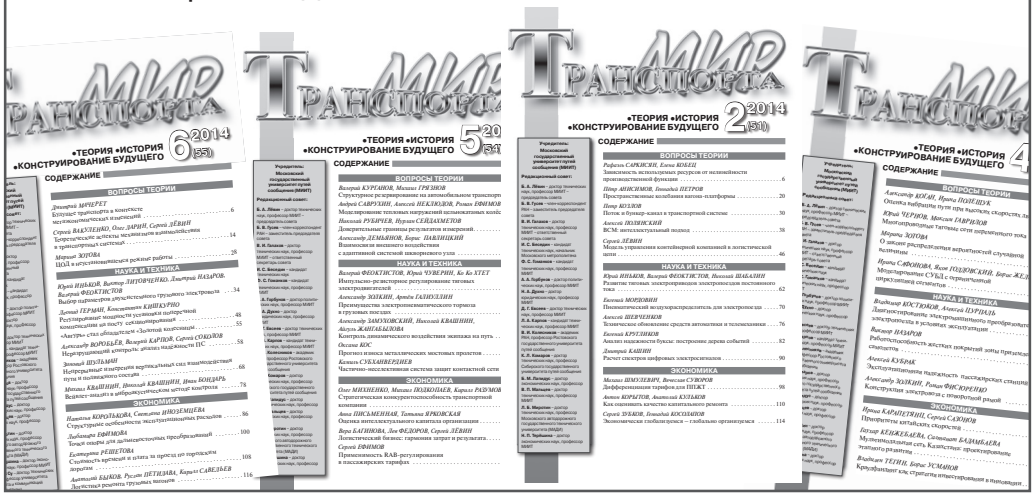
Dear Readers,

In Russia and CIS countries you can subscribe to the journal Mir Transporta (World of Transport and Transportation) at any post office using Rospechat JSC catalogues:

- «Newspapers. Journals» with subscription index 80812.

If you want to receive our journal in other countries please send a letter to the editorial board to e-mail addresses indicated on the back cover, we'll try to consider possible variants.

Published bimonthly



Журнал «МТ» получают транспортные и ведущие технические вузы, областные, научные и технические библиотеки большинства регионов Российской Федерации, а также библиотечные центры ряда стран СНГ.

The journal is delivered by the editor to leading Russian technical and transport universities, national and regional technical libraries of most Russian regions, transport government and public bodies, and companies, as well as to libraries of CIS and other foreign countries.

БЕЗОПАСНОСТЬ • SAFETY AND SECURITY

ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ 202

Матанализ искрообразования.

МОРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ 212

SOS на судах-контейнеровозах.

АВТОМОБИЛЬ 232

Иркутские легковушки в ДТП – «передовики».

DANGEROUS GOODS 202

Mathematical analysis of sparking.

SHIPPING 212

SOS at container carriers.

ROAD VEHICLES 232

The passenger cars of Irkutsk are rated first in accident rankings, aren't they?!

УДК 614.833.3

Проблемы фрикционного воспламенения на транспорте

Владимир СТРУЧАЛИН

Стручалин Владимир Гайозович *– старший преподаватель кафедры «Управление безопасностью в техносфере» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

Vladimir G. STRUCHALIN

Problems of Frictional Ignition in Transport Vehicles

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 208)

В статье исследуется проблема зажигательной способности фрикционных искр при обслуживании подвижного состава. Указывается на возможность возникновения аварийных ситуаций, связанных с воспламенением газопаровоздушной смеси. Проведен математический анализ интенсивности искрообразования с использованием базовых уравнений. Установлено, что мерой искробезопасности может служить критерий, который зависит от интенсивности искрообразования.

Ключевые слова: транспорт, перевозка опасных грузов, легковоспламеняющиеся жидкости, источник зажигания, фрикционные искры, искрообразование, мера искробезопасности.

Рост добычи нефти и выработки нефтепродуктов, повышение их удельного веса в топливном балансе страны, бурное развитие химической промышленности, в том числе производства жидких продуктов, вызвали значительное увеличение перевозок наливных грузов. На транспорте ежегодно происходят сотни инцидентов с опасными грузами: утечки нефтепродуктов, химических, ядовитых и других аварийно опасных веществ, представляющих угрозу для безопасности человека и окружающей среды.

Среди чрезвычайных ситуаций особое место занимают пожары и взрывы, связанные с перевозкой легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). За последние годы 70% пожаров в транспортной отрасли происходят на подвижном составе.

Во время налива и слива нефтегрузов на железнодорожных станциях возникают потенциально опасные ситуации, связанные с испарениями в окружающее пространство ЛВЖ [1]. Это происходит, поскольку люк-лаз цистерны, поданной на эстакаду под налив светлых нефтепродуктов открытым способом, находится в таком состоянии продолжительное время [2], что приводит к быстрому образованию взрывоопасной зоны.

С целью избежать сценария развития чрезвычайной ситуации [3] нами были проведены исследования, направленные на устранение источника зажигания.

Одним из распространенных источников зажигания горючих парогазовых смесей являются фрикционные частицы [4], которые возникают при трении или соударении рабочих органов технологических машин, механизмов, а также при выполнении обслуживающим персоналом технологических и ремонтных операций.

Фрикционные искры – искры удара и трения, которые представляют собой раскаленную до свечения частичку металла размером около 100 мк [4], температура которых находится в пределах температуры плавления металла.

Фрикционные частицы, образующиеся в результате относительного перемещения двух контактирующих поверхностей, в зависимости от дисперсности, начальной температуры, наличия окислителя и других факторов могут разогреваться до температуры видимого свечения [5]. Фрикционные искры металлов в определенных условиях разогреваются до температуры, при которой частицы воспламеняются [6].

Для некоторых веществ механизм разогрева частиц до температуры, при которой теплопередача в горючую газовую смесь становится достаточной для воспламенения, связан с каталитическими свойствами поверхности частицы. После прогревания критического объема смеси до температуры воспламенения происходит распространение пламени по всему ее объему, а это уже – источник тотальной опасности.

В результате длительной эксплуатации наливных вагонов на поверхности металлов и внутри образуются трещины. Цистерны упрочняются, ремонтируются, однако, несмотря на это, процессы деформационного старения происходят, что неминуемо приводит к охрупчиванию металла и повышенному искрообразованию [7].

Воспламенение газовоздушной смеси возможно, если количество тепла, отданное в окружающее пространство одной или несколькими искрами, удовлетворяет условиям поджигания горючей смеси [8, 9]. При этом механизм поджигания горючих смесей фрикционным искрообразованием остается малоизученным.

Известно, что интенсивность и поджигающая способность фрикционных искр зависят от режима трения и соударения двух тел, физико-механических и физико-химических свойств контактирующих поверхностей и других факторов. При этом не все фрикционные искры способны поджечь газовоздушную смесь.

Дисперсность фрикционных частиц, разлетающихся в пространстве с газовоздушной смесью, их количество и энергетические параметры определяются скоростью приложения нагрузки и ее величиной, а также физико-механическими свойствами материалов взаимодействующих тел и поверхностных покрытий.

Мерой искробезопасности работ с цистернами для перевозки ЛВЖ может служить некоторый критерий, который зависит от интенсивности искрообразования. Интенсивность эта для различных материалов связана с вероятностью, которая определяется экспериментально. Аналогичная задача об искровом зажигании газовоздушной смеси рассмотрена, к примеру, Д. В. Ботвенко [9].

В процессе моделирования нами использован аналитический метод исследования с применением следующих базовых уравнений [8–12].

1. Закон Ньютона-Рихмана для конвективного теплообмена:

$$q = \alpha \Delta T. \quad (1)$$

Здесь плотность теплового потока в окружающую среду от поверхности движущейся нагретой фрикционной частицы пропорциональна разности температур поверхности фрикционной частицы и окружающей ее газовоздушной среды (температурному напору).

Коэффициент пропорциональности α – коэффициент теплоотдачи, плотность теплового потока при перепаде температур на 1 К, т.е. количество теплоты, отдаваемое с единицы площади поверхности за единицу времени при единичном температурном напоре. Коэффициент теплоотдачи зависит от вида теплоносителя и его температуры; температуры напора, вида конвекции и режима течения (ламинарного или турбулентного); состояния поверхности и направления обтекания; геометрии тела.

Эквивалентная запись закона Ньютона-Рихмана (1) в дифференциальной форме:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial}{\partial S}Q = \alpha \Delta T. \quad (2)$$

Из дифференциала (2) можно вывести интегральную формулу. Количество теплоты, отданное через площадку на границе раздела тел площадью S за время t, пропорционально разности температур этих тел (если считать, что она остаётся за это время постоянной):

$$Q = \alpha t S \Delta T. \quad (3)$$

2. Закон Фурье об интенсивности отвода тепла нагретыми телами в окружающую среду (закон теплопроводности): в установившемся режиме плотность потока энергии, передающейся посредством теплопроводности, пропорциональна градиенту температуры:

$$\vec{q} = -\kappa \cdot grad(T), \quad (4)$$

где $\vec{q}$ – вектор плотности теплового потока (количество энергии, проходящей в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной каждой оси);

к – коэффициент теплопроводности;

T – температура.

Минус в правой части показывает, что тепловой поток направлен противоположно вектору градиента температуры (то есть в сторону скорейшего убывания температуры).

В интегральной форме это же выражение принимает иной вид (если идёт речь о стационарном потоке тепла от одной грани параллелепипеда к другой):

$$P = -\kappa \frac{S \Delta T}{l}, \quad (5)$$

где P – полная мощность тепловых потерь;

S – площадь сечения параллелепипеда;

ΔT – перепад температур граней;

L – длина, то есть расстояние между гранями условного параллелепипеда.

Закон Фурье не учитывает инерционность процесса теплопроводности, то есть в данной модели изменение температуры в какой-то точке мгновенно распространяется на всё тело. Неприменим для описания высокочастотных процессов (и, соответственно, процессов, чьё разложение в ряд Фурье имеет значительные высокочастотные гармоники). Инерционность в уравнении переноса (первым ввёл Максвелл) учитывается введением релаксационного члена (предложен в 1948 году Каттанео):

$$\tau \frac{\partial \vec{q}}{\partial t} = -(\vec{q} + \kappa \nabla T). \quad (6)$$

Если время релаксации τ пренебрежимо мало, то это уравнение переходит в закон Фурье (4).

Заметим, что закон Ньютона-Рихмана (2) служит одним из видов граничных условий (условия третьего рода), которые ставятся в задачах теплопроводности. В этом случае с учетом закона Фурье он записывается так:

$$\frac{\partial T}{\partial n} = k(T_{out} - T_{in}). \quad (7)$$

И ещё: данный закон описывает ситуацию только на границе тела, внутри же температура определяется его температуропроводностью. Тепловой поток внутри тела определяется по закону Фурье (4), что позволяет найти распределение, решив уравнение теплопроводности.

Если внутренняя теплопроводность намного больше, чем коэффициент теплоотдачи (малое число Био), то внутри устанавливается почти однородная температура (если на всей поверхности также она одинакова), и тогда можно записать уравнение охлаждения тела в виде:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k(T_{out} - T). \quad (8)$$

Здесь коэффициент

$k = \frac{\alpha S}{C}$, где C – теплоёмкость тела.

Из этого уравнения несложно получить, что температура тела в такой ситуации будет приближаться по экспоненте к температуре окружающей среды T_{out}:

$$T(t) = T_{out} + e^{-kt}(T_0 - T_{out}). \quad (9)$$

3. Критериальное уравнение, характеризующее процесс отдачи накопленного тепла при вынужденной конвекции:

$$Nu = 2 + 0{,}03\ Pr^{0,33}\ Re^{0,54} + 0{,}35\ Pr^{0,36}\ Re^{0,58}, \quad (10)$$

где Nu – тепловой критерий Нуссельта;

Pr – тепловой критерий Прандтля;

Re – критерий Рейнольдса.

Критерий Re характеризует движение нагретой фрикционной частицы в газовоздушной среде и определяется выражением:

$$Re = \frac{\upsilon_{\varphi} d_{экв}}{\nu_{гвс}}, \quad (11)$$

где $\upsilon_ф$ – скорость движения нагретой фрикционной частицы относительно газовоздушной среды (м/с);

$d_{экв}$ – характерный размер (эквивалентный диаметр частицы) (м);

$\nu_{гвс}$ – кинематическая вязкость газовоздушной смеси ($м^2/с$).

Скорость движения нагретой фрикционной частицы зависит от начального импульса, полученного частицей при контакте двух тел.

Тепловой критерий Прандтля характеризует способность теплоты распространяться в данной среде и определяется по формуле:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu_{гвс}}{\chi}, \qquad (12)$$

где χ – коэффициент температуропроводности:

$$\chi = \frac{\lambda}{\rho c_p}, \qquad (13)$$

где λ – теплопроводность;

ρ – плотность;

c_p – удельная теплоемкость газовоздушной смеси.

4. Уравнение теплопроводности с двумя источниками (в результате растрескивания поверхностного слоя и работы сил трения) с соответствующими граничными и начальными условиями – для определения температуры фрикционной искры.

Предварительно для анализа энергии поджигания искры оценим [10] возможную температуру разогрева фрикционной частицы. При этом будем считать, что при ударе происходит взаимодействие двух тел, как при трении тела, движущегося по поверхности другого тела с некоторой известной скоростью V_0 под действием прижимной силы F.

Сила трения $F_{тр} = kF$, где k – коэффициент трения.

Если под действием силы трения частица проходит путь S, то совершаемая силой трения работа A (в единицу времени, т.е. мощность) будет равна:

$$A = \frac{1}{2} F_{тр} S = \frac{1}{2} kFV_0. \qquad (14)$$

Важной чертой процесса трения является дискретный стохастический характер фрикционного взаимодействия в зоне контакта соприкасающихся поверхностей. Это обусловлено наличием исходного микрорельефа вступающих в контакт поверхностей. При первичном контакте размер пятен фактического пятна контакта (ФПК) будет обусловлен начальным рельефом трущихся поверхностей. В зависимости от приложенной нагрузки F и физико-механических характеристик контактирующих материалов ФПК варьируется в широких пределах от долей процента до десятков процентов общей (номинальной) площади и может быть определена по формуле:

$$S = F/\gamma^*, \qquad (15)$$

где γ^* – предел прочности.

При этом тонкий поверхностный слой претерпевает заметные и значительные деформации и структурные изменения. У пластичных материалов деформации меняются от 10–15% до 500–1000%. У хрупких материалов поверхностный слой будет разрушаться. Таким образом, при трении подводимая энергия станет диссипироваться в тепло только в пятнах контакта. Поэтому расчет температуры может быть выполнен только для пятна контакта.

Если значение нормальной силы F можно заменить на величину прочности материала, имея в виду, что рассчитывается плотность энергии в пятне контакта, можно получить:

$$A = N = k\, V_0 \gamma^*, \qquad (16)$$

и остается один внешний параметр – скорость V_0.

Если считать, что толщина активного слоя, в котором развиваются деформационные процессы в результате трения, существенно меньше размеров в продольном и поперечном направлениях, то задачу теплопроводности можно считать одномерной.

На основании того, что рассматриваются два источника тепла, запишем уравнение теплопроводности с двумя источниками, а именно:

1) w – в результате растрескивания поверхностного слоя,

2) q – в результате работы сил трения,

и с соответствующими граничными и начальными условиями:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{w}{c\rho},$$

$$0 < x < \alpha,\ t > 0; \qquad (17)$$

$$-\lambda\frac{\partial T}{\partial x}=q\ ,\ T_{t=0}=0; \qquad (18)$$

$$\kappa a=\frac{\lambda}{c\rho}. \qquad (19)$$

Источник тепла w должен работать только в тонком слое (от 10 до 100 мкм). Представим его в виде:

$$\frac{w}{c\rho}=Ae^{-\alpha x}. \qquad (20)$$

В результате расчетов [10] установлено, что при скорости динамического контакта в диапазоне от 1 до 10 м/с теоретически установленная температура пятна контакта достигает точки плавления за время 10^{-4}–10^{-6} секунд при толщине деформации, достигающей 500–1000%.

Высокая теплопроводность способствует быстрому отводу тепла от соприкасающихся поверхностей и снижению интенсивности нарастания контактной температуры. Если твердый сплав имеет низкую теплопроводность, то выделяющееся тепло накапливается на контактирующих поверхностях, в результате чего наблюдается стремительный рост контактной температуры.

Образование фрикционных искр связано с превращением части кинетической энергии механического взаимодействия в теплоту с последующим экзотермическим окислением и разогревом частиц. С увеличением скорости частиц повышаются контактные температуры.

Для определения поджигающей способности фрикционных искр и с целью оценки их опасности в анализируемой горючей среде рассмотрим [12] тепловые процессы, протекающие при движении одиночной нагретой фрикционной частицы в газовоздушной среде.

Плотность теплового потока $q_ф$ от поверхности движущейся нагретой фрикционной частицы в окружающую среду, согласно закону Ньютона-Рихмана (1), пропорциональна разности температур поверхности фрикционной частицы $t_ф$ и окружающей ее газовоздушной среды $t_{гвс}$, т.е.:

$$q_ф=\alpha(t_ф-t_{гвс}), \qquad (21)$$

где α – коэффициент теплоотдачи (Вт/(м^2•°С));

$t_ф$ – температура поверхности фрикционной частицы (°С);

$t_{гвс}$ – температура окружающей ее газовоздушной среды (°С).

Выражение (21) позволяет определять количество теплоты $q_ф$, которое в единицу времени с единицы поверхности отводится в окружающую среду.

Как следует из закона Фурье (4), от поверхности фрикционной частицы отводится поток

$$q_\varphi=-\lambda_{гвс}grad(t_\varphi)=-\lambda_{гвс}\frac{\partial t_\varphi}{\partial n}, \qquad (22)$$

где n – нормаль к изотермической поверхности.

Из (21) и (22) следует:

$$\alpha(t_\varphi-t_{гвс})=-\lambda_{гвс}\frac{\partial t_\varphi}{\partial n}, \qquad (23)$$

или $$\frac{\partial t_\varphi}{\partial n}=-\frac{\alpha}{\lambda_{гвс}}(t_\varphi-t_{гвс}). \qquad (24)$$

Выражение (24) является математическим описанием граничных условий третьего рода.

Для определения потери тепловой энергии Q движущейся фрикционной частицы за время $\tau_ф$ на основании (21) получим выражение:

$$Q=\alpha(t_{фн}-t_{гвс})S\tau_ф, \qquad (25)$$

где $t_{фн}$ – начальная температура поверхности фрикционной частицы;

S – площадь поверхности нагретой частицы.

Процесс отдачи накопленного тепла движущейся фрикционной частицей в газовоздушную окружающую среду при вынужденной конвекции характеризуется критериальным уравнением (10).

Скорость движения нагретой фрикционной частицы $\upsilon_ф$ зависит от начального импульса, полученного частицей при контакте двух тел.

Значение коэффициента теплоотдачи α, относящегося к поверхности нагретой фрикционной частицы, можно определить на основании безразмерного критерия Нуссельта (10):

$$Nu=\frac{\alpha d_{экв}}{\lambda_{гвс}}. \qquad (26)$$

Из (26) коэффициент теплоотдачи равен:

$$\alpha=\frac{Nu\lambda_{гвс}}{d_{экв}}. \qquad (27)$$

Оценим накопленную движущейся фрикционной частицей тепловую энергию через массу частицы M и ее удельную теплоемкость $c_ф$:

$$E = Mc_ф t_ф. \quad (28)$$

В то же время масса частицы представляется в виде:

$$M = \rho_ф V = \rho_ф \bullet \frac{\pi d_{экв}^3}{6}. \quad (29)$$

В выражении (29): V – объем фрикционной частицы, $\rho_ф$ – ее плотность.

Подставим (29) в (30):

$$E = \frac{\pi d_{экв}^3}{6} \bullet \rho_ф c_ф t_ф. \quad (30)$$

Условие воспламенения газовоздушной смеси облаком искр имеет вид:

$$Q \geq Q_{воспл}. \quad (31)$$

Для оценки искробезопасности работ установим критерий K:

$$K = \frac{Q_{ф\Sigma}}{Q_{воспл}}. \quad (32)$$

При K = 1 газовоздушная смесь находится в критическом состоянии по отношению к фрикционному воспламенению, при K > 1 – в опасном, а при K < 1 – в безопасном.

Мерой искробезопасности работ с цистернами для перевозки ЛВЖ может служить критерий (34), который зависит от интенсивности искрообразования.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ позволяет считать, что следует уделять большее значение вопросам искрообразующей способности материалов, так как ввиду целого ряда нарушений правил безопасности технологических процессов возникновение искры может привести к аварийным ситуациям.

Актуальность рассматриваемого вопроса возрастает тем более, если принять во внимание статистику эксплуатации вагонного грузового парка, находящегося в обращении на российских железных дорогах. На сегодняшний день десятки тысяч нефтебензиновых цистерн находятся в эксплуатации с продленным и дважды продленным сроком. Риск возникновения чрезвычайной ситуации, связанной с воспламенением газопаровоздушной смеси во время наливаслива нефтепродуктов для таких цистерн чрезвычайно велик.

Помимо существующих организационных мероприятий по недопущению опасной ситуации следует обратить особое внимание на необходимость применения дополнительных технических мер по предупреждению возникновения взрывоопасной зоны во время технологических операций с нефтебензиновыми цистернами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей.– Л.: Химия, 1982.– 263 с.

2. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов: Справочное пособие / Под общ. ред. В. Н. Филиппова.– М.: Изд-во стандартов, 1993.– 126 с.

3. Пономарёв В. М., Навценя В. Ю., Стручалин В. Г. Анализ взрывоопасных зон при заполнении цистерн нефтегрузами // Мир транспорта – 2014.– № 3.– С. 184–190.

4. Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы.– М., 1999.– 600 с.

5. Бондарь В. А., Веревкин В. Н., Гескин А. И., Кравченко В. С., Погорельский А. Е. Взрывобезопасность электрических разрядов фрикционных искр.– М.: Недра, 1976.– 304 с.

6. «Исследование зажигательной способности фрикционных искр». Наука современности-2015: Сборник материалов международной научной конференции. Россия, г. Москва 29–30 января 2015 г. / Под ред. проф. П. М. Саламахина, А. Н. Квитко, Н. А. Алексеевой, М. Т. Луценко, В. Е. Шинкевича.– Киров: МЦНИП, 2015.– С. 157–164.

7. Влияние длительной эксплуатации и деформационного старения конструкционной стали 09Г2С на сопротивление разрушению и искрообразующую способность / В. Ю. Навценя, В. Г. Стручалин, Н. О. Ливанова, Г. А. Филиппов // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения.– 2015.– № 1.– С. 87–92.

8. Горшков В. И., Корольченко И. А. Исследование процессов самовозгорания // Пожарная безопасность.– 2008.– № 1.– С. 68–77.

9. Добрего К. В., Жданок С. А. Физика фильтрационного горения газов.– Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова, 2002.– 203 с.

10. Ботвенко Д. В. Разработка методики оценки классификации фрикционной опасности горных пород / Автореф. дис... канд. техн. наук.– Кемерово, 2004.– 23 с.

11. Князева А. Г., Чумаков Ю. А. Двухтемпературная модель горения газа в модельном горелочном устройстве цилиндрической формы // Известия Томского политехнического университета.– 2007.– № 4.– С. 24–30.

12. Голинько В. И., Яворский А. В., Лебедев Я. Я., Яворская Е. А. Оценка влияния фрикционного искрообразования на воспламенение метановоздушной смеси при разрушении газонасыщенного массива // Науковий вісник НГУ.– 2013.– № 6.– С. 31–37.

Координаты автора: **Стручалин В. Г.** – cosmo98@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 30.09.2015, актуализирована 08.12.2015, принята к публикации 24.01.2016.

PROBLEMS OF FRICTIONAL IGNITION IN TRANSPORT VEHICLES

Struchalin, Vladimir G., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article examines the problem of ignition ability of friction sparks when servicing rolling stock. It indicates the possibility of accidents associated with inflammation of gas-steam-air mixture. The mathematical analysis of sparking intensity was performed using basic equations. It is established that as a measure of intrinsic safety can serve a criterion that depends on intensity of sparking.

Keywords: transport, transportation of dangerous goods, flammable liquids, ignition source, friction sparks, sparking, intrinsic safety measure.

Background. *The growth of oil and oil products production, increasing their share in the fuel balance of the country, rapid development of the chemical industry, including the production of liquid products, have caused a significant increase in transportation of bulk cargoes. On transport hundreds of incidents involving dangerous goods occur annually: leakage of oil products, chemical, toxic and other hazardous substances posing a threat to human safety and the environment.*

Among emergency situations a special place is occupied by fires and explosions associated with transportation of flammable liquids. In recent years, 70% of fires occur in the transport sector on the rolling stock.

During loading and unloading of oil cargo at railway stations potentially dangerous situations emerge related to fumes of flammable liquids into the environment [1]. This is because the manhole of the tank, delivered to the pier for loading of light oil products in an open way, is in such a state for a long time [2], which leads to rapid formation of potentially explosive areas.

In order to avoid the scenario of an emergency [3] we have carried out research aimed at eliminating a source of ignition.

Objective. *The objective of the author is to consider frictional ignition in transport and problems accompanying this process.*

Methods. *The author uses general scientific and engineering methods, mathematical calculation, evaluation approach, analysis.*

Results. *One common source of ignition of flammable steam-gas mixtures are friction particles [4], which arise by friction or collision of working bodies of technological machines, mechanisms, as well as in the performance of technological and repair operations by service personnel.*

Friction sparks are sparks of impact and friction which are incandescent metal particle of about 100 microns in size [4], the temperature of which is between metal melting temperature.

Friction particles formed as a result of relative movement of two contacting surfaces depending on degree of dispersion, initial temperature, presence of an oxidant, and other factors may be heated to a visible glow temperature [5]. Friction metal sparks in certain circumstances are heated to a temperature at which particles ignite [6].

For some substances, the mechanism of particles heating to a temperature at which heat transfer to the combustible gas mixture becomes sufficient for ignition, is connected with catalytic properties of the particle surface. After warming up the critical volume of the mixture to the ignition temperature, the flame spreads throughout its volume, but it is a source of total risk.

As a result of long-term operation of bulk cars on the surface of metals and inside them cracks appear. The tanks are strengthened, repaired, however, despite this, strain aging processes occur, which inevitably leads to embrittlement of metal and increased sparking [7].

Ignition of the gas-air mixture is possible if the amount of heat given to the surrounding space by one or more sparks, satisfies the conditions of ignition of combustible mixture [8, 9]. The mechanism of ignition of flammable mixtures by frictional sparking remains understudied.

It is known that intensity and ignition ability of friction sparks depend on friction regime and collision of two bodies, physical and mechanical, chemical and physical properties of contacting surfaces, and other factors. However, not all friction sparks can ignite gas-air mixture.

The degree of dispersion of friction particles flying in space with a gas-air mixture, the number and power parameters are determined by load application speed and its value, as well as the physical and mechanical properties of materials of interacting bodies and surface coatings.

Intrinsic safety measure of work with tanks for transportation of flammable liquids may be some criterion that depends on intensity of sparking. This intensity for various materials is associated with the probability, which is determined experimentally. A similar problem of spark ignition of gas-air mixture is considered, for example, by D. V. Botvenko [9].

During simulation we used an analytical method of research using the following basic equations [8–12].

1. Newton-Richman law for convective heat transfer:

$$q = \alpha \Delta T. \qquad (1)$$

Here, the density of the heat flow to the environment from the surface of a moving heated friction particle is proportional to the surface temperature difference of the friction particle and its surrounding gas environment (temperature drop).

The proportionality coefficient α is a coefficient of heat transfer, heat flow density at a temperature difference of 1 K, i.e. the amount of heat given off from the unit surface area per unit of time at a single temperature difference. The heat transfer coefficient depends on the type and temperature of a heating agent; temperature drop, type of convection and the flow regime (laminar or turbulent); surface condition and direction of flow; body geometry.

Equivalent record of Newton-Richman law (1) in the differential form:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial}{\partial S}Q = \alpha \Delta T. \qquad (2)$$

We can derive an integral formula from the differential (2). The amount of heat given through the

area at the interface of body area S for the time t, is proportional to the temperature difference between these bodies (assuming that it remains constant during this time):

$Q = \alpha t S \Delta T.$ (3)

2. Fourier law of heat dissipation intensity by heated bodies in the environment (thermal conductivity law): in steady-state energy flux density transmitted by thermal conductivity is proportional to the temperature gradient:

$$\vec{q} = -\kappa \cdot grad(T). \quad (4)$$

where $\vec{q}$ is a heat flow density vector (the amount of energy passing in unit time through unit area perpendicular to each axis);

κ is a thermal conductivity coefficient;

T is temperature.

Minus on the right shows that the heat flow is directed opposite to the temperature gradient vector (i.e., in the direction of the fastest temperature decrease).

In the integrated form the same expression takes a different view (if we talk about a steady heat flow from one edge of the parallelepiped to the other):

$$P = -\kappa \frac{S\Delta T}{l}, \quad (5)$$

where P is total power of heat losses;

S is area of the parallelepiped section;

ΔT is temperature difference of edges;

L is length, i.e. the distance between the edges of the conditional parallelepiped.

Fourier law does not take into account the inertia of the thermal conductivity process, that is, in this model temperature change at some point instantly spreads all over the body. It is not applicable to describe high-frequency processes (and, accordingly, processes which Fourier expansion has significant high-frequency harmonics). The inertia in the transfer equation (first introduced by Maxwell) is taken into account by the introduction of the relaxation term (proposed in 1948 by Cattaneo):

$$\tau \frac{\partial \vec{q}}{\partial t} = -(\vec{q} + \kappa \nabla T). \quad (6)$$

If relaxation time τ is negligible, then this equation becomes Fourier law (4).

Note that Newton-Richman law (2) is a type of boundary conditions (conditions of the third kind), which are placed in heat transfer problems. In this case, considering Fourier law it can be written as:

$$\frac{\partial T}{\partial n} = k(T_{out} - T_{in}). \quad (7)$$

And again: this law describes the situation only on the boundary of the body, inside the temperature is determined by its thermal conductivity. Heat flow inside the body is determined by Fourier law (4) that allows to find the distribution, solving thermal conductivity equation.

If internal thermal conductivity is much greater than the heat transfer coefficient (small Biot number), then inside the almost uniform temperature is set (if on the entire surface it is also the same), and then body cooling equation can be written as:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k(T_{out} - T). \quad (8)$$

Here coefficient

$k = \frac{\alpha S}{C}$, where C is heat capacity of the body.

From this equation it is easy to get that temperature of the body in such a situation would approximate the exponent to ambient temperature T_{out}:

$T(t) = T_{out} + e^{-kt}(T_0 - T_{out})$. (9)

3. Criterial equation describing the process of dissipation of accumulated heat in the forced convection;

$Nu = 2 + 0{,}03\, Pr^{0,33} Re^{0,54} + 0{,}35\, Pr^{0,36} Re^{0,58}$, (10)

where Nu is Nusselt thermal criterion;

Pr is Prandtl thermal criterion;

Re is Reynolds criterion.

Criterion Re characterizes the motion of heated friction particle in gas-air medium and is given by:

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon_f d_{eq}}{\nu_{gam}}, \quad (11)$$

where υ_f is speed of a heated friction particle relative to gas-air medium (m/s);

d_{eq} is characteristic size (equivalent diameter of a particle) (m);

ν_{gam} is kinematic viscosity of a gas-air mixture (m^2/s).

Speed of motion of a heated friction particle depends on the initial pulse obtained by a particle upon contact of two bodies.

Prandtl thermal criterion characterizes the ability of heat to spread in the environment and is determined by the formula:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu_{gam}}{\chi}, \quad (12)$$

where χ is thermal conductivity coefficient:

$$\chi = \frac{\lambda}{\rho c_p}, \quad (13)$$

where λ is thermal conductivity;

ρ is density;

c_p is specific thermal capacity of a gas-air mixture.

4. Thermal conductivity equation with two sources (as a result of cracking of the surface layer and the work of friction forces) with appropriate boundary and initial conditions – to determine the temperature of friction sparks.

Preliminary for analysis of the energy to ignite a spark we estimate [10] possible heating temperature of friction particles. In this case, we assume that in case of impact the interaction of two bodies occurs, both in friction of a body, moving on the surface of another body with some known speed V_0 under the action of the pressure force F.

The friction force $F_{fr} = kF$, where k is friction coefficient.

If under the action of friction particle travels over the distance S, the work done by the friction force A (per time unit, i.e. power) will be:

$$A = \frac{1}{2} F_{fr} S = \frac{1}{2} k F V_0. \quad (14)$$

An important feature of the friction process is a discrete stochastic nature of frictional interaction in the contact zone between the contacting surfaces. This is due to the presence of the original micro-relief of surfaces in contact. During the initial contact the size of patches of actual contact patch (ACP) will be conditioned by the initial relief of rubbing surfaces. Depending on the applied load F and physico-mechanical characteristics of the contacting materials ACP varies in a wide range from fractions of a percent to tens of percent of the total (nominal) area and can be defined by the formula:

$S = F/\gamma^*$, (15)

where γ^* is maximum stress limit.

The thin surface layer undergoes a noticeable and significant deformation and structural changes. In the plastic materials deformation varies from 10–15% up to 500–1000%. In brittle materials the surface layer will break. Thus, in friction input energy will be dissipated into heat only in contact patches. Therefore, the temperature calculation can be made for the contact area only.

If the value of the normal force F can be replaced by the value of material strength, meaning that the energy density is calculated at the contact patch, it is possible to get:

$A = N = k V_0 \gamma$ *. (16)

and one external parameter remains – speed V_0.

If we assume that the thickness of the active layer, in which deformation processes are developed as a result of friction, is significantly smaller than the size in longitudinal and transverse directions, the thermal conductivity problem can be considered as one-dimensional.

Based on the fact that two heat sources are considered, we write the thermal conductivity equation with two sources, namely:

1) w – as a result of cracking of the surface layer,

2) q – as a result of frictional forces,

and with the relevant boundary and initial conditions:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{w}{c\rho}, \quad 0 < x < \alpha, \; t > 0; \tag{17}$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q, \; T_{t=0} = 0; \tag{18}$$

$$\kappa a = \frac{\lambda}{c\rho}. \tag{19}$$

Heat source w should operate only in a thin layer (from 10 to 100 microns). We represent it in the form of:

$$\frac{w}{c\rho} = Ae^{-\alpha x}. \tag{20}$$

The calculations [10] found that at the dynamic contact speed in the range of 1 to 10 m/s theoretically established contact patch temperature reaches the melting point during 10^{-4}–10^{-6} seconds at a deformation thickness, reaching 500–1000%.

High thermal conductivity contributes to rapid removal of heat from the contacting surfaces and reduction of intensity of the contact temperature rise. If a solid alloy has a low thermal conductivity, the released heat is accumulated on the contact surfaces, resulting in rapid growth in contact temperature.

Friction sparking is associated with the conversion of a part of kinetic energy of mechanical interaction in warmth followed by exothermic oxidation and heating of particles. With increasing particle speed the contact temperature grows.

To determine the ignition ability of friction sparks and to assess their hazard in the analyzed combustible medium, we consider [12] thermal processes occurring during the motion of a single heated particle in gas-air medium.

The density of the heat flow q_f from the surface of a moving heated friction particle into the environment, according to Newton-Richman law (1) is proportional to the temperature difference between the surface of the friction particles t_f and the surrounding gas-air medium t_{gam}, i.e:

$q_f = \alpha(t_f - t_{gam})$, (21)

where α is heat transfer coefficient (W/(m²·°C));

t_f is surface temperature of a friction particle (°C);

t_{gam} is a temperature of surrounding gas-air medium (°C).

Equation (21) allows to determine the quantity of heat q_f which per unit of time is removed from the surface to the environment.

As follows from Fourier's law (4) from the surface of the particle friction the flow is removed

$$q_f = -\lambda_{gam} grad(t_f) = -\lambda_{gam} \frac{\partial t_f}{\partial n}, \tag{22}$$

where n is a normal to the isothermal surface.

From (21) and (22) it follows:

$$\alpha(t_f - t_{gam}) = -\lambda_{gam} \frac{\partial t_f}{\partial n}, \tag{23}$$

or $$\frac{\partial t_f}{\partial n} = -\frac{\alpha}{\lambda_{cвc}}(t_f - t_{gam}). \tag{24}$$

Expression (24) is a mathematical description of the boundary conditions of the third kind.

To determine the heat losses Q of a moving friction particle over time τ_f, on the basis of (21), we obtain the expression:

$Q = \alpha(t_{fi} - t_{gam})S\tau_f$, (25)

where t_{fi} is initial temperature of surface of a friction particle;

S is a surface area of a heated particle.

The process of removal of the accumulated heat by a moving friction particle in the gas-air medium with forced convection is characterized by a criterial equation (10).

Speed of a heated friction particle υ_f depends on the initial pulse obtained by a particle upon contact of two bodies.

The value of heat transfer coefficient α, related to the surface of the heated friction particle can be determined on the basis of the dimensionless Nusselt criterion (10):

$$Nu = \frac{\alpha d_{eq}}{\lambda_{gam}}. \tag{26}$$

From (26) the heat transfer coefficient is:

$$\alpha = \frac{Nu\lambda_{gam}}{d_{eq}}. \tag{27}$$

Let's estimate the heat energy accumulated by a moving friction particle through the particle mass M and its specific heat capacity c_f:

$E = Mc_f t_f$. (28)

At the same time the mass of the particle is represented as:

$$M = \rho_f V = \rho_f \cdot \frac{\pi d_{eq}^3}{6}. \tag{29}$$

In the expression (29): V is volume of the friction particle, ρ_f is its density.

Let's substitute (29) into (30):

$$E = \frac{\pi d_{eq}^3}{6} \cdot \rho_f c_f t_f. \tag{30}$$

Conditions of ignition of a gas-air mixture by a cloud of sparks is:

$Q \geq Q_{ign}$. (31)

To assess the intrinsic safety of works we set the criterion K:

$$K = \frac{Q_{f\Sigma}}{Q_{ign}}. \tag{32}$$

At K = 1 a gas-air mixture is in critical condition in relation to friction ignition, at K > 1 – in dangerous, and at K < 1 – in safe.

As a measure of intrinsic safety of work with tanks for transportation of flammable liquids may serve a criterion (34), which depends on intensity of sparking.

Conclusions. *The analysis suggests that more importance should be given to spark-producing ability of materials, because due to a number of breaches of processes safety the occurrence of sparks can lead to a crash.*

The urgency of the issue increases even more if we take into account the statistics of operation of freight fleet in circulation on the Russian railways. To date, tens of thousands of oil and gasoline tanks are in service with extended and double extended period of operation. The risk of an emergency related to inflammation of gas-steam-air mixtures during loading-unloading of oil products for such tanks is extremely high.

Apart from the existing arrangements to prevent a dangerous situation, it is necessary to pay particular attention to the need for additional technical measures to prevent the occurrence of potentially explosive area during technological operations with oil and petrol tanks.

REFERENCES

1. Reid, R. C., Prausnitz, J., Sherwood T. K. The Properties of Gases and Liquids: Their Estimation and Correlation. Leningrad, Himia publ.,1982, 263 p.

2. Specialized tanks for transportation of dangerous goods. Handbook [*Specializirovannye cisterny dlja perevozki opasnyh gruzov. Spravochnoe posobie*]. Ed.by V. N. Filippov. Moscow, Izd-vo standartov, 1993, 126 p.

3. Struchalin, V. G., Ponomarev, V. M., Navtsenya, V. Yu. Analysis of explosion hazardous areas while filling tank-wagons with oil cargoes. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 3, pp. 184–190.

4. Taubkin, S. I. Fire and explosion, features of their expertise [*Pozhar i vzryv, osobennosti ih ekspertizy*]. Moscow, 1999, 600 p.

5. Bondar, V. A., Verevkin, V. N., Geskin, A. I., Kravchenko, V.S., Pogorelsky, A. E. Explosion protection of electrical discharges of friction sparks [*Vzryvobezopasnost' elektricheskih razrjadov frikcionnyh iskr*]. Moscow, Nedra publ., 1976, 304 p.

6. Research of ignition ability of friction sparks [*Issledovanie zazhigatel'noj sposobnosti frikcionnyh iskr*]. Modern science – 2015: proceedings of international scientific conference. Russia, Moscow, 29–30 January 2015 / Ed. by prof. P. M. Salamakhin, A. N. Kvitko, N. A. Alekseeva, M. T. Lutsenko, V. E. Shinkevich. Kirov, MTSNIP publ., 2015, pp. 157–164.

7. Navtsenya, V. Yu., Struchalin, V. G., Livanova, N. O., Filippov, G. A. Influence of long-term operation and strain aging of 09G2S structural steel to destruction resistance and sparking ability [*Vlijanie dlitel'noj jekspluatacii i deformacionnogo starenija konstrukcionnoj stali 09G2S na soprotivlenie razrusheniju i iskroobrazujushhuju sposobnost*]. *Problemy chjornoj metallurgii i materialovedenija*, 2015, Iss. 1, pp. 87–92.

8. Gorshkov, V. I., Korolchenko, I. A. Investigation of spontaneous combustion processes [*Issledovanie processov samovozgoranija*]. *Pozharnaja bezopasnost'*, 2008, Iss.1, pp. 68–77.

9. Dobrego, K. V., Zhdanok, S. A. Physics of filtration combustion of gases [*Fizika fil'tracionnogo gorenija gazov*]. Minsk Institute of Heat and Mass Transfer n.a. A. V. Lykov, 2002, 203 p.

10. Botvenko, D. V. Development of methodology for assessing the classification of frictional danger of rocks [*Razrabotka metodiki ocenki klassifikacii frikcionnoj opasnosti gornyh porod*]. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis, Kemerovo, 2004, 23 p.

11. Knyazeva, A. G., Chumakov, Yu. A. Two-temperature model of gas combustion in model burner device of cylindrical form [*Dvuhtemperaturnaja model' gorenija gaza v model'nom gorelochnom ustrojstve cilindricheskoj formy*]. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2007, Iss. 4, pp. 24–30.

12. Golinko, V. I., Yavorsky, A. V., Lebedev, Ya. Ya., Yavorskaya, E. A. Assessing the impact of frictional sparking on ignition of methane-air mixture in destruction of a gas-saturated array [*Ocenka vlijanija frikcionnogo iskroobrazovanija na vosplamenenie metanovozdushnoj smesi pri razrushenii gazonasyshhennogo massiva*]. *Naukovij visnik NGU*, 2013, Iss. 6, pp. 31–37.

Information about the author:
Struchalin, Vladimir G. – senior lecturer at the department of Safety management in technosphere of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, cosmo98@mail.ru

Article received 30.09.2015, revised 08.12.2015, accepted 24.01.2016.

УДК 656.612.001.25

Комплексный подход к безопасности морских контейнерных перевозок

Руслан ЦАРИК

Ruslan S. Tsarik

Царик Руслан Станиславович *– младший научный сотрудник центра научных и образовательных проектов НИИ морского транспорта Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток, Россия.*

Comprehensive Approach to Safety of Maritime Container Transportation
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 224)

Весь комплекс фактора риска и проблем обеспечения безопасности в условиях морских контейнерных перевозок сопровождает в статье научный анализ, цель которого найти наиболее рациональные организационные и технические решения. Эта задача выполняется в конструктивном ключе, последовательно и предметно, с использованием тех алгоритмов расчета и методологических средств, которые обещают надежный контроль за безопасностью контейнеров на терминале и судне, в процессе перемещения грузов по всей логистической цепочке.

Ключевые слова: морской транспорт, контейнер, перевозки, опасный груз, риски, система данных, контроль безопасности.

Морские контейнерные перевозки признаны одним из самых прогрессивных видов транспортировки грузов. Будучи тесно связанными с экономическими, административными и хозяйственными ресурсами государств, они стали своеобразным макроэкономическим индикатором, отражающим в том числе и последствия международных кризисов. Очевидный плюс этой отрасли, заключающийся в возможности перевозить едва ли не всю номенклатуру грузов в универсальных и специализированных контейнерах, таит в себе весьма значительную угрозу безопасности в современных реалиях.

За минувшие 60 лет контейнеровместимость судов увеличилась с 400 до примерно 19500 контейнеров в условных ДФЭ, то есть почти в 50 раз. Крупнейшие нынешние контейнеровозы стоят более 150 миллионов, а перевозимые на них грузы одномоментно могут стоить несколько миллиардов долларов США. Комбинация большого спектра опасных грузов, которые способны одновременно оказаться на судне, делают его в прямом смысле слова «бомбой замедленного действия» как в финансовом, так и в физическом смысле.

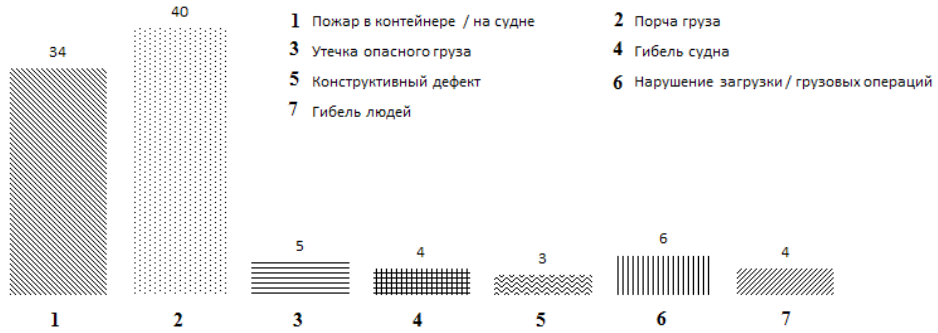


Рис. 1. Анализ типичных аварий с судами контейнеровозами за период с 1997 по 2015 г., по данным открытых источников в Интернете.

Рис. 2. Гибель контейнеровоза MOL Comfort в Аравийском море.

Взорвется эта бомба или нет, зависит от тех усилий, которые международные и национальные институты приложат для обеспечения безопасности морских контейнерных перевозок.

ЕСТЬ ЧЕГО БОЯТЬСЯ

К условиям морских контейнерных перевозок применимы все общие риски, свойственные судоходной отрасли. К ним относятся навигационные риски: столкновение, посадка на мель; эксплуатационные риски: пожар, выход из строя оборудования и механизмов; внешние риски: воздействие гидрометеорологических факторов, акты внешней агрессии.

В то же время специфике перевозки контейнеров присущи и свои уникальные риски, обусловленные особенностями грузов, технологией транспортировки и проведения погрузочно-разгрузочных работ:

– риски ущерба в случае нарушения технологии перевозки опасных грузов – загрязнение окружающей среды, включая радиационное и инфекционное, взрыв, пожар, конструктивные разрушения, травматизм людей, порча груза;

– риски ущерба в случае нарушения перевозки рефрижераторных грузов – порча дорогостоящего груза, поломка холододержащего контейнера;

– риски ущерба в случае ненадлежащего с точки зрения весовых нагрузок на корпус судна размещения контейнеров на борту, потери остойчивости, нарушения в управлении судном, повреждения его корпуса, гибели судна.

Для профессиональной оценки рисков нужны анализ случившихся аварий и выработка технических и организационных решений, направленных на минимизацию вероятности подобных аварий в будущем. В таблице 1 приведен обзор типичных аварий контейнеровозов, на рис. 1 – систематизированы виды аварий.

CINS: ПРИЧИНЫ ИНЦИДЕНТОВ

В отрасли морских контейнерных перевозок для оценки инцидентов, произошедших с судами-контейнеровозами и их грузами, пять лет назад внедрена инфор-

Таблица 1

Краткая характеристика типичных аварий с судами-контейнеровозами с 1997 по 2015 год

Судно (ДФЭ)	Год	Характер аварии
Contship France (1599)	1997	Возгорание контейнеров с гипохлоритом кальция из-за укладки поверх нагретых топливных танков. Считалось, что максимальная допустимая температура нагрева груза 55°С, а возгорание произошло при 47 °С.
MSC Carla	1997	Судно претерпело конструктивное переоборудование – удлинение корпуса на 14 м. Попало в жесткий шторм и разломилось по сварному шву в месте вставки дополнительной секции. Незадолго до этого судно прошло расширенное освидетельствование классификационным обществом по достижению 25-летнего возраста.
Tiger Wave (1510)	1997	Возгорание контейнеров с гипохлоритом кальция.
Sea Land Mariner (2816)	1998	В результате сварочных работ произошел взрыв и возгорание паров незадекларированного опасного груза в трюме. Погибли два человека. Большой ущерб грузу и судну. Утечка груза.
DG Harmony	1998	Возгорание 10 контейнеров с гипохлоритом кальция. Перевозка осуществлялась в соответствии с кодексом ММОГ, но требования кодекса оказались недостаточными. Полная потеря груза и судна.
Aconcagua	1998	Возгорание контейнеров с гипохлоритом кальция.
Maersk Mombasa	1998	Возгорание контейнеров с гипохлоритом кальция.
Sea Express	1998	Возгорание контейнеров с гипохлоритом кальция.
CMA Djakarta (2048)	1999	Возгорание контейнеров с гипохлоритом кальция.
Kitano (3618)	2001	Возгорание контейнера с активированным углем и каустической содой.
Hanjin Pennsylvania (4369)	2002	Взрыв контейнеров с фейерверками. Погибли люди. Большой ущерб судну и грузу.
Punjab Senator (4545)	2005	Взрыв контейнера с аккумуляторными батареями. Контейнер был размещен рядом с нагретым топливным танком (70–80°С). Серьезный ущерб грузу и судну.
Hyundai Fortune (2181)	2006	Взрыв контейнеров с опасным грузом (фейерверки). Ущерб грузу и судну. Падение контейнеров за борт.
MSC Napoli (4734)	2007	Разрушение корпуса в шторм. Полная потеря судна и большой части груза.
Maike D (660)	2008	Из-за недостаточного контроля за грузовыми операциями краном был поднят контейнер, скрепленный с танк-контейнером, в котором находился пероксид водорода. В результате танк-контейнер упал и получил повреждения. Произошла утечка опасного груза.
MOL Prosperity (6350)	2009	Возгорание контейнеров с опасными грузами в трюме.
Husky Racer (942)	2009	Во время грузовых операций в порту произошло сваливание 26 контейнеров, при этом 18 упали за борт. Причиной инцидента стала неверная информация о весе контейнеров, представленная в грузовом плане.
Charlotte Maersk (7226)	2010	Возгорание контейнера с перекисью метилэтилкетона. Пострадало 160 контейнеров. Судно получило незначительные повреждения.
MSC Flaminia (6732)	2012	Возгорание и взрыв контейнеров с недостоверно задекларированными опасными грузами. Три человека погибли. Большой ущерб грузу и судну.
Maersk Kinloss (6188)	2012	Утечка груза. Произошел химический взрыв в контейнере с фосфидом алюминия. При загрузке контейнера была нарушена технология. В результате допущен контакт груза с окружающим воздухом и влагой. Это спровоцировало химическую реакцию и химический взрыв.
Amsterdam Bridge (4380)	2012	Возгорание контейнеров с опасным грузом. Большой ущерб грузу и судну.
Eline Enterprise (364)	2012	Утечка этиленового газа из четырех контейнеров.
Hansa Brandenburg (1740)	2013	Возгорание контейнеров с опасным грузом. Большой ущерб грузу и судну.
Eugen Maersk (15500)	2013	Возгорание контейнеров. По документам в них был генеральный груз.
MOL Comfort (8110)	2013	Крушение, пожар и полная гибель судна при следовании в штормовых условиях из-за превышения нагрузок на корпус вследствие нарушения правил загрузки.
Maersk Kampala (6978)	2013	Возгорание контейнеров. Ущерб грузу и судну.
Maersk Dellys (5089)	2013	Утечка опасного груза из контейнера по причине его повреждения.
Leda Trader (2442)	2014	Возгорание контейнера с автомобилем. Ущерб грузу.
Svendborg Maersk (8680)	2014	Потеря 520 контейнеров, включая с опасными грузами, во время следования в штормовых условиях. Загрязнение окружающей среды. Опасность для судоходства.
Santa Rosa (1742)	2014	Возгорание контейнера с древесным углем. Ущерб грузу.
Patriarch (буксирный состав)	2014	Возгорание контейнеров на буксируемой контейнерной барже. Ущерб грузу.
Nothern Guard (4319)	2014	Взрыв контейнера в трюме. Гибель члена экипажа. Ущерб грузу. Дополнительные данные не разглашаются.
Hanjin Athens (5618)	2014	Возгорание (более 200) контейнеров в трюмах. Ущерб грузу.
COSCO Pride (13092)	2014	Возгорание контейнера. Ущерб грузу.
Maersk Londrina (8700)	2015	Взрыв контейнеров в трюме. Ущерб грузу. Дополнительные данные не разглашаются.
Hanjin Green Earth (13092)	2015	Возгорание (более 60) контейнеров. Ущерб грузу и судну. Дополнительные данные не разглашаются.
Pioneer Bay (505)	2015	Падение штабеля из 12 контейнеров на причал из-за нарушения технологии грузовых операций. Ущерб грузу, судну, портовым сооружениям.
Kamala (2011)	2015	Возгорание контейнеров предположительно с генеральными грузами. Ущерб грузу и судну.
Maersk Seoul (8400)	2015	Возгорание и взрыв контейнеров. Дополнительные данные не разглашаются.
Alula (13100)	2015	Возгорание контейнеров. Ущерб грузу и судну.
Mareno (1174)	2015	Возгорание контейнера с древесным углем. Ущерб грузу.
Cape Moreton (2742)	2015	Возгорание контейнеров с гидроксидом натрия в трюме судна. Ущерб грузу.

Приведенный перечень насчитывает 42 аварии. С уверенностью можно считать, что реальное их число значительно выше.

Таблица 2

Количественный анализ возможных причин аварий с контейнерами по данным CINS

Возможная причина аварии	Число аварий	Доля (%)
Плохая упаковка	240	40
Недостоверное декларирование	162	27
Неправильная упаковка	78	13
Нарушение обработки контейнеров	24	4
Неправильное размещение контейнеров на судне	12	2
Другие причины	78	13
Причина не определена	6	1

мационная система CINS (Cargo Incident Notification System). Её основателями стали пять крупнейших контейнерных перевозчиков: Maersk, MSC, CMA CGM, Evergreen и Hapag Lloyd. Пройдя стадию апробации, CINS начала полноценное функционирование в сентябре 2011 года. Сейчас участниками этой системы являются 19 компаний, из них 14 перевозчиков и пять крупных международных страховых компаний и транспортных институтов.

Общее число аварий, зарегистрированных с момента начала деятельности CINS по апрель 2013 года (18 месяцев), составило 600 эпизодов. Сравнив данные по авариям с контейнерами, имеющиеся в свободном доступе, с данными CINS для внутреннего пользования, легко убедиться, что имеет место целенаправленное сокрытие информации со стороны компаний-перевозчиков. Так, если сопоставить цифры по пожарам и взрывам, то в открытом доступе имеется информация о 18 случаях с 1997 года по апрель 2013-го (192 месяца), а только за 18 месяцев 2011–2013 годов CINS зафиксировала 48 аварий этого типа, то есть почти в 29 раз больше из расчета числа аварий в месяц.

В определенном смысле такое поведение компаний-перевозчиков вполне понятно. Ведь любая авария очень болезненно бьет по их репутации, вредит имиджу и подрывает авторитет на рынке контейнерных перевозок. Это приводит к снижению спроса на услуги компании и соответственно снижает прибыльность бизнеса.

Анализ данных CINS о возможных причинах аварий с контейнерами представлен в таблице 2.

Наиболее типичные сценарии аварий при перевозке контейнеров морем:

1. Погрузка незадекларированного опасного груза. Экипаж не смог должным образом проконтролировать его состояние во время перевозки. В результате – взрыв, пожар, разлив.

2. Нарушение правил разделения контейнеров с опасными грузами, по причине недостоверного декларирования. В результате – взрыв, пожар, разлив.

3. Неправильное указание температуры, которую необходимо поддерживать для сохранной перевозки груза, в документах на рефрижераторный контейнер. В результате произошла порча дорогостоящего груза.

4. Погрузка рефрижераторного контейнера таким образом, что морозильная установка заливалась морской водой во время следования судна в штормовых условиях. Контейнер вышел из строя и груз испортился.

5. Использование рефрижераторного контейнера для перевозки дорогостоящей электроники в качестве обычного генерального контейнера. Экипаж, считая его действующим рефрижератором, подключил к сети питания. Перевозимые жидкокристаллические телевизоры замерзли и вышли из строя.

6. Погрузка рефрижераторного контейнера в недопустимое место на борту судна, к которому ограничен нормальный доступ. В результате экипаж не смог устранить возникшую неисправность контейнера в море, и находящийся в нем груз испортился.

7. Составление неприемлемого грузового плана портовым планером и ненадлежащий контроль за этим грузового помощника. Судно получило недопустимые нагрузки на корпус, главный двигатель работал в деформированном состоянии, и была повреждена одна из его втулок.

8. Недостоверное декларирование веса груза в контейнерах привело после загруз-

ки судна к нарушению требований о прочности корпуса. Судно в штормовых условиях получило повреждение корпуса и затонуло.

9. Использование контейнера ненадлежащего технического состояния для опасных грузов класса 8 (коррозионные жидкости). Жидкость просочилась наружу, повредила корпус судна и протекла за борт.

10. Несоблюдение технологии погрузочно-разгрузочных работ привело к тому, что не было замечено, что средства крепления контейнеров не разобщены. В результате контейнер получил повреждение, и произошла утечка опасного груза.

11. Незадекларированная загрузка контейнера с превышением допустимого веса спровоцировало при его перемещении опрокидывание вилочного погрузчика, оператор которого погиб.

12. Несоблюдение требований видимости с навигационного мостика из-за превышения высоты штабеля контейнеров на палубе. Итог – столкновение с рыболовным судном, которое попало в чрезмерную мертвую зону видимости.

13. Ненадлежащее крепление контейнеров на палубе. В результате судно, попав в шторм, потеряло часть груза и получило повреждения.

Кроме этого, следует отдельно отметить высокую вероятность возникновения аварийных ситуаций с контейнерами за счет навигационных и эксплуатационных ошибок. Если негативное влияние штормовой погоды, в общем смысле, одинаково для всех судов, то повреждение контейнеров с опасными грузами создает в такой момент дополнительную угрозу для безопасности судна, груза, экипажа и окружающей среды.

Аналогична и ситуация столкновения судов. В этих случаях, в дополнение к типичным повреждениям, могут возникать пожары с опасными грузами, их утечка, загрязнение окружающей среды и причинение вреда здоровью и жизни людей. Потеря контейнеров за борт создает очень серьезную опасность для навигации, особенно на оживленных судоходных артериях, поскольку они могут долго находиться на плаву в притопленном состоянии, когда их не найти ни визуально, ни с использованием РЛС.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОТРАСЛЕВАЯ БАЗА ДАННЫХ

Среди тех организационных и технических решений, которые могли бы помочь профилактике аварийности и нейтрализации причин происшествий с контейнерными грузами, есть по меньшей мере пять, заслуживающих особого внимания. И первое в их числе – создание международной отраслевой базы данных по авариям в морских контейнерных перевозках.

Предполагается, что доступ к ней сможет получить любой заинтересованный участник рынка морских контейнерных перевозок, прошедший определенную процедуру регистрации. Такая регистрация должна исключить возможность внесения в базу несанкционированных и недостоверных данных. База обязана иметь кодовую структуру с тем, чтобы каждая авария могла быть кодифицирована по ключевым параметрам. За счет внесения данных в систему она будет пополняться и охватывать все более широкий спектр случившихся и потенциально возможных аварий при перевозке контейнеров.

Заинтересованное сообщество может использовать международную отраслевую базу по принципу «учись на чужих ошибках». Зная об авариях, которые уже случились или могли бы случиться, имея возможность оценить и проанализировать сопряженные риски, компетентный участник рынка морских контейнерных перевозок избежит повторения подобных неприятностей в своей деятельности. Кроме того, достаточно полная база данных позволит расширить кругозор в вопросах прогнозирования потенциальных рисков посредством проведения аналогий с известными происшествиями.

На начальном этапе база данных может быть внедрена в пределах судоходной компании, вбирая в себя опыт собственных аварий при морской перевозке контейнеров и сторонних аварий, о которых стало известно. Удачный опыт внедрения и использования такой информации в рамках одной компании послужит веским доводом в пользу расширения системы до национального, регионального и международного уровня.

Существующая CINS является лучшим на сегодняшний день примером функцио-

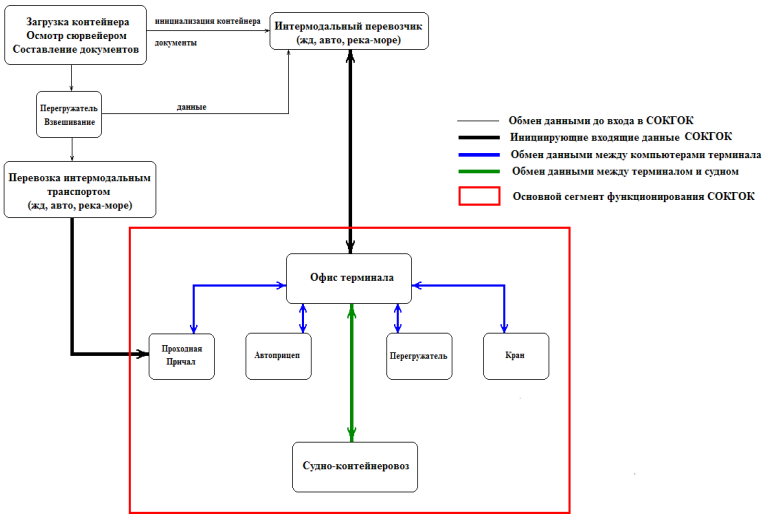


Рис. 3. Схема обмена данными в рамках СОКГОК.

нирования схожей по замыслу системы. Однако пока она носит исключительно добровольный характер и, несмотря на солидный список участников, далека от глобального охвата отрасли морских контейнерных перевозок.

Поскольку в авариях с контейнерами страдают все участники транспортного процесса и нередко окружающая среда, то целесообразно в подкрепление CINS иметь предлагаемую международную базу данных по авариям в морских контейнерных перевозках (МОБД АМКП) как инструмент обеспечения безопасности морского судоходства, регламентированный соответствующими международными конвенциями и международными морскими институтами. То есть получить по-настоящему статусную и признаваемую мировым транспортным сообществом организацию.

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

Контейнерные перевозки отличаются тем, что дают возможность четкого математического выражения процессов размещения и передвижения контейнера. У контейнера свой индивидуальный номер. В контейнерном терминале каждая грузовая ёмкость размещается на площадке, у которой свой адрес. На борту судна контейнер попадает в ячейку, которая опять же имеет свой адрес. Перегружатели и краны тоже располагают своими номерами. Это значительно облегчает оцифровывание и программирование всех операций с контейнерами.

Современные контейнерные терминалы, такие, например, как ECT в Роттердаме и CTA в Гамбурге, используют роботизированные средства для перемещения контейнеров. Это возможно именно потому, что роботу можно четко задать программу, по которой он совершит заданную операцию.

Основными компонентами подобной системы являются:

– компьютерные модули, установленные на каждом этапе транспортировки контейнера в пределах терминала и на борту судна и объединенные в единую коммуникационную сеть;

– технические средства для сканирования индивидуального номера контейнера с функцией оптического распознавания символов;

– технические средства для определения веса контейнера.

Принцип функционирования системы оперативного контроля грузовых операций контейнеровоза (СОКГОК) заключается в том, что когда контейнер поступает на территорию морского контейнерного терминала через проходную, находящееся там оборудование считывает индивидуальные данные контейнера и автоматически делает инициирующую запись в СОКГОК. Автоприцеп или другое транспортное средство получает направление на нужную контейнерную площадку, где контейнер должен быть выгружен. Тыловой контейнерный перегружатель с системой определения веса контейнера снимает его с автоприцепа

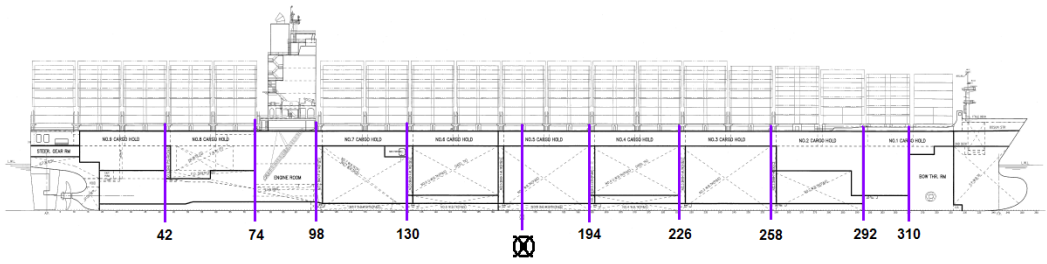


Рис. 4. Пример размещения датчиков по шпангоутам.

и устанавливает на заданную площадку. При этом вес контейнера фиксируется с точностью до 100–200 килограммов. Полученные значения снова вносятся в СОКГОК.

Терминальный планер, составляя грузовой план, учитывает данные о контейнере и его реальном весе. В соответствии с составленным грузовым планом определяется последовательность перемещений контейнера до погрузки на судно. Эта последовательность действий включает доставку контейнера на причальную зону под соответствующий контейнерный кран, который затем погрузит тару в соответствующую ячейку на борту судна.

Поднимая контейнер с причала, кран повторно определяет его вес и еще раз сканирует индивидуальный номер, что позволяет практически исключить ошибку в системе контроля. После погрузки контейнера в заданную ячейку происходит финальное обновление его статуса в СОКГОК с участием компьютера. Итоговая информация передается на грузовой компьютер контейнеровоза.

Схема взаимодействия и обмена данными в рамках СОКГОК приведена на рис. 3.

Информация, получаемая на судне от СОКГОК в режиме текущего времени, позволяет обновлять состояние загрузки корабля, его остойчивость, посадку и нагрузки на корпус. Кроме того, идет постоянное сличение реальной загрузки с грузовым планом, который был предоставлен судну терминальным планером. При отклонениях от плана грузовая программа на судне выдаст предупреждение. Эта функция будет очень полезна для грузового помощника, поскольку нередко случается, что загрузка судна меняется уже в процессе грузовых операций. Причем обновленный грузовой план передается на судно с некоторым запозданием.

Благодаря СОКГОК отклонения могут быть оперативно выявлены, а соответственно и корректирующие действия окажутся своевременными.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ КОРПУСА

Оперативный контроль деформаций корпуса контейнеровоза позволяет в режиме реального времени получать данные о фактической посадке судна и деформационных процессах.

Система датчиков, установленных по периметру корпуса судна в определенных точках, фиксирует текущие осадки судна, в совокупности определяет их профиль и характер деформаций.

Точки для установки датчиков выбираются исходя из особенностей конструкции судна. В основном это – в согласии с документом «Информация об остойчивости и прочности судна» – точки, для которых проектировщиками выполняется расчёт прочности. Как правило, им соответствуют шпангоуты, находящиеся на границе грузовых трюмов и мидель-шпангоуте.

Замеры датчиков в текущем режиме поступают на судовой компьютер, где выстраивается профиль осадок судна, с помощью которого методом сравнения получают отклонения от исходной теоретической плоскости судна, соответствующей плоскости ватерлинии при посадке судна на ровный киль для данного водоизмещения.

Могут применяться различные алгоритмы расчета. При этом отклонения обычно указываются в процентном соотношении, с максимальным значением в 100%, соответствующим максимально допустимому значению деформации на данном конт рольном шпангоуте или участке между шпангоутами.

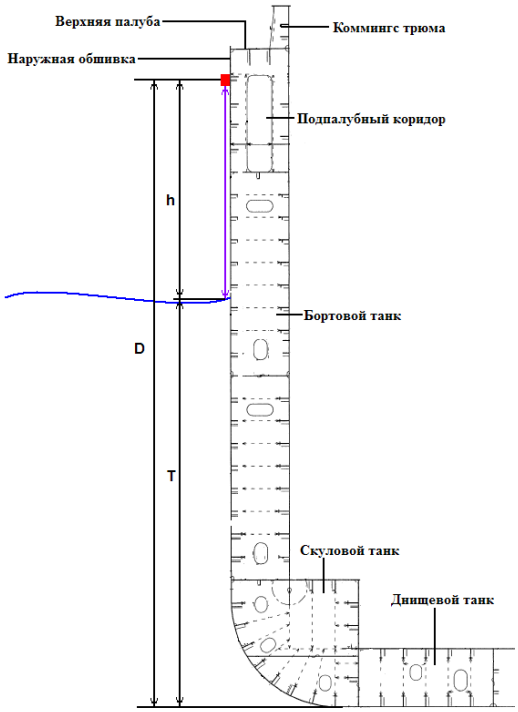


Рис. 5. Принципиальная схема работы датчика осадки (поперечное сечение судна).

Принцип определения осадок судна датчиками предполагает элементарный вычислительный алгоритм:

$$T = D - h, \qquad (1)$$

где T – рассчитываемая осадка, м;

D – высота борта судна от плоскости киля до места установки датчика, м;

h – расстояние, замеренное датчиком до уровня поверхности воды.

Датчик в соответствии с настройками выполняет осреднение произведенных замеров расстояния до уровня воды. Это особенно важно ввиду того, что поверхность воды находится в постоянном колебании, и мгновенно снятый замер вероятнее всего не будет соответствовать истинному положению уровня, в то время как осредненные данные на основе многократных замеров окажутся достаточно точными.

Вместе с тем следует отметить, что система действует во время стоянки судна под грузовыми операциями у причала. Состояние поверхности воды в порту более спокойное, чем в открытом море. Поэтому усреднение колебания уровня воды повышает корректность измерений.

МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Комплексная по своему характеру мультипараметрическая система мониторинга за безопасностью контейнеров представляет собой совокупность датчиков, позволяющих в реальном времени контролировать состояние контейнера и загруженного в него груза, а также канала связи и управляющего компьютера, принимающего и обрабатывающего поступающие сигналы.

Система контроля может включать:

– датчик температуры внутри контейнера;

– датчик влажности внутри контейнера;

– датчик-газоанализатор атмосферы внутри контейнера;

– датчик открытия дверей контейнера;

– датчик геолокации контейнера в системе глобального и локального судового или терминального позиционирования.

Все перечисленные датчики предлагается конструктивно объединить в один блок для размещения внутри контейнера.

В качестве прецедента здесь годятся рефрижераторные контейнеры, которые всегда подключаются к судовой сети электроснабжения для обеспечения

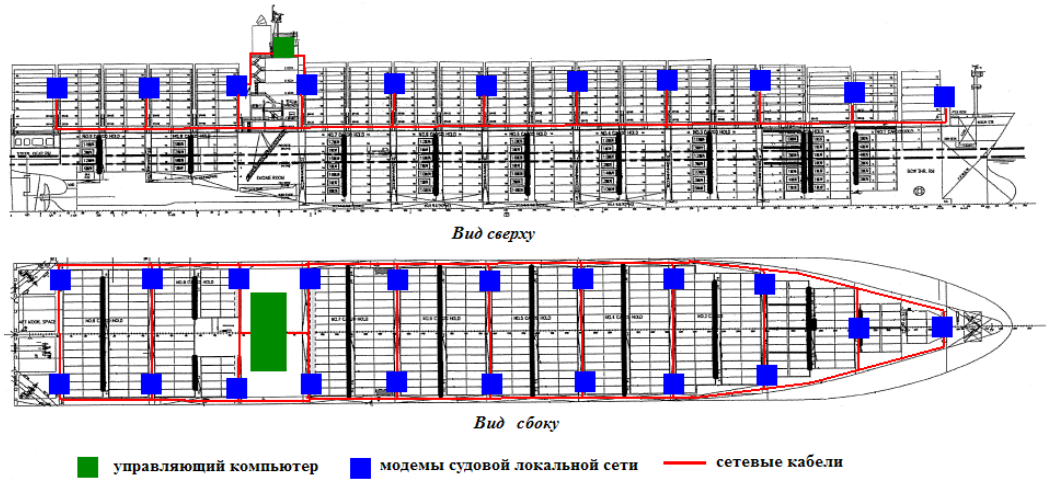


Рис. 6. Общая схема судовой локальной сети системы мониторинга контейнерной безопасности.

электропитанием морозильной установки. Вместе с тем через кабель данных, который объединён с питающим кабелем, контейнер подключается к системе мониторинга за рефрижераторными контейнерами, которая уже многие годы используется на судах.

Для контейнеров остальных типов целесообразным представляется использование комбинированного беспроводного и проводного способа передачи сигналов. В этом случае сигнал от датчиков контейнера через антенну поступает по беспроводному каналу на один из промежуточных локальных судовых маршрутизаторов, установленных на грузовой палубе, которые, в свою очередь, проводами соединены с судовой системой мониторинга, включая управляющий компьютер.

Вывод передающей антенны следует делать на одной из дверей контейнера, поскольку они представляют собой наиболее доступную и открытую его часть. При разработке конструктивного решения следует предусмотреть и антивандальную защиту.

Маршрутизатор локальной судовой сети рационально ставить в верхней части контейнерных крепежных мостиков.

Поскольку современные контейнеровозы высоко электрифицированы, нет сложности в прокладке сетевых кабелей по каналам, используемым, например, для прокладки электрических кабелей освещения палубы судна.

Получая мониторинговые данные, можно предотвратить в том числе такие инциденты:

– возгорание груза в контейнере;

– утечка груза;

– порча груза из-за изменения режима температуры и/или атмосферы внутри контейнера;

– несанкционированный доступ в контейнер;

– потерю контейнера в процессе перевозки.

Очевидным преимуществом мультипараметрической системы является и то, что она может быть внедрена и в портовом терминальном комплексе, и на других видах транспорта, включая железнодорожный и автомобильный.

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ОСТОЙЧИВОСТЬЮ КОНТЕЙНЕРОВОЗА

Система расчета и контроля остойчивости контейнеровоза с функцией поддержки принятия решений призвана оказывать помощь экипажу контейнеровоза в выборе вариантов, обеспечивающих необходимые параметры остойчивости, посадки и прочности корпуса судна.

Для расчета остойчивости все современные контейнеровозы используют специальное программное обеспечение, разработанное для данного типа судов.

Грузовая программа создана на основе гидростатических характеристик судна и использует те же данные, что представ-

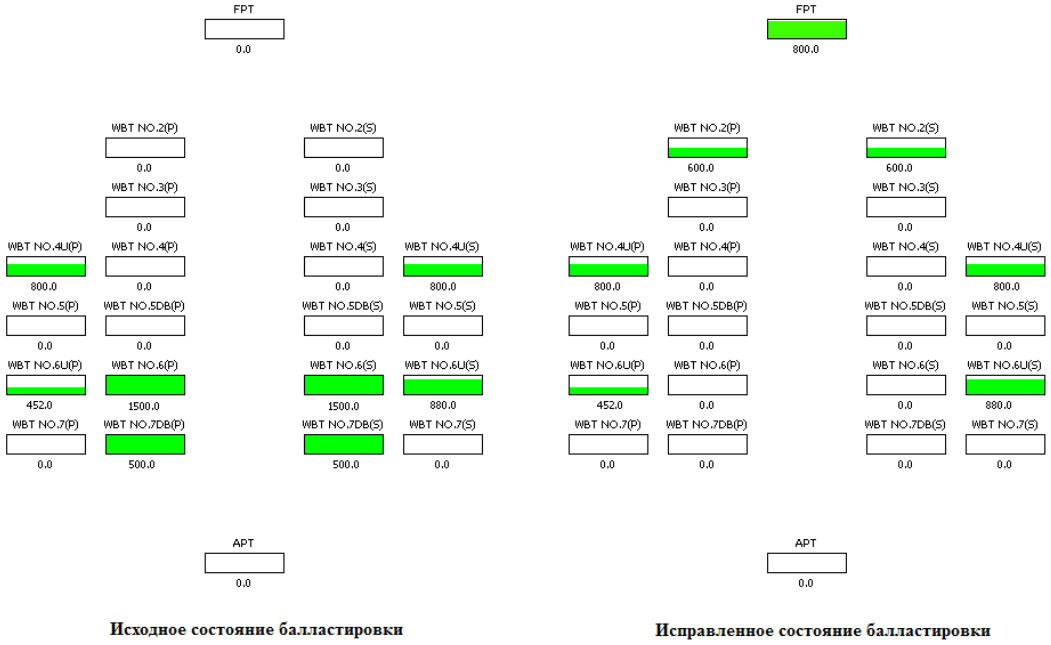


Рис. 7. Пример исправления балластировки судна для уменьшения осадки кормой за счет перекачки балласта в носовые танки и откачки излишков за борт.

лены в документе «Информация об остойчивости и прочности». Принцип работы с грузовой программой связан с обменом стандартизированными пакетами требований и представлен в описании СОКГОК.

Дополнительный программный модуль, анализируя состояние загрузки судна и выявленные недостатки, рассчитывает варианты приведения судна к параметрам, которые заданы оператором. То, что приходится делать члену экипажа для приведения судна к надлежащим параметрам при задании соответствующего алгоритма, может выполнять и программа.

В числе негативных факторов, на которые готова реагировать система:

1) несоответствие осадки судна заданным параметрам;

2) превышение допустимых деформаций корпуса;

3) превышение местной прочности корпуса;

4) недостаточная или чрезмерная остойчивость судна;

5) недостаточная видимость с навигационного мостика;

6) конфликт в размещении и разделении контейнеров с опасными грузами;

7) размещение рефрижераторных контейнеров в местах, не предназначенных для их перевозки.

Основными инструментами, которыми владеет экипаж для устранения негативных факторов загрузки, являются:

– балластировка;

– соответствующая распределение бункера;

– перемещение контейнеров на судне.

Очевидно, что балластировка и распределение бункера позволяют устранять негативные факторы 1–5. При этом распределение бункера гораздо менее эффективное средство и может использоваться далеко не во всех случаях.

Перемещение контейнеров на судне помогает устранять все негативные факторы. При этом масштабное перемещение груза не только нецелесообразно, но и малоприменимо, поскольку может нарушить суть запланированной транспортировки. Поэтому подобным способом можно реально устранить только негативные факторы 6 и 7.

Следует заметить, что количество контейнеров с опасными грузами и рефрижераторными установками обычно невелико относительно общего количества перевозимых контейнеров на судне и измеряется несколькими десятками или сотнями. И в большинстве случаев конфликты с их размещением легче устранить ручным способом, без использования автоматизированных средств. К тому же именно ручной

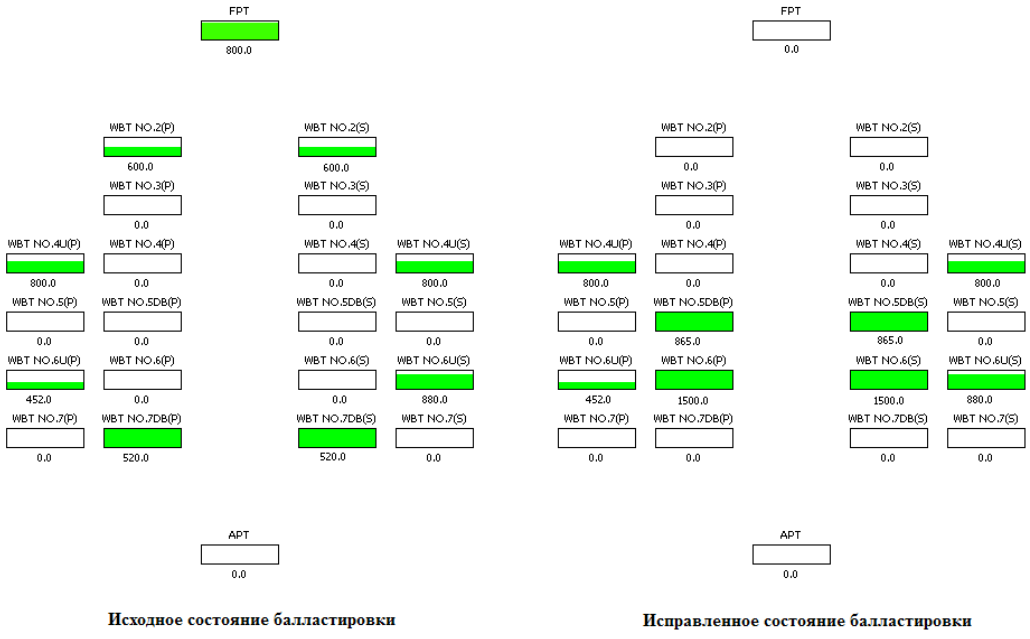


Рис. 8. Пример исправления балластировки судна для уменьшения перегиба судна за счет перекачки балласта из носовых и кормовых танков в танки, расположенные на миделе и вблизи него.

способ решения таких проблем остается наиболее предпочтительным, поскольку попытки ввести в программу сразу все доступные данные могут оказаться очень трудоемкими или даже невозможными.

Возможный алгоритм выработки решений по приведению судна к заданной посадке:

1. Определение разницы между заданной и фактической осадкой (нос, корма, мидель).

2. Изменение осадки с учетом того, что ее уменьшение/увеличение на одной оконечности судна не обязательно приводит к такому же увеличению/уменьшению осадки на другой оконечности.

3. Определение наиболее эффективных балластных танков для балластировки, имея в виду те из них, дифферентующий момент которых будет наиболее эффективным для данной задачи.

4. Расчет количества балласта, необходимого для приемки или откатки, по критерию минимизации неэффективных его объемов на борту судна.

5. Контрольный расчет осадок судна для новой схемы балластировки.

6. Сравнение с заданными условиями.

7. Корректировка балластной операции или ее окончание.

Примерный алгоритм выработки решений по уменьшению изгибающего момента судна (перегиба):

1. Оценка разницы между заданной и фактической осадкой (нос, корма, мидель).

2. Определение количества балласта, которое предстоит принять в танки на миделе или вблизи него или откатать из танков вблизи оконечностей судна.

3. Расчет количества балласта, необходимого для приемки или откатки, по критерию минимизации неэффективных его объемов на борту судна.

4. Контрольный расчет осадок судна для новой схемы балластировки.

5. Сравнение с заданными условиями.

6. Корректировка балластной операции или ее окончание.

Приведенные упрощенные алгоритмы могут быть без труда заданы в грузовой программе. Например, если предпочтительно решить вопрос с обеспечением достаточной видимости с навигационного мостика за счет балластировки судна, то это можно указать в программе. Тогда она будет подбирать именно такие варианты решения, а не предлагать перегружать контейнеры, ограничивающие видимость.

Программа может выдать несколько вариантов решения, и оператор должен выбрать наиболее эффективное из них, исходя из особенностей ситуации и применимых требований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С увеличением размеров и контейнеровместимости судов прямо пропорционально растет и вероятность возникновения аварий. Увеличивается количество контейнеров с опасными грузами, которые одномоментно перевозятся на судне. С учетом того, что нарушения правил морской перевозки контейнеров все чаще и чаще имеют место, риски возникновения аварий возрастают, несмотря на внедрение международной практики оценки рисков в морском судоходстве.

Контейнеровозы недалекого будущего, которые смогут брать на борт более 20000 ДФЭ, будут представлять собой мощные и невероятно опасные объекты. И если в отрасли не разработать и не внедрить действенные технические и организационные решения для снижения аварийности, следует ожидать более масштабных техногенных и экологических катастроф.

Только ответственный подход всех участников морских контейнерных перевозок грузов, направленный на выявление и искоренение ключевых причин происшествий с их достаточным информационным сопровождением, поможет взять под контроль аварийность в отрасли и свести ее к минимуму.

Разработка и внедрение в практику технических и организационных систем, связанных с выявлением негативных факторов и угроз безопасности на их ранней стадии, позволит контролировать безопасность морских контейнерных перевозок.

Очевидно, что внедрение таких систем станет эффективным только в том случае, если оно будет поддержано всеми участниками процесса – судоходными и наземными транспортными компаниями, портовыми комплексами и логистическими центрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Царик Р. С., Акмайкин Д. А. Перспективы развития судов-контейнеровозов // Проблемы транспорта Дальнего Востока: Материалы юбилейной десятой международной научно-практической конференции.– Владивосток, 2013.– С. 149–154.
2. Царик Р. С., Акмайкин Д. А. и др. Управление рисками и снижение аварийности в морских контейнерных перевозках // Транспорт: наука, техника, управление.– 2015.– № 2.– С. 37–42.
3. Царик Р. С. К вопросу недостоверного декларирования веса контейнеров в морских контейнерных перевозках // Молодежь. Наука. Инновации: Сб. докладов 62-й международной молодежной научно-практ. конференции.– Владивосток, 2015.– С. 54–58.
4. Malcolm Yoke Hean Low, Xiantao Xiao, Fan Liu, Shell Ying Huang, Wen Jing Hsua, Zhengping Li. An Automated Stowage Planning System for Large Containerships // Singapore Institute of Manufacturing Technology. – 6 p.
5. Mordecai Avriel, Michal Penn, Naomi Shpirer. Container ship stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs // Faculty of Industrial Engineering and Management, Technion – Israel Institute of Technology.– 1999. – 9 p.
6. Dario Pacino. Fast Generation of Container Vessel Stowage Plans // IT University of Copenhagen.– 2012. – 105 p.
7. Gard AS. Container carriage. A selection of articles previously published by Gard AS,– Gard AS, 2011.– 42 p.
8. DNV. DNV Container Ship Update Information from DNV to container ship industry No. 1 April 2008. Napoli special edition,– DNV, 2008.– 24 p.
9. Marine Accident Investigation Branch. Report on the investigation of the structural failure of MSC Napoli English Channel on 18 January 2007.– MAIB.– Carlton House Carlton Place Southampton United Kingdom SO15 2DZ, 2008.– 56 p.
10. Sub Committee on Dangerous Goods and Solid Bulk Cargoes and Containers. Development of measures to prevent loss of containers. DSC18/5.– IMO, 2013.– 14 p.
11. Sub Committee on Dangerous Goods and Solid Bulk Cargoes and Containers. Guidance on providing safe working conditions for securing of containers. DSC13/8.– IMO, 2008.– 48 p. ●

Координаты автора: **Царик Р. С.** – rex-infinity@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.12.2015, принята к публикации 20.04.2016.

Автор статьи является лауреатом конкурса «Молодые учёные транспортной отрасли», организованного Министерством транспорта Российской Федерации. В финале конкурса, состоявшемся 2 декабря 2015 года в рамках «Транспортной недели – 2015» в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), работа заняла первое место в номинации «Инновации в области управления движением подвижного состава, энергосбережения, обеспечения безопасности – главный вектор развития транспортной отрасли».

COMPREHENSIVE APPROACH TO SAFETY OF MARITIME CONTAINER TRANSPORTATION

Tsarik, Ruslan S., *Admiral Nevelsky Maritime State University, Vladivostok, Russia.*

ABSTRACT

The whole complex of factors of risk and safety problems in terms of maritime container transportation is accompanied in the article with scientific analysis, which aims to find the most rational organizational and technical solutions. This task is performed in a constructive way, consistently and objectively, using algorithms of calculation and methodological tools that promise to secure control over safety of containers in a terminal and on a ship in the process of goods movement across the supply chain.

Keywords: maritime transport, container, transportation, dangerous goods, risks, data system, safety control.

Background. *Maritime container transportation is recognized as one of the most advanced types of cargo transportation. Being closely related to economic and administrative resources of the state, it has become a kind of macro-economic indicators, reflecting among other things the effects of international crises. The obvious advantage of this industry is the ability to transport almost the entire range of goods in universal and specialized containers that poses a very significant threat to safety in today's realities.*

Over the past 60 years, container capacity of ships increased from 400 to about 19500 containers in conditional TEUs, that is almost 50 times. The largest current container ships cost more than 150 million, and cargoes carried on them simultaneously can cost several billion US dollars. The combination of a wide range of dangerous goods that can simultaneously be on board, make it in the literal sense of the word a «bomb» both financially and physically.

Whether this bomb explode or not, depends on the effort that international and national institutions will make to ensure safety of maritime container transportation.

Objective. *The objective of the author is to offer a comprehensive approach to safety of maritime container transportation.*

Methods. *The author uses general scientific and engineering methods, simulation, evaluation approach, comparative analysis.*

Results.

There is something to be afraid of

All general risks inherent in the shipping industry are applicable to the conditions of maritime container transportation. They include navigational hazards: collision, grounding; operational risks: fire, breakdown of equipment and machinery; external risks: impact of meteorological factors, acts of foreign aggression.

At the same time the specificity inherent in container transportation has its own unique risks associated with peculiarities of goods, transportation technology and loading and unloading operations:

– Risks of damage in case of violation of dangerous goods transportation technology – environmental pollution, including radiation and infection, explosion, fire, structural failure, personal injury, goods damage;

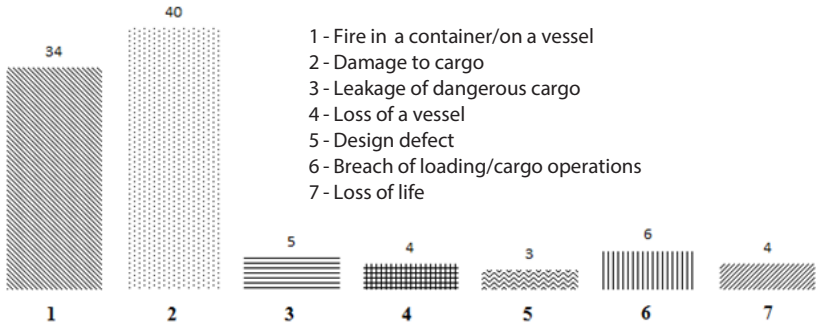
– Risks of damage in case of violation of refrigerated goods transportation – damage of costly cargo, breaking of cold-keeping container;

– Risks of damage in case of improper, in terms of weight loads on the body of the ship, placement of containers on board, loss of stability, irregularities in ship maneuvering, damaging its body, ship's destruction.

For professional risk assessment analysis of accidents and development of technical and organizational solutions to minimize the likelihood of such accidents in the future are required. Table 1 provides an overview of typical accidents of container ships, Pic. 1 – systematized kinds of accidents.

CINS: cause of incidents

In the field of maritime container transportation to assess the incidents with container ships and their cargoes, five years ago an information system CINS (Cargo Incident Notification System) was introduced. Its founders were five largest container carriers: Maersk, MSC, CMA CGM, Evergreen and Hapag Lloyd. Having passed the testing stage, CINS started full operation in September 2011. Now participants of this system are 19 companies, 14 of them are



Pic. 1. Analysis of typical accidents with container ships between 1997 and 2015, according to open sources on the Internet.

Table 1

Brief description of typical accidents involving container ships from 1997 to 2015

Ship (TEU)	Year	The nature of the accident
Contship France (1599)	1997	Fire of a container with calcium hypochlorite because of laying on top of the heated fuel tanks. It was believed that maximum permissible temperature of load heating is 55°C, and a fire occurred at 47°C.
MSC Carla	1997	The vessel underwent structural alterations – elongation of the body by 14 m. It got in hard storm and broke along to the joint weld at the site of insertion of additional sections. Shortly before that, the vessel had undergone extended examination by the classification society upon reaching 25 years of service.
Tiger Wave (1510)	1997	Fire of containers with calcium hypochlorite.
Sea Land Mariner (2816)	1998	As a result of welding explosion and fire of fumes of undeclared dangerous goods in the hold occurred. Two people died. The big damage to cargo and the ship. Leakage of cargo.
DG Harmony	1998	Fire of 10 containers with calcium hypochlorite. Transportation was carried out in accordance with IMDG Code, but the Code requirements were insufficient. Complete loss of cargo and the ship.
Aconcagua	1998	Fire of containers with calcium hypochlorite.
Maersk Mombasa	1998	Fire of containers with calcium hypochlorite.
Sea Express	1998	Fire of containers with calcium hypochlorite.
CMA Djakarta (2048)	1999	Fire of containers with calcium hypochlorite.
Kitano (3618)	2001	Fire of a container with activated carbon and caustic soda.
Hanjin Pennsylvania (4369)	2002	Explosion of containers with fireworks. People died. Extensive damage to the ship or cargo.
Punjab Senator (4545)	2005	Explosion of a container with batteries. The container was placed next to the heated fuel tank (70–80°C). Serious damage to cargo and the ship.
Hyundai Fortune (2181)	2006	Explosion of containers with dangerous goods (fireworks). Damage to cargo and the ship. Falling containers overboard.
MSC Napoli (4734)	2007	Destruction of the body in a storm. The total loss of the ship and a large part of cargo.
Maike D (660)	2008	Due to the lack of control over cargo operations the crane lifted a container fastened with the tank-container, in which there was hydrogen peroxide. As a result, the tank-container fell and was damaged. There was leakage of dangerous goods.
MOL Prosperity (6350)	2009	Fire of containers with dangerous goods in the hold.
Husky Racer (942)	2009	During cargo operations in the port stalling of 26 containers occurred, while 18 fell overboard. The cause of the incident was incorrect information about the weight of containers provided in the cargo plan.
Charlotte Maersk (7226)	2010	Fire of a container with methyl ethyl ketone peroxide. 160 containers were damaged. The vessel received minor damage.
MSC Flaminia (6732)	2012	Fire and explosion of containers with unreliable declared dangerous goods. Three people were killed. The big damage of cargo and ship.
Maersk Kinloss (6188)	2012	Leakage of cargo. There was a chemical explosion in a container with aluminum phosphide. Technology has been broken when loading the container. As a result, the contact of load to the surrounding air and moisture. This triggered a chemical reaction and a chemical explosion.
Amsterdam Bridge (4380)	2012	Fire of containers with dangerous cargo. The big damage to cargo and the ship.
Eline Enterprise (364)	2012	Leakage of ethylene gas from four containers.
Hansa Brandenburg (1740)	2013	Fire of containers with dangerous cargo. The big damage to cargo and the ship.
Eugen Maersk (15500)	2013	Fire of containers. According to the documents they transported general cargo.
MOL Comfort (8110)	2013	Crash, fire and total loss of the ship while sailing in storm conditions due to excess of load on the body due to violation of rules of loading.
Maersk Kampala (6978)	2013	Fire of containers. Damage to cargo and the ship.
Maersk Dellys (5089)	2013	Leakage of dangerous cargo from the container due to its damage.
Leda Trader (2442)	2014	Fire of a container with a car. Damage to the load.
Svendborg Maersk (8680)	2014	Loss of 520 containers, including with dangerous goods, during sailing in storm conditions. Environmental pollution. The danger to shipping.
Santa Rosa (1742)	2014	Fire of a container with charcoal. Damage to the load.
Patriarch (буксирный состав)	2014	Fire of containers on a towed container barge. Damage to the load.
Nothern Guard (4319)	2014	The explosion of the container in the hold. The death of a crew member. Damage to the load. Additional details were not disclosed.
Hanjin Athens (5618)	2014	Fire (over 200) of containers in the holds. Damage to the load.
COSCO Pride (13092)	2014	Fire of a container. Damage to the load.
Maersk Londrina (8700)	2015	The explosion of containers in the hold. Damage to the load. Additional details were not disclosed.
Hanjin Green Earth (13092)	2015	Fire of (over 60) containers. Damage to cargo and the ship. Additional details were not disclosed.
Pioneer Bay (505)	2015	Falling of a stack of 12 containers at the dock due to a violation of cargo operations technology. Damage to cargo, ship, port facilities.
Kamala (2011)	2015	Fire of containers presumably with general cargo. Damage to cargo and the ship.
Maersk Seoul (8400)	2015	Fire and explosion of containers. Additional details were not disclosed.
Alula (13100)	2015	Fire of containers. Damage to cargo and the ship.
Mareno (1174)	2015	Fire of a container with charcoal. Damage to the load.
Cape Moreton (2742)	2015	Fire of containers with sodium hydroxide in the hold of the ship. Damage to the load.

This list consists of 42 accidents. We can assume with certainty that the real number is much higher.

Table 2

Quantitative analysis of possible causes of accidents with containers according to CINS data

Possible cause of an accident	Number of accidents	Share (%)
Bad packaging	240	40
False declaration	162	27
Improper packaging	78	13
Violation of container handling	24	4
Improper placement of containers on board of the vessel	12	2
Other causes	78	13
The cause is not defined	6	1

Pic. 2. Loss of container MOL Comfort in the Arabian Sea.

carriers and five major international insurance companies and transport institutions.

The total number of accidents reported since the beginning of CINS activities in April 2013 (18 months) amounted to 600 episodes. Comparing the data on accidents with containers available in the public domain, with CINS data for internal use, it is easy to see that there is a deliberate concealment of information from the shipping companies. So, if we compare the figures for fires and explosions, the publicly available information is available on 18 cases from 1997 to April 2013, (192 months), but only for 18 months 2011–2013 CINS recorded 48 accidents of this type, i.e., almost 29 times greater than the rate of accidents in the month.

In a certain sense, this behavior of shipping companies is understandable. Since any accident is a very painful blow to their reputation, it harms the image and undermines the authority on the container market. This leads to a decrease in demand for the company's services and, accordingly, reduces the profitability of the business.

Analysis of CINS data on the possible causes of accidents with containers is shown in Table 2.

The most common accident scenarios for the carriage of containers by sea:

1. Loading of undeclared dangerous goods. The crew was not able to properly monitor its condition during transportation. The result – explosion, fire, pouring.

2. Violation of the rules of separation of containers with dangerous goods, due to false declaration. The result – explosion, fire, pouring.

3. Improper temperature indication, which must be maintained for safe carriage of cargo, in the documents on the refrigerated container. The result was costly cargo spoilage.

4. Loading of a refrigerated container so that the refrigeration unit was poured with seawater while the vessel sailing in storm conditions. The container went out of order and the goods deteriorated.

5. The use of a refrigerated container for transportation of expensive electronics as an ordinary general container. The crew, considering it is a current refrigerator, connected it to the power supply. Transported LCD TVs were frozen and went out of order.

6. Loading of a refrigerated container to an invalid location on board of the ship, to which the normal access is limited. As a result, the crew was unable to troubleshoot a malfunction of the container in the sea, and the cargo on it deteriorated.

7. Preparation of the unacceptable cargo plan by a port planner and inadequate control of cargo assistant over this. The vessel got unacceptable loads on the body, the main engine was working in a deformed state, and one of its sleeves was damaged.

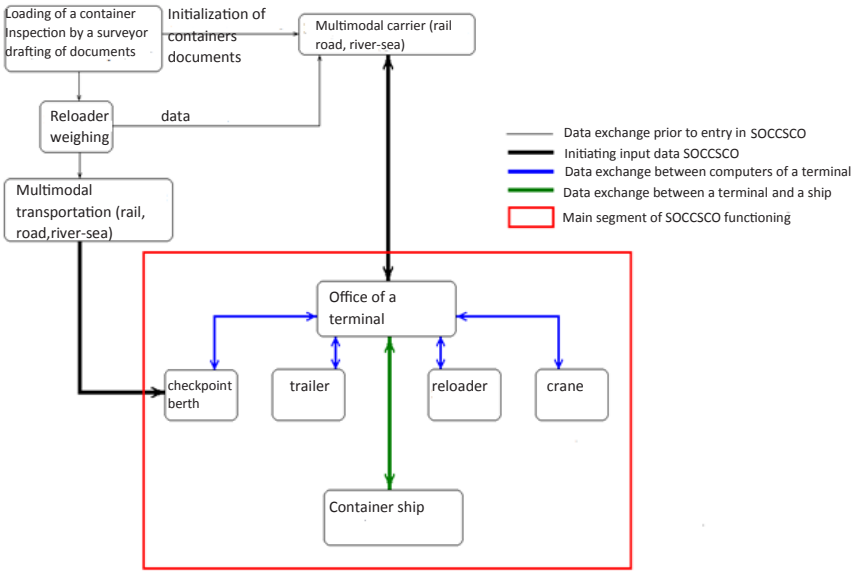
8. False declaration of weight of cargo in containers resulted after loading the vessel in a breach of the requirements of the body strength. The ship's body in storm conditions was damaged and the ship sank.

9. The use of improper technical condition of the container for dangerous goods of Class 8 (corrosive liquid). Fluid leaked, damaged the body and leaked overboard.

10. Failure to comply with the technology of cargo handling works led to what it was not observed that the container fastening means were not divided. As a result, the container was damaged and there was a leak of dangerous goods.

11. Undeclared container loading exceeding the allowable weight triggered when moving the overturning of forklift which operator was killed.

12. Failure to comply with visibility requirements from the navigation bridge because of excess of the height of the stack of containers on deck. The result –



Pic. 3. Scheme of data exchange within SOCCSCO.

a collision with a fishing vessel, which fell into the excessive dead zone of visibility.

13. Improper mounting of containers on deck. As a result, the ship got into the storm, lost some cargo, and was damaged.

In addition, it should be noted specially a high probability of accidents with containers due to navigational and operational errors. If the negative impact of stormy weather, in a general sense, is the same for all the vessels, the damage to containers with dangerous goods creates at this time an additional threat to safety of the ship, the cargo, the crew and the environment.

A similar situation is with ship collisions. In these cases, in addition to typical damage, can occur fires with dangerous goods, their leakage, pollution and harm to human health and life. The loss of containers overboard creates a very serious threat to navigation, especially in the busiest shipping arteries, as they may be a long time afloat in submerged condition when they cannot be found either visually or with the use of radar.

International sectoral database

Among organizational and technical solutions, which could help the prevention of accidents and neutralize the causes of accidents with container cargoes, there are at least five that deserve special attention. And the first among them is creation of an international sectoral database on accident in maritime container transportation.

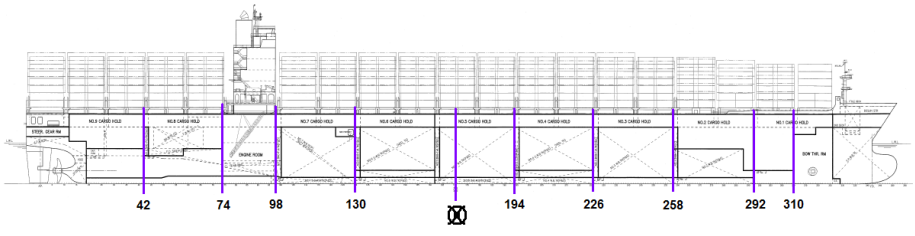
It is assumed that access to it can be obtained by any interested participant of maritime container traffic, past certain registration procedures. Such registration must exclude the possibility of entering unauthorized and inaccurate data into a database. The database must have a code structure, so that each accident could be codified in key parameters. By entering data into the system, it will be updated and will cover an increasingly wide range of occurred and potential accidents during transportation of containers.

Interested community can use international sectoral database on the principle of «learn from others' mistakes». Knowing about accidents that have already happened or could happen, being able to evaluate and analyze the associated risks, the competent member of container shipping market will avoid repetition of such trouble in his work. In addition, a fairly complete database will expand horizons in matters of forecasting potential risks through analogies with known occurrences.

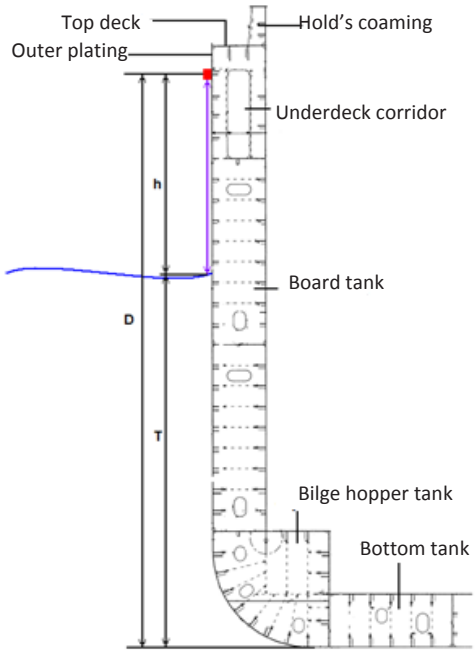
Initially, the database can be implemented within a shipping company, absorbing the experience of its own accidents in maritime transportation of containers and external accidents, which became known. The successful experience of implementation and use of such information within a single company will be a weighty argument in favor of extension of the system to the national, regional and international level.

Existing CINS is the best example to date of operation of a system similar in its plan. However, it is entirely voluntary and, in spite of a considerable list of participants is far from the global reach of the industry of container shipping.

Since in the containers accidents suffer all participants of the transport process and often the environment, it is advisable to reinforce CINS to have



Pic. 4. An example of the placement of sensors on frames.



Pic. 5. Principle diagram of draft sensor operation (cross-section of the vessel).

a proposed international database on accidents in maritime container transportation (IDB AMCT) as a tool to ensure safety of maritime navigation, regulated by relevant international conventions and international maritime institutions. That is, to get a real high-profile and recognized by the world community transport organization.

The system of operational control of cargo operations

Container transportation differs in the fact that it enables precise mathematical expression of processes of placement and movement of the container. The container has its individual number. In the container terminal each cargo container is placed on the site, which has its own address. On board the container enters a cell, which again has its own address. Re-loaders and cranes, also, have their numbers. This greatly facilitates digitization and programming of all operations with containers.

Modern container terminals, such as ECT in Rotterdam and CTA in Hamburg, use robotic means for moving the containers. This is possible precisely because for a robot a clear program can be set on which it will make a predetermined operation.

The main components of this system are:

– Computer modules mounted on each stage of transportation of the container within the terminal and on board of the ship, and integrated into a single communications network;

– Technical means for scanning an individual container number with optical character recognition function;

– Technical means to determine weight of the container.

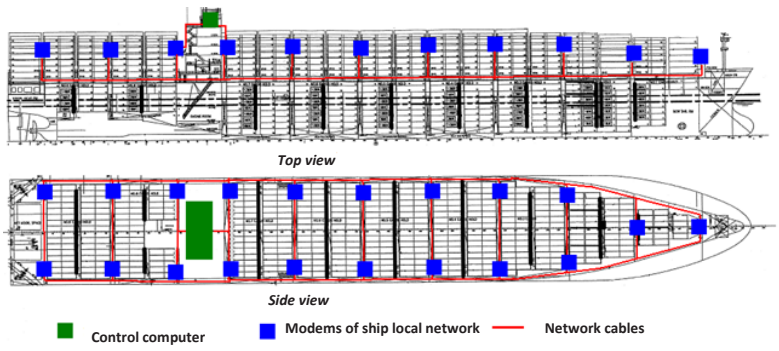
The principle of operation of the system of operational control of container ship cargo operations (SOCCSCO) lies in the fact that when the container arrives on the territory of marine container terminal through the checkpoint, equipment situated therein reads individual data of the container and automatically makes the originating post in SOCCSCO. Truck trailer or another vehicle gets the desired direction to the container area where the container is to be unloaded. The rear container re-loader with the system determining the weight of the container removes it from the trailer and sets on a given platform. Then the container weight is fixed up to 100–200 kg. These values are entered in SOCCSCO again.

Terminal planner, making the cargo plan takes into account the data on the container and its real weight. In accordance with the drawn up cargo plan the sequence of movement of the container prior to loading on the ship is determined. This sequence includes container delivery to the wharf area to the respective container crane, which then immerse the container in the appropriate cell on board.

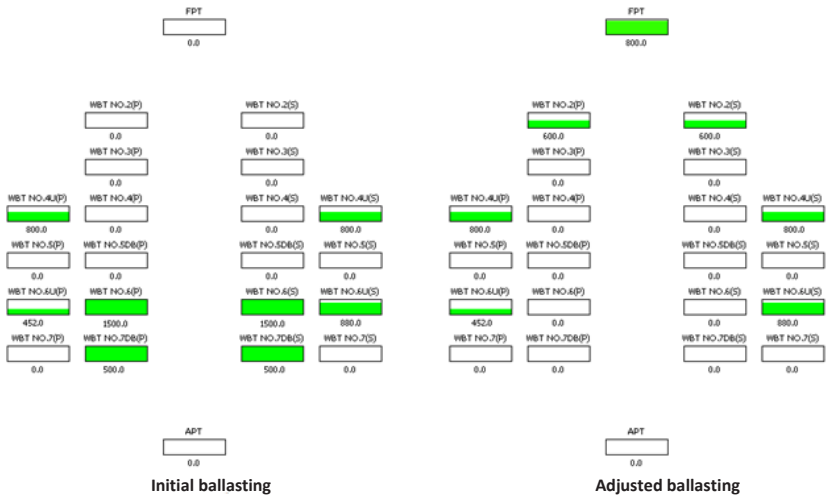
Lifting the container from the quay the crane re-defines its weight and once again scans the unique number that allows to virtually eliminate errors in the control system. After loading the container in a given cell there is a final update of its status in SOCCSCO with the computer. The resulting information is transmitted to the cargo computer of the container ship.

The scheme of interaction and communication within SOCCSCO is shown in Pic. 3.

The information provided on the vessel from SOCCSCO in real time, allows to update the state of the ship loading, its stability, sitting and load on the body. In addition, there is a constant comparison of actual loading with the cargo plan, which was granted to the ship by the terminal planner. In case of deviations from the plan the cargo program on ship will issue a warning. This function will be very useful for a cargo assistant, because it often happens that the vessel loading changes already in the process of



Pic. 6. The general scheme of ship local system of container safety monitoring.



Pic. 7. Example of adjustment of vessel ballasting to reduce stern draft by pumping ballast in head tanks and pumping surplus overboard.

cargo operations. And an updated cargo plan is transmitted to the ship with some delay.

Thanks to SOCCSCO deviations can be rapidly detected, and thus the corrective actions will be timely.

Body deformation control system

Operational control of the deformation of container body allows in real-time to get data about actual sitting of the ship and deformation processes.

System of sensors installed along the perimeter of the body at certain points, records the current draft of the vessel, together determines their profile and character of deformations.

Points to install the sensors are selected based on the characteristics of the ship's structure. Basically it is – in accordance with the document «Information on stability and strength of the ship» – the points for which the designers calculate strength. As a rule, they correspond to the frames, which are on the border of cargo holds and middle-ship frame.

Measurements of sensors in the current mode enter the ship's computer, where the profile of ship's draft is built, which are obtained by comparing deviations from the original theoretical plane of the vessel corresponding to the plane of the water line during vessel's trim on an even keel for a given displacement.

Different calculation algorithms may be applied. The deviations are usually specified as a percentage, with a maximum value of 100% corresponding to the maximum allowable value of deformation on this control frame or in the area between frames.

The principle of determining vessel's draft by sensors assumes an elementary computational algorithm:

$$T = D - h, \quad (1)$$

where T is calculated draft, m;

D is height of the board side of the vessel from the keel plane to place of the sensor, m;

h is a distance measured by the sensor to the level of water surface.

The sensor according to the settings performs averaging of distance measurements to the water level. This is particularly important because the surface of the water is in stationary vibration and immediately taken measurement likely will not correspond to the true position of the level, while the averaged data based on multiple measurements will be accurate enough.

However, it should be noted that the system is operating at the time of berthing for cargo operations at berth. Condition of the water surface in the port is calmer than in the open sea. Therefore, averaging water level fluctuation increases measurement correctness.

Multiparameter monitoring

Complex in its nature multiparameter monitoring system for container safety is a set of sensors that enable real-time monitoring the state of the container and cargo loaded in it, as well as a communication channel and a control computer receiving and processing incoming signals.

The control system may comprise:

– Temperature sensor inside the container;

– Humidity sensor inside the container;

– Sensor-gaz analyzer of the atmosphere inside the container;

– Sensor of opening of the container doors;

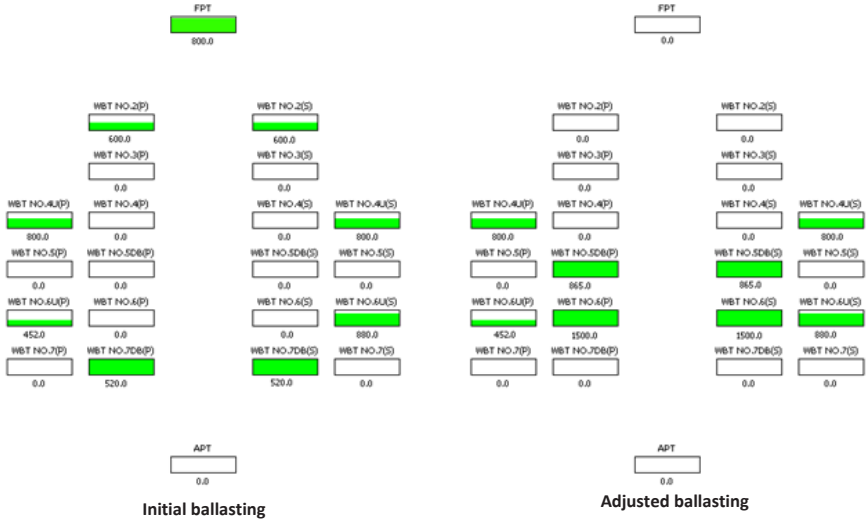
– Sensor of container geolocation in the system of global and local ship or terminal positioning.

All of these sensors are proposed to be combined structurally into a single unit to be placed inside the container. This unit can be installed by the manufacturer of the container, the cargo owner, shipper or container operator at his own request.

As a precedent here are suitable refrigerated containers, which are always connected to the ship's electrical grid to provide power to a freezer. At the same time via a data cable, which is combined with the power cable, the container is connected to a refrigerated container monitoring system, which is already used for many years in the ships.

For other types of containers it seems appropriate to use a combination of wireless and wired signal transmission method. In this case, the signal from the container's sensors through the antenna is transmitted wirelessly to one of the intermediate local shipboard routers mounted on the cargo deck, which are in turn connected with wires to a shipboard monitoring system including a control computer.

The output of the transmitting antenna should be placed on one of the doors of the container, because



Pic. 8. Example of adjustment of vessel ballasting to reduce vessel inflection vessel by pumping ballast from head and stern tanks in tanks located amidships and near it.

they are the most accessible and open part of it. Then developing constructive solutions anti-vandal protection should be envisaged.

Router of local shipboard system should be mounted on the top of the container fixing bridges.

Since modern container ships are highly electrified, there is no difficulty in laying network cables through the channels used, for example, for electrical cables for lighting ship deck.

Receiving monitoring data, it is possible to prevent including such incidents as:

– Fire of cargo in the container;

– Leakage of cargo;

– Damage of cargo due to temperature change mode and / or atmosphere inside the container;

– Unauthorized access to the container;

– The loss of the container during transportation.

The obvious advantage of multiparametric system is the fact that it can be implemented in the port terminal complex, and other modes of transport, including rail and road.

Monitoring stability of container

System of calculation and control of stability of a container ship with decision making support function is designed to assist the crew of a container ship in a choice of options, providing the required parameters of stability, sitting and strength of the ship's body.

To calculate stability all modern container ships use special software designed for this type of vessels.

Cargo program is based on the hydrostatic characteristics of the vessel and uses the same data as presented in the document «Information on stability and strength». The principle of a cargo program is associated with exchange of standardized packages of requirements and is presented in the description of SOCCSCO.

An additional software module, analyzing the state of loading of the ship and the identified deficiencies, calculates the options of bringing the ship to the parameters that are defined by the operator. What is necessary to do for a crew member to bring the ship to appropriate parameters when setting the appropriate algorithm, the program can perform.

Among negative factors that the system is ready to respond:

1) discrepancy of ship draft with set parameters;

2) excess of permissible deformation of the body;

3) excess of local strength of the body;

4) insufficient or excessive stability of the vessel;

5) lack of visibility from the navigation bridge;

6) conflict in placement and separation of containers with dangerous goods;

7) placement of refrigerated containers in places that are not designed for their carriage.

The main instruments owned by the crew to correct the negative load factors are:

– Ballasting;

– Corresponding distribution of the bunker;

– Moving the containers on the ship.

It is obvious that ballasting and distribution of the bunker allow to eliminate negative factors of 1–5. In this distribution of the bunker is much less effective means and cannot be used in all cases.

Moving of containers on board helps to eliminate all the negative factors. This large-scale movement of goods is not only inappropriate, but also not very applicable because it can disrupt the essence of the planned shipment. Therefore, in a similar manner only negative factors 6 and 7 can actually be eliminated.

It should be noted that the number of containers with dangerous goods and refrigerated units is usually small relative to the total number of containers on the ship and is measured by several tens or hundreds. And in most cases conflicts with their placement are easier to be removed manually, without the use of automated tools. In addition, a manual way to solve such problems is the most preferred since attempts to introduce into the program once all the available data can be very time-consuming, or even impossible.

A possible algorithm for decision-making to bring the vessel to a given sitting:

1. Determination of the difference between the desired and the actual draft (head, stern, midsection).

2. Changing draft considering the fact that its increase / decrease on the same end of the vessel does not necessarily lead to the same increase / decrease in draft on the other end.

3. Determination of the most effective ballast tanks for ballasting, referring to those pitching couple that will be most effective for a given task.

4. The calculation of the amount of ballast required for acceptance or haulage, according to the criterion of minimizing inefficient in its volume on board.

5. Control calculation of draft of the vessel to the new scheme ballasting.

6. Comparison with predetermined conditions.

7. Adjustment of ballast operations or its termination.

An exemplary algorithm for decision-making to reduce the bending moment of the vessel (inflection)

1. Assessment of the difference between the desired and the actual draft (head, stern, midsection).

2. Determination of the amount of ballast to be taken in the tanks amidships or in the vicinity of the tank or haul from tanks near the ends of the vessel.

3. Calculation of ballast required for acceptance or haulage, according to the criterion of minimizing inefficient in its volume on board.

4. Control calculation of ship's draft for the new ballasting scheme.

5. Comparison with predetermined conditions.

6. Adjustment of ballast operations or its termination.

These simplified algorithms can be easily set in the cargo program. For example, if it is preferable to solve the problem with providing adequate visibility from the navigation bridge by ballasting the vessel, it can be specified in the program. Then it will pick up just such solutions, and not to offer overload containers, limiting visibility.

The program may provide several solutions and the operator has to select the most effective ones, based on the characteristics of the situation and applicable requirements.

Conclusion. *With increasing size of ships and container capacity directly the probability of accidents increases proportionally. The number of containers with dangerous goods, which are transported on the ship simultaneously, grows. Given the fact that the violation of the rules of marine transportation of containers occurs more often, risks of accidents increase, in spite of implementation of the international risk assessment practices in the shipping industry.*

Container ships of near future, which will be able to take on board more than 20 000 TEU, will be powerful and extremely dangerous objects. And if the industry does not develop or implement effective technical and organizational solutions to reduce the accident rate, we should expect more large-scale technological and environmental disasters.

Only a responsible approach of all participants in maritime container transportation, aimed at identifying and eradicating the root causes of incidents and their adequate information support will help to take control of accidents in the sector and reduce it to a minimum.

Development and introduction of technical and organizational systems related to identification of negative factors and threats to safety in their early stages, will allow to control the safety of maritime container transportation.

It is obvious that implementation of such systems will be effective only if it is supported by all participants – shipping and land transport companies, port systems and logistics centers.

REFERENCES

1. Tsarik, R. S., Akmaikin, D. A. Prospects of container vessels [*Perspektivy razvitija sudov kontejnerovozov*]. *Transport Problems of the Far East: Proceedings of the 10th international scientific-practical conference*. Vladivostok, 2013, pp.149–154.

2. Tsarik, R. S., Akmaikin, D. A. [*et al*]. Risk management and reduction of accidents in maritime container transportation [*Upravlenie riskami i snizhenie avarijnosti v morskih kontejnernyh perevozkah*]. *Informacionnyj sbornik. Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2015, Iss. 2, pp. 37–42.

3. Tsarik, R. S. On the question of false declaration of weight of containers in maritime container transportation [*K voprosu nedostovernogo deklarirovanija vesa kontejnerov v morskih kontejnernyh perevozkah*]. *Youth. Science. Innovation: Proceedings of the 62nd international youth scientific and practical conference*. Vladivostok, 2015, pp. 54–58.

4. Malcolm Yoke Hean Low, Xiantao Xiao, Fan Liu, Shell Ying Huang, Wen Jing Hsu, Zhengping Li. An Automated Stowage Planning System for Large Containerships. Singapore Institute of Manufacturing Technology, 6 p.

5. Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N. Container ship stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs. *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 103, Iss. 1–3, 15 July 2000, pp. 271–279.

6. Pacino, Dario. Fast Generation of Container Vessel Stowage Plans. Ph.D. Thesis. IT University of Copenhagen, 2012, 105 p.

7. Container carriage. A selection of articles previously published by Gard AS, Gard AS, 2011, 42 p.

8. DNV Container Ship Update. Information from DNV to container ship industry, No. 1, April 2008. Napoli special edition. DNV, 2008, 24 p.

9. Marine Accident Investigation Branch. Report on the investigation of the structural failure of MSC Napoli in English Channel on 18 January 2007. SO15 2DZ. MAIB, Carlton House, Carlton Place, Southhampton, United Kingdom, 2008, 56 p.

10. Sub Committee on Dangerous Goods and Solid Bulk Cargoes and Containers. Development of measures to prevent loss of containers. DSC18/5. IMO, 2013, 14 p.

11. Sub Committee on Dangerous Goods and Solid Bulk Cargoes and Containers. Guidance on providing safe working conditions for securing of containers. DSC13/8. IMO, 2008, 48 p.

Information about the author:
Tsarik, Ruslan S. – junior researcher at Centre for scientific and educational projects of Scientific and Research Institute of maritime transport of Admiral Nevelsky Maritime State University, Vladivostok, Russia, rex-infinity@yandex.ru.

Article received 09.12.2015, accepted 20.04.2016.

The author is a prize winner of the contest «Young transport scientists and researchers» organized by the Ministry of Transport of the Russian Federation within the framework of «Transport Week – 2015». The work was presented during the final round of the contest held on December 2, 2015 in Moscow State University of Railway Engineering (MIIT) and got the first place in nomination «Innovations in traffic control, energy saving, and safety as main vector of transport developments».

УДК 656.13

Автомобильно-дорожные аварии: транспортные и социальные риски

Ирина ВОЛЧАТОВА

Волчатова Ирина Владимировна *– кандидат биологических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия*

Irina V. VOLCHATOVA

Road Accidents: Transport and Social Risks

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 238)

На основе статистики дорожно-транспортных происшествий проведен анализ аварийности на автомобильных дорогах Иркутской области. Показано, что большинство аварий с пострадавшими происходит из-за нарушений водителями правил дорожного движения. Выявлена зависимость числа ДТП и травматизма от времени суток. Максимальный вклад в аварийность вносят водители легковых автомобилей.

Ключевые слова: автомобиль, безопасность движения, аварийность на дорогах, дорожно-транспортное происшествие, транспортный риск, социальный риск.

Дорожно-транспортная аварийность представляет собой проблему, затрагивающую все страны. Ежегодно на дорогах мира регистрируется 1,25 млн летальных случаев в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Травмы в результате ДТП – одна из основных причин смерти молодых людей в возрасте от 15 до 29 лет [1]. В странах с низким и средним уровнем дохода, на которые приходится чуть больше половины зарегистрированных транспортных средств в мире, происходит тем не менее 90% всех смертельных случаев из-за дорожных аварий. Продаваемые в 80% государств планеты автомобили не отвечают базовым международным стандартам безопасности.

ПРИОРИТЕТЫ СТРАТЕГИИ

По данным статистики, ежегодно в России происходит порядка 200 тыс. ДТП, в которых погибают около 27 тыс. людей, получают травмы различной тяжести – свыше 250 тыс. россиян [2]. Высокими являются такие относительные показатели аварийности, как количество погибших в ДТП на 10 тыс. единиц транспорта (транспортный риск) и количество погибших в ДТП на 100 тыс. населения (социальный риск).

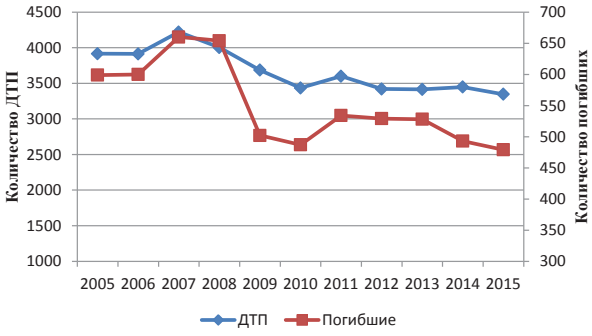


Рис. 1. Состояние аварийности на дорогах Иркутской области.

В связи с тем, что негативные последствия аварийности на автомобильном транспорте значительно превышают ущерб от других чрезвычайных происшествий, обеспечение безопасности дорожного движения стало одной из важнейших социально-экономических и демографических задач страны.

В последние годы принят целый ряд нормативно-правовых актов, направленных на совершенствование организации дорожного движения, предупреждение причин возникновения ДТП и снижение тяжести их последствий. Сформирована и действует федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» [3]. Повышение комплексной безопасности и устойчивости транспортной системы составляет основу ее подпрограммы «Автомобильные дороги», целевые индикаторы которой отражают деятельность, направленную на увеличение протяженности дорог общего пользования федерального значения, соответствующих нормативным требованиям.

Приоритеты политики в области транспорта, безопасности дорожно-транспортной системы обозначены в транспортной стратегии Российской Федерации [4]. На решение одной из задач стратегии – повышение безопасности дорожного движения – направлена федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 гг.», утвержденная в октябре 2013 года [5]. Планируемыми в ней конечными результатами определены сокращение к 2020 году случаев смерти в ДТП на 8 тыс. человек (28,82%), социального риска – на 30,5%, транспортного риска – на 36,7% (в сравнении с 2012 г.). Возможность достижения таких показателей основывается на положительных итогах действовавшей до этого аналогичной программы [6], реализация которой позволила сократить почти на 30% количество ДТП с пострадавшими, на 23,6% – число погибших.

В РЕЙТИНГЕ САМЫХ ОПАСНЫХ

Иркутская область, расположенная в пределах Байкальского региона, имеет площадь около 770 тыс. км^2 и население чуть выше 2,4 млн человек. Сформированный под воздействием местных экономико-географических особенностей, транспортный комплекс представлен всеми отраслевыми видами – железнодорожным, автомобильным, воздушным, внутренним водным и сетью железных и автомобильных дорог.

Основу автодорожной сети составляют федеральные, областные и местные дороги протяженностью соответственно 1,7, 12,6 и 17 тыс. км. По ним курсируют свыше 912 тыс. автомобилей, зарегистрированных в области, и множество транзитных. Плотность автомобильных дорог общего пользования – 24 км на 1000 км^2 территории, что гораздо меньше среднего значения по Сибирскому федеральному округу [7]. Многие трассы проходят в границах городов и других населенных пунктов, что приводит к увеличению количества ДТП. В городских поселениях на их долю падает около 70% случаев.

Серьезный момент: область неоднократно попадала в рейтинги территорий с самыми опасными дорогами. Так, по данным межрегионального общественного центра «За безопасность российских дорог» в 2011 году среди 30 наиболее густонаселенных регионов России она оказалась по

Рис. 2. Динамика показателя смертности в ДТП на 100 тыс. населения (социальный риск).

этому показателю на 22 месте [8]. За 2005–2015 годы в области произошло 37082 статистически зарегистрированных ДТП, в которых погибли свыше шести тыс. человек (рис.1).

Индивидуальный риск гибели в ДТП был на два порядка выше сложившегося в международной практике приемлемого (допустимого) риска. Как видно из представленных данных (рис. 1, 2), пик аварийности в рассматриваемый период приходился на 2007–2008 годы. С ним совпал максимум летальных исходов как по абсолютному значению, так и в относительных величинах (число погибших в расчете на одно ДТП и на 100 тыс. жителей).

Наиболее благоприятная обстановка по всем показателям сложилась в 2010 году. В дальнейшем при положительной в целом динамике снижения числа ДТП наблюдался рост погибших и относительных показателей аварийности. Так, анализ смертности в ДТП на 100 тыс. человек населения (рис. 2) выявил стабильно высокий уровень социального риска, в том числе по сравнению с его общероссийскими значениями. И если значение этого показателя для Российской Федерации в 2015 году (15,8) впервые за более чем 10-летний период существенно снизилось, то официальные данные по области (19,84) не дают повода для оптимизма. Для сведения: в Великобритании, имеющей одни из самых низких в мире показателей смертности на дорогах, величина социального риска 2,9 [9].

ГЛАВНЫЕ ВИНОВНИКИ – МУЖЧИНЫ И ЛЕГКОВУШКИ

Поскольку основной причиной ДТП в Иркутской области, как и в других регионах страны [11], являются грубейшие нарушения правил дорожного движения (ПДД) водителями, снижение аварийности и смертности на дорогах связано прежде всего с ужесточением административных санкций за подобные правонарушения. Не случайно Кодекс РФ об административных правонарушениях (КоАП) пополнился статьями, связанными с лишением водительских прав за неоднократное совершение правонарушений; существенно повысился размер штрафов, например, за непристегнутые ремни безопасности, управление автомобилем человеком, лишенным этого права. В КоАП были внесены статьи, предполагающие ответственность за допуск к управлению транспортным средством водителя, не имеющего российского национального водительского удостоверения, за нарушение условий по перевозке детей, и другие. В ст. 20 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» появился пункт об обязательном оснащении ряда транспортных средств, предназначенных для перевозки пассажиров и грузов, техническими средствами контроля (тахографами).

По данным статистики [12], в 2015 году в области произошло 2872 ДТП из-за нарушений ПДД, или 86% от общего числа. Определяющее влияние на аварийность оказывают водители транспортных средств, принадлежащих физическим лицам. Удельный вес происшествий с их участием превышает 90%. По гендерному признаку львиную долю нарушений, приведших к ДТП (87%), совершили мужчины.

Максимальный вклад в аварийность внесли водители легковых автомобилей (рис. 3а). Это неудивительно, учитывая, что доля таких машин в областном автопарке составляет 74% [2]. Несмотря на положительную в целом динамику, настораживает прирост ДТП по вине пьяных водителей:

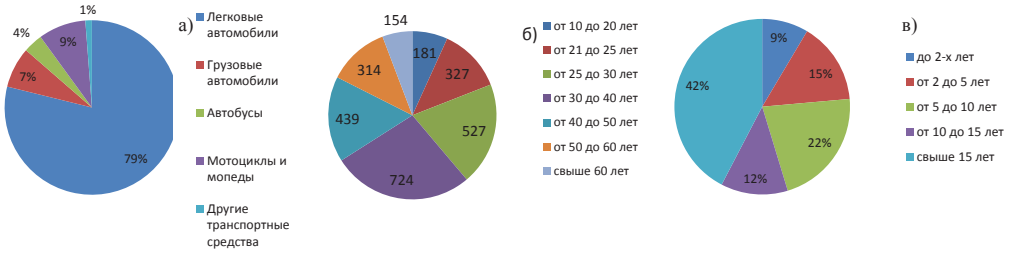


Рис. 3. Распределение ДТП из-за нарушений правил дорожного движения: а) водителями транспортных средств; б) в возрастных категориях; в) с определенным стажем управления.

относительно легковых автомобилей – на 18,9%, среди владельцев мотоциклов – на 52,4% (2015 г. к 2014-му).

Управление транспортными средствами в нетрезвом состоянии – не только российская проблема. Так, 40% всех ДТП в США и 60% со смертельным исходом происходят по вине употребивших алкоголь [14]. Лишь 34 страны в мире имеют национальные законы, ограничивающие содержание алкоголя в крови (САК) для молодых и начинающих водителей на уровне, соответствующем наилучшей практике (≤ 0,2‰), и Россия не в их числе.

Даже в Турции, где ПДД заметно лояльнее, чем у нас (например, там не принято пристегиваться, не является проступком отсутствие детского кресла), в соответствии с действующим законодательством существует два допустимых уровня САК. Водители общественного транспорта, такси, официальные водители транспортных средств должны сохранять концентрацию алкоголя в крови нулевой во время вождения. Исследование несмертельных ДТП, произошедших по вине сидевших за рулем, показали, что водители с нулевым уровнем САК имеют статистически меньший риск попасть в ДТП, чем люди с допустимым уровнем САК, который в Турции составляет ≤ 0,5 г/л (≤ 0,5‰) [15].

Большое количество ДТП в 2015 году произошло по вине водителей автобусов (96, на 21,5% выше, чем на год раньше). Эти происшествия, не связанные, как правило, с состоянием опьянения, из-за масштаба потерь часто можно квалифицировать как чрезвычайную ситуацию. Так, в ночь на 26 ноября в 460 км от областного центра на трассе Новосибирск–Иркутск в результате выезда на полосу встречного движения микроавтобуса «Тойота» произошло лобовое столкновение с другим микроавтобусом, итогом чего стала гибель 7 человек, еще двое ранены. Всего за год в ДТП по вине нарушивших ПДД водителей автобусов пострадали 168 человек.

ОПЫТ РОЖДАЕТ САМОУВЕРЕННОСТЬ?

Почти половина происшествий, связанных с нарушением ПДД, происходит по вине водителей в возрасте от 25 до 40 лет (рис. 3б), что обычно связывают с завышенной самооценкой водительского мастерства. Однако тяжесть последствий ДТП, которая определяется числом погибших на 100 происшествий и числом погибших на 100 пострадавших (суммарное число погибших и раненых), заметно выше для возрастной категории виновных от 40 лет (рис. 4). На эти же ДТП приходится прирост основных показателей аварийности (число ДТП, количество погибших и раненых) по отношению к предыдущему году. Велика тяжесть последствий ДТП также для возрастной категории виновников 21–25 лет.

Наибольший вклад в статистику ДТП области, как и по всей России, сделали не новички, а водители со стажем управления более 15 лет (рис. 3в). С одной стороны, это можно объяснить большим числом таких водителей по сравнению с другими их категориями. В то же время положительная динамика нарушений ПДД отмечена только для названной группы водителей. Это косвенно может свидетельствовать о том, что значительный вклад их в аварийность на дорогах нельзя связать исключительно с большим в абсолютных значениях количеством водителей с долголетним стажем управления. Скорее всего, ситуация с ДТП отражает общую картину для профессионального стажа в условиях повышенной опасности, характерной привыканием

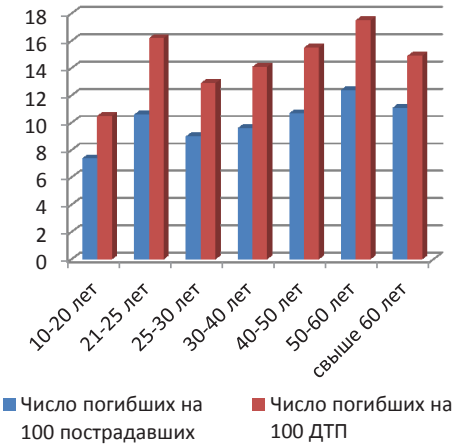


Рис. 4. Степень тяжести последствий ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями различных возрастных категорий.

к существующим рискам, снижением бдительности и небрежным отношением к требованиям безопасности [16].

Около половины всех ДТП (48%) происходили с пятницы по воскресенье, что несколько выше общероссийского показателя (45%). Основными видами ДТП при этом были столкновения транспортных средств и наезд на пешехода. Удельный вес пострадавших составил 69%. Наезды на пешеходов привели к ранению 25,7% лиц. Столкновения транспортных средств остаются одним из наиболее частых видов ДТП не только в Иркутской области [17].

Совершению более 44% от общего числа ДТП сопутствовали неудовлетворительные условия содержания и обустройства улично-дорожной сети. Данный фактор отмечен в качестве усугубляющего ситуацию с дорожно-транспортной аварийностью как в других регионах страны [11, 18], так и по России в целом [19].

Суточная динамика аварийности (рис. 5) выявила корреляцию между дорожно-транспортным травматизмом и числом ДТП. Отчетливая тенденция к росту этих показателей наблюдалась с 6 до 20 часов. Максимум ДТП приходился на период суток с 16 до 21 часа – за 5-часовой интервал произошло 32% всех ДТП. На это же время пришлось наибольшее количество пострадавших. Смертность в течение суток постоянно варьировалась и не имела четкой тенденции.

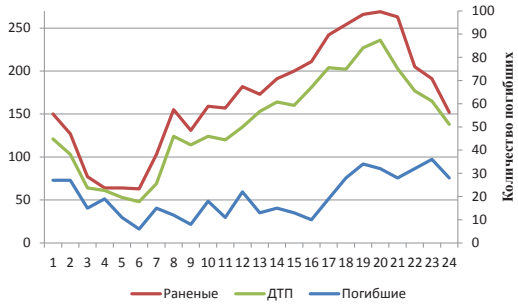


Рис. 5. Суточная динамика показателей дорожно-транспортной аварийности в Иркутской области в 2015 году.

Наиболее многочисленной и самой уязвимой группой субъектов дорожного движения являются пешеходы. В 2015 году с их участием зафиксировано 1126 ДТП, в результате которых погибли 134 и ранены 1033 человека. Подавляющее число происшествий связано с наездом на них. Несмотря на то, что подобные ДТП часто являются следствием невнимательности самих пешеходов и нарушения ими ПДД, около половины всех случаев все же произошли по вине водителей, причем в 25,3% событий – на пешеходных переходах. Нерегулируемые переходы стали местом наездов в 82% случаев. В то же время существенный прирост как числа ДТП, так и количества раненых наблюдался на регулируемых пешеходных переходах, что свидетельствует не просто о вине водителей, а о серьезном нарушении ими правил безопасного поведения на дороге.

Тревожная статистика в 2015 году связана с ДТП с участием детей. И если общее число таких аварий не увеличилось, то по сравнению с прошлым годом на 38,9% возросла доля погибших среди несовершеннолетних (в возрасте до 16 лет). Более половины случаев касается детей-пешеходов, причем здесь рост числа и погибших, и раненых. В ДТП с участием детей-пассажиров отягощающим фактором, приводящим к травматизму и смертности в категории до 12 лет, стало нарушение водителями правил перевозки детей (без ремней безопасности или удерживающих устройств).

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Анализ аварийности на автомобильных дорогах Иркутской области выявил

высокий уровень индивидуального риска гибели в ДТП, значительно превышающий величину допустимого. Большинство происшествий происходят из-за нарушений водителями правил дорожного движения. Низкая плотность автомобильных дорог общего пользования, не рассчитанная на современные транспортные потоки, приводит к ухудшению условий движения и, как следствие, росту количества ДТП. Этому способствует также уменьшение объемов перевозок общественным транспортом и соответствующее увеличение транспортировки личными автомобилями. Высокий социальный и транспортный риски ставят область в число регионов с самыми опасными дорогами в России.

Безопасность на дорогах является важной целью на всех уровнях. Не случайно в марте 2010 года Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 2011–2020 годы десятилетием действий по обеспечению безопасности дорожного движения. В глобальном плане десятилетия сформулированы меры по улучшению безопасности дорог и транспортных средств, совершенствованию служб по оказанию экстренной медицинской помощи, созданию единого управления безопасностью дорожного движения. Общая цель состоит в стабилизации и сокращении вдвое к 2020 году прогнозируемого уровня смертности в ситуациях ДТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о безопасности дорожного движения в мире, 2015 г. Резюме [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения.– URL: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_RU.pdf?ua=1. Доступ 13.02.2016.

2. Единая межведомственная информационно-статистическая система.– URL: http://fedstat.ru. Доступ 13.02.2016.

3. Постановление правительства Российской Федерации от 5.12.2001 г. № 848 «О федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы) ».

4. Распоряжение правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года».

5. Постановление правительства РФ от 3.10.2013 г. № 864 «О федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах».

6. Постановление правительства РФ от 20.02.2006 г. № 100 «О федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах».

7. Постановление правительства Иркутской области от 24.10.2013 № 445-пп «Об утверждении государственной программы Иркутской области «Развитие дорожного хозяйства на 2014–2020 годы».

8. Иркутские дороги вошли в список самых опасных в России (рейтинг) [Электронный ресурс] // Gazetairkutsk.ru.– URL: http://www.gazetairkutsk.ru/2012/03/26/id52445/. Доступ 21.01.2016.

9. Collection Road accidents and safety statistics [Электронный ресурс] // Gov.uk [сайт].– URL: https://www.gov.uk/government/collections/road-accidents-and-safety-statistics. Доступ 14.02.2016.

10. Указ президента РФ от 7 мая 2012 г. № 598 «О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения».

11. Митник В. М. Проблемы аварийности на дорогах и пути ее снижения // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия «Право».– 2013.– № 1.– С. 110–116.– URL: http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avariynosti-na-dorogah-i-puti-ee-snizheniya.

12. Официальный сайт Госавтоинспекции – URL: http://www.gibdd.ru/r/38/stat/. Доступ 13.02.2016.

13. Пеньшин Н. В., Титова А. А. Автомобиль и пешеход: конфликтные точки пересечений // Мир транспорта.– 2015.– № 3.– С. 172–183.

14. Какие меры предпринимаются в разных странах для обеспечения безопасности дорожного движения. [Электронный ресурс] // Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах».– URL: http://www.fcp-pbdd.ru/experience/211/23880/. Доступ 13.02.2016.

15. Karakus Akan, İdiz Nuri, Dalgiç Mustafa, Uluçay Tarik, Sincar Yasemin Comparison of the effects of two legal blood alcohol limits: the presence of alcohol in traffic accidents according to category of driver in Izmir, Turkey // Traffic Injury Prevention.– 2015.– Vol. 16, № 5.– pp. 440–442.– URL: http://www.ingentaconnect.com/search/article?option1=tka&value1=Road+accidents&pageSize=10&index=62. Доступ 14.02.2016.

16. Дементьева Ю. В. Влияние стажа работы на производственный травматизм // Мир транспорта.– 2015.– № 1.– С. 198–204.

17. Пеньшин Н. В., Титова А. А. Организация автодорожного движения: пассажиропоток и аварийность // Мир транспорта.– 2015.– № 5.– С. 168–183.

18. Скутнев В. М. Уровень аварийности на автомобильных дорогах и эффективность мер по обеспечению безопасности движения // Вектор науки Тольяттинского гос. ун-та.– 2012.– № 1.– С. 79–81.– URL: http://cyberleninka.ru/article/n/uroven-avariynosti-na-avtomobilnyh-dorogah-i-effektivnost-mer-po-obespecheniyu-bezopasnosti-dvizheniya.

19. Игнатушин В. К. Качество дорог как фактор эффективного повышения качества услуг на автомобильном транспорте // Вестник Тамбовского гос. технич. ун-та.– 2011.– № 1.– С. 147–152.– URL: http://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-dorog-kak-faktor-effektivnogo-povysheniya-kachestva-uslug-na-avtomobilnom-transporte.

Координаты автора: **Волчатова И. В.**– genesis@istu.edu.
Статья поступила в редакцию 08.02.2016, принята к публикации 14.04.2016.

ROAD ACCIDENTS: TRANSPORT AND SOCIAL RISKS

Volchatova, Irina V., *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.*

ABSTRACT

On the basis of statistics of traffic accidents accident rate on the roads of Irkutsk region was analyzed. It is shown that the majority of accidents with victims occur due to violations of traffic rules by drivers. The dependence of the number of accidents and injuries on time of day was identified. The maximum contribution to accident rate is made by car drivers.

Keywords: car, traffic safety, accident rate on roads, traffic accident, transport risk, social risk.

Background. *Road traffic accident is a problem that affects all countries. Annually 1,25 million deaths are recorded on the world's roads due to road traffic accidents (RTA). Injuries caused by traffic accidents are one of the main causes of death among young people aged 15 to 29 years [1]. In low- and middle-income countries, which account for slightly more than half of registered vehicles in the world, there are nevertheless 90% of all deaths due to road accidents. Cars, which are sold in 80% of the countries of the planet do not meet basic international safety standards.*

Objective. *The objective of the author is to consider transport and social risks of road accidents.*

Methods. *The author uses general scientific methods, comparison, analysis, graph construction, evaluation method.*

Results.

Strategy's priorities

According to statistics, every year in Russia about 200 thousand accidents occur, in which about 27 thousand people die, more than 250 thousand Russians get injured [2]. Those relative accident rate indicators are high such as the number of road fatalities per 10 thousand. units of transport (transport risk) and the number of road fatalities per 100 thousand population (social risk).

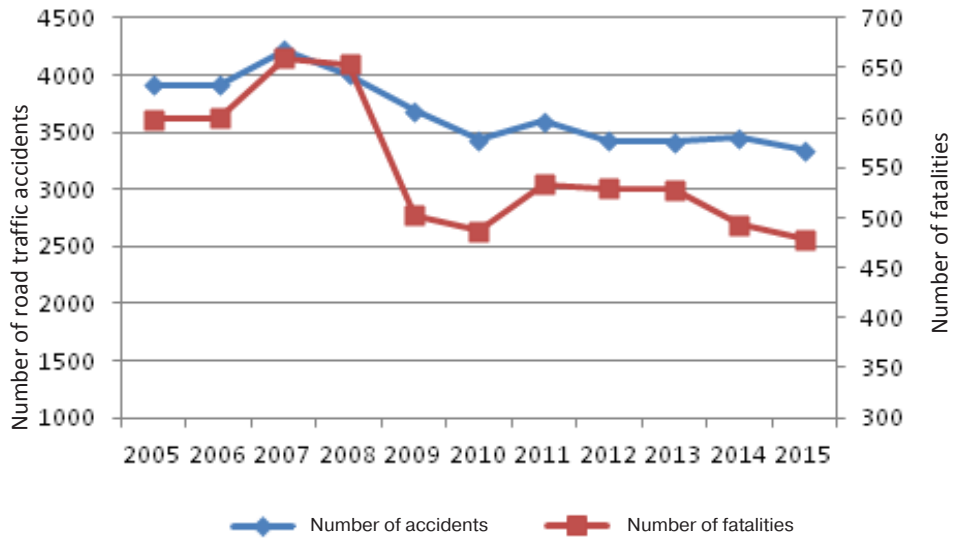
Due to the fact that negative effects of accidents in road transport are much higher than the damage caused by other accidents, road traffic safety has become one of the most important socio-economic and demographic problems of the country.

In recent years a series of legal acts has been adopted aimed at improving traffic control, prevention of causes of accidents and lessening their consequences. The federal target program «Development of Transport System of Russia (2010–2020)» has been formed and is existing now [3]. Increasing integrated safety and sustainability of the transport system is the basis of its subprogram «Highways», target indicators of which reflect the activities aimed at increasing the length of federal public roads, meeting relevant regulatory requirements.

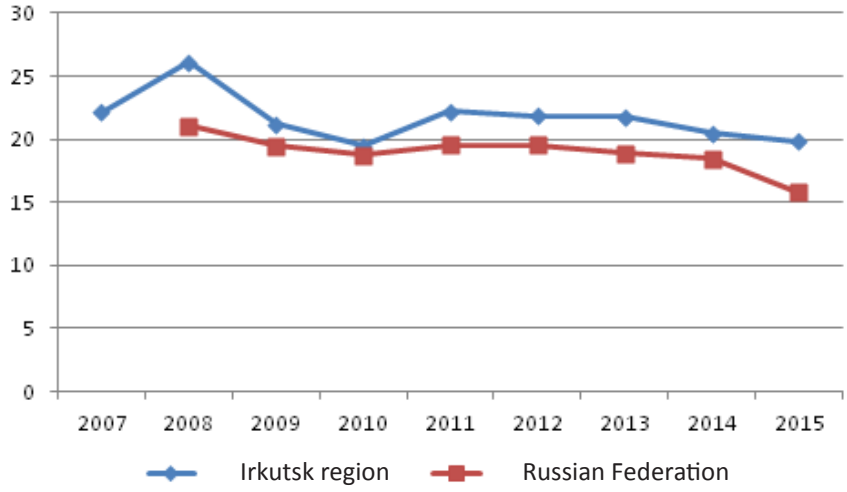
Priorities in the field of transport policy, safety of the road transport system are indicated in the transport strategy of the Russian Federation [4]. On solving one of the problems of strategy – improving road safety – focuses the federal target program «Improvement of traffic safety in 2013–2020», adopted in October 2013 [5]. The intended outcomes are reduction by 2020 deaths in road accidents by 8 thousand people (28,82%), social risks – by 30,5%, transport risk – by 36,7% (in comparison with 2012). The ability to achieve such performance is based on the positive results of the similar program, which was effect earlier[6], implementation of which has reduced by almost 30% the number of accidents with victims, by 23,6% –the number of deaths.

Ranking the most dangerous

Irkutsk region, located within the Baikal region, has an area of about 770 thousand. km² and a population is just above 2,4 million. Formed under the influence of local economic and geographic characteristics, the transport complex is represented by all kinds of transport – rail, road, air, inland waterways and a network of railways and roads.



Pic. 1. Accident rate on the roads of Irkutsk region.

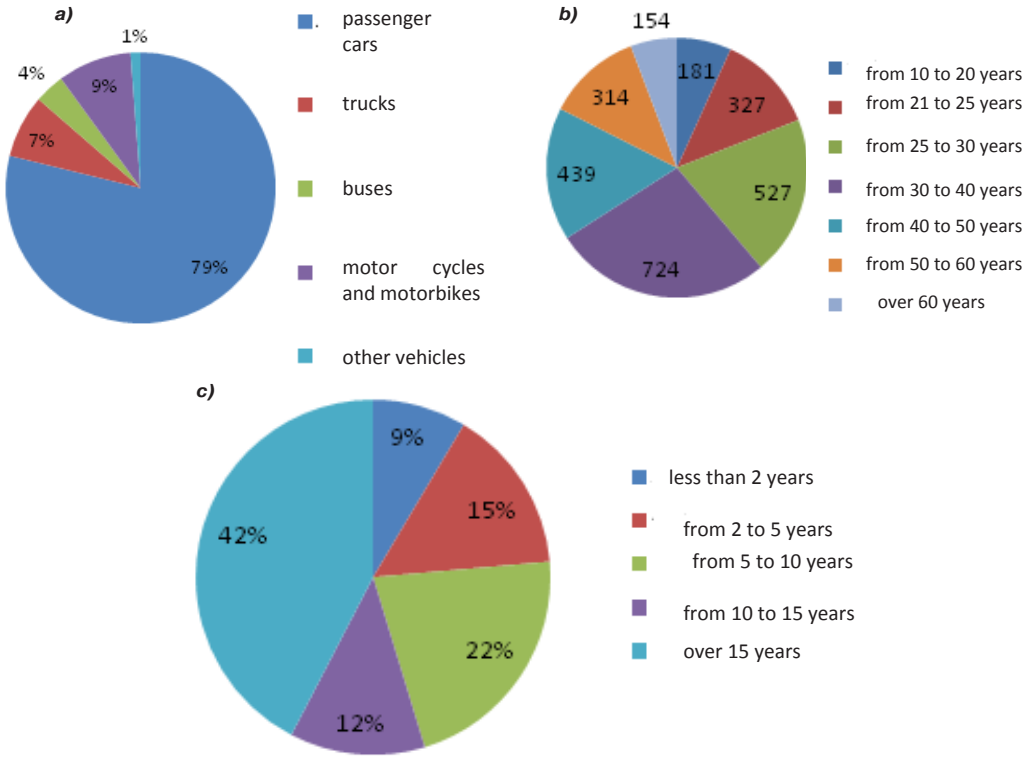


Pic. 2. The dynamics of death rate in road traffic accidents per 100 thousand population (social risk).

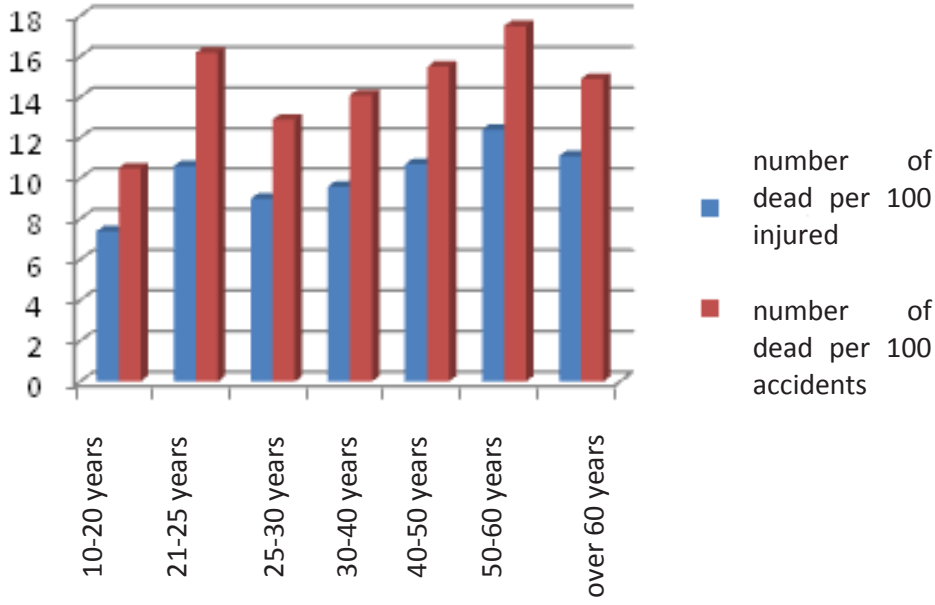
The basis of the road network is federal, regional and local roads with the length, respectively, 1,7, 12.6 and 17 thousand. km. More than 912 thous. cars are registered in the region and many transit cars are moving on them. The density of public roads is 24 km per 1000 km² of the territory, which is much less than the average figure in the Siberian Federal District [7]. Many highways are within the boundaries of cities and other settlements, which leads to an increase in the number of traffic accidents. In urban settlements, their share is about 70% of cases.

The serious point: the region repeatedly fell in the ratings of areas with the most dangerous roads. Thus, according to the inter-regional community center «For safety on the Russian roads» in 2011, among 30 the most densely populated regions of Russia it ranked the 22nd on this indicator [8]. During 2005–2015, in the area 37082 statistically recorded accidents occurred, which killed more than six thousand. people (Pic. 1).

Individual risk of death in a traffic accident was two times higher than the prevailing in international



Pic. 3. Distribution of accidents due to traffic violations: a) by types of vehicles; b) by age of the drivers; c) by specific driving experience.



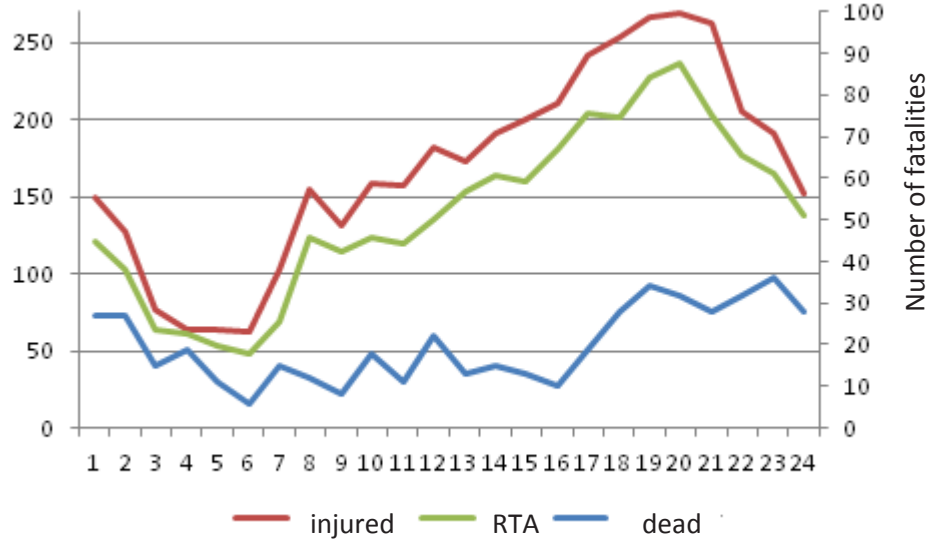
Pic. 4. The degree of severity of accidents related to violation of traffic rules by drivers of different age categories.

practice acceptable risk. As can be seen from the data (Pic. 1, 2), the peak of the accident rate in the period under review fell on 2007–2008. It coincided with maximum deaths both in absolute value and in relative terms (number of deaths per one accident, and per 100 thousand inhabitants).

The most favorable conditions for all indicators developed in 2010. Later in the positive dynamics of the decline in the overall number of road accident an increase in fatalities and relative indicators of accident rate was observed. So, the analysis of deaths in road accidents per 100 thousand. population (Pic. 2) revealed a consistently high level of social risk, including in comparison with its national values. And if the value of this indicator for the Russian Federation in 2015 (15,8) for the first time in more than 10 years has decreased significantly, the official data on the region (19,84) do not give cause for optimism. For information: in the UK, which has one of the lowest death rate on the roads in the world, the value of social risk is 2,9 [9].

The main culprits – men and passenger cars

Since the main cause of accidents in Irkutsk region, as in other regions of the country [11], is a flagrant violation of traffic rules by drivers, reduction of accident rate and fatalities is associated primarily with toughening of administrative sanctions for such offenses. It is no accident in the Code of Administrative



Pic. 5. Daily dynamics of road traffic accident rate in Irkutsk region in 2015.

Offences of the Russian Federation (Administrative Code) were added articles related to deprivation of a driver's license for repeated offenses; significantly increased the size of penalties, for example, unbuckled seat belt, car driving by a person deprived of this right. In the Administrative Code were introduced articles that assume responsibility for admission to operation of the vehicle for a driver, which has no Russian national driver's license, for infringement of the conditions for transportation of children, and others. In Art. 20 of the Federal Law «On Road Traffic Safety» a paragraph appeared on mandatory equipping of a number of vehicles for transportation of passengers and cargo with technical means of verification (tachographs).

According to statistics [12], in 2015, in the region occurred 2872 accidents because of traffic violations, or 86% of the total. Decisive influence on the accident rate have drivers of vehicles belonging to individuals. Specific weight of accidents with their participation exceeds 90%. By gender lion's share of violations that led to the accident (87%) were committed by men.

The maximum contribution to the accident rate was made by the drivers of passenger cars (Pic. 3a). This is not surprising, given that the share of such cars in the regional fleet is 74% [2]. Despite the positive overall trend, the increase in traffic accidents caused by drunk drivers alerts: regarding passenger cars – by 18,9%, among the owners of motorcycles – by 52,4% (2015 year to 2014 year).

Driving while intoxicated is not only a Russian problem. Thus, 40% of all accidents in the United States and 60% of fatalities are caused by drinking alcohol[14]. Only 34 countries in the world have national laws restricting the blood alcohol content (BAC) for young and novice drivers to a level consistent with best practices (≤ 0,2‰), and Russia is not among them.

Even in Turkey, where traffic rules are much more loyal than in our country (for example, there is not customary to buckle the seat belt, absence of a child seat is not an offence), in accordance with the current legislation, there are two permissible BAC level. Drivers of public transport, taxi, official drivers of vehicles must keep the zero concentration of alcohol in the blood while driving. The study of non-fatal accidents caused by drivers showed that drivers with zero BAC have a statistically lower risk of being in an accident than those with an acceptable level of BAC, which in Turkey is ≤ 0,5 g / l (≤ 0,5‰) [15].

A large number of accidents in 2015 was the fault of bus drivers (96, 21,5% higher than a year earlier). These accidents, not related, as a rule, to the state of intoxication due to the scale of losses can often be qualified as an emergency. So, overnight into November 26, 460 km from the regional center on the route Novosibirsk–Irkutsk as a result of exit into oncoming traffic occurred a head-on collision of minibus «Toyota» with another minibus, the result of which was the death of 7 people, two others were injured In just one year in accidents caused by drivers violating traffic rules buses 168 people were injured.

Experience creates confidence?

Nearly half of the incidents related to violation of traffic regulations, are caused by drivers between the ages of 25 and 40 (Pic. 3b), which is usually associated with high self-esteem of driving skills. However, the severity of accidents, which is determined by the number of dead per 100 accidents and the number of fatalities per 100 victims (the total number of dead and injured), is significantly higher for the age category of offenders from 40 years (Pic. 4). At the same for the same accidents falls an increase in accident rate indicators (number of accidents, number of dead and injured) in relation to the previous year. The severity of accidents is also great for the age category 21–25 years.

The largest contribution to the accident statistics of the region, as well as throughout Russia, was made not by novices, and by drivers with driving experience over 15 years (Pic. 3c). On the one hand, this can be explained by a large number of these drivers as compared with other categories. At the same time, the positive dynamics of violations of traffic rules is marked only for the named group of drivers. This may indirectly indicate that their significant contribution to their accident rate on the roads cannot be associated solely with large in absolute terms number of drivers with many years of driving experience. Most likely, the situation with accidents reflects the overall picture for professional experience in the high-risk characteristic of adoption to existing risks, reduced alertness and careless attitude to safety requirements [16].

About half of all accidents (48%) took place from Friday to Sunday, slightly higher than the nationwide figure (45%). The main types of accidents were collisions with vehicles and pedestrians. The proportion of the victims was 69%. Pedestrian collisions have led to the injury of 25,7% persons. Vehicle collisions are one of the most frequent types of accidents not only in the Irkutsk region [17].

More than 44% of the total number of accidents was accompanied by poor state of maintenance and arrangement of the road network. This factor is marked as exacerbating the situation with the road traffic accident rate in other regions of the country [11, 18], and in Russia as a whole [19].

Daily dynamics of the accident rate (Pic. 5) has revealed a correlation between road traffic injuries and the number of road accidents. Clear tendency to increase in these indicators was observed in the period from 6:00 a.m. to 20:00 p.m. Maximum road accidents accounted for the period from 16:00 p.m. to 21:00 p.m. – for a 5-hour interval occurred 32% of all accidents. At the same time this period had the highest number of victims. The death rate during the day varied constantly and had no clear trend.

The most numerous and the most vulnerable road users are pedestrians. In 2015, with their participation 1126 traffic accidents were recorded, which killed 134 and injured 1033 people. The vast number of accidents is collision with pedestrians. Despite the fact that such accidents are often the result of negligence of pedestrians themselves and their traffic rules violations, about half of all cases still occurred because of drivers, and 25,3% of the cases – at pedestrian crossings. Unregulated crossings became the scene of collision in 82% of cases. At the same time as the significant increase in the number of accidents and the number of injured was observed at regulated pedestrian crossings, which shows not just the fault of drivers, but a serious violation of rules for safe behavior on the road.

Unsettling statistics in 2015 is associated with traffic accidents involving children. And if the total number of such accidents has not increased, then compared to the previous year increased by 38,9% the share of fatalities among minors (under 16 years). More than half of cases relate to children-pedestrians, and here the growth in the number of dead and injured. In accidents involving children-passengers aggravating factor leading to injuries and deaths in

the category up to 12 years, was a violation of rules of children transportation (no seat belts or retaining devices) by drivers.

Instead of conclusion. *The analysis of accident rate on the roads of the Irkutsk region has revealed a high level of individual risk of death in an accident, which is significantly greater than the allowable. Most accidents occur due to violations of traffic rules by drivers. The low density of public roads, not designed for modern traffic flows, leads to a deterioration of traffic conditions and, as a consequence, increase in the number of accidents. This also contributes to the decrease in public transport transportation and a corresponding increase in transportation by passenger cars. High social and transport risks put the region among the regions with the most dangerous roads in Russia.*

Road safety is an important objective at all levels. It is no accident that in March 2010, the UN General Assembly proclaimed 2011–2020 as the Decade of Action for Road Safety. Globally decade plan formulated measures to improve the safety of roads and vehicles, improvement of provision of emergency medical care, creation of a common road safety control. The overall objective is stabilization and twofold reduction by 2020 of the projected death rate in accident situations.

REFERENCES

1. World's road safety report, 2015. Summary [*Doklad o bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija v mire, 2015 g. Rezjume*] [Electronic source] // World Health Organization.– URL: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_RU.pdf?ua=1. Last accessed 13.02.2016.

2. The uniform interdepartmental information and statistical system [*Edinaja mezhvedomstvennaja informacionno-statisticheskaja sistema*].– URL: http://fedstat.ru. Last accessed 13.02.2016.

3. Russian Federation Government Resolution dated 05.12.2001, № 848 «On the federal target program «Development of Transport System of Russia (2010–2020) » [*Postanovlenie pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 5.12.2001 g. № 848 «O federal'noj celevoj programme «Razvitie transportnoj sistemy Rossii (2010–2020 gody)»*].

4. Russian Federation Government Resolution dated November 22, 2008 № 1734-r «On approval of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period till 2030» [*Rasporjazhenie pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 22 nojabrja 2008 g. № 1734-r «Ob utverzhdenii Transportnoj strategii Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda»*].

5. Russian Federation Government Resolution dated 03.10.2013 № 864 on the federal target program «Increase of traffic safety in 2013–2020 years» [*Postanovlenie pravitel'stva RF ot 3.10.2013 g. № 864 «O federal'noj celevoj programme «Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija v 2013–2020 godah»*].

6. Russian Federation Government Resolution dated 20.02.2006 № 100 «On the federal target program «Increase of traffic safety in 2006–2012» [*Postanovlenie pravitel'stva RF ot 20.02.2006 g. № 100 «O federal'noj celevoj programme «Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija v 2006–2012 godah»*].

7. Resolution of the Government of the Irkutsk region dated 24.10.2013 № 445-pp «On approval of the state program of Irkutsk region «Road sector development for 2014–2020» [*Postanovlenie pravitel'stva Irkutskoj oblasti ot 24.10.2013 № 445-pp «Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Irkutskoj oblasti «Razvitie dorozhnogo hozjajstva na 2014–2020 gody»*].

8. Irkutsk roads entered the list of the most dangerous in Russia (ranking) [*Irkutskie dorogi voshli v spisok samyh opasnyh v Rossii (rejting)*][Electronic resource] // Gazetairkutsk.ru – URL: http://www.gazetairkutsk.ru/2012/03/26/id52445/. Last accessed 21.01.2016.

9. Collection Road accidents and safety statistics [Electronic source] // Gov.uk [website].– URL: https://www.gov.uk/government/collections/road-accidents-and-safety-statistics. Last accessed 14.02.2016.

10. Presidential Decree dated May 7, 2012 № 598 «On improvement of public health policy» [*Ukaz prezidenta RF ot 7 maja 2012 g. № 598 «O sovershenstvovanii gosudarstvennoj politiki v sfere zdravoohranenija»*].

11. Mitnick, V. M. Problems of road accidents and ways to reduce [*Problemy avarijnosti na dorogah i puti ee snizhenija*]. *Vestnik Samarskoj gumanitarnoj akademii. Serija «Pravo»*, 2013, Iss.1, pp. 110–116.– URL: http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avariynosti-na-dorogah-i-puti-ee-snizheniya.

12. The official website of State traffic police.– URL: http://www.gibdd.ru/r/38/stat/. Last accessed 13.02.2016.

13. *Penshin, N. V., Titova, A. A. Car and pedestrian: conflict crossing points. World of Transport and Transportation,* Vol.13, 2015, Iss. 3, pp. 172–183.

14. What measures are being taken in different countries to ensure road safety [*Kakie mery predprinimajutsja v raznyh stranah dlja obespechenija bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija*] [Electronic source] // The federal target program «Increase of traffic safety in 2013–2020 years».– URL: http://www.fcp-pbdd.ru/experience/211/23880/. Last accessed 13.02.2016.

15. Karakus Akan, İdiz Nuri, Dalgiç Mustafa, Uluçay Tarik, Sincar Yasemin Comparison of the effects of two legal blood alcohol limits: the presence of alcohol in traffic accidents according to category of driver in Izmir, Turkey. *Traffic Injury Prevention***,** Vol. 16, 2015, Iss. 5, pp. 440–442.– URL: http://www.ingentaconnect.com/search/article?option1=tka&value1=Road+accidents&pageSize=10&index=62. Last accessed 14.02.2016.

16. *Dementieva, Yu. V. The impact of professional work experience on industrial injuries rate. World of Transport and Transportation,* Vol.13, 2015, Iss.1, pp. 198–204.

17. *Penshin, N. V., Titova, A. A. Traffic organization: passenger flow and accident rate. World of Transport and Transportation,* Vol.13, 2015, Iss. 5, pp. 168–183.

18. Skutnev, V. M. Level of accident rate on the roads, and effectiveness of measures to ensure traffic safety [*Uroven' avarijnosti na avtomobil'nyh dorogah i effektivnost' mer po obespecheniju bezopasnosti dvizhenija*]. *Vektor nauki Tol'jattinskogo gos. un-ta,* 2012, Iss. 1, pp. 79–81.– URL: http://cyberleninka.ru/article/n/uroven-avariynosti-na-avtomobilnyh-dorogah-i-effektivnost-mer-po-obespecheniyu-bezopasnosti-dvizheniya.

19. Ignatushin, V. K. Quality of roads as a factor of effective improvement of the quality of services in road transport [*Kachestvo dorog kak faktor effektivnogo povyshenija kachestva uslug na avtomobil'nom transporte*]. *Vestnik Tambovskogo gos. tehnich. un-ta,* 2011, Iss. 1, pp. 147–152.– URL: http://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-dorog-kak-faktor-effektivnogo-povysheniya-kachestva-uslug-na-avtomobilnom-transporte.

Information about the author:
Volchatova, Irina V.– Ph.D. (Biology), associate professor at the department of Industrial ecology and life safety of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, genesis@istu.edu.

Article received 08.02.2016, accepted 14.04.2016.

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • HRM, EDUCATION & TRAINING

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ 244

Подготовка авиационного персонала в цифровую эпоху.

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ 254

Ключевые компетенции – фантом или реальность?

СИСТЕМНОСТЬ 262

Правила предусматривают. Персонал выполняет.

ЦЕЛИ И МОТИВЫ 270

Премия за бизнес-интерес. Поворот в теме.

INFORMATIZATION 244

Training of flight crew in digital era.

HUMAN RESOURCES 254

Are key competences a phantom or the reality?

SYSTEM APPROACH 262

The regulations are stipulating, the staff is implementing.

OBJECTIVES AND MOTIVATION 270

Bonus for being interested in business goals. A new turn in the topic.

УДК 658.5+004.78

Системный подход к подготовке менеджеров авиапредприятий в условиях информационного общества

Николай КОРЯГИН
Nicholay D. KORYAGIN

Борис ЕЛИСЕЕВ
Boris P. ELISEEV

Елисеев Борис Петрович *– доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), Москва, Россия.*
Корягин Николай Дмитриевич *– кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и управления на воздушном транспорте МГТУ ГА, Москва, Россия.*

System Approach to Training of Managers of Aviation Enterprises in Information Society
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 250)

В статье рассмотрены современные подходы к формированию профессиональных информационных компетенций менеджеров авиапредприятий на основе применения в учебном процессе вуза информационных технологий, используемых аэропортами и авиакомпаниями в целях повышения прибыльности и уровня лояльности целевых потребителей авиатранспортных услуг.

Ключевые слова: гражданская авиация, авиапредприятие, информационные технологии, информационные системы, авиатранспортный вуз, информационные компетенции.

В современном информационном обществе, которое характеризуется высоким уровнем развития информационных и телекоммуникационных технологий и их интенсивным использованием гражданами, бизнесом и органами государственной власти, информация получает статус стратегического ресурса, а информационные технологии (ИТ) приобретают глобальный характер, охватывая все сферы социальной деятельности человека.

Гражданская авиация является одной из отраслей российской экономики, традиционно использующей самые передовые технологии и обладающей высокой степенью информатизации процессов управления. В связи с этим особо важной стала проблема формирования у выпускников авиатранспортных вузов, обучающихся по управленческим направлениям, информационно-аналитических компетенций, обеспечивающих стратегическое соответствие человеческого капитала авиапредприятий требованиям, определяемым высоко турбулентным характером внешней бизнес-среды.

Одной из причин низкой эффективности авиапредприятий, приводящей зачастую к уходу с рынка авиаперевозок, является

Таблица 1

Применение ИС общего назначения в российских и зарубежных авиакомпаниях

Компания	Страна	ИС
Аэрофлот	Россия	SAP ERP Oracle Siebel (CRM)+ Oracle Airline Data Management (BI) ARIS (BPM)
ВИМ-Авиа	Россия	SAP ERP
ГТК Россия	Россия	Microsoft Dynamics Axapta (ERP)
ЮТэйр	Россия	SAP ERP
S7 (Сибирь)	Россия	Oracle E-Business Suite (ERP+CRM)
Air France	Франция	SAP ERP
Air India	Индия	Oracle E-Business Suite (ERP+CRM)
Alitalia	Италия	SAP ERP, SAP CRM MicroStrategy BI
American Airlines	США	SAP ERP Infor CRM Epiphany
Austrian Airlines	Австрия	mySAP Business Suite (финансы, HR, SRM, CRM) Business Information Warehouse BW Cognos (BI)
British Airways	Великобритания	SAP ERP Oracle HR
China Eastern Airlines	Китай	Oracle E-Business Suite (ERP+CRM)
Finnair	Финляндия	SAP ERP
Japan Airlines	Япония	SAP ERP, SAP NetWeaver
Lufthansa	Германия	SAP ERP, SAP NetWeaver, SAP BW (BI)
Saudi Arabian Airlines	Саудовская Аравия	SAP ERP
Singapore Airlines	Сингапур	SAP ERP
Ryanair	Ирландия	SAP ERP
Scandinavian Airlines (SAS)	Швеция	SAP ERP SAS Business Intelligence (BI)

слабая информационная поддержка решения задач анализа, планирования и управления материальными ресурсами и пассажиропотоками, а также недостаточная интеграция ИТ авиапредприятий в глобальные системы смежных отраслей – бронирования отелей, аренды автомобилей, туристические порталы, платежные системы и другие [1].

Руководители российских авиапредприятий хорошо понимают стратегическое значение ИТ в условиях обостряющейся конкурентной борьбы. Подтверждение этому, например, стратегия Группы «Аэрофлот» на 2015–2020 годы, которая рассматривает расширение функционала информационных систем управления предприятием в качестве одного из приоритетных направлений инвестирования [2]. Такая позиция полностью соответствует глобальному тренду. По данным компании SITA, являющейся лидером на рынке специализированных информационных технологий, применяемых в авиатранспортной отрасли, размер инвестиций аэропортов в информационные технологии в 2016 году может вырасти на 64% по сравнению с 2015 годом [3]. Внедрение ИТ-решений, направленных на совершенствование процедур обслуживания пассажиров, называют своими первостепенными планами почти три четверти аэропортов (73%).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Информационные технологии и информационные системы (ИС), используемые в гражданской авиации, направлены на решение двуединой задачи повышения операционной эффективности и обеспечения лояльности авиапассажиров на основе предложения им высокого качества обслуживания и могут быть условно разделены на две группы:

• информационные технологии (системы) общего назначения для повышения эффективности управления как авиапредприятиями, так и любым другим видом коммерческой деятельности;

• специализированные ИТ, используемые только в отрасли авиаперевозок.

Таблица 2

Отечественное прикладное программное обеспечение, которое может рассматриваться в качестве альтернативы продуктам зарубежных производителей

Класс ИС	Российские разработки
ERP	1С: ERP, Галактика ERP, Парус
CRM	1С: CRM, Quick Sales, Битрикс 24
BI	Прогноз, Deductor, Project Expert, Audit Expert, Галактика ERP
BPM	Бизнес-инженер, Business Studio
CPM	1С: Управление холдингом, ИНТАЛЕВ: Корпоративный менеджмент
PM	Spider Project

К первой группе следует отнести такие классы ИС:

• ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия);

• CRM (Customer Relationships Management – управление взаимоотношениями с клиентами);

• BI (Business Intelligence – бизнес-аналитика);

• BPM (Business Process Management – управление бизнес-процессами);

• PM (Project Management – управление проектами).

Перечисленные классы информационных систем применяются подавляющим большинством авиапредприятий, являясь настольными программными средствами менеджеров всех уровней.

В перспективе, учитывая существующий тренд укрупнения авиапредприятий, управление которыми предполагает применение методов стратегического и корпоративного управления, следует ожидать пристального внимания топ-менеджмента к таким классам ИС, как:

• CPM (Corporate Performance Management – управление эффективностью корпорации; альтернативное наименование – EPM Enterprise Performance Management – управление эффективностью предприятия);

• PPM (Project Portfolio Management – управление портфелями проектов);

• GRC (Governance, Risk, Compliance – политики управления, управление рисками и соответствие требованиям).

Данные о практическом применении ИС общего назначения в российских и зарубежных авиакомпаниях представлены в таблице 1 [4].

Как показывает анализ таблицы, в настоящее время основная масса авиакомпаний применяет ИС западных производителей (SAP, Microsoft и Oracle).

ERP-системы также применяются в управлении ресурсами большинства аэропортов [5].

Однако возросшая стоимость владения импортными ERP-системами в связи с ростом курсов западных валют привела к тому, что в России растущую популярность набирает мнение «1С – наше все». По состоянию на конец 2015 года количество проектов внедрения 1С: ERP было сопоставимо с количеством внедрений SAP ERP [6]. А система 1С: CRM на рынке России в 2015 году заняла третье место по популярности [7].

Кроме экономического аспекта на выбор ИС оказывает влияние проблема информационной безопасности государства, которая в сфере авиаперевозок также стоит весьма остро. В свете антироссийских санкций правительством РФ был объявлен курс на «цифровой суверенитет» – импортозамещение продукции в сфере информационных технологий [8]. Российские компании все чаще приобретают программное обеспечение у отечественных производителей, рассматривая импортозамещение в ИТ-сфере как превентивную меру на случай введения санкций западными странами [9]. Возможные варианты импортозамещения в сфере ИС общего назначения представлены в таблице 2.

К числу специализированных ИТ, используемых только в отрасли авиаперевозок, относятся информационные системы и мобильные приложения, обеспечивающие автоматизацию бизнес-процессов авиапредприятий, а также предоставление комплекса информационных, в том числе мобильных, сервисов (услуг) авиапассажирам [10].

ТРЕБОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ К ИНФОРМАЦИОННЫМ КОМПЕТЕНЦИЯМ

Для определения содержания учебного процесса по формированию информационных компетенций менеджеров необходимо сопоставить соответствующие требования федерального государственного образовательного стандарта с предназначением и функциональными возможностями ИС различных классов (таблица 3).

Анализ таблицы 3 позволяет сделать вывод, что ФГОС направления подготовки 38.03.02 «Менеджмент» предполагает необходимость комплексного изучения в вузе ИС ERP, CRM, BI, BPM, PM. При этом не исключается и вопрос изучения специализированных ИС (ИТ).

В то же время анализ информации, представленной на официальных сайтах ведущих вузов, осуществляющих подготовку студентов по направлению 38.03.02 «Менеджмент», показывает, что далеко не во всех учебных заведениях реализован системный подход к формированию информационных компетенций студентов, предполагающий комплексное внедрение в учебный процесс всех классов ИС, представленных в таблице 3.

К числу основных причин такого положения можно отнести:

• недостаточное число преподавателей, одинаково компетентных в информационных технологиях и технологиях управления;

• оторванность методик преподавания современных информационных технологий от решения практических задач управления и, как следствие, крайне слабая мотивация будущих управленцев к овладению информационными технологиями в стенах вуза;

• отсутствие в учебных планах достаточного времени на изучение ИС;

• недостаточное использование вузами возможностей, предоставляемых университетскими программами ИТ-компаний;

• постоянное отставание в оснащении вузов современной вычислительной техникой и программным обеспечением.

НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для внедрения в учебный процесс изучения студентами ИС (ИТ) необходимо ответить на такие ключевые вопросы:

1. Кто будет преподавать соответствующие учебные дисциплины?

2. Как организовать изучение ИС в рамках учебного плана?

3. На основе каких программных продуктов будет проводиться обучение и как получить доступ к ним?

Решение задачи формирования информационных компетенций менеджеров возможно лишь при условии системного понимания преподавателями, ведущими ИТ-дисциплины, информационных потребностей

Таблица 3

ИС, необходимые в учебном процессе для формирования информационных компетенций, предусмотренных ФГОС3 38.03.02 «Менеджмент» [11]

Информационные компетенции по ФГОС3	Классы ИС, изучение которых обеспечивает формирование данных компетенций
- Способность работать с информацией в глобальных компьютерных сетях и корпоративных информационных системах (ОК-18)	ERP
- Способность проектировать организационную структуру, осуществлять распределение полномочий и ответственности на основе их делегирования (ПК-2)	BPM
- Способность оценивать влияние инвестиционных решений и решений по финансированию на рост ценности (стоимости) компании (ПК-12)	BI
- Владение современными технологиями управления персоналом (ПК-14)	ERP
- Владение методами управления проектами и готовностью к их реализации с использованием современного программного обеспечения (ПК-20)	PM BI
- Знание современной системы управления качеством и обеспечения конкурентоспособности (ПК-23)	BPM
- Способность решать управленческие задачи, связанные с операциями на мировых рынках в условиях глобализации (ПК-24)	ERP
- Способность анализировать поведение потребителей экономических благ и формирование спроса (ПК-29)	CRM
- Умение применять количественные и качественные методы анализа при принятии управленческих решений и строить экономические, финансовые и организационно-управленческие модели (ПК-31)	BI BPM
- Владение средствами программного обеспечения анализа и количественного моделирования систем управления (ПК-33)	BI BPM
- Владение методами и программными средствами обработки деловой информации, способностью взаимодействовать со службами информационных технологий и эффективно использовать корпоративные информационные системы (ПК-34)	ERP
- Умение моделировать бизнес-процессы и знакомство с методами реорганизации бизнес-процессов (ПК-35)	BPM
- Умение проводить аудит человеческих ресурсов и осуществлять диагностику организационной культуры (ПК-37)	ERP
- Способность применять основные принципы и стандарты финансового учета для формирования учетной политики и финансовой отчетности организации (ПК-38)	ERP
- Способность анализировать финансовую отчетность и принимать обоснованные инвестиционные, кредитные и финансовые решения (ПК-40)	BI

управления, что, в свою очередь, требует глубокого знания ими современных управленческих технологий в таких областях, как стратегический менеджмент, финансовый менеджмент, маркетинг, бухгалтерский и управленческий учет, бюджетирование, управление проектами, персоналом, инвестициями, рисками, аудит и т.п.

Оптимальным вариантом решения этой проблемы могло бы быть привлечение на преподавательскую работу специалистов, имеющих практический опыт использования различных классов информационных систем при решении бизнес-задач. Однако такой подход трудно реализуем из-за несопоставимо более низкого уровня оплаты труда преподавателей в большинстве российских вузов по сравнению с уровнем зарплат квалифицированных специалистов в бизнесе.

Более реалистичными здесь, на наш взгляд, являются:

• формирование информационных компетенций студентов в рамках предусмотренных учебным планом ИТ-дисциплин преподавателями, прошедшими повышение квалификации в системе дополнительного профессионального образования;

• формирование информационных компетенций студентов в рамках предусмотренных учебным планом управленческих и ИТ-дисциплин преподавателями, прошедшими обучение по различным классам информационных систем на основе партнерских программ производителей ИС.

Однако при использовании первого подхода велика вероятность того, что преподаватели ИТ-кафедр, даже прошедшие соответствующее управленческое повышение квалификации, будут на подсознательном уровне тяготеть к тому, что является для них «родным», к архитектуре информационных систем, базам данных и т.п., уделяя внимание информационным потребностям управления по остаточному принципу. Поэтому более предпочтительным является второй вариант.

При организации изучения студентами современного ППО могут рассматриваться три альтернативы:

1. Изучение всего функционала ППО в рамках дисциплины «Информационные технологии в менеджменте».

2. Изучение частных составляющих функционала ИС в рамках существующих управленческих дисциплин, предполагающих использование ИТ в пределах формируемых ими компетенций.

3. Интеграция первого и второго подходов.

Первый подход требует наличия преподавателей, обладающих интегральными знаниями всего функционала ERP, CRM и других классов ИС. Если даже вузу удастся найти такого универсала, то рыночная стоимость его услуг будет в разы превышать среднюю заработную плату преподавателя бюджетного учебного заведения. Кроме того, подобный уникум станет слабым звеном в системе кадрового обеспечения, так как его болезнь или увольнение приведут к срыву изучения студентами ИТ.

Использование только второго подхода приводит к фрагментарности и несистемности знаний студентов.

Третий вариант представляется наиболее предпочтительным, так как в этом случае обеспечивается:

• получение студентами младших курсов целостного представления о возможностях различных классов ИС по повышению эффективности управления авиапредприятиями;

• углубленное изучение студентами старших курсов тех модулей (подмодулей) ИС, которые в наибольшей степени соответствуют будущей функциональной специализации выпускников.

Существенным является также вопрос о том, нужно ли студенту изучать технологию работы с конкретным типом ИС, или достаточно демонстрации преподавателем возможностей прикладного программного обеспечения в расчёте на то, что, трудоустроившись в конкретную организацию, выпускник на месте освоит тот тип ИТ, который используется авиапредприятием. Личный опыт одного из авторов данной статьи позволяет утверждать, что каждый студент должен иметь возможность практической работы с ИС. Это нужно, в первую очередь, для преодоления психологического барьера в общении с информационными системами. После получения студентом такого опыта современные ИС перестают быть для него «черными ящиками», что заметно упрощает ему освоение ИТ в рамках профессиональной адаптации на рабочем месте. Попытка же преподавать информационные аспекты

управления без обеспечения студенту доступа к реальной ИС приводит к демотивации обучаемого.

Вопрос получения вузом доступа к ИС соответствующего класса и организации обучения преподавателей достаточно легко решается в рамках программ сотрудничества с производителями ППО.

Таким образом, на пути формирования информационных компетенций у выпускников направления «Менеджмент» в части, касающейся ИС общего назначения, не существует каких-либо непреодолимых препятствий, требуется лишь политическая воля и реализующая ее целенаправленная деятельность. При этом решение комплекса описанных выше задач позволит вузу, с одной стороны, обеспечить соответствие компетенций выпускников современным требованиям информационного общества, а с другой – существенно повысить привлекательность вуза для абитуриентов своих бакалаврских программ и создать предпосылки для формирования конкурентоспособных программ магистратуры по управленческим направлениям подготовки.

Гораздо более сложной проблемой является получение вузом доступа к учебным или демонстрационным версиям специализированных ИТ, используемых только в отрасли авиаперевозок. К сожалению, у ведущих производителей специализированных ИС сегодня отсутствуют программы, аналогичные программам производителей ИС общего назначения. В условиях ограниченных финансовых возможностей авиатранспортных вузов решение этой проблемы требует поиска новых подходов к организации взаимодействия с бизнесом.

Московский государственный технический университет гражданской авиации и международная компания SITA, мировой лидер в области информационных и телекоммуникационных систем для авиатранспортной отрасли, в марте 2016 года подписали декларацию о сотрудничестве в образовательной и научно-исследовательской областях, предполагающую участие технических экспертов SITA в образовательном процессе и научных исследованиях, обмен научной и учебно-методической литературой с целью совершенствования образовательной системы и формирования профессиональных компетенций у будущих авиационных специалистов [12]. И есть надежда, что начатый диалог принесет отраслевым интересам ожидаемый позитивный результат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации (утв. президентом РФ 07.02.2008 N Пр-212). Информационный банк «Российское законодательство (Версия Проф) ».

2. Арсентьев А. ИТ-системы аэропортов: акцент на контроль и безопасность. [Электронный ресурс] // Наименование ресурса (напр Cnews): http://www.cnews.ru/reviews/avia_2014/articles/itsistemy_aeroportov_aktsent_na_kontrol_i_bezopasnost. Доступ 24.06.2016.

3. Воронина Ю. Импортозамещение уменьшит падение рынка ERP-систем. [Электронный ресурс] // Российская газета (RG RU)): сайт. URL: https://rg.ru/2015/11/27/erp-sistemy.html. Доступ 24.06.2016.

4. Иванов Б. Импортозамещение в ИТ: производителям нужно начинать с интеграторов. [Электронный ресурс] // PCWEEK: http://www.pcweek.ru/business/article/detail.php? ID=177545. Доступ 24.06.2016.

5. Карачаровский В., Попова М. Преимущества ИТ в авиации «смазывает» человеческий фактор. [Электронный ресурс] // Cnews: http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2009/04/14/344202_1. Доступ 24.06.2016.

6. Корягин Н. Д. Стратегические направления обеспечения конкурентоспособности авиапредприятий в условиях современного информационного общества. [Электронный ресурс] // «Инновации в гражданской авиации»: электронный журнал. URL: http://www.mstuca.ru/biblio/magazin.php/. Доступ 24.06.2016.

7. Синицкий А. Инвестиции в цифру. [Электронный ресурс] // ATO.RU: http://www.ato.ru/content/investicii-v-cifru. Доступ 24.06.2016.

8. Ференец В. Авиаперевозчики завершают создание ИТ-нфраструктуры.. [Электронный ресурс] // Cnews: http://www.cnews.ru/reviews/avia_2014/articles/aviaperevozchiki_zavershayut_sozdanie_itinfrastruktury. Доступ 24.06.2016.

9. Самые популярные CRM в России в 2015 году. [Электронный ресурс] // CRM2Web: http://www.crm2web.ru/tags/CRM_rynok/. Доступ 24.06.2016.

10. Bloomberg: курс на импортозамещение в РФ создает проблемы Microsoft. [Электронный ресурс] // РИА Новости: http://ria.ru/economy/20150618/1076329735.html. Доступ 24.06.2016.

11. Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС3) по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент» (квалификация (степень) «бакалавр»).

12. BaseGroup Labs. [Электронный ресурс]: https://basegroup.ru/partners/apply/education. Доступ 24.06.2016.

Координаты авторов: **Елисеев Б. П.** – info@mstuca.aero, **Корягин Н. Д.** – n.koryagin@mstuca.aero.

Статья поступила в редакцию 26.05.02.2016, принята к публикации 30.06.2016.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научного проекта № 15–02–00007.

SYSTEM APPROACH TO TRAINING OF MANAGERS OF AVIATION ENTERPRISES IN INFORMATION SOCIETY

Eliseev, Boris P., *Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia.*
Koryagin, Nikolai D., *Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article considers the modern approaches to formation of professional information competence of managers of aviation enterprises on the basis of application of modern information technologies used by airports and airlines to improve profitability and the level of loyalty of the target consumers of air transport services in educational process of the air transport university.

Keywords: civil aviation, aviation enterprise, information society, information technology, information systems, air transport university, information competence.

Background. *In modern information society, which is characterized by a high level of development of information and telecommunication technologies and their intensive use by citizens, businesses and public authorities, the information acquires the status of a strategic resource, and information technology (hereinafter – IT) obtain a global character, covering all spheres of social activity of a person.*

Civil aviation is one of the branches of the Russian economy, traditionally uses the most advanced technology and possesses a high degree of informatizaton of management processes. Therefore, in the information society of particular importance is the problem of formation of the graduates of aviation universities, enrolled in the management areas of training, information and analytical competence to ensure strategic compliance of the human capital of aviation enterprises with requirements, determined by a highly turbulent nature of the external business environment.

One of the major reasons for a low efficiency of aviation enterprises, leading often to the withdrawal from the air transport market, is a weak information support of solution of tasks of analysis, planning and management of material resources and passenger traffic, as well as the lack of integration of IT of airlines in the global systems of related industries – hotel reservations, car rental, travel portals, payment systems, and others [1].

Heads of Russian airlines are well aware of the strategic importance of IT in the face of increasing competition. Proof of this is, for example, Strategy of «Aeroflot» group for 2015–2020, which considers the extension of functionality of enterprise management information system as one of the priority areas of investment [2]. This position is fully consistent with the global trend. According to SITA company, which is the market leader in the specialized information technologies used in the airline industry, the size of investments of airports in information technology in 2016 could grow by 64% compared to 2015 [3]. Implementation of IT solutions aimed at improving the passenger service procedures are called by nearly three-quarters of the airports (73%) as their paramount plans.

Objective. *The objective of the authors is to analyze the existing systematic approach to formation of competencies of aviation managers related to information systems and technologies.*

Methods. *The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach.*

Results.

Information technology and systems used in civil aviation

Information technology and information systems (hereinafter – IS) used in civil aviation, are aimed at solving the dual task of improving operational efficiency and ensuring the loyalty of airline passengers based on the quality of service offered to them, and can be divided into two groups:

- *information technology (systems) of general purpose, used to improve management efficiency of an aviation enterprise, as well as of any other kind of commercial activity;*
- *specialized IT, used only in the air transport industry.*

The first group includes such classes of IS, as:

- *ERP (Enterprise Resource Planning);*
- *CRM (Customer Relationships Management);*
- *BI (Business Intelligence);*
- *BPM (Business Process Management);*
- *PM (Project Management).*

These classes of information systems are actively used by the overwhelming majority of airlines, as desktop software for managers at all levels.

In the long term, given the current trend of consolidation of airlines, management of which requires the use of methods of strategic and corporate management, we should expect close attention of top management to such classes of IS as:

- *CPM (Corporate Performance Management; an alternative name – EPM Enterprise Performance Management);*
- *PPM (Project Portfolio Management);*
- *GRC (Governance, Risk, Compliance).*

The data on the practical application of IS of general purpose in Russian and foreign airlines are presented in Table 1 [4].

As the analysis of the table shows, currently the bulk of airlines uses IS of Western manufacturers (SAP, Microsoft and Oracle).

ERP-systems are also used in resource management of most airports [5].

However, the increased cost of ownership of imported ERP-systems in connection with the growth of Western currencies exchange rates has led to the fact that in Russia the opinion «1C is our all» is gaining more and more popularity. As of the end of 2015 the number of implementation projects of 1C: ERP in Russia was comparable to the number of SAP ERP implementations [6]. And system 1C: CRM in the Russian market in 2015 ranked third in popularity [7].

Besides the economic aspect IS selection is affected by the problem of information security of the state, which in the airline industry is very acute. In light of the anti-Russian sanctions the Russian government has declared a policy of «digital sovereignty» – import substitution of products in the field of information technology [8]. Russian companies are increasingly acquiring software from domestic producers, considering the import substitution in the IT field as a preventive measure in the event of imposition of sanctions by Western countries [9]. Possible variants

of import substation in IS of general purpose are shown in Table 2.

The specialized IT used only in the airline industry include information systems and mobile applications, providing automation of business process of airlines, as well as providing passengers with a complex of information, including mobile services [10].

Analysis of the requirements of the federal state educational standards to information competence of managers

To determine the content of the educational process of the university on formation of information competence of managers, it is necessary to compare the relevant requirements of the federal state educational standards (FSES) with the purpose and functionality of IS of different classes (Table 3).

Analysis of Table 3 leads to the conclusion that FSES of training program 38.03.02 «Management» implies the need for a comprehensive study of IS ERP, CRM, BI, BPM, PM in the university. The question of studying specialized IS (IT).

At the same time, the analysis of the information provided on the official websites of the leading universities that train students in the program 38.03.02 «Management», shows that not in all universities a systematic approach to formation of information competence of students is implemented, involving a comprehensive introduction to the educational process all classes of IS, shown in table 3.

The main reasons for this situation are:

• insufficient number of university teachers, who are equally competent in information technology and management techniques;

• isolation of the teaching methods of modern information technologies on the solution of practical management problems and, as a consequence, very little motivation of future managers to master information technology in the walls of the university;

• lack of sufficient time in the training curricula to study IS;

• insufficient use of opportunities provided by university programs of IT companies;

• constant backlog in equipping universities with modern computer equipment and software.

Some practical recommendations on organization of formation in the university of information competencies of airlines' managers

For introduction of the study of modern IS (IT) in the learning process of students it is necessary to answer key questions, such as:

1. Who will teach the relevant subject matters?

2. How to organize the study of IS within the curriculum?

3. On the basis of what software the training will be performed, and how to access them?

Solution of the problem of formation of managers' information competence is possible only in case of a systemic understanding of the teachers, holding classes in IT disciplines, management information needs, which, in turn, requires a deep knowledge of modern management techniques by them in areas such as strategic management, financial management, marketing, accounting and management accounting, budgeting, management of projects, human resources, investment, risk, audit etc.

The best solution to this problem would be to attract to teaching professionals with practical experience in the use of different classes of information systems in solving business problems. However, this approach is difficult to be implemented due to incomparably lower remuneration levels of teachers in the majority of Russian universities in comparison with the level of wages of skilled professionals in the business.

Table 1

Use of IS of general purpose in Russian and foreign airlines

Company	Country	IS
Aeroflot	Russia	SAP ERP Oracle Siebel (CRM)+ Oracle Airline Data Management (BI) ARIS (BPM)
VIM-Avia	Russia	SAP ERP
GTK Rossiya	Russia	Microsoft Dynamics Axapta (ERP)
UTair	Russia	SAP ERP
S7 (Siberia)	Russia	Oracle E-Business Suite (ERP+CRM)
Air France	France	SAP ERP
Air India	India	Oracle E-Business Suite (ERP+CRM)
Alitalia	Italy	SAP ERP, SAP CRM MicroStrategy BI
American Airlines	USA	SAP ERP Infor CRM Epiphany
Austrian Airlines	Austria	mySAP Business Suite (finance, HR, SRM, CRM) Business Information Warehouse BW Cognos (BI)
British Airways	UK	SAP ERP Oracle HR
China Eastern Airlines	China	Oracle E-Business Suite (ERP+CRM)
Finnair	Finland	SAP ERP
Japan Airlines	Japan	SAP ERP, SAP NetWeaver
Lufthansa	Germany	SAP ERP, SAP NetWeaver, SAP BW (BI)
Saudi Arabian Airlines	Saudi Arabia	SAP ERP
Singapore Airlines	Singapore	SAP ERP
Ryanair	Ireland	SAP ERP
Scandinavian Airlines (SAS)	Sweden	SAP ERP SAS Business Intelligence (BI)

Table 2

Domestic application software, which can be considered as an alternative to the products of foreign manufacturers in the implementation of the concept of import substitution

Class of IS	Russian developments
ERP	1C: ERP, Galaktika ERP, Parus
CRM	1C: CRM, Quick Sales, Bitrix 24
BI	Prognoz, Deductor, Project Expert, Audit Expert, Galaktika ERP
BPM	Business- engineer, Business Studio
CPM	1C: Holding management, INTALEV: Corporate management
PM	Spider Project

Realistic ways to solve the problem outlined above are:

• formation of information competence of students in the framework of teaching provided by the curriculum of IT disciplines by teachers of IT departments of universities that have passed advanced training in the framework of the relevant programs of additional vocational training, ensuring the formation of managerial competencies;

Table 3

IS, the study of which is necessary within the framework of the educational process of the university for formation of information competence provided by FSES in training program 38.03.02 «Management» [11]

Information competence according to FSES	IS classes, the study of which provides the formation of these competencies
- Ability to work with information in global computer networks and corporate information systems (OC-18)	ERP
- Ability to design an organizational structure, to carry out distribution of powers and responsibilities on the basis of their delegation (PC-2)	BPM
- Ability to assess the impact of investment decisions and funding decisions on the value(cost) growth of the company (PC-12)	BI
- Possessing of modern personnel management techniques (PC-14)	ERP
- Possessing of project management methods and willingness to implement them with the use of modern software (PC-20)	PM BI
- Knowledge of modern quality management system and ensuring of its competitiveness (PC-23)	BPM
- Ability to solve managerial problems related to operations in the world markets in the context of globalization (PC-24)	ERP
- Ability to analyze behavior of consumers of economic goods and formation of demand (PC-29)	CRM
- Ability to apply quantitative and qualitative methods of analysis in management decisions and to build economic, financial and organizational management model (PC-31)	BI BPM
- Possessing of the means of software for analysis and quantitative modeling of control systems (PC-33)	BI BPM
- Possessing of methods and software for processing of business information, ability to interact with the services of information technology and efficient use of corporate information systems (PC-34)	ERP
- Ability to model business processes and familiarity with the methods of business process reorganization (PC-35)	BPM
- Ability to conduct an audit of human resources and to diagnose the organizational culture (PC-37)	ERP
- Ability to apply the basic principles and standards of financial accounting for the formation of accounting policies and financial reporting of the organization (PC-38)	ERP
- Ability to analyze financial statements and make reasonable investment, credit and financial decisions (PC-40)	BI

• formation of information competence of students in the framework of teaching provided by the curriculum of management and IT disciplines by teachers of management departments of universities, trained on the different classes of information systems within the framework of partnership programs of IS manufacturers.

However, when using the first approach, it is likely that teachers of IT departments, even after appropriate management advanced training, while teaching IT disciplines will subconsciously gravitate towards what is «native» for them, i.e. the architecture of information systems, databases, etc., paying attention to the information needs of management residually. Therefore, the second embodiment is more preferred.

When organizing the studying of students of modern AS three alternatives can be considered:

1. The study of the entire functionality of AS within the discipline «Information Technologies in Management».

2. The study of private components of IS functionality within the existing management disciplines that involve the use of IS within the competences formed by them.

3. Integration of the first and second approaches.

The first approach requires teachers with integral knowledge of all functionality of ERP, CRM and other IS classes. Even if the university finds such a generalist, the market value of his services will be many times greater than the average salary of the teacher of the university financed from the budget. In addition, such a unique person will be a weak link in the system of staffing, as his illness or dismissal will lead to the disruption of studying IT by students.

Using only the second approach leads to fragmentation and non-systemacity of students' knowledge.

The third option is the most preferred, since in this case are provided:

• obtaining by lower-course students a holistic view of the possibilities of different IS classes to improve efficiency of management of an aviation enterprise;

• an in-depth study of senior students of modules (submodules) of IS that are most relevant to future functional specialization of the graduates.

Essential issue is also the question of whether a student needs to study technology of work with a specific type of IS, or a demonstration by a teacher of application of software capabilities is enough, based on the fact that after obtaining employment in a particular organization, a graduate on site will master a type of IS, which is used by this airline. Personal experience of one of the authors of this article suggests that every student should have the opportunity to practice working with IS. It is necessary, first of all, to overcome a psychological barrier in dealing with information systems. Upon receipt of such an experience by a student the modern IS are no longer «black boxes» for a student that it greatly simplifies the mastering IS in the framework of professional adaptation to a particular workplace. The attempt to teach information management aspects without providing a student with an access to a real IS leads to demotivation of a student.

Question of obtaining by a university of an access to IS of an appropriate class and organization of teachers' training is now quite easy to be solved within cooperation programs with universities that are implemented by the most well-known manufacturers of AS.

Given the factor of import substitution noted above a particular role in terms of the interests of universities, is obtained by the programs of cooperation with universities, implemented by Russian companies.

For example, programs of interaction with universities are realized by Russian companies 1C (IS1C:. ERP, etc.) [12], BETEC (IS Business Engineer)

[13] and Expert Systems (IS Project Expert, Audit Expert, Quick Sales) [14], BaseGroup Labs (IS Deductor) [15] and other Russian companies working in the development of application software and IT consulting.

Thus, in the way of solving the problem of formation of information competence of graduates in the direction «Management» as it relates to IS of a general purpose, there are no insurmountable obstacles, only political will and purposeful activity, realizing it, are required. The solution of complex problems described above will allow the university on the one hand, to ensure that the competences of the graduates comply with modern requirements of the information society, and on the other hand, to significantly enhance the attractiveness of the university for applicants of their Bachelor's programs and to create the conditions for formation of competitive Master's programs in management areas of training.

Conclusion. *A much more difficult problem is to get an access to education or to demo versions of specialized IT used only in the airline industry by a university. Unfortunately the leading manufacturers of specialized IS do not have currently programs similar to university programs of manufacturers of IS of general purpose. Given the limited financial capacity of air transport university to have access to specialized information systems, providing automation of business process of airports and airlines, is a very difficult task today. Solving this problem requires new approaches to organization of interaction of universities with the business. For instance, Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU CA) and the international company SITA, the world leader in the field of information and telecommunications systems for the aviation industry, in March 2016 signed a declaration on cooperation in education and research areas that involve participation of technical experts of SITA in education and research, exchange of scientific and educational literature with the aim of improving the educational system and formation of professional competence of future aviation specialists [16].*

REFERENCES

1. Ferenets, B. Air carriers complete the creation of IT infrastructure [*Aviaperevozchiki zavershajut sozdanie IT-nfrastruktury*]. [Electronic resource] // Cnews. URL: http://www.cnews.ru/reviews/avia_2014/articles/aviaperevozchiki_zavershayut_sozdanie_itinfrastruktury. Last accessed 24.06.2016.

2. Aviation EXplorer. [Electronic resource]. URL: http://www.aex.ru/news/2014/12/3/127501/. Last accessed 24.06.2016.

3. Sinitskiy, A. Investments in digital symbols [*Investicii v cifru*]. [Electronic resource] // ATO.RU. URL: http://www.ato.ru/content/investicii-v-cifru. Last accessed 24.06.2016.

4. Karacharovsky, V., Popova, M. Benefits of IT in aviation are «slurred» by a human factor [*Preimushhestva IT v aviacii «smazyvaet» chelovecheskij factor*]. [Electronic resource] // Cnews. URL: http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2009/04/14/344202_1. Last accessed 24.06.2016.

5. Arsentiev, A. IT systems of airports: focus emphasis on control and safety [*IT-sistemy aeroportov: akcent na kontrol' i bezopasnost'*].[Electronic resource] URL: http://www.cnews.ru/reviews/avia_2014/articles/itsistemy_aeroportov_aktsent_na_kontrol_i_bezopasnost. Last accessed 24.06.2016.

6. Voronina, Yu. Import substitution will reduce the incidence of ERP-systems market [*Importozameshhenie umen'shit padenie rynka ERP-sistem*]. [Electronic resource] // Rossiyskaya Gazeta (RG RU)). URL: https://rg.ru/2015/11/27/erp-sistemy.html. Last accessed 24.06.2016.

7. The most popular CRM in Russia in 2015 [*Samye populjarnye CRM v Rossii v 2015 godu*]. [Electronic resource] // CRM2Web. URL: http://www.crm2web.ru/tags/CRM_rynok/. Last accessed 24.06.2016.

8. Ivanov, B. Import substitution in IT: manufacturers must begin with integrators [*Importozameshhenie v IT: proizvoditeljam nuzhno nachinat' s integratorov*].[Electronic resource] // PCWEEK. URL: http://www.pcweek.ru/business/article/detail.php? ID=177545. Last accessed 24.06.2016.

9. Bloomberg: policy of import substitution in Russia creates problems for Microsoft [*Bloomberg: kurs na importozameshhenie v RF sozdaet problemy Microsoft*]. [Electronic resource] // RIA Novosti. URL: http://ria.ru/economy/20150618/1076329735.html. Last accessed 24.06.2016.

10. Koryagin, N. D. Strategic directions to ensure the competitiveness of airlines in modern information society [*Strategicheskie napravlenija obespechenija konkurentosposobnosti aviapredprijatij v uslovijah sovremennogo informacionnogo obshhestva*]. [Electronic resource] // «Innovation in Civil Aviation»: e-journal. URL: http: //www.mstuca.ru/biblio/magazin.php/. Last accessed 24.06.2016.

11. Federal State Educational Standard (FSES) on training program 38.03.02 «Management» (qualification (degree) »Bachelor») [*Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart (FGOS3) po napravleniju podgotovki 38.03.02 «Menedzhment» (kvalifikacija (stepen') «bakalavr»)*].

12. Strategy for Information Society Development in the Russian Federation (approved by the President of the Russian Federation on 07.02.2008 N Pr-212) [*Strategija razvitija informacionnogo obshhestva v Rossijskoj Federacii (utv. Prezidentom RF 07.02.2008 N Pr-212*)].

13. BETEC. [Electronic resource]. URL: http://www.betec.ru/index.php?id=16&sid=02. Last accessed 24.06.2016.

14. Expert Systems. [Electronic resource]. URL: http://www.expert-systems.com/study/education/. Last accessed 24.06.2016.

15. BaseGroup Labs. [Electronic resource]. URL: https://basegroup.ru/partners/apply/education. Last accessed 24.06.2016.

16. AviaPORT. [Electronic resource]. URL: http://www.aviaport.ru/digest/2016/03/04/380889.html. Last accessed 24.06.2016.

Information about the authors:

Eliseev, Boris P. – D.Sc. (Eng.), professor, rector of Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, info@mstuca.aero.

Koryagin, Nikolai D. – Ph.D. (Eng.), professor, head of department of Economics and management on air transport of Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, n.koryagin@mstuca.aero.

Article received 26.05.2016, accepted 30.06.2016.

The research was funded by Russian state scientific fund in the framework of the research project № 15–02–00007.

УДК 658.3:656.2

Истоки эффективности управления человеческими ресурсами

Владимир СТАРОВОЙТ
Vladimir A. STAROVOIT

Вячеслав ФУТИН
Vyacheslav N. FUTIN

Старовойт Владимир Алексеевич *– кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление персоналом» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Футин Вячеслав Николаевич *– доктор психологических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.*

Roots of Human Resource Management Efficiency
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 259)

Основа эффективности управления человеческими ресурсами – компетентностный подход к персоналу и его организации. Структура и назначение компетенций. Базовые ценности и конкурентные преимущества транспортной компании, определяющие её устойчивое организационное развитие. Аудит персонала как принцип принятия управленческих решений по фактическим данным. Методология и система социального менеджмента, которые помогают повышению качественных характеристик трудовых ресурсов и эффективности управления персоналом транспортной компании.

Ключевые слова: транспорт, человеческие ресурсы, управление персоналом, компетенции, эффективность, менеджмент качества, социальный менеджмент, аудит персонала.

В научной литературе встречаются разнообразные трактовки понятий «компетенция», «компетентность», «компетентностный подход». Несколько лет тому назад, раскрывая понятие компетентностного подхода в образовании, известный психолог Б. Д. Эльконин заметил, что «компетентностный подход – это как привидение: все о нём говорят, но мало кто его видел» [1, с. 22].

К сожалению, по прошествии многих лет приходится сталкиваться с этим фантомом и сегодня. Наш многолетний опыт сотрудничества с крупными отечественными транспортными организациями подтверждает злободневность этой метафоры.

Понятие «competency» (компетенция) относится к поведенческим категориям и доминирует в литературе по стратегии управления с 90-х годов прошлого столетия. Причем придается особое значение понятию «ключевая компетенция» как стратегическому организационному ресурсу, который может использоваться для получения конкурентного преимущества организации. Ключевые компетенции – это коллективное знание организации, возможность скоординировать различные

производственные навыки, умения и разнообразные бизнес-процессы и технологические потоки. С точки зрения ресурсной теории длительные конкурентные преимущества происходят из внутренних ресурсов организации, особенно когда те добавляют ценность, уникальность, отсутствуют у конкурентов и являются незаменимыми.

Вместе с тем сложившиеся реалии демонстрируют парадоксальную ситуацию. В то время как стратегии в области управления придают особое значение компетенциям, этому уникальному и специфическому инструменту реальной сферы производства, практика транспортных организаций в большей степени концентрируется на изучении и использовании *общих* компетенций, которые свойственны большинству профессий подавляющего большинства отраслей.

Модель компетенций обычно рассматривается в качестве механизма, связывающего управление персоналом с корпоративной стратегией организации. Это инструмент, который идентифицирует знания, навыки, умения, особенности личности и поведения, необходимые для эффективного выполнения работы в организации. Они помогают бизнесу достичь стратегических целей. Таким образом, модели на основе компетенций используются для того, чтобы привести в соответствие ключевые HR-процессы со стратегическими целями компании. Но при этом важно правильно понимать и трактовать компетенции.

Последовательность действий такова: профессиональные стандарты определяют основные направления деятельности, которые декомпозируются в виде должностных функций и далее – компетенций.

Основной акцент делается на функциональных компетенциях и способностях персонала демонстрировать работу, соответствующую профессиональным стандартам и необходимую для эффективного выполнения должностных функций. Сюда входят такие категории, как мастерство, личная ответственность, производительность. Функциональная компетентность отражает то, что персонал, который трудится в конкретной профессиональной области, в нашем случае – в транспортной организации, должен быть в состоянии обеспечить безопасность, надежность, стабильность и комфортность перевозок и при этом способен демонстрировать компетенции, которые присущи профессионалам.

Отсюда следует, что незаменимыми, уникальными, отсутствующими у других на рынке транспортных услуг и обеспечивающими длительные конкурентные преимущества ценностями (ключевыми компетенциями) транспортной организации надо принять безопасность, надежность, стабильность и комфортность. Именно эти конкурентные преимущества и базовые ценности компании, на наш взгляд, должны быть ценностями бренда и основой развития организационной культуры транспортных организаций.

Одним из основополагающих принципов менеджмента качества является системность. Поэтому важной задачей компетентностного подхода становится создание системы управления персоналом.

В такой ситуации существенно меняется роль службы управления персоналом. Если раньше функции этих служб ограничивались основными кадровыми операциями, то теперь руководство ожидает от подобных подразделений вклада непосредственно в увеличение стоимости организации путем повышения человеческого капитала, повышения производительности и безопасности труда, эффективного управления талантами, развития и продвижения HR-бренда.

Все более устойчива тенденция к смене операционно-тактической роли службы управления персоналом на стратегическую. Эффективность деятельности службы управления персоналом напрямую зависит от включенности HR-подразделений в бизнес-процессы организации [2, с. 67]. Главы подразделений по работе с персоналом должны позиционировать себя стратегическими партнерами первых руководителей. А это зачастую требует принципиально новых знаний, умений, навыков и индивидуально-личностных качеств.

Вовлеченность всего коллектива в работу по повышению качества, непрерывное обучение, направленное на формирование компетенций, необходимых персоналу для успешного выполнения профессиональных задач с учетом развития организации

и достижения целей её деятельности – важнейшие факторы результативности бизнес-процессов и устойчивого роста экономических показателей. Зарубежные исследователи Дж. Сток, Ф. Эванс, Л. Шулман по этому поводу пишут: «Чтобы преуспеть, компания должна соединить свои основные бизнес-процессы и трудно воспроизводимые стратегические способности, которые отличают её от конкурентов в глазах потребителей» [3, с. 183].

Система управления персоналом должна быть сосредоточена на развитии организации, опираться на принципы *лидерства,* предполагающего единство целей предприятия и путей их реализации; *вовлеченности* работников в решение задач предприятия, *нацеленности на постоянное улучшение его деятельности; принятия решений в оперативном руководстве персоналом, основанных на фактах; системности и процессности.*

Формирование системы управления персоналом на принципах менеджмента качества предусматривает:

– нормирование труда всего персонала, обеспечивающее производство продукта, отвечающего требованиям потребителя и удовлетворяющего существующий спрос на рынке транспортных услуг;

– профессионально-квалификационный отбор кандидатов на рабочие места (определяется компетентность, обучаемость, лояльность к корпоративным ценностям организации);

– прием, увольнение, перемещение, ротацию персонала с учетом фактической потребности предприятий в человеческих ресурсах определенного качества;

– оценку персонала по компетенциям на соответствие профессиональным стандартам;

– наличие системы управления карьерой персонала (при этом карьера не самоцель, она должна выступать средством удовлетворения амбиций в профессиональном и личностном росте);

– планирование компетенций персонала, необходимых для выполнения должностных функций в профессиональной деятельности с учетом стратегии развития кадрового потенциала организации;

– обучение персонала, ориентированное на непрерывную опережающую подготовку руководителей и специалистов к грядущим изменениям как в организационном, так и технико-технологическом аспектах;

– профессиональный заказ организации на будущих специалистов.

В управлении персоналом имеют первостепенное значение создание и поддержание корпоративной культуры, социально-психологическое сопровождение работы с кадрами. В рамках транспортной организации это связано ещё и с особенностями соблюдения единого технологического процесса. Причем такой подход требует обеспечения единых стандартов, призванных поддерживать достойный уровень кадрового потенциала отрасли.

Системная работа с персоналом на основе единых стандартов обеспечивает унификацию интересов и процедур во всех структурных подразделений, предоставляет возможности для формирования стандартизированных компетенций, умений и навыков, единого по своим усмотрениям кадрового резерва, а также проведения полноценной ротации сотрудников.

Давно настало время построения системы *принятия управленческих решений по фактическим данным*. В управлении персоналом эта возможность открывается с внедрением в структуру организационного менеджмента подсистемы кадрового аудита (аудита персонала). Применение такого аудита позволит с помощью системно-комплексного анализа социально-кадровых процессов диагностировать эффективность деятельности аппарата управления, выявлять механизмы торможения, разрабатывать экономически обоснованные формы стимулирования и мотивации труда.

Интеграция кадрового аудита в систему управления персоналом, на наш взгляд, ориентирует оценивать работника по фактическим результатам деятельности в трудовой сфере, а сам аудит выступает в качестве регулярной кадровой процедуры. Эту процедуру есть возможность стандартизировать и технологизировать, она создает условия для развития стратегического менеджмента и маркетинга, усиления методологической функции по управлению человеческим капиталом, в чем всегда нуждается крупная транспортная организация, находящаяся в постоянной конкурентной борьбе. Не случайно Г. Левинсон

подчёркивает, что проведение регулярной оценки человеческих ресурсов «наделяет организацию конкурентным преимуществом» [4, с. 15].

Создавая эффективную систему управления персоналом, необходимо с опережением развивать систему социального управления (социального менеджмента), чтобы в кратчайшие сроки повысить качественные характеристики трудовых ресурсов, определяющие рост производительности, качества и безопасности труда, экономического благосостояния предприятия.

Цели социального менеджмента реализуются путем использования социального проектирования, анализа социальной информации на основе математических методов, сплочения социальных организаций и групп, управленческих команд, создания положительной мотивации к труду, участию в общественной жизни, к продуктивному поведению за счет понимания перспектив развития, согласования целей организации и личных интересов работников. По сути, речи идет о зоне психологического влияния, направленного на активизацию жизненных сил трудящихся, самосовершенствование личности сотрудника, развитие форм самоуправления, преодоление сопротивления организационным изменениям со стороны коллектива, вовлечение персонала в процессы организационного развития. К сожалению, проблему абсентеизма, протестного поведения персонала в российских организациях часто недооценивают, хотя для зарубежных менеджеров это серьёзный аспект управленческой деятельности [5].

Ключевым направлением, обеспечивающим достижение целей развития, выступает совершенствование сложившейся практики нематериальной мотивации труда работников [см.: 6 с. 483–496]. Данное обстоятельство особенно значимо в условиях, когда на региональном рынке труда материально-финансовое вознаграждение персонала организации недостаточно конкурентоспособно, и сама организация не всегда рассматривается в качестве привлекательного работодателя.

Система социального развития, ориентированная в основном на социальную помощь и поддержку персонала, является малоперспективной в силу распределительного механизма ее реализации, зачастую нарушающего принцип социальной справедливости, и недостаточно эффективной с точки зрения низкой заинтересованности различных возрастных групп работников в результатах ее функционирования. Сегодня работнику лучше предлагать инвестировать совместно с предприятием свое будущее, соучаствовать в развитии собственного профессионально-личностного потенциала и в его применении на благо себя и своей организации, что будет формировать у персонала личную заинтересованность в поддержании мно-

голетних добросовестных и взаимовыгодных трудовых отношений с работодателями.

Основной недостаток сложившейся практики социального развития заключается в том, что действующие программы социальных гарантий и компенсаций слишком медленно меняют к лучшему отношение персонала к труду, не повышают производительность труда, не способствуют росту человеческого капитала организации. В итоге реализуемые социальные программы недостаточно мотивируют работников разных возрастных категорий трудиться производительно и эффективно, поскольку не всегда обеспечивают удовлетворение их базовых социальных потребностей. Необходимо больше обращать внимание на молодежь, что в перспективе приведёт к социальной модернизации за счет омоложения производственных коллективов.

Кардинальным решением данной проблемы является разработка методологии, технологий и стандартов социального менеджмента на принципах системности. Разработка методологии для системы УЧР (HR) является теоретической базой для создания механизмов эффективного инвестирования социальных программ, социальной мотивации персонала, повышающих удовлетворенность работой и условиями профессионального роста.

Реализация социальным менеджментом принципа уважения к человеку обеспечивает здоровую реакцию персонала на организационные изменения, повышает трудовой настрой. Подход, предполагающий постоянную вовлеченность и заинтересованность как в личном развитии, так и в совершенствовании производства, получил за рубежом название «кайдзен». Он неотъемлемая часть концепции бережливого производства (или бережливого мышления). Бережливое мышление помогает наращиванию эффективности компании за счет минимизации трудозатрат, сроков выполнения работ и гарантированного качества продукции и услуг. Кайдзен, по сути, очень близок к рационализаторскому движению.

Эффективный социальный менеджмент будет способствовать стабильности и повышению эффективности использования человеческих ресурсов, обеспечит улучшение качества обслуживания потребителей, создание механизмов урегулирования и предотвращения конфликтов внутри компании и с заинтересованными сторонами во внешней среде, повышение реализации инвестиционных программ, прозрачности и качества корпоративного управления, укрепление репутации предприятия. И, как следствие, все придет к снижению социальных, репутационных издержек, ликвидации конфликтогенных проблем корпоративного управления, в итоге – к улучшению управления нефинансовыми рисками.

Суммарный вывод: социально-трудовые отношения на предприятии, отношения с потребителями, местными властями и местными сообществами, другие аспекты социального измерения должны рассматриваться не как «нагрузка» на бизнес, а как центр создания его стоимости. А для этого необходимо заниматься разработкой эффективных инновационных технологий социальной инженерии и УЧР-технологий на основе компетентностного подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эльконин Б. Д. Понятие компетентностного подхода с позиций развивающего обучения // Современные подходы к компетентностно-ориентированному образованию.– Красноярск, 2002.– 208 с.

2. Кокинз Г. Управление результативностью: Как преодолеть разрыв между объявленной стратегией и реальными процессами / Пер. с англ.– М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.– 315 с.

3. Сток Дж., Эванс Ф., Шулман Л. Конкуренция, базирующаяся на способностях. Новые правила корпоративной стратегии // Корпоративная стратегия: Пер. с англ.– 2-е изд.– М.: Юнайтед Пресс, 2009.– 266 с.

4. Левинсон Г. Ассессмент организаций. Пошаговое руководство по эффективному консультированию: Пер. с англ.– Харьков: Гуманитарный центр, 2011.– 424 с.

5. Стребел, Пол. Почему сотрудники противятся переменам? // Harvard Business Review Россия.– 2010.– № 1/2.– С. 109–116.

6. Лёвин Б. А., Галахов В. И., Заречкин Е. Ю., Усманов Б. Ф. Человеческие ресурсы корпорации: стратегия и практика управления.– М.: Академкнига, 2005.– 670 с.

Координаты авторов: **Старовойт В. А.**– starovoyt55@mail.ru, **Футин В. Н.**– futinvn@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.02.2016, принята к публикации 12.04.2016

ROOTS OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT EFFICIENCY

Starovoit, Vladimir A., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Futin, Vyacheslav N., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The basis of human resource management efficiency is competence-based approach to the staff and its organization. The authors analyze the structure and purpose of competences, basic values and competitive advantages of a transport company defining its sustainable organizational development, staff audit as a principle of management decision-making based on actual data, and the methodology and the system of social management, which help to improve the quality characteristics of labor force and the efficiency of human resource management of a transport company.

Keywords: transport, human resources, human resource management, competence, efficiency, quality management, social management, staff audit.

Background. *In the scientific literature there are various interpretations of the concepts of «competence», «competency», «competence-based approach». A few years ago, defining the competence-based approach in education, a famous psychologist B. D. Elkonin noted that «competence-based approach – it is like a ghost: all speak about it, but very few people have seen it» [1, p. 22].*

Unfortunately, we h ave to deal with this phantom also today, after many years. Our long-term experience of cooperation with large domestic transport organizations confirms the topicality of this metaphor.

Objective. *The objective of the authors is to consider human resource management and its efficiency under current conditions.*

Methods. *The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, economic analysis.*

Results. *The concept of «competency» refers to a behavioral category and dominates in the literature about management strategies since the 90ies of the last century. And a particular importance is attached to the concept of «core competency» as a strategic organizational resource that can be used to gain a competitive advantage of the organization. Core competencies are collective knowledge of the organization, the ability to coordinate different production skills, abilities and a variety of business processes and process streams. From the perspective of resource theory lasting competitive advantages are derived from internal resources of the organization, especially as they add value, uniqueness, competitors do not have them and they are irreplaceable.*

However, current realities show a paradoxical situation. While strategies in the field of management emphasize competence, this unique and specific instrument in the real sphere of production, the practice of transport organizations is more focused on the study and use of generic competences that are inherent in most professions of the vast majority of industries.

Competency model is generally regarded as a mechanism linking personnel management with the corporate strategy of the organization. It is a tool that identifies knowledge, skills, abilities, personality traits and behaviors required for effective performance in the organization. They help businesses achieve strategic objectives. Thus, models on the basis of competency are used to align key HR-processes with strategic goals of the company. But it is important to properly understand and interpret competence.

The sequence of actions is as follows: professional standards define the main areas of activity, which are decomposed in the form of job functions and then – competences.

The main focus is on functional competencies and abilities of staff to show their work, complying with professional standards and necessary for the effective performance of official functions. This includes categories such as skills, personal responsibility, performance. Functional competency reflects the fact that the staff which work in a particular professional field, in our case – in transport organizations, must be able to ensure safety, reliability, stability and comfort of traffic and thus be able to demonstrate competence, which are inherent to the professionals.

It follows that as essential, unique, unavailable for others on the market of transport services and providing long-term competitive advantages values (core competencies) of the transport organization should be taken safety, reliability, stability and comfort. These competitive advantages and core values of the company, in our opinion, should be the values of the brand and the basis for development of organizational culture of transport organizations.

*One of the fundamental principles of quality management is a **systematic approach**. Therefore, an important objective of the competence-based approach is to create personnel management system.*

In this situation the role of human resources management services changes substantially. If previously, the functions of these services were limited to basic personnel operations, the management expects now contribution of these units directly to increase in the cost of the organization by raising human capital, increasing productivity and labor safety, effective talent management, development and promotion of HR-brand.

The trend to changing operational and tactical role of human resource services to a strategic one is more stable. The effectiveness of human resource management services activity depends on involvement of HR-departments in the organization's business processes [2, p. 67]. Heads of HR departments should present themselves as strategic partners of the first leaders. This often requires fundamentally new knowledge, skills and personal qualities of the individual.

The involvement of the whole team in work on improving quality, lifelong learning, aimed at formation of competencies required for personnel for successful implementation of professional tasks, taking into account development of organization and achievement of the objectives of its activities are the most important factors of efficiency of business processes and sustainable growth of economic indicators. Foreign researchers J. Stock,

F. Evans, L. Shulman wrote about this: «To succeed, a company needs to connect its core business processes and difficult reproducible strategic capabilities that distinguish it from its competitors in the eyes of consumers» [3, p. 183].

Personnel management system should focus on development of the organization, rely on the principles of ***leadership****, involving the unity of the company's goals and ways of their implementation;* ***involvement*** *of employees in solving tasks of the enterprise,* ***focus on continuous improvement of its activities; decision-making in operational personnel management based on facts; systemacity and process.***

Formation of personnel management system on the principles of quality management involves:

– regulation of labor of all the staff, ensuring manufacture of the product, meeting consumer's requirements and satisfying the current demand on the transport service market;

– professional – qualification selection of candidates for jobs (competence, learning ability, loyalty to the corporate values of the organization are determined);

– recruitment, dismissal, transfer, rotation of the staff with account of actual need of enterprises for human resources of a particular quality;

– assessment of competency of personnel to meet professional standards

– availability of personnel career management (career is not an end in itself, it should act as a means of satisfying the ambitions in professional and personal growth);

– planning competencies of staff required to perform job functions in a professional activity in view of the development strategy of human resource capacity of the organization;

– training of personnel, focused on continuous anticipatory training of managers and specialists for future changes in the organizational and technical and technological aspects;

– professional order of the organization for future specialists.

In personnel management creation and maintenance of corporate culture, social and psychological support of work with personnel are of paramount importance. As part of the transport organization it is associated with features of compliance with unified technological process. Moreover, such an approach requires ensuring common standards to maintain a decent level of human resource capacity of the industry.

System work with staff on the basis of common standards provides unification of interests and procedures in all departments, provides the opportunity for formation of standardized competencies and skills, personnel reserve united by its discretion, as well as carrying out a full staff rotation.

Time has come to build a managerial decision-making system based on actual data. In personnel management, this opportunity opens with introduction of personnel audit subsystem in the structure of organizational management. The use of such an audit would allow using the system-complex analysis of social and human processes to diagnose the effectiveness of the control system, to identify braking mechanisms, to develop economically viable forms of stimulation and motivation.

The integration of personnel audit in the personnel management system, in our opinion, is oriented to evaluate an employee based on actual results of operations in the field of employment, and the audit serves as a regular staffing process. It is possible to standardize and to technologize this procedure, it creates conditions for development of strategic management and marketing, strengthening the methodological functions of managing human capital which always needs a large transport organization, which is in constant competition. Not by chance H. Levinson points out that a regular assessment of human resources «gives the organization a competitive advantage» [4, p. 15].

Creating an effective HR management system, it is necessary to develop in advance the system of social management, so as soon as possible to increase the quality characteristics of the labor force, determining productivity, quality and safety, economic well-being of the enterprise.

Social management objectives are implemented through the use of social engineering, analysis of social information based on mathematical methods, uniting social organizations and groups, management teams, creating a positive motivation to work and participation in public life, to productive behavior by understanding the perspectives of development, coordination of organizational goals and personal interests of employees. In fact, this refers to the area of psychological influence, aimed at enhancing vitality of workers, self-improvement of the individual employee, development of forms of self-management, overcoming resistance to organizational change from the team, involvement of employees in the process of organizational development. Unfortunately, the problem of absenteeism, protest behavior of personnel in Russian institutions is often underestimated, although for foreign managers it is a serious aspect of management activity [5].

A key direction, ensuring achievement of development goals, is improvement of the existing practice of non-material motivation of employees [see: 6, pp. 483–496]. This fact is especially important in an environment where on the regional labor market material and financial rewards of personnel is not competitive enough, and the organization itself is not always regarded as an attractive employer.

Social development system, focused mainly on social assistance and support of staff, is not very promising due to the distribution mechanism for its implementation, often violating the principles of social justice, and not very effective in terms of low interest of different age groups of workers in the results of its operation. Today, it is better to offer the employee to invest jointly with the enterprise in his future, participate in development of his own professional and personal potential and its use for the benefit of himself and his organizations that will form for the staff a vested interest in maintaining long-term honest and mutually beneficial labor relations with employers.

The main disadvantage of the current practice of social development lies in the fact that the current program of social guarantees and compensations change for the better too slowly the attitude of the staff to work, do not increase labor productivity, do not contribute to the growth of the human capital of the organization. As a result implemented social programs motivate employees of different age groups to work productively and efficiently not enough, because they do not always ensure the

satisfaction of their basic social needs. It is necessary to pay more attention to young people that in the future will lead to social modernization due to rejuvenation of production teams.

A radical solution to this problem is development of methodologies, technologies and social management standards on the basis of systemic principles. Development of methodology for HRM system is a theoretical basis for creation of mechanisms of effective investment of social programs, social motivation, of personnel, increasing satisfaction with work and professional growth conditions.

Implementation by social management of the principle of respect to a person provides a healthy response of personnel to organizational changes, improves working attitude. The approach involves constant involvement and interest in personal development and in improvement of production, was called «kaizen» abroad. It is an integral part of the concept of lean manufacturing (or lean thinking). Lean thinking helps build up the effectiveness of the company by minimizing labor costs, performance time and guaranteed quality of products and services. Kaizen is, in fact, very close to the rationalization movement.

Effective social management will contribute to stability and improvement of efficiency of the use of human resources, will improve the quality of customer service, creation of mechanisms for settlement and prevention of conflicts inside the company and with stakeholders outside, improvement of implementation of investment programs, transparency and corporate management quality, strengthening the company's reputation. And as a result, everything will come to a decrease in social, reputational costs, elimination of conflictogenic corporate management issues, as a result – to improvement of management of non-financial risks.

Summary conclusion. *Social and labor relations in the company, relationships with customers, local authorities and local communities, and other aspects of the social dimension should be regarded not as a «burden» on business, but as a center of creation of its value. And for this it is necessary to develop effective and innovative technologies of social engineering and HR technologies based on competence approach.*

REFERENCES

1. Elkonin, B. D. The concept of competence approach from the standpoint of developing training [*Ponjatie kompetentnostnogo podhoda s pozicij razvivajushhego obuchenija*]. *Modern approaches to competence-oriented education*. Krasnoyarsk, 2002, 208 p.

2. Cokins, G. Performance Management: Finding the Missing Pieces (To Close the Intelligence Gap) [*Upravlenie rezul'tativnost'ju: Kak preodolet' razryv mezhdu ob'javlennoj strategiej i real'nymi processami. Transl. from English*]. Moscow, Alpina Business Books publ., 2007, 315 p.

3. Stock, J., Evans, F., Schulman, L. Competition based on abilities. New rules of corporate strategy. *Corporate Strategy* [*Konkurencija, bazirujushhajasja na sposobnostjah. Novye pravila korporativnoj strategii. Korporativnaja strategija. Transl. from English*]. 2nd ed. Moscow, United Press, 2009, 266 p.

4. Levinson, H. Organizational Assessment: a Step-by-Step Guide to Effective Consulting [*Assessment organizacij. Poshagovoe rukovodstvo po effektivnomu konsul'tirovaniju. Transl. from English*]. Kharkov, Gumanitarniy tsentr publ., 2011, 424 p.

5. Strebel, Paul. Why do employees resist change? [*Pochemu sotrudniki protivjatsja peremenam?*]. *Harvard Business Review Russia*, 2010, Iss. 1/2., pp. 109–116.

6. Lievin, B. A., Galakhov, V. I., Zarechkin, E. Yu., Usmanov, B. F. Human resources of a corporation: strategy and management practice [*Chelovecheskie resursy korporacii: strategija i praktika upravlenija*]. Moscow, Akademkniga publ., 2005, 670 p.

Information about the authors:
Starovoit, Vladimir A. – Ph.D. (Eng.), professor, head of department of Human Resource Management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, starovoyt55@mail.ru.
Futin, Vyacheslav N. – D.Sc. (Psychology), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, futinvn@mail.ru.

Article received 15.02.2016, accepted 12.04.2016

УДК 658.3:656.2

Системная поддержка выполнения персоналом установленных требований

Владимир ВОРОНЦОВ

Vladimir I. VORONTSOV

Воронцов Владимир Иванович *– заместитель начальника отдела анализа Красноярской железной дороги, доцент Красноярского института железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия.*

System Support for Fulfillment of Established Requirements by Staff

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 267)

С разных точек зрения подходя к сложным зависимостям, которые касаются выполнения технологических и режимных требований на транспорте, автор оценивает субъективные факторы, технические средства контроля в оперативной работе персонала, а также возможности системной поддержки профессиональной деятельности транспортников за счет использования современных знаний, информационных и управленческих технологий, тренинговых и обучающих программ.

Ключевые слова: транспорт, оперативное управление, средства контроля, безопасность, зоны риска, нарушения, персонал, диспетчерская служба, функциональные обязанности, алгоритмы действия.

В транспортной сфере, где так остро стоят вопросы безопасности движения, особенно хорошо понимают, что гораздо выгоднее и проще предупредить возникновение кризисной ситуации, чем ликвидировать её последствия. При этом для предупреждения возможного транспортного происшествия нужно прежде всего, как справедливо принято считать, соблюдать предусмотренные правила и нормы при выполнении технологических процессов.

В зависимости от технологических требований, существующей нормативной базы, применяемых методов (принципов) управления и опыта персонала организации вводятся критерии оценки и стимулирования труда, поддержки и контроля деятельности сотрудников, призванные поднять качество исполнения служебных обязанностей, свести к минимуму вероятные на производстве риски и издержки «человеческого фактора».

1.

Среди основных причин появления ошибок у персонала железнодорожного транспорта (рис. 1) следует выделить [1]:

– отсутствие знаний и/или навыков;

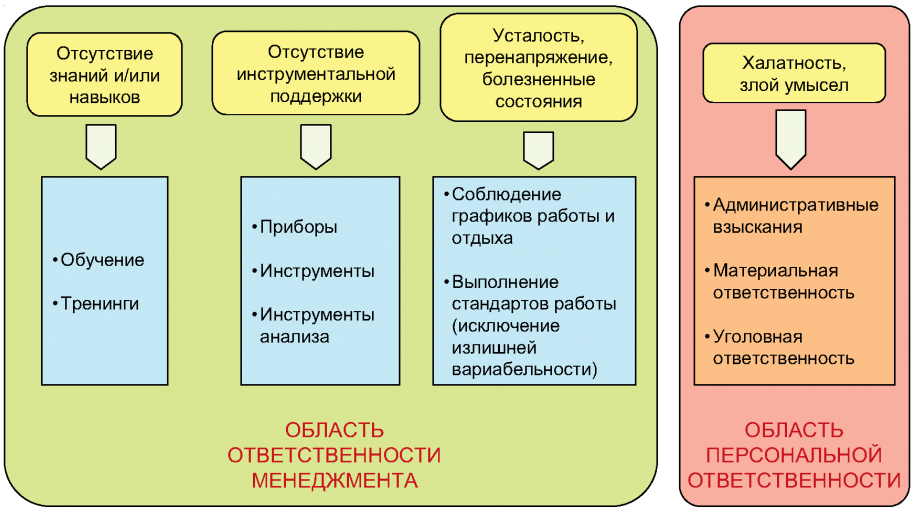


Рис. 1. Основные причины ошибок персонала.

– отсутствие инструментальной поддержки;

– усталость, перенапряжение, болезненные состояния;

– халатность, злой умысел.

Инструментами, обеспечивающими контроль за соблюдением технологического процесса, преимущественно являются [2]:

– технические средства с элементами интеллектуального управления, контролирующие соблюдение норм безопасности и блокирующие ошибочные действия персонала (такие устройства должны иметь интерфейсы, предполагающие интеграцию в программные комплексы);

– программно-технические средства, обеспечивающие управление и дисциплинарный контроль в отношении технологических требований (программные модули помогают получать данные, вести их обработку и выдавать пользователю в удобном виде для решений и корректирующих действий);

– организационные средства: мониторинг соблюдения норм путем непосредственного контроля, наблюдения (отслеживания) хода выполнения процесса, а также за счет ревизорских и аудиторских проверок апостериорной информации по направлениям деятельности.

Учитывая состав инструментальной базы, можно выделить ряд способов контроля технологических процессов.

А. Программно-технический контроль (рис. 2).

Наиболее эффективный вид контроля исполнения технологического процесса, осуществляется без участия человека – интеллектуальными программно-техническими средствами. Постоянный контроль в период функционирования процесса. В основном – круглосуточный.

Б. Диспетчерский контроль.

Данный вид подразумевает использование всей инструментальной базы для постоянного контроля исполнения технологического процесса диспетчерским аппаратом и иными лицами, причастными к контрольным функциям. Преимущественно характер проведения контроля – круглосуточный

В. Ревизорский контроль.

Здесь на первом плане ревизорские и аудиторские проверки состояния безопасности движения на железных дорогах.

Частота контроля:

1. Периодическая – в соответствии с планом проведения ревизий и проверок.

2. Внеплановая – при необходимости дополнительного контроля за технологическим процессом.

Указанные виды контроля применяются много лет и доказали свою эффективность, однако они не позволяют исключить ошибки персонала. Их недостатки:

а) Неполный охват программно-техническим контролем всего производственного процесса. Доля влияния персонала на обеспечение безопасности движения существенно велика. В частности, высока веро-

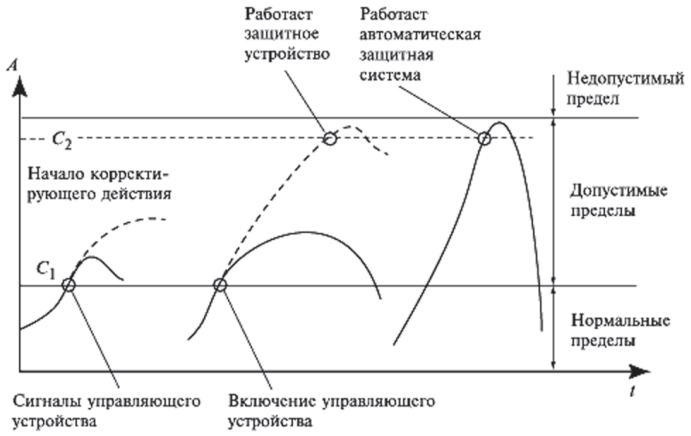


Рис. 2. Схема работы защитных устройств [3]: A – переменные характеристики процесса; t – время.

ятность преднамеренного исключения из работы контролирующих устройств (выключение машинистом кнопки бдительности, передислокация без необходимости подвижного состава при запрещающем сигнале светофора и т.д.).

б) Диспетчер контролирует только малую часть вверенного ему подразделения и то только по докладам работников, им же контролируемых (энергодиспетчеру зачитывает наряд-допуск руководитель работ, при этом диспетчер не может проконтролировать, в каком состоянии бригада, как произведено заземление, и т.д.).

Имеются профессии, к которым эти два вида контроля вообще не применимы. Например, составитель поездов. В 2012 году на ст. Юдино составитель уложил под поезд девять тормозных башмаков, а доложил контролирующему лицу об укладке двадцати. В итоге состав пришел в движение и, взрезав стрелку, столкнулся со встречным поездом. Эта категория работников совмещает все как бы в «одном лице», диспетчер не может ее проконтролировать, а программно-технический контроль для составителей еще не разработан, применяется только ревизорский.

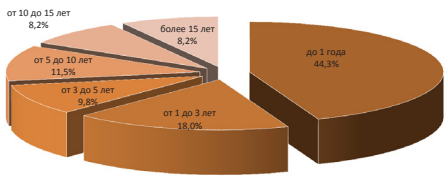


Рис. 3. Распределение случаев нарушений безопасности движения поездов в хозяйстве перевозок в зависимости от стажа работы в должности и причастных работников за 2012 год.

в) Ревизорский контроль не в состоянии охватить всю работу персонала. Применяется крайне редко, в основном уже по факту сделанного кем-то, что не дает объективной картины.

2.

Проведенным исследованием выявлены все нарушения безопасности на сети железных дорог в 2012 году по вине движенцев (рис. 3).

Как видно из полученных данных, на железнодорожном транспорте малоподготовленный и неопытный человек нарушает правила чаще и больше. Почти половина нарушений (44%) допущено работниками со стажем до года. И прежде чем он приобретет необходимый опыт, сколько ошибок он совершит?

Процесс становления эксперта опять же длительный. Установлено, что требуется не менее 10 лет, чтобы при благоприятных условиях стать экспертом в какой-либо области профессиональной деятельности [4]. При этом большую роль в его становлении играют постоянные упражнения.

Один из принципиальных выводов, к которому пришли проектировщики человеко-машинных систем, заключается в том, что объем информации, который может быть хорошо усвоен и переработан оператором, должен не задаваться в информационной модели произвольно, а определяться или для конкретных условий работы, или на основе имеющихся количественных оценок, или посредством проведения специальных экспериментов.

Отчет

по порядку действий ДНЦ, ДСП при оказании помощи поезду, остановившемуся на перегоне.

1. Дата __ , __ часов, __ мин. получен доклад от машиниста остановившегося на перегоне: "Машинист (фамилия) поезда N__, требую вспомогательный локомотив с головы (с хвоста) по причине неисправности тепловоза (электровоза, МВПС, ССПС) серии__ N__ из-за (указать причину неисправности). Остановку головы поезда на __км, __пикете перегона __ подтверждаю. Время__".). (приложение 1, строка 9, распоряжения №512р от 16.03.2010г.).

Дата __ , __ часов, __ мин. ДНЦ, ДСП подтвердил правильность восприятия доклада машиниста: "Понятно, поезду N__ на - __км,__пк перегона__ требуется вспомогательный локомотив по причине неисправности тепловоза(электровоза, МВПС, ССПС) серии__ N__ из-за (указать причину неисправности). Время__"

2. Полученное уведомление о затребовании вспомогательного локомотива ДНЦ, ДСП записал в журнал диспетчерских распоряжений ф. ДУ-58 с последующей отметкой в журнале движения поездов (напротив номера поезда в графе примечание). (п.3 прил.7 ИДП). Примечание: В записанном уведомлении обязательно должно быть указанно: - время поступления требования об оказании помощи, - место остановки поезда (километр, пикет на котором находится голова остановившегося поезда), - причина затребования вспомогательного локомотива, - лицо, от которого получено уведомление (должность, фамилия). (п.2, 3 прил.7 ИДП, п.9 прил.10 ИДП)

3. Если уведомление машинистом поезда передано ДСП станции, ДСП в __часов, __ мин. передал его поездному диспетчеру.

4. Движение поезда не было возобновлено в течение 20 минут и не было возможности удержать поезд на месте на автоматических тормозах машинист поезда закрепил подвижной состава на тормозные башмаки, указав дежурному по ближайшей станции и поездному диспетчеру о закреплении поезда и количество уложенных тормозных башмаков (п.2.5 распор. №512р от 16.03.2010г.): Дата __ , __ часов, __ мин. "Машинист (фамилия) поезда N__, состав поезда закреплен ___ тормозными башмаками со стороны станции___ и ____ тормозными башмаками со стороны станции__". (приложение 1, строка 13, распоряжения №512р от 16.03.2010г.). Примечание: Если поезд закрепляется на уклоне круче 0,012 тысячных, то диспетчер поездной получив информацию от машиниста поезда о закреплении, сверяет количество уложенных тормозных башмаков с данными унифицированной таблицы ГИД Урал ВНИИЖТ и делает отметку на графике исполненного движения. (прил.67 приказ №Крас-773 от 19.10.2012 г.).

5. Дата __ , __ часов, __ мин. Поездной диспетчер, получив информацию о закреплении подвижного состава на перегоне подтвердил правильность восприятия доклада машиниста: "Понятно, состав поезда N__ закреплен __ тормозными башмаками со

Рис. 4. Итоговый отчет о порядке действий оперативного персонала в нестандартной ситуации.

Особенностью деятельности оператора является то, что он, как правило, длительный период времени функционирует в режиме безаварийной работы, выполняя хорошо заученные действия, или вообще бездействует в ожидании экстремальной ситуации, которая может и не возникнуть за всю его жизнь на производстве. Такие режимы опасны, поскольку могут вызвать утрату навыков управления системой, снизить уровень операционной настороженности. К примеру, для предотвращения утраты летчиками необходимых навыков во время посадки самолета было сочтено целесообразным использовать не автоматическое, а полуавтоматическое управление на посадочной прямой. В результате готовность летчика управлять вручную при внезапном отказе автоматики постоянно поддерживалась благодаря сохранению тесной связи с объектом управления.

Наряду с тренировкой работников на имитационных тренажерах разрабатываются специальные экспертные системы, помогающие операторам в анализе поведения объекта, отличающегося от штатного. При этом установлено, что на восприятие, усвоение, переработку информации влияют десятки факторов, в том числе темперамент человека. В связи с тем, что в состав любой организации входят люди с разными типами темперамента, управленческое решение должно быть представлено в учебной (тренинговой) форме, понятной всем потенциальным участникам его разработки и реализации.

Проведенными исследованиями, а также опытными руководителями разных уровней неоднократно отмечалось, что оперативные работники хозяйства перевозок (дежурные по станции, маневровые диспетчеры, составители поездов) при возникновении нештатных ситуаций обращаются не к нормативным документам, а к своим коллегам – начальникам станций, ревизорам движения и т.д. То есть при наличии на рабочих местах инструкций, распоряжений, приказов они все равно их не применяют [5].

Один из способов сделать процесс понятным людям с разным типом личности заключается в составлении вариантов ре-

шения, соответствующих разным темпераментам. Другой способ предусматривает оформление решения в виде структурированного сообщения (устного или письменного). Подыскивая подходы к каждому работнику, надо использовать близкие им инструменты. Для этого существуют программы помощи при принятии решений, построенные на основе баз экспертных знаний (например, для процесса оказания помощи остановившемуся поезду).

Очень важно, на наш взгляд, создать компьютерные базы экспертных знаний для оперативных работников железнодорожного транспорта и в программах помощи для них подробно описать алгоритм действий движенца в нестандартных ситуациях. Мы сделали попытку создания виртуальной организации. Программа в режиме реального времени будет контролировать процесс оказания помощи и своевременно вмешиваться в случае неверных решений.

Красноярские специалисты разработали компьютерную программу поддержки оперативного персонала, которая позволяет при одном нажатии клавиши получить подробный порядок действий в любой нестандартной ситуации (с регламентом переговоров, расчетом нахождения хвоста поезда на перегоне при оказании помощи и т.д.) [6]. Применение программы сократит время на необязательные, некорректные действия диспетчеров, исключит ошибки.

Активировав программу, поездной диспетчер или дежурный по станции видит список нестандартных ситуаций, в которых ему нужна поддержка. Выбрав свой вариант (в данном случае «Оказание помощи поезду, остановившемуся на перегоне»), он заносит в появившееся меню фамилию машиниста, номер поезда, перегон, километр остановки, причину неисправности. Эти данные помогут ему правильно определить место остановки вспомогательного локомотива, без запинки произнести все приказы и т.д.

После занесения данных на экране монитора появляется алгоритм действий в рассматриваемой ситуации, созданный на основе экспертных знаний. В правом верхнем углу имеется окно «Перечень необходимых документов», который может быть задействован диспетчером в тяжелых, спорных случаях для детальной проработки ситуации. Активировав этот перечень, диспетчер видит все документы, которые могут ему помочь.

Самый глубокий уровень программы позволяет фиксировать все действия оперативного персонала во времени. Активация самой программы и каждого последующего окна в ней будет сводиться в итоговый отчет (протокол), который можно получить одним нажатием кнопки сразу после вывода поезда с перегона. Ведь согласно существующим положениям необходимо оценивать правильность действия движенца в каждой нестандартной ситуации (рис. 4).

ВЫВОДЫ

Разработка показанной в статье программы будет своего рода прорывом, новым высшим уровнем работы оперативных сотрудников в нестандартных ситуациях. Позволит гарантировать управляемость и надежность перевозок, обеспечит сохранность перевозимых пассажиров и грузов.

Система выполнения нормативных требований получает надежный инструмент для обучения и закрепления профессиональных знаний, пригодный для разных человеческих типажей и уровней функциональной готовности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД».– 2010.– № 3.– 46 с.

2. Методические указания по внедрению функциональной стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в ОАО «РЖД».– М., 2009.– 18 с.

3. Фалеев М. И. Надежность технических систем и техногенный риск: Учеб. пособие.– М.: Деловой экспресс, 2002.– 367 с.

4. Ларичев О. И. Теория и методы принятий решений: Учебник.– М.: Университетская книга; Логос, 2008.– 392 с.

5. Воронцов В. И. Учить руководить // Железнодорожный транспорт.– 2010.– № 7.– С. 40.

6. Воронцов В. И. Информационно-коммуникационные технологии в управлении: Монография.– Одесса: Куприенко СВ, 2015.– 245 с.

Координаты автора: **Воронцов В. И.** – vivdh@yandex.ru.
Статья поступила в редакцию 18.01.2016, принята к публикации 22.02.2016.

SYSTEM SUPPORT FOR FULFILLMENT OF ESTABLISHED REQUIREMENTS BY STAFF

Vorontsov, Vladimir I., *Krasnoyarsk State Transport University, Krasnoyarsk, Russia.*

ABSTRACT

From different points of view coming to complex dependencies that relate to fulfillment of technological and security requirements for transport, the author evaluates subjective factors, technical means of control in operational work of staff as well as the possibility of systemic support for professional activities of transport specialists through the use of modern knowledge, information and management technologies, training and educational programs.

Keywords: transport, operational management, control means, safety, risk zone, violation, staff, dispatching service, responsibilities, action algorithms.

Background. *In the transport sector, where issues of traffic safety are so acute, it is especially well understood that it is much more profitable and easier to prevent a crisis than to eliminate its consequences. At the same time in order to prevent a possible transport accident it is necessary first, as rightly assumed, to comply with rules and regulations for performance of technological processes.*

Depending on process requirements, existing regulatory framework, applied methods (principles) of management and experience of staff of the organization criteria are introduced for labor evaluation and incentives, support and control of employees' activity, designed to improve the quality of performance of official duties, to minimize the likelihood of risks and «human factor» costs in the production.

Objective. *The objective of the author is to consider a system support for fulfillment of established requirements by railway personnel.*

Methods. *The author uses general scientific and engineering methods, evaluation approach, comparative analysis.*

Results.

1.

Among the main causes of errors in the work of staff of railway transport (Pic. 1) should be mentioned [1]:

– Lack of knowledge and / or skills;

– Lack of tool support;

– Fatigue, overexertion, painful conditions;

– Negligence, malice.

Tools that provide control over the observance of the technological process, are predominantly [2]:

– Technical means with elements of intelligent control, monitoring compliance with safety rules and blocking erroneous actions of personnel (such devices must have interfaces that involve integration with software systems);

– Software and hardware to ensure control and disciplinary control in respect of process requirements (software modules help to obtain data, to process them and provide to a user in a convenient way for solution and corrective action);

– Organizational means: monitoring of compliance through direct control, surveillance (monitoring) of implementation process, as well as through inspection and audit of a posteriori information on directions of activity.

Given the composition of the tool base, it is possible to select a number of ways to control technological processes.

A. Software and hardware control *(Pic. 2).*

The most effective form of control of process implementation is carried out without human intervention – by intelligent software and hardware tools. Continuous monitoring during the process of operation. Basically – non-stop.

B. Supervisory control.

This type involves the use of all instrumentation for continuous monitoring of execution of the process by supervisory unit and other persons involved in control functions. Advantageously, the nature of control is non-stop

C. Audit control.

Here at the forefront is audit of safety state of traffic on the railways.

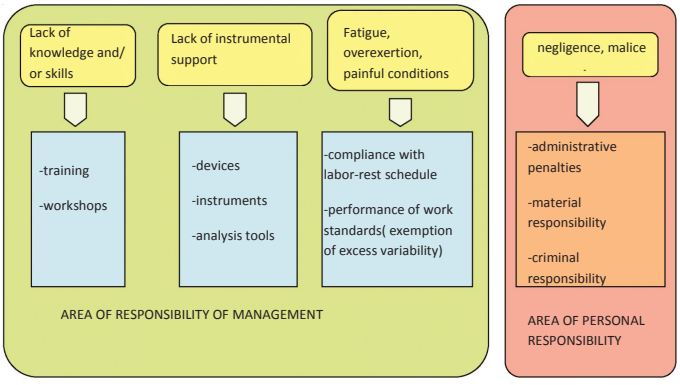
Frequency of control:

1. Periodic –in accordance with the plan of carrying out audits and inspections.

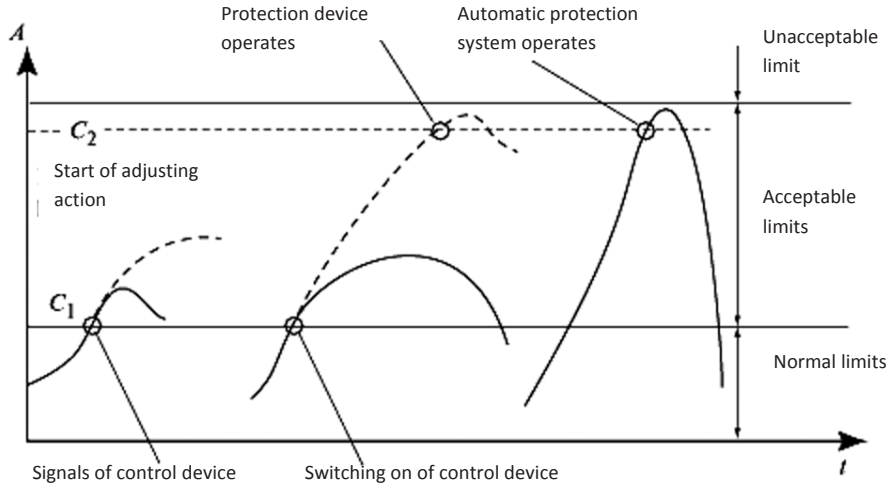
2. Unscheduled–additional control over the process if necessary.

These types of controls are used for many years and proven to be effective, but they do not allow to eliminate staff errors. Their disadvantages:

a) Incomplete coverage of software and technical control of the entire production process. Share of personnel impact to ensure safety is significantly high.



Pic. 1. The main causes of staff errors.



Pic. 2. Scheme of protective devices [3]:
A – variable characteristics of the process; t – time.

In particular, it is likely a deliberate exclusion of monitoring devices from work (Train driver's switching off of a vigilance button, redeployment of rolling stock without the need at prohibiting traffic light, etc.).

b) Train dispatcher controls only a small part of the unit entrusted to him, and then only on the reports of workers, also controlled by him (work supervisor reports to a power dispatcher a work permit, at the same time the dispatcher cannot monitor the condition of the team, how short to ground is made, etc.).

There are profession s to which these two types of control are not applicable. For example, a train compiler. In 2012, at Yudino a train compiler laid under a train nine brake shoes, but reported to a controlling person about laying of twenty brake shoes. As a result, the train began moving and cut up a railway switch, collided with an oncoming train. This category of workers combines all in «one person», the train dispatcher cannot control it, and the software and hardware control for shunting masters has not yet been developed, only audit control is applied.

c) Audit control is not able to cover all of the work of staff. It is used rarely, mostly in fact of already made by someone else that does not give an objective picture.

2.

Conducted research revealed all breaches of safety on the railway network in 2012 through the fault of employees (Pic. 3).

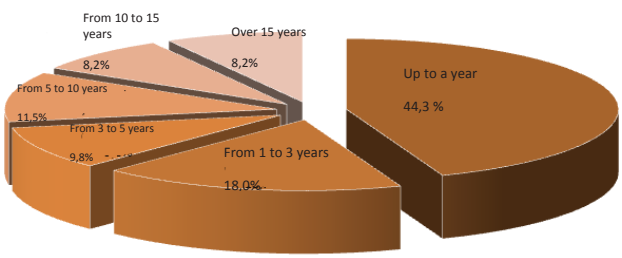
As can be seen from the data on the railway transport poorly prepared and inexperienced person violates rules more and more. Almost half of the breaches (44%) were committed by employees with experience up to a year. And before he gains necessary experience, how many errors he commits?

The process of becoming an expert is long again. It was found that it requires at least 10 years, under favorable conditions to become an expert in any field of professional activity [4]. At the same time a large role in its formation is played by constant exercise.

One of the principal conclusions reached by the designers of man-machine systems, is that the amount of information that can be well learnt and processed by the operator should not be specified in the information model arbitrary, but is determined by or for certain conditions, or on the basis of available quantitative estimates, or by conducting special experiments.

A feature of the activities of the operators is the fact that he usually for a long period of time operates trouble-free, performing a well-learned action, or even idle in anticipation of an emergency situation, which may not occur for the rest of his life in the workplace. Such regimes are dangerous because they can cause a loss of system management skills, reduce operating alertness. For example, to prevent the loss of necessary skills by pilots during landing it was considered appropriate to use not automatic, but semi-automatic control on final approach track. As a result the readiness of a pilot to operate manually in case of sudden failure of automation was constantly maintained by maintaining close contact with the object of control.

Pic. 3. Distribution of traffic safety violations in the transport sector, depending on the length of service in the office and involved employees for 2012.



Along with training of workers in simulation simulator special expert systems are developed that help operators to analyze the behavior of an object that is different from the regular. It was found that perception, learning, information processing are affected by dozens of factors, including person's temperament. Due to the fact that any organization consists of people with different types of temperament, management decision should be presented in the training (training) form understandable to all potential participants in its development and implementation.

Research, as well as experienced leaders at various levels have repeatedly stated that operational staff of transportation sector (station duty officers, shunting dispatchers, train compilers) when abnormal situations do not resort to regulations, but to his colleagues –heads of stations, motion inspectors etc. That is, if in the workplace regulations, decrees, orders are available, they still do not use them [5].

One way to make the process accessible to people with different types of personality consists in drawing up solution variants corresponding to different temperaments. Another method provides execution of solutions in the form of a structured message (oral or written). Looking for approaches to each worker, it is necessary to use tools familiar to them. To do this, there are programs of assistance in making decisions that are based on databases of expertise (e.g., to assist ф stopped train).

It is important, in our view, to create a computer database of expert knowledge for operating railway employees and in assistance programs for them to describe in detail employee's algorithm of actions in abnormal situations. We have attempted to create a virtual organization. The program in real-time will control the assistance process and promptly intervene in case of incorrect decisions.

Krasnoyarsk specialists have developed a computer program to support operational staff, which allows for one pressing of a button to obtain a detailed course of action in any non-standard situation (with negotiations regulations, calculating location of a rear end of a train on a haul in course of assistance process, etc.) [6]. Application of the program will reduce time spent on unnecessary, inappropriate actions of dispatchers, eliminate errors.

After activating the program, train dispatcher and station duty officer sees a list of non-standard situations, where he needs support. After selecting his option (in this case «Helping train stalled on the haul»), he puts in the menu that appears the name of a driver, train number, haul, kilometer of stop, cause of the fault. These data will help him determine the correct stop position of the auxiliary locomotive, without hesitation to say all the orders, etc.

After entering the data on the screen appears algorithm of actions in this situation, created on the basis of expert knowledge. In the upper right corner there is a window «List of required documents», which may be involved by the dispatcher in difficult, controversial cases for detailed study of the situation. By activating this list, the dispatcher sees all documents that can help him.

The deepest level of the program allows to record all actions of the operating personnel in time. Activation of the program and each subsequent window in it will be reduced in the final report (protocol), which is available at the touch of a button immediately after the removal of the train from the haul. After all, according to the existing provisions it is necessary to assess correctness of actions of a person responsible for traffic control in each non-standard situation (Pic. 4).

Отчет

по порядку действий ДНЦ, ДСП при оказании помощи поезду, остановившемуся на перегоне.

1. Дата __ , __ часов, __ мин. получен доклад от машиниста остановившегося на перегоне: "Машинист (фамилия) поезда N__ требую вспомогательный локомотив с головы (с хвоста) по причине неисправности тепловоза (электровоза, МВПС, ССПС) серии__ N__ из-за (указать причину неисправности). Остановку головы поезда на __км, __пикете перегона __ подтверждаю. Время__". (приложение 1, строка 9, распоряжения №512р от 16.03.2010г.).

Дата __ , __ часов, __ мин. ДНЦ, ДСП подтвердил правильность восприятия доклада машиниста: "Понятно, поезду N__ на - __км, __пк перегона__ требуется вспомогательный локомотив по причине неисправности тепловоза(электровоза, МВПС, ССПС) серии__ N__ из-за (указать причину неисправности). Время__"

2. Полученное уведомление о затребовании вспомогательного локомотива ДНЦ, ДСП записал в журнал диспетчерских распоряжений ф. ДУ-58 с последующей отметкой в журнале движения поездов (напротив номера поезда в графе примечание). (п.3 прил.7 ИДП). Примечание: В записанном уведомлении обязательно должно быть указанно: - время поступления требования об оказании помощи, - место остановки поезда (километр, пикет на котором находится голова остановившегося поезда), - причина затребования вспомогательного локомотива, - лицо, от которого получено уведомление (должность, фамилия). (п 2, 3 прил.7 ИДП, п.9 прил.10 ИДП)

3. Если уведомление машинистом поезда передано ДСП станции, ДСП в __часов, __ мин. передал его поездному диспетчеру.

4. Движение поезда не было возобновлено в течение 20 минут и не было возможности удержать поезд на месте на автоматических тормозах машинист поезда закрепил подвижной состава на тормозные башмаки, указав дежурному по ближайшей станции и поездному диспетчеру о закреплении поезда и количество уложенных тормозных башмаков (п.2.5 распор. №512р от 16.03.2010г.): Дата __ , __ часов, __ мин. "Машинист (фамилия) поезда N__, состав поезда закреплен __ тормозными башмаками со стороны станции__ и ____ тормозными башмаками со стороны станции__". (приложение 1, строка 13, распоряжения №512р от 16.03.2010г.). Примечание: Если поезд закрепляется на уклоне круче 0,012 тысячных, то диспетчер поездной получив информацию от машиниста поезда о закреплении, сверяет количество уложенных тормозных башмаков с данными унифицированной таблицы ГИД Урал ВНИИЖТ и делает отметку на графике исполненного движения. (прил.67 приказ №Крас-773 от 19.10.2012 г.).

5. Дата __ , __ часов, __ мин. Поездной диспетчер, получив информацию о закреплении подвижного состава на перегоне подтвердил правильность восприятия доклада машиниста: "Понятно, состав поезда N__ закреплен __ тормозными башмаками со

Pic. 4. The final report on the course of action of operational staff in an abnormal situation (Russian text is given just to show the formal character of a paper that should be filled in to assess staff actions in particular situation).

Conclusions. *Development of the program shown in the article will be a breakthrough, a new higher level of operational staff work in non-standard situations. It will ensure manageability and reliability of transportation, ensure the safety of passengers and cargo.*

Regulatory compliance system receives a reliable tool for learning and consolidation professional knowledge suitable for different human character types and levels of operational readiness.

REFERENCES

1. Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways [*Bjulleten' ob'edinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD»*]. 2010, Iss. 3, 46 p.

2. Guidelines for implementation of functional strategies to ensure safety and reliability of transportation process at JSC Russian Railways [*Metodicheskie ukazanija po vnedreniju funkcional'noj strategii obespechenija garantirovannoj bezopasnosti i nadezhnosti perevozochnogo processa v OAO «RZhD»*]. Moscow, 2009, 18 p.

3. Faleev M. I. Reliability of technical systems and technological risks: educational guide [*Nadezhnost' tehnicheskih sistem i tehnogennyj risk: Ucheb. posobie*]. Moscow, Delovoj ekspress publ., 2002, 367 p.

4. Larichev O. I. Theory and methods of decision-making: Textbook [*Teorija i metody prinjatij reshenij: Uchebnik*]. Moscow, Universitetskaja kniga; Logos publ., 2008, 392 p.

5. Vorontsov, V. I. Teach to manage [*Uchit' rukovodit'*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2010, Iss. 7, p. 40.

6. Vorontsov, V. I. Information and communication technologies in management: Monograph [*Informacionno-kommunikacionnye tehnologii v upravlenii: Monografija*]. Odessa, Kuprienko SV publ., 2015, 245 p. ●

Information about the author:
Vorontsov, Vladimir I. – deputy head of the analysis department of Krasnoyarsk Railway, associate professor of Krasnoyarsk State Transport University, Krasnoyarsk, Russia, vivdh@yandex.ru.

Article received 18.01.2016, accepted 22.02.2016.

УДК 658:656.2

Управление по целям и мотивация на реализацию стратегии

Анастасия СОРОКИНА
Anastasia V. SOROKINA

Илья ЕПИШКИН
Ilya A. EPISHKIN

Сорокина Анастасия Владимировна *– кандидат экономических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Епишкин Илья Анатольевич *– кандидат экономических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.*

Management by Objectives and Motivation for Strategy Implementation
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 277)

В статье рассмотрены проблемы управления по целям и развития системы мотивации персонала на реализацию стратегии транспортной компании. Обосновывается идея о том, что грамотно построенная тактика вовлечения сотрудников в общезначимые дела оказывает существенное влияние на эффективность взаимодействия структурных звеньев в бизнес-процессах. Особое внимание авторы уделяют необходимости формирования ключевых показателей эффективности, которые влияют на достижение целей различного уровня. Эти показатели необходимо формировать на основе сопоставления главных задач отдельных подразделений и задач, определенных стратегией развития холдинга.

Ключевые слова: транспорт, компания, холдинг, управление по целям, мотивация персонала, ключевые показатели эффективности, премирование, декомпозиция целей.

Разработка и реализация стратегии развития транспортных компаний связана с необходимостью привлечения значительных финансовых ресурсов и требует больших усилий от корпоративных и исполнительных органов управления. Однако отдача от затраченных ресурсов и усилий во многом определяется заинтересованностью всех работников компании в достижении стратегических целей. Мотивация персонала на реализацию стратегии развития – одна из важнейших задач руководителей компании [1].

Если исходить из предположения, что стратегию транспортной компании реализует каждый сотрудник, мотивация персонала занимает центральное место в системе стратегического управления. В контексте управления по целям роли и задачи сотрудников в системе мотивации можно представить в следующем виде:

- топ-менеджеры – формируют свои цели и воплощают ценности компании;
- руководители – каскадируют цели, мотивируют и развивают персонал;
- работники – вовлечены, направлены на достижение целей и соответствие ценностям.

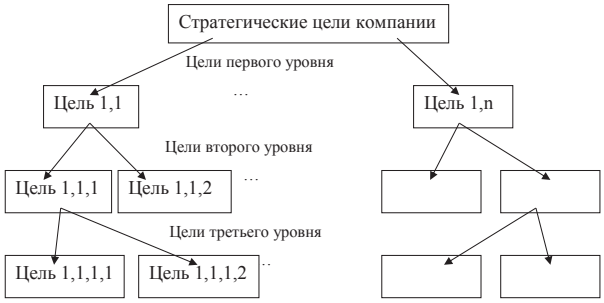


Рис. 1. Дерево целей компании.

Мотивация – внутреннее побуждение к действию, обуславливающее субъективно-личностную заинтересованность индивида в его свершении. Мотивы поведения тесно связаны с такими характеристиками идеальной среды действия, как намерение, цель, стремление, и их следует отличать от внешних стимулов и реакции на них. Проблему мотивации деятельности можно рассматривать в различных аспектах. В данном случае аспект будет один – о заинтересованности персонала в реализации стратегии развития и достижении стратегических целей своей компании.

ПОБУЖДЕНИЕ К РЕЗУЛЬТАТУ

Мотивация – процесс создания условий, при которых у человека возникает желание в удовлетворении потребностей, формируются материальные, финансовые и другие возможности для этого, а также развиваются знания, навыки, необходимые для постановки более высоких целей. Иными словами, мотивации нужны условия, при которых активизируется деятельность человека, а его действия приобретают целевую направленность [5].

Разработка стратегии развития и формирование стратегических целей – зона ответственности руководства компании. Но в процесс реализации стратегии необходимо вовлечение всего персонала. Это достигается за счет декомпозиции стратегических целей и доведения до каждого подразделения и отдельных исполнителей целевых заданий. Так формируется дерево целей, в котором цели более высокого уровня поддерживаются целями более низкого уровня (рис. 1).

Для организации оперативного планирования и управления целесообразно выполнить декомпозицию стратегических целей по временным интервалам, то есть установить критерий цели каждого уровня на очередной год. Степень декомпозиции целей зависит от особенностей компании и её организационной структуры [15]. Набор целей каждого уровня должен быть достаточным для определения цели более высокого уровня. Следует определить должностных лиц (сотрудников), несущих ответственность за достижение цели каждого уровня. Назначение таких лиц не гарантирует ожидаемого результата. Необходимо организационно-распорядительными документами закрепить права, позволяющие ответственным за достижение целей влиять на выполнение соответствующего показателя. В качестве документов, закрепляющих зоны ответственности и соответствующие права, могут выступать приказ о распределении обязанностей, положение о подразделении, должностная инструкция.

Для каждой цели необходимо установить один или несколько показателей эффективности (КПЭ или KPI). Модель КПЭ используют многие управленческие концепции:

- Управление по целям – MBO (Management By Objectives), Питер Друкер, 1954 [2];
- Универсальная система показателей деятельности Хьюберта – TPS (Total Performance Scorecard), 2003;
- Система сбалансированных показателей Нортона и Каплана – BSC (Balanced Scorecard), 1992;
- Всеобщий менеджмент на основе качества – TQM (Total Quality Management), 1970-е годы;
- Управление результативностью – PM (Performance Management), 1990-е годы.

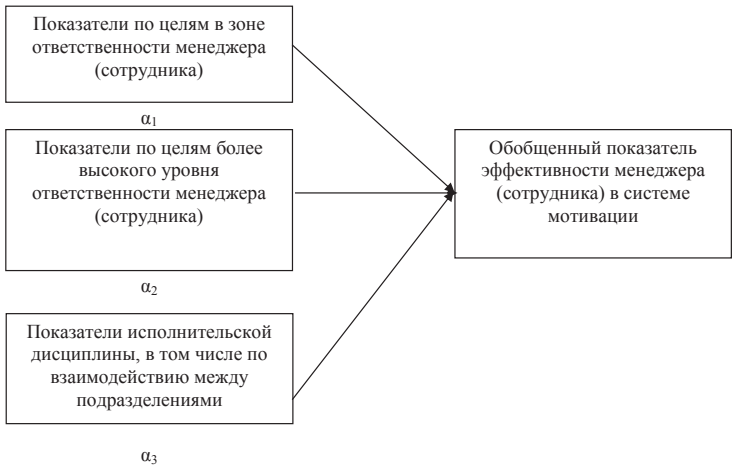


Рис. 2. Схема формирования показателей эффективности: α_1, α_2, α_3 – ***весомости отдельных показателей.***

Выполнение целевых значений показателей должно обеспечивать достижение ожидаемых результатов. Причем при оценке эффективности действуют свои условия:

– показатели не должны противоречить друг другу;

– количество показателей на каждого сотрудника должно быть не более трехпяти, так как чрезмерное увеличение снижает их весомость;

– целевые значения показателей призваны отвечать задачам достижения стратегических целей;

– лицо, ответственное за достижение целевого значения показателя, должно иметь достаточно прав по управлению процессами, результаты которых влияют на показатель.

Ключевая роль в обеспечении системной реализации стратегии и мотивации персонала лежит на руководителях подразделений (руководители среднего и линейного уровня управления). Они доводят до сотрудников стратегию организации, обсуждают цели и задачи подразделения. Сотрудник будет ориентирован на реализацию стратегии компании, если он:

• знает и понимает стратегию в целом;

• видит свой вклад в реализацию стратегии;

• представляет вклад коллег в реализацию стратегии;

• участвовал в разработке мероприятий, необходимых для достижения стратегических целей;

• участвовал в составлении системы целей и показателей для своего структурного подразделения (должности);

• мотивирован (материально и/или нематериально) на достижение целевых значений принятых показателей;

• располагает ресурсами, знаниями, навыками и инфраструктурой для достижения поставленных перед ним целей.

Основное предназначение КПЭ – критериальная оценка достижения результата. В качестве критериев достижения цели можно использовать:

• проценты, соотношения, абсолютные показатели;

• внешние показатели – например, позитивный отзыв клиента;

• частоту происходящего – допустим, повторное обращение за услугой;

• время – скажем, увеличить объём продаж на 30% за 6 месяцев;

• соответствие стандартам – к примеру, выполнять работу сообразно требованиям определенных профессиональных норм и правил;

• критерий «утвердить у руководителя» – формализовать любую стадию действий на пути к цели.

В реальных условиях формирования системы показателей приходится учитывать взаимосвязи результатов процессов. Например, своевременность и качество финансовой отчетности компании зависят от своевременности и качества первичной информации, предоставляемой разными подразделениями [20]. Если для финансовых служб введен показатель эффективности по критерию своевременности и качества отчетности, то всем подразделениям – поставщикам первичной информации должен быть установлен соответствующий

показатель. В этом случае, впрочем, с большой доли вероятности количество показателей для многих подразделений превысит рекомендованное. Данную проблему можно решить за счет регламентации всех взаимосвязей и установления порядка передачи информации из одного подразделения в другое, предполагая замену частного показателя своевременности и качества передачи информации одним интегрирующим показателем исполнительской дисциплины.

Более сложной является задача балансировки устанавливаемых целевых значений показателей. Например, менеджерам, отвечающим за продажу услуг по перевозке грузов, установлен показатель «рост выручки на 15%». При этом расходы по перемещению порожнего подвижного состава могут находиться в зоне ответственности другого менеджера. И рост выручки, обеспеченный менеджером по продаже услуг, может привести к снижению чистой прибыли и рентабельности. Решение такой проблемы возможно либо за счет усложнения показателей, либо путем добавления показателей, характеризующих достижение целей более высокого уровня (рис. 2).

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, обобщенный показатель эффективности менеджера (сотрудника) может быть определен как сумма трех показателей с учетом весомостей:

$$K_{об} = \alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \alpha_3 K_3; \quad (1)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1, \quad (2)$$

где K_1 – показатель достижения целей, находящихся в зоне ответственности менеджера (сотрудника);

K_2 – показатель достижения целей более высокого уровня;

K_3 – показатель исполнительской дисциплины.

В свою очередь, показатели K_1 и K_2 могут определяться как сумма нескольких показателей с учетом их весомостей.

Численные значения весомости показателей α_1, α_2 зависят прежде всего от степени влияния менеджера на достижение целей более высокого уровня. Например, для первого заместителя генерального директора весомость α_2 показателей целей верхнего уровня может быть установлена 0,6–0,7, поскольку степень его влияния на достижение целей верхнего уровня весьма значительная, а для начальника департамента та же весомость окажется меньше – 0,3–0,4.

В научной литературе существуют разные подходы к моделированию и формализации подобных зависимостей [3].

Цели верхнего уровня формируют собственники компании, которые обычно хотят получить рост чистой прибыли или увеличение стоимости компании. Критерии этих целей в зависимости от рыночной ситуации устанавливают непосредственно собственники, совет директоров или другой коллегиальный орган управления. Ответственность за достижение целей верхнего уровня и целевых значений соответствующих показателей несет, как правило, генеральный директор компании. Критерии для целей более низкого уровня формирует менеджмент компании, но исходя опять же из условия достижения целей верхнего уровня.

Декомпозиция стратегических целей и установление критериев их достижения на всех уровнях «дерева целей» позволяет:

– сформировать показатели эффективности для лиц, ответственных за достижение соответствующих целей;

– выполнить балансировку критериев целей и показателей эффективности;

– установить контроль за достижением целей всех уровней и проводить постоянный мониторинг реализации стратегии;

– сформировать показатели для мотивации персонала на достижение целей компании;

– обеспечить вовлеченность персонала в реализацию стратегии развития компании.

ПРЕМИЯ ПРЕДПОЛАГАЕТ ОЦЕНКУ

Преобразования в системе управления ОАО «РЖД» – крупнейшей транспортной компании России преследуют цель выйти на новый уровень развития. Любые изменения делаются людьми, поэтому успех проводимых реформ зависит от каждого работника, его понимания происходящих процессов, вовлеченности и осмысленного участия в них. Компания прилагает немалые усилия для обеспечения социальной защиты своих сотрудников, вкладывает значительные средства в развитие их профессиональных компетенций и творческо-

го потенциала, в свою очередь ожидая от сотрудников открытости изменениям, помощи в реализации инновационных программ и масштабных отраслевых проектов.

Сегодня каждый сотрудник компании, какую бы должность он не занимал, должен понимать не только свою персональную локальную задачу, но и отчетливо видеть конечный результат всего бизнес-процесса, частью которого он является. Необходимость достижения этого результата во многом определяет характер его взаимодействия с собственным коллективом и коллегами из смежных подразделений. Только при консолидации усилий всех работников холдинга в рамках единого процесса и совместная забота о том, чтобы выстроить и реализовать его без сбоев, возможно устойчивое и динамичное развитие компании.

Если каждый работник будет со всей ответственностью относиться к своему делу, постоянно совершенствовать профессиональные навыки и качества, а каждый руководитель станет относиться к доверенному ему участку и своему коллективу как ответственный и знающий управленец, цель которого в повышении внешней и внутренней клиентоориентированности, достижении бизнес-целей компании, то холдинг «РЖД» сможет добиться долгосрочной эффективности [4].

Состояние трудового потенциала железнодорожного транспорта во многом определяет стратегическое развитие отрасли. Ухудшение демографической ситуации в стране приводит к борьбе за квалифицированные кадры с адекватным и достойным уровнем заработной платы. Невозможность удержания оплаты труда (согласно внутренним социологическим исследованиям ОАО «РЖД» – первейшего фактора мотивации сотрудников) на конкурентоспособном уровне может привести к оттоку квалифицированного персонала из транспортных компаний.

Реализация стратегии развития компании должна обеспечиваться за счет постоянного обучения персонала, мотивации работников на достижение целевых показателей [8]. Стратегические КПЭ включены в систему мотивации ОАО «РЖД» и его дочерних и зависимых обществ. Показатели, как и положено, формируются на основе сопоставления ключевых задач подразделений и задач, определенных в стратегии и призванных отражать наиболее значимые позиции стратегических целей.

Необходимо формировать даже у рядовых низкоквалифицированных сотрудников понимание важности их деятельности и влияния на экономику, технологию, безопасность перевозок и другие аспекты деятельности компании. Это непростая задача, учитывая неоднозначную и неоднородную структуру персонала, культурный уровень и ценностные установки людей с разным менталитетом, воспитанием, социальным положением. И здесь, безусловно, нужна системная работа по формированию и развитию мощной корпоративной культуры, нацеленной на вовлеченность работников в осознанную деятельность, отождествление себя с отраслью, ее традициями и приоритетами [16].

Особое место в этом плане имеет вовлеченность персонала. Под вовлеченностью в данном контексте следует понимать высокий уровень эмоциональной связи с компанией, призывающий сотрудников самостоятельно прилагать больше усилий к осуществлению порученной им работы. Вовлеченность персонала базируется на трех основных «китах»: информированности, возможности влиять на развитие компании и участвовать в принятии решений.

Но вовлеченность персонала невозможна без удовлетворенности и лояльности сотрудников. Основным инструментом повышения уровня этих параметров является материальная мотивация, предполагающая вознаграждение работников только за те результаты, которые важны с точки зрения реализации стратегии компании.

С этой точки зрения целесообразно критически рассмотреть систему премирования производственного персонала ОАО «РЖД», которая включает текущее и целевое премирование.

Текущее премирование работников ОАО «РЖД» осуществляется в рамках трёхуровневой системы [8]. Первый уровень определяет условия, при соблюдении которых у людей появляется право

на начисление премии. Показатели, установленные на этом уровне, отражают степень обеспечения безопасности поездов (отсутствие крушений и аварий) и охраны труда.

Второй уровень показателей премирования связан с производственно-экономическими результатами деятельности и направлен на усиление материальной заинтересованности и ответственности каждого работника за выполнение ключевых задач своего подразделения или каких-то структур холдинга. К показателям этого уровня чаще всего относятся цифры, отражающие непревышение запланированных расходов по всем видам деятельности и выполнение планового задания по объему перевозок.

Третий уровень показателей премирования характеризует результаты трудовой деятельности отдельных работников или трудового коллектива (на уровне смены, отдела).

В зависимости от категории производственного персонала доля премии, приходящейся на разные виды показателей, разнится. Для рабочих 90% общей премии определяется результатами индивидуальной деятельности и только 10% – выполнением ключевых задач всем подразделением (объемные, финансово-экономические показатели). Для руководителей эти проценты другие – 60 и 40 соответственно.

Целевое премирование предполагает выплату премий ежемесячно/ежеквартально в зависимости от поставленных целей и сроков. Смысл, назначение такого дополнительного премирования – вовлечение персонала в работу по сокращению затрат компании на отдельных участках деятельности:

– безопасность;
– эффективность и качество;
– закрепление персонала.

Премирование по такому стратегически значимому в ОАО «РЖД» направлению, как безопасность, включает вознаграждения за обеспечение безопасности движения, обнаружение трудновыявляемых дефектов грузовых, пассажирских вагонов. Что касается эффективности и качества, то это направление предполагает премии за экономию топливно-энергетических ресурсов, реализацию программы бережливого производства, снижение непроизводительных потерь рабочего времени локомотивных бригад. И наконец, в целях закрепления персонала, повышения уровня его лояльности применяются единовременное вознаграждение за преданность компании, премии за победу в соревновании трудовых коллективов и работников, премии за классные звания. Кроме того, есть еще премиальный фонд мастера, вознаграждение из мотивационного фонда и средств лимита начальника железной дороги.

Значимой характеристикой мотивационной системы ОАО «РЖД» считается наличие механизмов актуализации показателей. У работников существует возможность высказать свои предложения и повлиять на изменение индивидуальных показателей.

Показательный аспект – мотивация труда работников на стыке хозяйств, нацеленная на сокращение расходов компании. В качестве примера здесь можно привести систему премирования комплексных бригад сортировочных станций.

Коллективная форма организации и стимулирования труда введена на 43 таких станциях сети. Общая численность работников комплексных бригад – 25,7 тыс., в том числе 10,7 тыс.– это люди, обеспечивающие перевозочный процесс (хозяйство перевозок); 10,1 тыс.– работники вагонного комплекса (вагонное хозяйство); 4,9 тыс.– локомотивного комплекса (локомотивное хозяйство). До недавнего времени в каждом хозяйстве, участвующем в деятельности сортировочной станции, применялась отдельная система премирования. Имел место конфликт показателей – то есть улучшение «премиального» показателя в одном хозяйстве приводил к ухудшению другого показателя, влияющего на премию смежников. После внедрения комплексных бригад работники трех основных хозяйств (перевозок, вагонного, локомотивного) заряжены на единый результат: снижение простоя вагонов на станции, увеличение количества отправленных со станции вагонов. Несомненным приобретением новой практики стало улучшение производственных показателей и психологического климата в коллективах

станций, мотивированное иной атмосферой труда соревнование единых смен комплексных бригад.

ВЫВОДЫ

1. Наличие долгосрочных целей и связанных с ними стратегических задач создает крупной транспортной компании прочную основу для всестороннего развития.

2. Каждая из целей при реализации нуждается в своих показателях, критериях эффективности и одновременно в мотивированных и ответственных исполнителях. Существующие при этом управленческие концепции предлагают разноуровневые ориентиры для участников бизнес-процессов и организаторов достижения целей, и эти точки опоры помогают поддерживать баланс стратегических замыслов и вовлеченности персонала в общее дело.

3. В балансе корпоративных интересов особую роль выполняет система премирования работников и коллективов, возможности которой иллюстрирует, в частности, практика холдинга «РЖД». Её дифференцированный характер, не снимая всех проблем в этой сфере, дает пример современного подхода к использованию взаимодействующих рыночных стимулов, форм организации и мотивации труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Друкер П. Ф. Задачи менеджмента в XXI веке.: Пер. с англ.– М.: Вильямс, 2004.– 272 с.

2. Друкер П. Ф. Энциклопедия менеджмента.: Пер. с англ.– М.: Вильямс, 2004.– 432 с.

3. Пересветов Ю. В., Епишкин И. А. Формализация конкурсных закупок методом анализа иерархии Томаса Саати // Вестник НИИ железнодорожного транспорта.– 2008.– № 6.– С. 36–39.

4. Сайт ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: http://rzd.ru/.

5. Сорокина А. В., Ланцберг О. Н. Программа мотивации персонала саратовской дирекцией связи центральной станции связи – филиала ОАО «РЖД» // Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономический суверенитет / Сб. трудов международ. научно-практ. конференции.– М.: МИИТ, 2015.– С. 337–339.

6. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения). [Электронный ресурс]: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704 layer_id=5104 refererLayerId=5101 id=6396. Доступ 12.02.2016.

7. Распоряжение ОАО «РЖД» № 2409р от 11.11.2013 «Об утверждении порядка мониторинга и оценки результатов работы ОАО «РЖД» на основе ключевых показателей деятельности».

8. Положение о корпоративной системе премирования работников филиалов ОАО «РЖД. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 20 июля 2010 г. № 1573р.

9. Армстронг М. Практика управления человеческими ресурсами.– 10-е изд. /Пер. с англ.– СПб.: Питер, 2009.– 848 с.

10. Лёвин Б. А., Галахов В. И., Заречкин Е. Ю., Усманов Б. Ф. Человеческие ресурсы корпорации: Стратегия и практика управления.– М.: Академкнига, 2005.– 670 с.

11. HR Outlook: Winter 2015–16: leaders' views of our profession. Chartered Institute of Personnel and Development. [Электронный ресурс]: http://www.cipd.co.uk/research/hr-outlook.aspx. Доступ 12.02.2016.

12. Parmenter, D. Key performance indicatores. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007, 236 p.

13. Spencer, L. M. Reengineering Human Recourses. New York: John Wiley & Sons, 2005, 238 p.

14. Strategic Management: An Integrated Approach, tenth edition // Charles W. L. Hill, G. R. Jones / Cengage Learning, 2012, 960 p.

15. Strategic Management Methodology: Generally Accepted Principles for Practitioners Curtis W. Roney Greenwood Publishing Group, 2004, 342 p.

16. Decoene, V., Bruggeman, W. Strategic alignment and middle level managers' motivation in a balanced scorecard setting, International Journal of Operations & Production Management, 2006, vol. 26, Iss. 4, pp. 429–448.

17. Balkin, D. B., Gomez-Mejia, L. R. Matching Compensation and Organizational Strategies. Strategic Management Journal (Impact Factor: 3.78). 02/1990; 11(2):153–169. DOI: 10.1002/smj.4250110207.

18. The hay report. Compensation & Benefits Strategies for the Future. Gaining Competitive Advantage Through Strategic Reward Programs. [Электронный ресурс]: http://www.indiana.edu/~jobtalk/Articles/comp/hay_rprt.pdf. Доступ 12.02.2016.

19. Madhani, P. M. Aligning Compensation Systems with Organization Culture Compensation & Benefits Review, March/April 201446: 103–115, first published on July 4, 2014, DOI: 10.1177/0886368714541913.

20. Wynter-Palmer, J. E. Is the Use of Short-Term Incentives Good Organization Strategy? Compensation & Benefits Review, September/October 201244: 254–265, first published on January 16, 2013. DOI: 10.1177/0886368712471591.

21. Hart, T. A., Parthiban, D., Shao, F., Fox, C. J., Westermann-Behaylo, M. An examination of the impact of executive compensation disparity on corporate social performance Strategic Organization August 201513: 200–223, first published on May 12, 2015. DOI: 10.1177/1476127015585103.

22. Den Hartog, D. N., Boon, C., Verburg, R. M., Croon, M. A. HRM, Communication, Satisfaction, and Perceived Performance: A Cross-Level Test Journal of Management September 201339: 1637–1665, first published on April 3, 2012. DOI: 10.1177/0149206312440118.

23. Заречкин Е. Ю. Человеческий потенциал корпорации: качество диктует пределы количества // Мир транспорта.– 2006.– № 2.– С. 116–124. ●

Координаты авторов: **Сорокина А. В.** – Avsorokina777@gmail.com,
Епишкин И. А. – i.epishkin@myief.ru.

Статья поступила в редакцию 12.02.2016, принята к публикации 07.04.2016.

MANAGEMENT BY OBJECTIVES AND MOTIVATION FOR STRATEGY IMPLEMENTATION

Sorokina, Anastasia V., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Epishkin, Ilya A., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article deals with problems of management by objectives and development of personnel motivation system for implementation of transport company's strategy. It substantiates the idea that a well-built strategy of involving staff in matters of general interest has a significant impact on efficiency of interaction of structural units in business processes. The authors pay a particular attention to need for formation of key performance indicators that affect the achievement of objectives at various levels. These indicators should be formed on the basis of comparison of main tasks of individual departments and tasks defined by holding company development strategy.

Keywords: transport, company holding, management by objectives, motivation of staff, key performance indicators, bonuses, decomposition of objectives.

Background. *Development and implementation of development strategies of transport companies are associated with the need to attract significant financial resources and require great efforts from corporate and executive management. However, the return on wasted resources and effort is largely determined by the interest of all the company's employees in achieving strategic objectives. Personnel motivation for implementation of development strategies is one of the most important tasks of the company managers [1].*

If we proceed from the assumption that the strategy of the transport company is implemented by each employee, staff motivation is central to the strategic management system. In the context of management by objectives roles and tasks of employees in the motivation system can be represented as follows:

• senior managers – form their objectives and embody the company's values;

• managers – cascade objectives, motivate and develop staff;

• employees – are involved, aimed at achieving goals and matching values.

Motivation is internal incentive to act, causing subjective personal interest of the individual in its accomplishments. The motives of behavior are closely linked with such characteristics of ideal action medium, as intention, purpose, commitment, and should be distinguished from external stimulus and the response to them. The problem of motivation of activity can be seen in various aspects. In this case, there will be one aspect – the interest of staff in implementation of development strategies and achievement of strategic objectives of the company.

Objective. *The objective of the authors is to consider management by objectives and staff motivation for implementation of company's strategy.*

Methods. *The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, economic assessment.*

Results.

Motivation to the result

Motivation is a process of creating conditions under which a person has a desire to satisfy the needs, material, financial and other opportunities to do so are formed, as well as knowledge, skills develop, necessary for setting higher goals. In other words, motivation requires conditions under which human activity is activated, and his actions acquire a target orientation [5].

Elaboration of development strategy and formation of strategic objectives is a responsibility zone of company management. But in the process of implementation of the strategy the involvement of all personnel is necessary. This is achieved by decomposition of strategic objectives and bringing targets to each business unit and individual performers. In this way a tree of objectives is formed, wherein objectives of a higher level are supported by lower level objectives (Pic. 1).

For organization of operational planning and management it is advisable to perform decomposition of strategic objectives on time intervals, that is to establish the purpose of each level for the next year. The degree of decomposition of objectives depends on features of the company and its organizational structure [15]. A set of goals for each level must be sufficient to determine the objective of a higher level. It is necessary to identify officials (employees) responsible for achievement of objectives of each level. Appointment of such persons does not guarantee the expected results. It is necessary to provide in administrative documents rights enabling persons responsible for achieving objectives affect the performance of the relevant indicator. As the documents securing the area of responsibility and rights, may serve an order for allocation of responsibilities, provision on the department, job description.

For each objective, it is necessary to install one or more performance indicators (KPI). KPI model is used by many management concepts:

• Management By Objectives (MBO), Peter Drucker, 1954 [2];

• Total Performance Scorecard of Hubert, 2003;

• Balanced Scorecard of Norton and Kaplan, 1992;

• Total Quality Management (TQM), 1970-ies years;

• Performance management (PM), 1990-ies years.

Implementation of target values of indicators should ensure achievement of expected results. Moreover, in assessing effectiveness own conditions act:

– Indicators should not contradict each other;

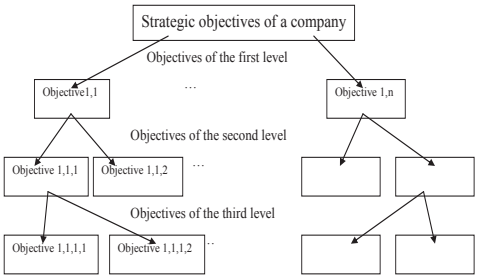
– The number of indicators for each employee should be no more than three to five, as an excessive increase reduces their significance;

– Target values of indicators are designed to meet the challenges of achieving strategic objectives;

– The person responsible for achievement of target values of the indicator should have enough rights for process management, the results of which affect the indicator.

A key role in the systematic implementation of the strategy and motivation of staff rests with the heads of departments (middle and line management level). They report to employees the organization strategy, discuss objectives and tasks of the department. The employee will be focused on implementation of the strategy of the company, if he:

• knows and understands the strategy as a whole;



Pic. 1. A tree of company's objectives.

• sees his contribution to implementation of the strategy;

• understands the contribution of colleagues to implementation of the strategy;

• participated in development of activities required to achieve strategic objectives;

• participated in drafting of a framework of objectives and targets for his structural unit (job position);

• is motivated (material and / or intangible) to achieve target values of the received indicators;

The main purpose of KPI is criterial assessment of result achievements. As the criteria of result achievement can be used:

• percentages, ratios, absolute figures;

• external indicators – for example, a positive customer review;

• frequency of an event – for example, re-applying for the service;

• time – for example, to increase sales by 30% for 6 months;

• compliance with the standards – for example, to perform work according to the requirements of specific professional rules and regulations;

• criterion of «to get approval of the chief» – to formalize any stage of action toward the goal.

In real conditions of formation of a system of indicators it is necessary to take into account the interaction of process results. For example, timeliness and quality of financial statements of the company depend on timeliness and quality of initial information provided by different departments [20]. If for financial services performance indicator is introduced by the criterion of timeliness and quality of reporting, then for all units – primary information suppliers a relevant indicator should be set. In this case, however, with great probability the number of indicators for many departments exceeds recommended. This problem can be solved by regulation of all relationships and establishment of information transmission order from one unit to another, assuming replacement of a private indicator of timeliness and quality of information transmission with one integrative measure of performance discipline.

More complicated is the task of balancing the established target values of indicators. For example, for managers responsible for the sale of services for carriage of goods, the indicator «revenue growth of 15%» is set. The costs of moving empty rolling stock may be in the area of responsibility of another manager. And revenue growth provided by the manager for the sale of services can lead to a decrease in net income and profitability. The solution of this problem is possible either by complicating indicators, or by addition of indicators characterizing the achievement of objectives of a higher level (Pic. 2).

In accordance with the scheme shown in Pic. 2, a complex performance indicator of a manager (employee) can be defined as a sum of three indicators based on weighting:

$$K_{com} = \alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \alpha_3 K_3; \quad (1)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1, \quad (2)$$

where K_1 is an indicator of achieving objectives that are in the responsibility zone of a manager (employee);

K_2 is an indicator of achieving objectives of a higher level;

K_3 is an indicator of performance discipline.

In turn, indicators K_1 and K_2 may be determined as a sum of several indicators in accordance with their weighting.

The numerical values of weighting of indicators α_1, α_2 depend primarily on the degree of influence of the manager on achieving objectives of a higher level. For example, for the first deputy general director weighting of α_2 indicators of a high level can be set as 0,6–0,7, since the degree of his impact on achievement of top level objectives is very significant, and for the head of the department the same weighting will be less – 0,3–0,4.

In the scientific literature there are different approaches to modeling and formalization of such dependencies [3].

Top level objectives are formed by company owners who usually want to get a rise in net profit or increase in value of the company. The criteria for these purposes, depending on the market situation are set directly by the owners, the board of directors or other governing board. The responsibility for achieving top level objectives and target values of corresponding indicators shall be borne, as a rule, by the general director of the company. Criteria for lower level objectives are formed by the management of the company, but starting again from the condition of achieving top level objectives.

Decomposition of strategic objectives and establishment of criteria to achieve them at all levels of «objectives' tree» allow:

– to form performance indicators for the persons responsible for achievement of relevant objectives;

– to balance criteria of objectives and performance indicators;

– to establish control over achievement of objectives at all levels and continuously monitor implementation of the strategy;

– to form indicators for motivation of staff to achieve the objectives of the company;

– to ensure involvement of staff in implementation of the company's development strategy.

Bonuses involve assessment

Transformations in the management system of JSC Russian Railways – the largest Russian transport company aim to reach a new level of development. Any changes are made by people, so the success of the reforms depends on each employee, his understanding of the processes, involvement and meaningful participation. The company has made considerable efforts to ensure social protection of its employees, is investing heavily in the development of their professional competence and creativity, in turn, expecting from employees openness to changes, assistance with implementation of innovative programs and large-scale industrial projects.

Today, every employee, no matter what position he takes, has to understand not only his personal local task, but also to clearly see the end result of the entire business process, in which he participates. The need to achieve this result determines largely the nature of his interaction with his own staff and colleagues from related departments. Only consolidation of efforts of all the employees of the holding company in a single process and joint care of how to build and implement it without crashing, lead to stable and dynamic development of the company.

If every employee has a responsible attitude to his work, improves constantly professional skills and competences, and every manager treats a section trusted to him and his team as a responsible and knowledgeable manager, who aims at improving internal and external customer focus, achieving business objectives of the company, then the holding company Russian Railways will be able to achieve long-term efficacy [4].

The state of labor potential of railway transport defines largely strategic development of the industry. The deterioration of the demographic situation in the country leads to a struggle for qualified staff with adequate and decent wages. Inability to keep wages (according to the internal sociological research of JSC Russian Railways – the first factor in motivation of employees) at a competitive level can lead to an outflow of trained personnel from transport companies.

The implementation of the company's development strategy should be ensured by constant training, motivation of staff to achieve targets [8]. Strategic KPI are included in the system of motivation of JSC Russian Railways and its subsidiaries and affiliates. Indicators, as expected, are formed on the basis of comparison of key objectives of departments and tasks defined in the strategy and are designed to reflect the most significant positions of strategic objectives.

It is necessary to form even for ordinary unskilled personnel awareness of importance of their work and impact on economy, technology, transport safety and other aspects of the company. This is not an easy task, given mixed and heterogeneous structure of personnel, cultural background and values of people with different mentality, education, social position. And here, of course, we need a systematic work on formation and development of a strong corporate culture aimed at involvement of employees in conscious activity, identification with the industry, its traditions and priorities [16].

A special place in this regard is given to involvement of staff. The involvement in this context means a high level of emotional connection to the company, urging employees on their own to make more efforts to perform duties entrusted to them. The involvement of staff is based on three main «pillars»: awareness, opportunities to influence the company's development and participate in decision-making.

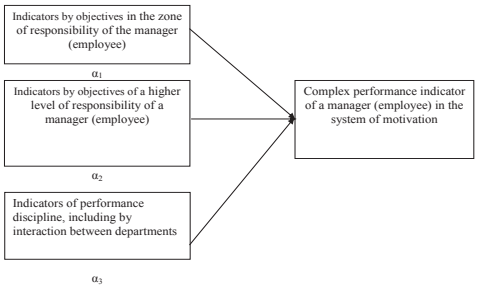
But the involvement of personnel is impossible without satisfaction and loyalty of employees. The main tool for improving the level of these parameters is a financial motivation, suggesting compensation of employees only for the results, which are important in terms of implementing the company's strategy.

From this perspective, it is advisable to critically examine the system of bonuses given to production staff of JSC Russian Railways, which includes current and target bonuses.

Current bonuses of employees of JSC Russian Railways are provided within the three-level system [8]. The first level defines conditions under which people have a right to the premium accrued. The indicators established at this level reflect the degree of train safety (absence of crashes and accidents) and health and safety.

The second level of bonuses indicators is linked to production and economic results of activity and is aimed at strengthening the material interest and responsibility of each employee for implementation of key tasks of his unit or any holding structures. The indicators of this level often include figures showing non-excess of the planned expenditure on all the activities and implementation of a planned target task in terms of traffic volume.

The third level of bonuses indicators describes the results of work of individual employees or labor collective (at the level of shift, department).



Pic. 2. Scheme of the formation of performance indicators: α_1, α_2, α_3 – weighting of individual indicators.

Depending on the category of the production staff share of premium attributable to different types of indicators varies. For the workers, 90% of the total premium is determined by the results of individual activities and only 10% – by implementation of key tasks of the all unit (volumetric, financial and economic indicators). For managers, these percentages differ – 60 and 40 respectively.

Target bonuses involve payment of premiums monthly / quarterly, depending on objectives and deadlines. The meaning, purpose of such an additional bonus – involvement of staff in the company's efforts to reduce costs in some areas of activity:

– safety;
– quality and efficiency;
– consolidation of the staff.

Bonuses on such strategic important in the JSC Russian Railways direction as safety includes rewards for ensuring traffic safety, detection of hardly detactable defects of cargo, passenger cars. With regard to efficiency and quality, this area involves the award for saving fuel and energy resources, implementation of lean manufacturing program, reduction of overhead of working time of locomotive crews. Finally, in order to strengthen the staff, increase the loyalty level are applied lump-sum remuneration for loyalty to the company, award for the victory in the competition of workers and employees, bonuses for class rank. In addition, there is also a bonus fund of a master, reward from motivational fund and limit funds of the chief of the railway.

The significant feature of the motivation system of JSC Russian Railways is existence of mechanisms for updating the indicators. The employees have an opportunity to express their suggestions and to influence changes in individual indicators.

An illustrative aspect is motivation of employees at the junction of economies, aimed at reducing the company's expenses. An example here is a system of awarding integrated brigades of marshalling yards.

The collective form of organization and incentives is introduced at 43 stations of the network. The total number of workers of integrated brigades is 25,7 thousand, including 10,7 thousand – people that provide transportation process (transportation economy); 10,1 thousand – workers of rolling stock complex (car economy); 4,9 thousand – workers of locomotive complex (locomotive economy). Until recently, in each economy, participating in activity of a marshalling yard, a separate system of bonuses was used. A conflict of indicators took place – i.e. improvement of «premium» indicator in one economy led to deterioration in other indicator affecting the premium of subcontractors. After introduction of integrated teams workers of three major economies (transportation, car, locomotive) are charged at a single result: reduction of downtime of cars at the station, increase in the number of cars sent from the

station. A doubtless acquisition of a new practice has become improvement of performance and psychological climate in collectives of stations, motivated by another working atmosphere competition of unified shifts of integrated brigades.

Conclusions.

1. Availability of long-term objectives and associated strategic objectives create for a major transport company a solid foundation for all-round development.

2. Each of the objectives needs own indicators, performance criteria and at the same time motivated and responsible executors during its implementation. Existing management concepts offer multilevel guidance to participants in business processes and organizers of achieving objectives, and these points of support help to maintain a balance of strategic plans and involvement of staff in the joint activity.

3. In the balance of corporate interests a special role is played by the system of awarding employees and teams, which possibilities are illustrated by, in particular, the practice of Russian Railways holding company. Its differentiated nature, without removing all the problems in this field, gives an example of a modern approach to the use of interacting market incentives, forms of organization and motivation.

REFERENCES

1. Drucker, P. F. Management Challenges for the 21st Century [*Zadachi menedzhmenta v XXI veke. Transl. from English*]. Moscow, Williams publ., 2004, 272 p.

2. Drucker, P. F. The Essential Drucker [*Enciklopedija menedzhmenta. Transl. from English*]. Moscow, Williams publ., 2004, 432 p.

3. Peresvetov, Yu. V., Epishkin, I. A. Formalization of competitive procurement by analyzing the hierarchy of Thomas Saaty [*Formalizacija konkursnyh zakupok metodom analiza ierarhii Tomasa Saati*]. *Vestnik NII zheleznodorozhnogo transporta*,2008, Iss. 6, pp. 36–39.

4. Website of JSC Russian Railways. [Electronic source]: http://rzd.ru/.

5. Sorokina, A. V., Lantsberg, O. N. Program of staff motivation by Saratov Directorate of the Central Communication Station – branch of JSC Russian Railways [*Programma motivacii personala saratovskoj direkciej svjazi central'noj stancii svjazi – filiala OAO «RZhD»*]. *Modern problems of economic management of the transport complex of Russia: competitiveness, innovation and economic sovereignty / Proceedings of international scientific-practical conference*. Moscow, MIIT publ., 2015, pp. 337–339.

6. The development strategy of Russian Railways holding company for the period up to 2030 (basic provisions) [*Strategija razvitija holdinga «RZhD» na period do 2030 goda (osnovnye polozhenija)*]. [Electronic source]: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru? STRUCTURE_ID=704 layer_id=5104 refererLayerId=5101 id=6396. Last accessed 12.02.2016.

7. Order of JSC Russian Railways № 2409r dated 11.11.2013 On approval of monitoring and evaluation of the results of operation of JSC Russian Railways on the basis of key performance indicators [*Rasporjazhenie OAO «RZhD» № 2409r ot 11.11.2013 «Ob utverzhdenii porjadka monitoringa i ocenki rezul'tatov raboty OAO «RZhD» na osnove kljuchevyh pokazatelej dejatel'nosti»*].

8. Provision on corporate system of bonuses for employees of branches of JSC Russian Railways. Approved by order of JSC Russian Railways dated July 20, 2010 № 1573r [*Polozhenie o korporativnoj sisteme premirovanija rabotnikov filialov OAO «RZhD. Utverzhdeno rasporjazheniem OAO «RZhD» ot 20 ijulja 2010 g. № 1573r*].

9. Armstrong, M. A Handbook of Human resource Management Practice [*Praktika upravlenija chelovecheskimi resursami. Transl. from English*]. 10th ed. St.Petersburg, Piter publ., 2009, 848 p.

10. Lievin, B. A., Galakhov, V. I., Zarechkin, E. Yu., Usmanov, B. F. Human Resources of Corporation: Strategy and management practices [*Chelovecheskie resursy korporacii: Strategija i praktika upravlenija*]. Moscow, Akademkniga publ., 2005, 670 p.

11. HR Outlook: Winter 2015–16: Leaders' views of our profession. Chartered Institute of Personnel and Development. [Electronic source]: http://www.cipd.co.uk/research/hr-outlook.aspx. Last accessed 12.02.2016.

12. Parmenter, D. Key performance indicators. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007, 236 p.

13. Spencer, L. M. Reengineering Human Resources. New York: John Wiley & Sons, 2005, 238 p.

14. Hill, Charles W. L., Jones, Gareth R. Strategic Management: An Integrated Approach, tenth edition. Cengage Learning, 2012, 960 p.

15. Roney, Curtis W. Strategic Management Methodology: Generally Accepted Principles for Practitioners Greenwood Publishing Group, 2004, 342 p.

16. Decoene, Valerie, Bruggeman, Werner. Strategic alignment and middle level managers' motivation in a balanced scorecard setting. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 26, 2006, Iss. 4, pp.429–448.

17. Balkin, David B., Gomez-Mejia, Luis R. Matching Compensation and Organizational Strategies. *Strategic Management Journal*, Vol. 2, 1990, Iss. 11(2), pp.153–169.

18. The hay report. Compensation & Benefits Strategies for the Future. Gaining Competitive Advantage Through Strategic Reward Programs. [Electronic source]: http://www.indiana.edu/~jobtalk/Articles/comp/hay_rprt.pdf. Last accessed 12.02.2016.

19. Pankaj M. Madhani. Aligning Compensation Systems with Organization Culture. *Compensation & Benefits Review*, March/April 2014, Iss. 46, pp.103–115, first published on July 4, 2014.

20. Wynter-Palmer, Jennifer E. Is the Use of Short-Term Incentives Good Organization Strategy? *Compensation & Benefits Review*, September/October 2012, Iss. 44, pp. 254–265, first published on January 16, 2013.

21. Hart, Timothy A., Parthiban, David, Feibo Shao, Fox, Corey J., and Westermann-Behaylo, Michelle. An examination of the impact of executive compensation disparity on corporate social performance. *Strategic Organization*, August 2015, Iss. 13, pp. 200–223, first published on May 12, 2015.

22. Den Hartog, Deanne N., Boon, Corine, Verburg, Robert M. and Croon, Marcel A. HRM, Communication, Satisfaction, and Perceived Performance: A Cross-Level Test. *Journal of Management*, September 2013, Iss. 39, pp. 1637–1665, first published on April 3, 2012.

23. Zarechkin, E. Yu. Corporate Human Potential: Quality dictates the limits of quantity. *World of Transport and Transportation*, Vol.4, 2006, Iss.2, pp. 116–124.

Information about the authors:

Sorokina, Anastasia V. – Ph.D. (Economics), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, Avsorokina777@gmail.com.

Epishkin, Ilya A. – Ph.D. (Economics), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, i.epishkin@myief.ru.

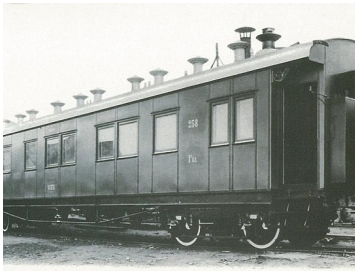
Article received 12.02.2016, accepted 07.04.2016.

ТЧ

КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL

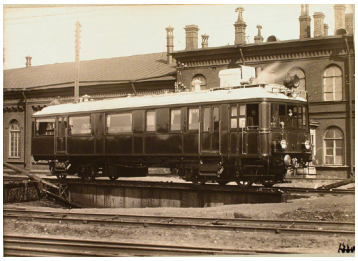
ТЕХНИКА И ВРЕМЯ 282

Как ездили пассажиры российских железных дорог в XIX веке.



ПРЕСС-АРХИВ 288

Новости, «опоздавшие» на более чем сто лет.



TECHICS AND THE TIME 282

How did the passengers of Russian railways travel in 19th century?

MEDIA ARCHIVES 288

The news… late for a century.

УДК 621.3 (09)

Пассажирские вагоны дореволюционной России

Валентина ТАРАСОВА
Valentina N. TARASOVA

Сергей БЕСПАЛЬКО
Sergey V. BESPALKO

Тарасова Валентина Николаевна *– доктор исторических наук, профессор, заведующая кафедрой «Инновационные технологии» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Беспалько Сергей Валерьевич *– доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

Passenger Cars of Pre-Revolutionary Russia

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 286)

Ретроспективный обзор начального периода становления пассажирского вагонного парка на отечественных железных дорогах показывает трансформацию технической мысли, конструктивных особенностей рельсовых экипажей, условий комфортности, удобства поездки для пассажира.

Ключевые слова: железная дорога, пассажирский вагон, история, технический прогресс, бытовой комфорт.

Первые вагоны для пассажиров назывались в Англии каретами (carriage). Экипаж ставился на платформу, которая прицеплялась к поезду.

Пассажирские вагоны для первой в России Царскосельской железной дороги были построены в Англии и привезены в Петербург в 1836 году.

Первые вагоны были двухосными, имели деревянную раму и кузов. Для их соединения использовалась сцепка в виде цепей. К вагонной раме крепился буфер, предохранявший вагоны от столкновения при ручном торможении.

Особым комфортом отличались вагоны-«берлины». В каждом их отделении, рассчитанном на 8 человек, располагались друг против друга по четыре мягких кресла с подлокотниками. В отделении «дилижансов» устанавливали мягкие сиденья без подлокотников на пять человек каждое, что позволяло поместить там 10 пассажиров.

Вагоны I класса строились со сплошными продольными стенками, имели застекленные двери и окна. У вагонов II класса продольные стены доходили до половины высоты кузова. Поперечные стены были глухие, продольных проходов не было, ваго-

ны не имели между собой сообщения. В них могло разместиться до 12 человек на жестких скамейках. В вагонах не было отопления и освещения, только с 1840-х гг. стали применять свечи.

Строительство пассажирского парка в России впервые организовано на Александровском механическом заводе для С.-Петербурго-Московской железной дороги. В качестве основы был принят американский пассажирский вагон на двух двухосных тележках. В 1865 году инженер Рехневский разработал новую конструкцию двухосной тележки, в которой применено двойное рессорное подвешивание, обеспечивавшее лучшую плавность хода, чем при одинарном подвешивании. В первых вагонах не было предусмотрено удобств для пассажиров. В 1850 году Александровский завод построил два вагона усовершенствованной конструкции с комфортными условиями для пассажиров.

Жесткий вагон III класса строился на деревянных брусьях, сцепка была центральной и одновременно буферной. Внутри вагонов имелся проход, по бокам которого ставились парные скамейки. С каждой стороны размещалось шесть или девять окон. В вагоне имелось 90 мест для сиденья глубиной до 400 мм и длиной 1000 мм. В первых вагонах не было полок для вещей и багажа, отопления, умывальных и уборных. Освещение в ночное время производилось сальными свечами. Вентиляция осуществлялась через одинарные окна, нижняя половина которых поднималась вверх.

Вагоны II класса строились по тем же размерам, но скамьи и спинки в них были мягкие, пружинные, с наружной суконной обивкой. Скамейки, на которых размещались по двое пассажиров, разделялись подлокотниками. Глубина сиденья составляла 640 мм, а расстояние между двумя противоположными скамьями 550–575 мм, поэтому мест для пассажиров было 52.

Вагоны I класса имели продольный проход шириной 676 мм у одной из стен. У другой стены размещались 14 поперечных мягких диванов длиной 1944 мм, на каждом – по двое пассажиров. Вагоны имели 7 окон, которые находились между диванами. Ширина диванов у вагонов I класса составляла 740 мм и расстояние между ними – 640 мм. Все вагоны были тормозные, с цепным тормозом и односторонним внутренним торможением у каждой тележки, осуществляемым при помощи деревянных осиновых колодок, заключенных в чугунные башмаки.

В период с 1857 по 1862 год для отечественных казенных и частных железных дорог вагоны пассажирского парка приобретались за рубежом, поскольку Александровский механический завод был загружен ремонтными работами. Вагоны европейских заводов не имели сквозного прохода, были компактны и легки, что достигалось за счет чрезмерного уплотнения пассажиров. Вагоны Александровского завода, напротив, имели сквозной проход по длине вагона, бо́льшую площадь пола и бо́льший объем воздуха, приходящегося на каждого пассажира.

До начала 1860-х годов ни отечественные, ни зарубежные вагоны не имели уборных и отопления, освещение и вентиляция пассажирских вагонов были недостаточны

и требовали улучшения. Обогревание ног пассажиров велось только в сильные морозы в вагонах I и II класса. Для этой цели использовались сильно нагретые кирпичи, которые помещались в плоские ящики из листового железа и перед отправлением поезда устанавливались на полу под ноги пассажиров. Через 3–4 часа по ходу следования охлажденные грелки убирались и на их место ставились другие с горячими кирпичами.

В период 1865–1880 гг. пассажирские вагоны стали выпускать трехосными (с использованием тележек тройного подвешивания), с тремя формами крыши (плоской, полукруглой и с фонарем); было введено водяное отопление в мягких вагонах и печное – в жестких; появились входные двери, которые открывались внутрь кузова, и внутренние задвижные двери; сконструированы подъемные спинки диванов для организации спальных мест, стандартизированы размеры внутренней планировки вагонов; оборудованы уборные во всех вагонах и умывальники – в большинстве из них; применялись надоконные и подоконные задвижные вентиляторы и потолочные дефлекторы (вытяжные флюгарки); введены двойные опускные окна с большими цельными стеклами; стандартизированы места для пассажиров по ширине (два места в вагонах I класса, три в вагонах II класса и четыре места в вагонах III класса; установлена однообразная глубина сидений (750 мм в вагонах I класса, 650 мм в вагонах II класса и 450 мм в вагонах III класса); улучшено освещение вагонов путем увеличения размера окон и расположения их между скамьями, установления настенных фонарей и введения газового освещения.

Вычурная обивка вагонов II класса и роскошная обивка I класса были упрощены за счет использования клеенки для потолков и стен, шерстяных и полотняных занавесей для окон и фонарей, красного или зеленого трипа для диванов I класса, сукна или плотного мебельного тика для вагонов II класса.

В 1879 году для внешнего различия вагонов была установлена следующая наружная окраска: синий цвет – для вагонов I класса, желто-золотистый – для вагонов II класса, зеленый – для вагонов III класса.

В период 1881–1917 гг. на смену трехосным стали конструировать более совершенные двухосные, а затем и четырехосные вагоны. Двухосные тележки, которые чаще других присутствовали в конструкциях пассажирских вагонов начала XX века, характеризовались улучшенными показателями рессорного подвешивания, боковыми буферами и центральными тягово-сцепными устройствами.

Пассажирские четырехосные вагоны были последними, разработанными в России перед Первой мировой войной. Длина их кузова увеличена до 20 м, применена полностью железная рама. Впервые с 1912 года на этих пассажирских вагонах стали устанавливать электрическое освещение, которое ранее применяли только в вагонах-салонах.

В данной линейке созданы оригинальные конструкции вагонов различных типов:

– мягкие I и II классов с разнообразной планировкой и оборудованием;

– четырех- и шестиосные с металлическими полустенками, несущими основные нагрузки;

– жёсткие, в том числе IV класса, позволявшие существенно снизить стоимость проезда пассажиров за счет увеличенной вместимости;

– двухэтажные вагоны, благодаря которым удалось значительно увеличить число пассажирских мест, приходившихся на единицу длины вагона (см., в частности, «Двухэтажный пассажирский вагон на тележках системы Рыковского»);

– почтовые, багажные, служебные и другие специальные вагоны в различном конструктивном исполнении (см., например, «Переселенческий (столыпинский) вагон», «Царский вагон-гараж», «Вагон-церковь начала XX в.»;

– двухосные вагоны, отличавшиеся улучшенной плавностью хода (с тележками системы Фетте, тройного подвешивания и др.);

– вагоны с установками для кондиционирования воздуха.

Пассажирский четырехосный вагон II класса получил у специалистов название «вагон системы Полонсо» по фамилии французского инженера, сконструировавшего для него оригинальный кузов. Такие вагоны строились для Владикавказской, Китайско-Восточной и С.-Петербурго-Варшавской железных дорог. Толщина листового металла нижней части кузова составляла 5 мм. Длина кузова 12–14 м, ширина –

3200 мм. Вагоны имели 6 окон по длине, более мягкое подвешивание, буксы современного типа. Число мест в вагонах было увеличено за счет уменьшения удобств для пассажиров. В вагоне I класса имелось 24, II – 32 дневных места, из них плацкартных (спальных) соответственно – 16 и 24.

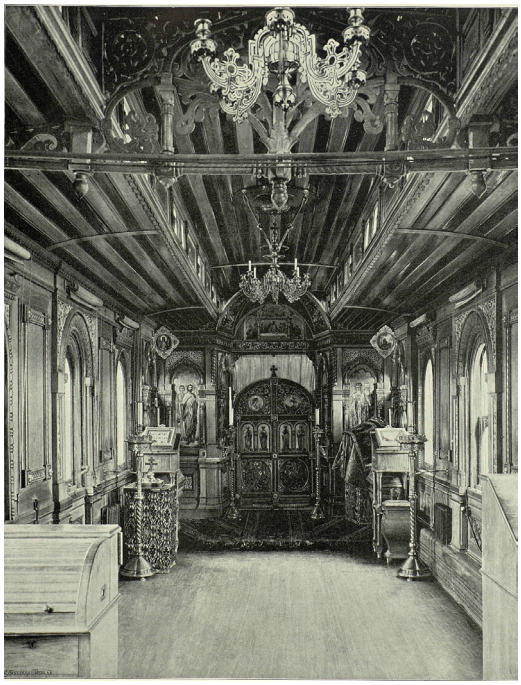
Жесткие пассажирские вагоны III–IV классов появились на отечественных железных дорогах во второй половине 1880-х, когда возникла потребность в предоставлении более дешевого проезда рабочих торфоразработок, заводских и горно-промышленных районов.

Жесткие двухосные вагоны II–III класса строились редко, на коротких ветвях и имели ограниченное распространение.

Широкое переселенческое движение возникло в связи с вводом в эксплуатацию Сибирской железной дороги. Для перевозки пассажиров были построены вагоны IV класса, получившие название «переселенческий» сибирского типа. Такие вагоны строились двухосными и четырехосными. Двухосные имели длину кузова 12030 мм, 7 окон и 40 мест. Они были подвешены на двухрядных плоских рессорах с натяжными шпинтонами. Четырехосные вагоны длиной 20060 мм (13 окон, 81 место) располагались на тележках с поперечными трехрядными рессорами экипажного типа. Оба вагона имели плоско-выпуклую крышу, наружную деревянную обшивку, внутри были установлены две сухие печи, две уборные.

Двухэтажные пассажирские вагоны IV класса оригинальной конструкции были построены в незначительном количестве. Такой вагон имел кузов длиной 20000 мм, покоящийся на специальных тележках с одной продольной плоской рессорой и четырьмя спиральными – с каждой стороны 12 окон. Для входа на верхний этаж служили наружные концевые двусторонние лестницы, внизу стояли двери с каждой стороны в середине кузова. Вагон был рассчитан на 106 сидячих мест.

В 1911 году появились вагоны дальнего следования длиною 20 м с тележками конструкции Фетте вместо тележек Пульмана.



В 1912–1913 годах эти вагоны были оборудованы автономным электрическим освещением, которое раньше применялось только в служебных вагонах. В конструкциях пассажирских вагонов, построенных в дореволюционный период, массово использовалась древесина, а кузова обшивались снаружи листовым железом.

Исследование истории создания и совершенствования отечественного пассажирского вагона, улучшения его технических, технологических характеристик, структурных связей с другими объектами и достижениями научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте и в транспортном машиностроении позволяет определить критерии его конкурентоспособности при растущей потребности населения в перевозках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мокршицкий Е. И. История вагонного парка железных дорог СССР.– М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1946.– 202 с.

2. Анисимов П. С., Иванов А. А. Развитие вагоностроения в России: Учеб. пособие.– М.: МИИТ, 2003.– 84 с.

3. Ефимова Г. Н. История создания и перспективы модернизации пассажирского вагона в России / Дис... канд. техн. наук.– М., 2009.– 267 с.

Координаты авторов: **Тарасова В. Н.** – tarasovavn@mail.ru, **Беспалько С. В.** – bespalco@hotbox.ru.

Статья поступила в редакцию 03.04.2016, принята к публикации 11.05.2016.

PASSENGER CARS OF PRE-REVOLUTIONARY RUSSIA

Tarasova, Valentina N., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
Bespalko, Sergey V., *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

A retrospective review of the initial period of formation of the passenger car fleet on domestic railways shows the transformation of technical ideas, design features of railway vehicles, comfort conditions, travel convenience for passengers.

Keywords: railway, passenger car, history, technical progress, common comfort.

Background. *The first passenger cars were called in England coaches (carriage). The carriage was put on a platform, which was connected to a train.*

Passenger cars were built in England and brought to St. Petersburg in 1836for the first in Russia Tsarskoye Selo railway.

The first cars were biaxial, had a wooden frame and body. For their coupling coupling as a chain was used. A car buffer that protected cars from colliding when manual braking was fastened to a frame.

Cars–«Berlin» were of a special comfort. In each compartment, designed for 8 people, four armchairs with armrests were located opposite each other. In the compartment of «Stagecoach» soft seats for five people each without armrests were located that allowed to put 10 passengers in one compartment.

The I class cars were built with solid longitudinal walls, had glazed doors and windows. In II class cars longitudinal walls reached up to half the height of the body. Transverse walls were blank, lateral gangways were absent, the cars did not have communication with each other. They could accommodate up to 12 people on hard benches. The cars had no heating and lighting, only since 1840 candles began to be used.

Objective. *The objective of the authors is to give a brief overview of construction and modernization of passenger cars in the pre-revolutionary Russia.*

Methods. *The authors use historical retrospective method, scientific description, comparative method.*

Results. *Construction of the passenger fleet in Russia was first organized at the Alexander mechanical plant for St. Petersburg–Moscow railway. An American passenger car on two-axle bogies was taken as a basis. In 1865, the engineer Rekhnevsky developed a new design of a biaxial bogie, which applied double spring suspension providing a better ride comfort than in case of single suspension. The first cars did not provide for the convenience of passengers. In 1850, the Alexander plant built two cars of improved design with comfortable conditions for passengers.*

Hard-seated cars of III class were built on wooden bars, coupling was central and at the same time buffer. Inside the car there was a passage on the sides of which paired benches were put. On each side of the car about six or nine windows were located. In the car there were 90 seats up to 400 mm deep and 1000 mm in length. The first cars did not have shelves for clothes and luggage, heating, bathrooms and toilets. Lighting of cars at night was made with tallow candles. Ventilation was carried out through single windows, the lower half of which was raised up.

The II class cars were built of the same size, but the benches and their backs were soft, spring, with the outer cloth covering. The benches, on which two passengers could sit, were divided with armrests. Seat depth was 640 mm and the distance between two opposing benches was 550–575 mm, so the number of seats for passengers was 52.

The I class cars had a lateral gangway with a width of 676 mm near one of the walls of cars. Near the other wall 14 transverse soft sofas with a length of 1944 mm were placed, on each of which two passengers could sit. The cars had 7 windows that were placed between the sofas. The width of the sofas in cars of I class was 740 mm and the distance between them was 640 mm. All cars were brake, with the chain brake and one-sided internal inhibition in each bogie, carried out with the help of aspen wood blocks enclosed in iron shoes.

In the period from 1857 to 1862 for domestic state-owned and private railway passenger cars were purchased abroad, as the Alexander mechanical plant was loaded with repair works. At the same time, cars of European plants did not have a pass-through, were compact and light, which was achieved due to excessive compaction of passengers. The cars of the Alexander plant, on the other hand, had a pass-through along the length of the car, a larger floor space and a larger air volume attributable to each passenger.

Prior to the 1860s neither domestic, nor foreign cars have restrooms and heating, lighting and ventilation of passenger cars were not enough and required improvements. Warming of passengers' feet was made only in the severe frosts in the cars of I and II class. For this purpose the extremely hot bricks were used that were placed in flat boxes of sheet iron and before the train departure were installed on the floor under the passengers' feet. After 3–4 hours after the train movement started, cooled heaters were removed and were substituted with other hot bricks.

In the period from 1865 to 1880 began the production of triaxial cars (using bogies of triple suspension), with three forms of roof (flat, semi-circular and with lantern); water heating was introduced in soft cars and stove heating – in hard-seated; doors that opened into the body, and internal sliding door; swing backs of sofas were designed for beds organization, dimensions of the interior layout of cars were standardized; all cars were equipped with restrooms and wash stands were in most of them; above-the-window and under-the-window sliding fans and overhead deflectors (exhaust wind vane) were applied; double drop-side windows with large massive glass were introduced; space for passengers was standardized in width (2 seats in I class cars, 3 seats in II class cars and 4 seats in III class cars, uniform depth of seats was set (750 mm in I class cars, 650 mm in II class cars and 450 mm in III class cars); lighting of cars was improved by increasing the size of windows and their location between the benches, installation of wall lamps and introduction of gas lighting of cars.

Complicated covering of II class cars and luxurious covering of I class cars were simplified through the use of oilcloth for ceilings and walls, woolen and linen curtains for windows and lamps, red and green trip for sofas of I class, cloth or a dense furniture denim for II class cars.

In 1879, for external differences of cars the following outdoor painting of cars of passenger fleet was

introduced: blue – for I class cars, yellow-gold – for II class cars, green – for III class cars.

In the period of 1881–1917 triaxial cars began to be substituted with more advanced two-axle, and then four-axle cars. Two-axle bogies, which were most often present in the construction of passenger cars of the early XX century were characterized by improved performance of spring suspension, side buffers and central towing couplers.

Four-axle passenger cars were the last developed in Russia before the First World War. The car body length had been increased to 20 m, full iron frame was applied. For the first time since 1912 on these cars electric lighting was installed, which had been previously used only in parlor cars.

The original design of cars of various types was created within this series:

– soft cars of I and II classes with a variety of layout and equipment;

– four- and six-axle cars with metal semi-walls, carrying the main load;

– hard-seated, including of IV class, which could significantly reduce the cost of passenger travel at the expense of increased capacity;

– double-deck cars, which made it possible to significantly increase the number of passenger seats per unit length of the car (see, e.g. Double-deck passenger car on bogies of Rykovsky system);

– postal, baggage, service and other special cars in various designs (see, e.g. Migration (Stolypin) car, Tsar's car-garage, Car-church of the early XX century);

– two-axle cars with improved smoothness (with bogies of Fett system, of triple suspension and others.);

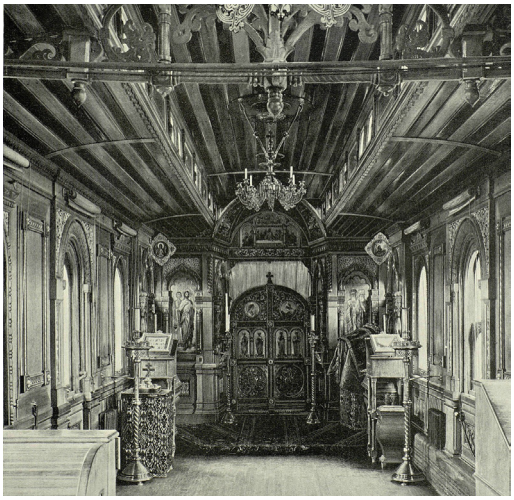
– cars with air-conditioning systems.

Passenger four-axle car of II class received from the experts the name «car of Polonso system» on the last name of the French engineer, designed a special body for it. These cars were built for Vladikavkaz, East China and St. Petersburg–Warsaw railways. The thickness of the sheet metal of the underbody was 5 mm. Body length was 12–14 m, width – 3200 mm. The cars had 6 windows along the length, a softer suspension, axle boxes of more modern type. Number of seats in the cars had been increased by reducing passenger amenities. In I class car there were 24, in II class car – day seats, of which reserved (sleeping) seats (sleeping) 16 and 24, respectively.

Hard-seated passenger cars of III–IV classes appeared on domestic railways in the second half of the 1880s, when a need arose to provide a cheaper travel fare for peat mining workers, factory and mining-industrial areas.

Hard-seated two-axle cars of II–III class were rarely built, and had limited distribution on short branches.

Widespread migration movement arose in connection with the commissioning of the Siberian railway. For passenger transportation, IV class cars were built, known as «migration» of the Siberian type. These cars were built as two-axle and four-axle. Two-axle cars had a body length of 12030 mm, 7 windows and 40 seats. They were suspended on two-row flat springs with tension buffer plate suspension rods. Four-axle cars of 20060 mm long with 13 windows had 81 seats and were placed on bogies with transverse three-row vehicle-type



springs. Both cars had a convex-plane roof, exterior wood paneling, two dry kilns and two restrooms were installed inside.

Double-deck cars of IV class of original design were built in small quantities. This car had a body length of 20000 mm, resting on special bogies with one longitudinal flat springs and four spiral – on each side, 12 windows. To access the upper floor, there were outer end two sided stairs, the lower – the door on each side in the middle of the length of the body. The car was designed for 106 seats. The car had bogies of Rykovsky system with triple spring suspension.

In 1911, the long-distance cars were built with a length of 20 m with bogies of Fett construction instead of Pullman bogies. In 1912–1913 these cars were equipped with autonomous electric lighting, which had been previously applied only for service cars. In passenger cars built in the pre-revolutionary period, timber was widely used and the bodies were sheathed with sheet metal outside.

Conclusion. *A study of the historical process of creation and improvement of a domestic passenger car, improvement of its technical and technological characteristics, structural links with other objects and achievements of scientific and technological progress in the railway transport and transport machinery allows to determine its competitiveness criteria while meeting public transportation needs.*

REFERENCES

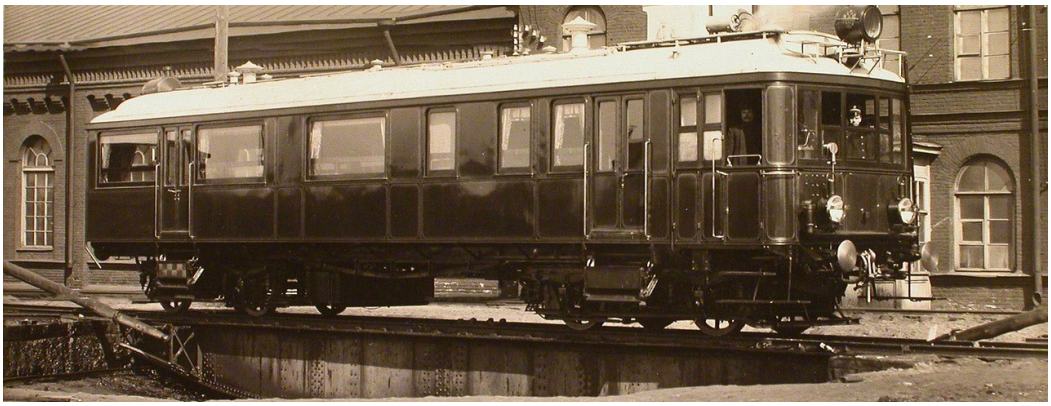
1. Mokrshitsky, E. I. History of the car fleet of the USSR railways [*Istorija vagonnogo parka zheleznyh dorog SSSR*]. Moscow, Gosudarstvennoe transportnoe zheleznodorozhnoe izdatel'stvo, 1946, 202 p.

2. Anisimov, P. S., Ivanov, A. A. Development of car-building in Russia. Educational guide[*Razvitie vagonostroenija v Rossii. Ucheb. posobie*]. Moscow, MIIT publ., 2003, 84 p.

3. Efimova, G. N. History of creation and prospects of modernization of passenger cars in Russia [*Istorija sozdanija i perspektivy modernizacii passazhirskogo vagona v Rossii*]. Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2009, 267 p.

Information about the authors:
Tarasova, Valenina N. – D.Sc. (History), professor, head of department of Innovation technologies of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, tarasovavn@mail.ru.
Bespalko, Sergey V. – D.Sc. (Eng.), professor of the department of Cars and cars' economy of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, bespalco@hotbox.ru.

Article received 03.04.2016, accepted 11.05.2016.



ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ВОПРОСА О БЕЗБИЛЕТНОМ ПРОЕЗДЕ. – Начальником Закавказских ж.д. 9-го августа предложено всех безбилетных пассажиров, обнаруженных внутри вагонов всех пассажирских поездов, подвергать взысканию установленного дополнительного штрафа в двойном размере за проезд и, сверх того, штрафу по 1 руб. за каждый перегон, считая от контрольной партии. При несостоятельности пассажиров – задерживать их и передавать их жандармской полиции для предварительного ареста, впредь до особого распоряжения начальника дорог. Всех пассажиров, обнаруженных на крышах, подножках и буферах пассажирских поездов, хотя бы и с билетами, задерживать и передавать жандармской полиции до особого распоряжения. Точно также предписано поступать и с безбилетными пассажирами на товарных поездах («Тифлисский Листок», № 171 12-го августа 1906 г.).

Но вслед за этим сообщают:

1. По сведениям железнодорожной полиции со времени распоряжения временного начальника Закавказских жел. дор., полковника Нейгебауэра, об аресте пассажиров, проезжающих по линии Закавказской ж.д. бесплатно, до настоящего времени, арестовано свыше 1.700 человек («Каспий», № 181, 19-го августа 1906 г.).

2. Третьего дня временный начальник Закавказских ж.д. Нейгебауэр дал экстренно телеграмму по всей линии, в копии начальнику жандармского управления, об освобождении всех арестованных за бесплатный проезд по железной дороге до 15-го августа включительно («Каспий», № 181, 19-го августа 1906 г.).

Так что принятую полковником Нейгебауэром меру следует рассматривать как один из способов приблизительного определения обычного количества безбилетных пассажиров, ибо нельзя думать, что никто из сих последних от ареста не уклонялся. Опыт производился в течении 6-ти дней, что дает средним числом менее 300 арестованных в день. Ничтожность этого числа по сравнению со средним ежедневным числом пассажиров, проезжающих по Закавказским железным дорогам, представляется очевидною.

ОХРАНА КАСС НА СТАНЦИЯХ. – При управлении Варшавской ж.д. образована особая комиссия для выработки мер к ограждению железнодорожных касс от нападения вооруженных грабителей. После тщательного изучения вопроса комиссия признала необходимым соединить все станционные кассы (билетную, багажную и товарную) особыми электрическими проводами с сигнальным аппаратом, установленным на станции. Провода будут устроены таким образом, что при поднятии крышки кассы посторонним лицом немедленно же приводится в действие сигнальный колокол. Независимо от этой меры, все станционные кассиры будут вооружены револьверами («Речь», № 159, 8-го сентября 1906 г.).

ХОДАТАЙСТВО О СООРУЖЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ВЕТВИ К ПОЧАЕВСКОМУ МОНАСТЫРЮ. – Волынским епископом Антонием возбуждено в Министерство путей сообщения ходатайство о соединении рельсовым путем м. Почаева Кременецкого уезда со станцией юго-зап. жел. дорог «Рудня–Почаевская». Ходатайство это поддержано и Кременецким городским общественным управлением. Ходатайству дан уже ход, и управлением юго-зап. ж. дорог в настоящее время производится коммерческое исследование этого вопроса. Мотивы для сооружения ветви следующие. Почаевская Лавра, куда ежегодно стекаются до 15.000 богомольцев вместе с местечком Почаевым, является местным экономическим центром. Из Почаева ежегодно отправляются гужом через Радзивилов заграницу большие партии яиц, а в окрестностях лавры расположены лесопильные заводы и мукомольные мельницы («Киевская Заря», № 33, 25-го апреля 1906 г.).

НОВЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СООРУЖЕНИЮ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В ПЕТЕРБУРГСКОМ РАЙОНЕ. – Группа инженеров во главе с г. Лешерном-фон-Герценфельд исходатайствовала право на проведение электрической железной дороги в Ораниенбаум и Пулково. Предприниматели рассчитывают, что на этих линиях возникнет целый ряд новых дачных поселений. Эти же предприниматели на днях представили в городскую управу проект сооружения метрополитена для обслуживания столичных вокзалов – Балтийского, Царскосельского и Финляндского. Предприниматели соглашаются принять на себя все расходы по засыпке Екатерининского канала, если город разрешит провести метрополитен через Александровский мост («Речь», № 145, 23-го августа 1906 г.).

НОВАЯ ДАЧНАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА. – В настоящее время по поручению частной компании капиталистов производится изыскание для постройки железнодорожной линии Озерки Финляндской ж.д. по направлению к Ладожскому озеру, на протяжении около 23 верст. Предполагаемая постройкой линия пройдет по возвышенной, сухой и лесистой местности, ввиду чего компания, как передают газеты, рассчитывает по обеим сторонам линии построить целый ряд дачных поселков («Петерб. Листок», № 22, 19-го августа 1906 г.).

(Железнодорожное дело. – 1906. – № 34–35. – С. 393).

Редакция благодарит сотрудников Научно-технической библиотеки МИИТ за помощь в работе с материалами.

Пресс-архив

Estimated final decision on ticketless travel. – Head of Transcaucasian railway on the 9th of August offered to expose all ticketless passengers found in cars of all passenger trains to collection of set additional fine of double the amount of the fare and, in addition, a fine of 1 rub. for each haul, starting from a control lot. In case of passengers' insolvency – to detain them and send them to gendarmerie police for provisional arrest, pending further notice of the head of the railway. All the passengers, found on the roof, running boards and fenders of passenger trains, even with tickets, shall be detained and transferred to gendarme police until further notice. It is provided to act similarly with ticketless passengers on freight trains *(«Tiflissky Listok», № 171 dated August 12, 1906*).

But after this it is reported:

1. According to the Railway Police, since the order of temporary head of Transcaucasian railway, colonel Neugebauer, on the arrest of passengers travelling on Transcaucasian railway line free of charge, so far more than 1,700 people were arrested (*«Caspian», № 181, dated August 19, 1906*).

2. The day before yesterday, the temporary head of Transcaucasian railway, Neugebauer made an emergency telegram across the line in the copy to the head of gendarmerie, to set free all those arrested for free travel by rail to August 15 inclusive (*«Caspian», № 181, dated August 19, 1906*).

So, the measure taken by Colonel Neugebauer should be considered as one way to approximate the usual number of ticketless passengers, since it is impossible to think that none of the latter failed to try to avoid the arrest. The experiment was made within 6 days, giving an average of less than 300 arrested a day. Insignificance of this number, compared with the average daily number of passengers traveling along Transcaucasian railway, seems obvious.

Protection of ticket offices at the stations. – In managing Warsaw railway a special commission was formed to draft measures to defend railway ticket offices from attack of armed robbers. After careful consideration the commission recognized the need to connect all station ticket office (ticket, luggage and cargo) through special electrical wires to an alarm device installed at the station. The wires are arranged in such a way that when raising cash cover by unauthorized person the alarm bell is immediately brought into action. Notwithstanding this measure, all station cashiers will be armed with revolvers (*«Rech'», № 159, September 8, 1906*).

An application for construction of a railway line to the Pochaev monastery. – Volyn bishop Anthony brought to the Ministry of Railways a request for connecting via rail b. Pochaev of Kreminetsky County with station of south-western railway «Rudnya-Pochaevskaya». The petition is supported by Kremenetsky municipal public administration. The petition is set in motion and administration of south-western railway is currently producing commercially study of this question. The motives for construction of the branch are the following. Pochaev Lavra, which annually attracts up to 15,000 pilgrims along with the borough Pochaev is a local economic center. From Pochaev large batches of eggs are annually sent abroad by cart transport though Radzivilov, and in the vicinity of monastery timber works and flour mills are located (*«Kiev Zarya», № 33, April 25, 1906*).

New proposals for construction of railways in St. Petersburg area. – A group of engineers headed by Mr. Leshern von Gertsenfeld applied for and got a right to lay an electric railway to Oranienbaum and Pulkovo. Entrepreneurs expect that on these lines a number of new suburban settlements will emerge. These same entrepreneurs have recently presented to the city council subway construction project for service of metropolitan stations – Baltic, Finnish and Tsarskoye Selo. The entrepreneurs agree to assume all costs of filling the Catherine Canal, if the city allows to lay underground through Alexander Bridge (*«Rech'», № 145, August 23, 1906*).

New country railroad. – At present, on behalf of a private company of capitalists, research is performed for construction of a railway line Ozerki, by Finnish Railways towards Lake of Ladoga, for about 23 miles. Estimated construction line will pass through sublime, dry and wooded area, which is why the company, as the newspaper report, counts on both sides of the line to build a number of summer estates (*«Petersburgsky Listok», № 22, August 19, 1906*).

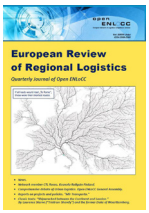
(Rail business [Zheleznodorozhnoe delo]. – 1906. Iss. 34–35. – p. 393).

The editorial board expresses gratitude to the staff of the Scientific and Engineering Library of MIIT university for kind assistance in preparing this collection of articles for publication.

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS

ИЗДАНИЕ-ПАРТНЁР 292

Представляем «Европейский журнал региональной логистики».



АВТОРЕФЕРАТЫ 296

- *Динамические опорные реакции в строительных конструкциях.*
- *Управление скоростью движения электропоезда в Янгоне.*
- *Оптимизация системы электроснабжения в районе Гаш Барка.*
- *Экономическая эффективность управления стоимостью транспортной инфраструктуры.*
- *Динамические свойства тележки и долговечность буксовых узлов.*
- *Динамические качества вагонов для перевозки опасных грузов.*
- *Пожаровзрывобезопасность котлов железнодорожных цистерн.*

НОВЫЕ КНИГИ 298

Научные и учебные издания, посвященные проблемам транспорта и логистики.

PARTNER EDITION 292

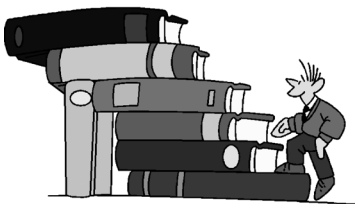
Introducing «European Review of Regional Logistics»

SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES 296

- *Dynamics of support reactions in construction design.*
- *Control of the speed of electric train in Yangon.*
- *Optimization of power supply system in Gash-Barka.*
- *Economic efficiency of management of the costs of transport infrastructure.*
- *Dynamic properties of the bogie and reliability of the life cycle of axle-boxes.*
- *Dynamic properties of rail cars for dangerous goods haulage.*
- *Fireproof and explosion-proof safety of the caldrons of the rail tank cars.*

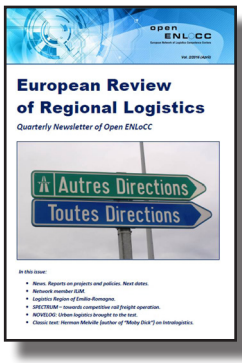
NEW BOOKS 298

Scientific and didactic editions, dedicated to transport and logistics issues.



УДК 378.1

«Европейский журнал региональной логистики» и Европейская сеть центров логистических компетенций «Open ENLoCC»



(текст представления на англ. яз. – English text of the review – p. 296)

«Европейский журнал региональной логистики» («European Review of Regional Logistics») занимается логистическими вопросами в плане их реализации на региональном уровне. Издается ежеквартально тиражом в 1000 печатных экземпляров, еще 700 экземпляров распространяются электронно в ПДФ-формате. Журнал является печатным органом Европейской сети центров логистических компетенций («Open ENLoCC») и издается компанией KLOK Kooperationszentrum Logistik e.V., исполняющей функции секретариата Сети. Загрузить журнал в формате ПДФ-файла можно по адресу www.openenlocc.net. Печатные экземпляры распространяются участниками сети, чей перечень приведен на указанном веб-сайте. Язык публикаций, учитывая, что авторы представляют всю Европу, английский.

«Европейский журнал региональной логистики» является продолжателем информационного бюллетеня Open ENLoCC, который в предшествующие годы рассылался на нерегулярной основе в ПДФ-формате электронно. В 2014 году последовательно увеличивался его объём, а в 2015 году он был преобразован в журнал.

Каждый выпуск начинается с раздела «Новости», который не ограничивается сообщениями о деятельности членов организации, а включает также новости о проведенных мероприятиях, о событиях в европейских регионах. Также в фокусе внимания в каждом номере находится один из региональных логистических центров компетенций, а также отдельный логистический регион. Ключевая задача в подборе содержания – представить полноценный набор статей о проектах в сфере региональной логистики и о европейской региональной политике.

Логистика достаточно молодая и в первую очередь практикоориентированная наука. Тем не менее, темы, связанные с логистикой, всегда существовали и ранее. В этой связи в каждом номере приводятся и «классические» тексты самого широкого спектра, начиная от публикаций Адама Смита о платных дорогах, Марка Твена о взлете и падении профсоюза речников Миссисипи и до текстов из литературных источников и исторических путевых заметок о трудностях пересечения канала между Британией и континентом, которые были подготовлены недавно.

Календарь относящихся к логистике «предстоящих дат» информирует читателей о научных конференциях и торговых ярмарках.

Целевой группой журнала являются ученые, члены логистических ассоциаций, девелоперы, политики и руководители различных регионов Европы. Журнал таким образом не конкурирует с научными

или логистическими журналами и новостными бюллетенями, связанными с логистической отраслью. Журнал, как правило, не публикует оригинальные научные статьи, но выступает с комментариями и разъяснениями к ним с помощью преподавателей и исследователей из причастных учреждений. Размещаемые в журнале материалы компактнее по объему, чем статьи в научных журналах: основные статьи занимают две страницы, а общий объем журнала составляет 24 полосы формата А4.

Европейская сеть центров логистических компетенций «Open ENLoCC», издающая журнал, является ассоциацией организаций всей Европы, которые относят себя к числу центров компетенций в сфере логистики с акцентом на знания в сфере региональной логистики и с пониманием общественно-значимой задачи проведения исследований и разъяснения вопросов логистики в соответствующих регионах. Имея дело с вопросами логистики, некоторые организации обнаружили, что сама природа логистики, особенно транспортной логистики, располагает к знанию партнеров в других регионах Европы и поиску ответов на их вопросы. Таким образом пять партнеров из четырех стран положили начало проекту «ENLoCC», который с момента зарождения в 2004 году до 2007 года софинансировался Европейским союзом в рамках программы «Interreg IIIC».

В конце 2006 года сеть была открыта для членства других организаций. Она начала в таком качестве свою деятельность, имея 11 членов и действуя на основе небольших ежегодных членских взносов. Название организации изменилось и собственно с этого времени она именуется «Открытая европейская сеть логистических центров компетенций». В настоящее время организация имеет семнадцать членов. По окончанию финансирования со стороны ЕС сеть стала самофинансируемой за счет добровольных взносов членов и финансовой поддержки деятельности секретариата организации со стороны Корпорации регионального экономического развития Штутгарта в части компенсации расходов на организационную деятельности и издание журнала.

Каждый из участников Сети обладает большим объемом знаний в сфере региональной логистики. Более того, у каждого члена по одному или нескольким ключевым вопросам сложилась репутация признанного эксперта европейского уровня. Поэтому Сеть в целом является возможно одним из наиболее полных международных источников логистических компетенций в Европе. Члены Сети работают над реализацией совместных проектов, направленных на развитие экономики регионов за счёт решения инфраструктурных, организационных и технологических проблем в сфере логистики и транспорта. Результаты деятельности сети и накопленные лучшие практики доводятся до широкого круга заинтересованных организаций, включая ключевые органы ЕС.

Разнообразие участников на практики является несомненным преимуществом – все они представляют свои задачи и свои регионы, но различные перспективы делают их ценными партнерами друг для друга. В результате члены часто сотрудничают между собой в рамках совместных проектов. В то же время нередки ситуации, когда члены конкурируют между собой за участие в проектах.

Хотя большая часть деятельности внутри сети и обмен компетенциями происходит неформально, центральным моментом является проведение ежегодной генеральной ассамблеи, дающей возможность участникам обсудить идеи и стратегию, ознакомиться с результатами недавних исследований. Для того, чтобы довести свой опыт до широкой аудитории. Сеть периодически проводит открытые семинары, часто в рамках деятельности членов организации. Например, в 2014 году был проведен семинар по городской логистике совместно с членом Сети – Брюссельским свободным университетом, состоялся обмен мениями с широко представленной, в том числе и экспертами со всего мира, аудиторией.

С другой стороны, надо иметь в виду, что Сеть является организацией, построенной на принципах лин-менеджмента (бережливого управления), это относится и к журналу. Отсутствует занятый полное время штатный персонал, кроме вопросов повестки генеральной ассамблеи, другая деятельность, как правило, направлена на реализацию инициатив в интересах одного

Джузеппе Луппино, президент Open ENLoCC .

Мартин Брандт, секретарь Open ENLoCC .

или нескольких членов. Тем не менее, 7 ноября 2016 года в Брюсселе состоится собрание, посвященное 10-летнему юбилею организации, которое послужит укреплению связей Сети с другими общеевропейскими ассоциациями.

По состоянию на июнь 2016 года в Европейскую сеть региональных логистических центров компетенций входили следующие члены:

- CMS, центр морских исследований центра Брахиа университета Турку, Финляндия;
- CRITT Транспорт и логистика, Гавр, Франция;
- CTL, Центр транспорта и логистики Римского университета Ла Сапиенца, Италия;
- Amt der Kärntner Landesregierung, Клагенфурт, Австрия;
- i-Fret, Инновационная платформа электронного фрахтования, Дюнкерк, Франция;
- ILiM, Институт логистики и складирования, Познань, Польша;
- ITL, Фонд института транспорта и логистики, Болонья, Италия;
- KINNO, Kouvola Innovation Oy, акционерное общество инноваций Коуволы, Коувола, Финляндия;
- KLOK Kooperationszentrum Logistik e.V., Центр сотрудничества и логистики, Корнвестхайм / Штутгарт, Германия;
- LCS, Кластер логистики Швабен, Аугсбург, Германия;
- Логистика Валлонии, Льеж, Бельгия;
- Mah, кафедра городских исследований и транспортного менеджмента Университета Мальмё, Швеция;
- MOBI, Исследовательская группа по мобильности, логистике, автомобильным технологиям Свободного университета Брюсселя, Бельгия;
- MoWiN.net e.V., Кассель, Германия;
- NewRail, Университет Ньюкасла, Великобритания;
- UM, факультет технических наук, центр транспортной экономики, Университет Марибора, Словения;
- WRS, Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH, Штутгарт, Германия.

Членство в Открытой сети возможно для всех регионов, местных муниципальных органов, ассоциаций, государственных или полугосударственных организаций, чьи интересы совпадают с задачами Сети, прямо заинтересованных в учреждении и обеспечении деятельности логистического центра компетенций, включая уже действующие центры. Вступление в сеть Open ENLoCC предусматривает формальную процедуру. Особенности членства организации, находящейся вне территории ЕС, могут быть разъяснены по запросу.

Джузеппе ЛУППИНО,
президент Open ENLoCC и руководитель проектов в Институте транспорта и логистики ITL,
Мартин БРАНДТ,
секретарь Open ENLoCC и руководитель проектов в центре сотрудничества и логистики KLOK в in Stuttgart Region ●

THE «EUROPEAN REVIEW OF REGIONAL LOGISTICS» AND THE EUROPEAN NETWORK OF LOGISTICS COMPETENCE CENTERS «OPEN ENLOCC»

The «European Review of Regional Logistics» deals with logistics questions from the point of view of their regional implications. It is issued quarterly, with a print run of 1000 copies and a further 700 copies distributed as pdf. The «Review» serves as newsletter of «Open ENLoCC», the European Network of Logistics Competence Centers, and is issued by KLOK Kooperationszentrum Logistik e.V., which serves as the secretariat of the network. The journal can be downloaded as pdf from www.openenlocc.net. Paper copies are distributed by the network members, which are listed on the website. The language of the publication, with its contributors coming from all over Europe, is English.

The «European Review of Regional Logistics» is a follow-up of the Open ENLoCC organization's newsletter, which in the past years was sent out irregularly as pdf. During the year 2014, it systematically added more content and thus was transformed into a magazine in early 2015.

Each issue starts with a «news» section that goes beyond member news, including reports from meetings as well as developments in the European regions. Then, a regional logistics competence center is featured, plus a logistics region. The core of the content work is a set of articles dealing with regional logistics projects as well as European policies.

Logistics is a rather young and very practical science. However, the topics of logistics have always existed. Therefore, classical texts are featured in each issue. The range is from Adam Smith on road toll and Mark Twain on the rise and fall of a trade union of Mississippi pilots, to texts from literature and travel diaries about the historical difficulties of crossing the channel between Britain and the continent, featured in the newest issue.

A list of relevant «next dates» informs the reader of scientific meetings and trade fairs ahead.

Target groups of the «Review» are scientists and members of logistics associations, economic developers, politicians and administrators in the various European regions. The «Review» thus does not compete with either the scientific magazines or the logistics journals and newsletters serving the industry. It usually does not publish original scientific content, but it does explain it, with the help of professors and researchers from the relevant institutes. Texts thus are shorter than those in scientific magazines, with the main articles covering two pages, and an issue totaling 24 pages in A4 format.

Open ENLoCC, the organization behind the «Review», is an association of institutions from all over Europe, which view themselves as competence centers in the field of logistics, with a view to regional logistics knowledge, and with a public mission to research and explain logistics issues in their region. When dealing with logistics questions, some of these institutions found out that the very nature of logistics, and specifically of transport logistics, often demanded to know partners in other European regions to answer their questions. Thus, they started the «ENLoCC» project with five partners from four countries, which was co-funded by the European Union's «Interreg IIIC» program, from its inception in 2004 until 2007.

In late 2006, the network was opened to membership of other institutions. It started with eleven members and goes with a small yearly member fee. The name was consequently changed into «Open ENLoCC». At the moment, the number of members is seventeen. After the end of the EU funding, the network became self-sustaining, with in-kind contributions from members and a monetary support to the secretariat from Stuttgart Region's Economic Development Corporation, to cover work time spent on the organization of the network and the issuing of the «Review».

The Open ENLoCC member institutions each hold a huge amount of regional logistics knowledge. Furthermore, typically each is a specialist in one or more topics, with a reputation across Europe. Therefore, the network as a whole probably is one of the most in-depth international sources of logistics knowledge in Europe. The members of Open ENLoCC work together on common projects with the aim of developing the regional economy by solving infrastructural, organisational and technological problems of logistics and transport. Dissemination of results from network activities and best practices take place on a wide scale, involving all the key bodies at EU level.

The variety of institutions in practice also is a benefit – they all know their task and their region, but the different perspective makes them valuable mutual partners. As a result, members often cooperate with other members in joint projects. However, it happens frequently that members also find themselves competing for projects with other members.

While much of the networking and knowledge exchange is done informally, the yearly highlight is the General Assembly, where the network members debate each other's ideas and strategies, and where they learn about recent research results. To spread this knowledge to a wider audience, Open ENLoCC occasionally holds public workshops, often together with member activities. One example is the 2014 workshop on city logistics, held together with Open ENLoCC member MOBI of Brussels Free University, and exchanging views with a larger audience as well as with experts from all over the world.

On the other hand, it must be kept in mind that Open ENLoCC is a very lean organization, and the same is true for its «Review». There is no full-time staff. Besides the General Assembly, activities usually are developed out of the interest of one or more members. Nevertheless, on November 17, there will be a gathering in Brussels for the 10th anniversary of Open ENLoCC, which will be used to deepen cooperation with related Europe-wide associations.

As per June 2016, the European Network of Regional Logistics Competence Centers «Open ENLoCC» has the following members:

- *CMS, Centre for Maritime Studies of Brahea Centre at the University of Turku, Finland;*
- *CRITT Transport et Logistique, Le Havre, France;*
- *CTL, Centre for Transport and Logistics of the University of Rome La Sapienza, Roma, Italy;*
- *Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, Austria, for former member Entwicklungsagentur Kärnten, EAK;*
- *i-Fret, Innovation platform i-Fret for freight logistics, Dunkerque, France;*
- *ILiM, Institute of Logistics and Warehousing, Poznan, Poland;*
- *ITL, Institute for Transport and Logistics Foundation, Bologna, Italy;*
- *KINNO, Kouvola Innovation Oy, Kouvola, Finland;*
- *KLOK Kooperationszentrum Logistik e.V., Kornwestheim / Stuttgart, Germany;*
- *LCS, Logistik-Cluster Schwaben (LCS) e.V., Augsburg, Germany;*
- *Logistics in Wallonia, Liege, Belgium;*
- *Mah, Malmö University, Department of Urban Studies/ Transport Management, Malmö, Sweden;*
- *MOBI, Vrije Universiteit Brussel – MOBI (Mobility, Logistics and Automotive Technology Research Group) Brussels, Belgium;*
- *MoWiN.net e.V., Kassel, Germany;*
- *NewRail, Newcastle University, Great Britain;*
- *UM, University of Maribor, Faculty of Civil Engineering – Transport Economics Centre, Maribor, Slovenia;*
- *WRS, Wirtschaftsf rderung Region Stuttgart GmbH, Stuttgart, Germany.*

Membership of Open ENLoCC is open to all Regions, Local Public Authorities, Associations, public or semipublic bodies with interests related to Open ENLoCC and with a specific and explicit interest in founding and operating a LoCC (Logistics Competence Center), and including all existent LoCCs. Joining Open ENLoCC requires a formal procedure. Specifics of a membership from outside the EU can be outlined on request.

Giuseppe LUPPINO,
President of Open ENLoCC and Project Manager at the Institute for Transport and Logistics – ITL

Martin BRANDT,
Secretary of Open ENLoCC and Project Manager at the logistics cooperation center KLOK in Stuttgart Region

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

Selected abstracts of Ph.D. theses submitted at Moscow State University of Railway Engineering
(англ. текст – English text – p. 297)

Алферов И. В. Исследование динамических опорных реакций в балочных, складчатых и ферменных системах / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2016.– 24 с.

Получены математические модели для исследования горизонтальной опорной реакции. Предложена плоско-пространственная расчетная схема, позволяющая рассматривать пролетное строение, подвижную нагрузку, массивную упругую опору в рамках единой динамической задачи. Выполнены численные решения для систем «подвижная нагрузка – пролетное строение – массивная опора», «подвижная нагрузка – пролетное строение – насыпь» с определением динамических значений горизонтальной опорной реакции. Решена динамическая задача о торможении движущегося по пролетному строению экипажа путем рассмотрения системы, состоящей из экипажа и пролетного строения.

Аунг Зо Тун. Система автоматического управления скоростью движения электропоезда городской транспортной системы города Янгон / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2016.– 24 с.

В диссертации предложена адаптивная система автоматического управления скоростью электропоезда, учитывающая особенности объекта управления и условия его движения. Выбор параметров, изменяющихся в зависимости от характеристик поезда, позволяет удовлетворить требованиям, предъявляемым к САУ. Для преобразования заданной верхним уровнем системы автоведения величины заданной скорости во входной сигнал САУ скоростью электропоезда городской транспортной системы используется оператор, представляющий собой интегрирующее звено с насыщением.

Берхане Абраха Монгусту. Исследование и оптимизация системы электроснабжения с учетом неопределенности части исходной информации (на примере района Гаш Барка Государства Эритрея) / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2016.– 24 с.

Сформирована топологическая модель новых городов и сел района Гаш Барка, определены рациональные параметры системы электроснабжения с применением схемы глубокого ввода высокого напряжения в зависимости от геометрических размеров района и поверхностной нагрузки. Проведен анализ современного состояния энергетики и электрификации сельского хозяйства государства Эритрея и района Гаш Барка с перспективой ее развития, изучены энергетические ресурсы страны и на основании сопоставления объектов генерации и потребления электроэнергии предложены карты районирования территории Эритреи по среднегодовому числу часов солнечного сияния, распределению энергии ветра и других источников энергии, нормы электроснабжения и расчетные максимальные мощности.

Бокачев Р. А. Оценка экономической эффективности новых форм управления стоимостью строительства транспортной инфраструктуры / Автореф. дис… канд. экон. наук.– М., 2016.– 24 с.

Определена ведущая роль материальных затрат в структуре капитальных вложений при строительстве объектов транспортной инфраструктуры и необходимость рассмотрения данных затрат как наиболее эффективного рычага управления размером инвестиций в строительство. Выявлены наиболее существенные компоненты сметных цен на материалы. Предложены подходы к формированию средневзвешенных сметных цен на ценообразующие материальные ресурсы на основании многопараметрической модели, позволяющей отразить в сметной цене процесс определения поставщика материалов, характерный для рыночной экономики. Выявлены факторы влияния материальных затрат на изменение инвестиционного и налогового потоков проекта. Предложен методический подход к оценке внедрения новых методов определения сметных материальных затрат с точки зрения изменения конечных показателей экономической эффективности инвестиционных программ.

Калетин С. В. Способы повышения динамических свойств тележки и долговечности буксовых узлов грузовых вагонов / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2016.– 28 с.

Разработана, обоснована и рекомендована уточненная математическая модель грузового вагона с тележками, оборудованными буксами или адаптерами с различными схемами передачи нагрузок в буксовом проёме боковой рамы, описывающая колебания в прямых и криволинейных участках пути, разработана трехмерная конечно-элементная модель для оценки НДС адаптера кассетного буксового узла с учетом влияния конструкции колесной пары, уточнена методика расчета долговечности подшипников применительно к кассетным буксовым узлам.

Стручалин В. Г. Обеспечение пожаровзрывобезопасности котлов железнодорожных цистерн для перевозки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2016.– 24 с.

Разработаны модель перекрывания взрывоопасных зон газопаровоздушной смеси около открытых люков котлов железнодорожных цистерн, а также алгоритм оценки зажигательной способности фрикционных искр. Выявлена зависимость минимальной энергии зажигания фрикционной искры материала запорно-пломбировочных устройств и конструкционных материалов от диаметра и скорости частиц. Даны практические рекомендации по обеспечению пожаровзрывобезопасности котлов железнодорожных цистерн. ●

ABSTRACTS OF PH.D. THESES

Selected abstracts of Ph.D. theses submitted at Moscow State University of Railway Engineering

Alferov, I. V. Study of dynamic support reactions in beam, folded and truss systems. Abstract of P.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2016, 24 p.

The mathematical models for the study of the horizontal support reaction are obtained. A flat-spatial design scheme is offered that allows to consider superstructure, movable load, massive elastic support within a single dynamic problem is offered. The numerical solutions for systems «movable load – span – solid support», «movable load – span – subgrade» with definition of dynamic values of the horizontal support reaction are made. The dynamic problem of braking of a vehicle moving along the superstructure is solved by reviewing the system, consisting of a vehicle and a superstructure.

Aung Zaw Tun. The automatic speed control system of an electric train of urban transport system of Yangon. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2016, 24 p.

The thesis proposed an adaptive system of automatic control of electric train speed, which takes into account the characteristics of a control object and the conditions of its movement. The choice of parameters, varying according to the characteristics of a train, allows to satisfy the requirements to ACS. To convert a value of speed, set by an upper level of automatic driving system into the input signal of ACS by speed of an electric train of urban transport system an operator is used, which is an integrated element with saturation.

Berhane Abraha Mongustu. Research and optimization of power supply system, taking into account the uncertainty of a part of initial information (based on the example of Gash Barka region of Eritrea). Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2016, 24 p.

A topological model of new towns and villages of Gash Barka region is formed, rational parameters of the power supply system using a scheme of deep feeding high voltage, depending on the geometric dimensions of the district and surface load are defined. The analysis of the current state of power economy and electrification of agriculture of Eritrea and the region Gash Barka with the prospect of its development is conducted, the energy resources of the country are studied and on the basis of a comparison of generating facilities and power consumption zoning maps of Eritrea at the average annual number of hours of sunshine, the distribution of wind energy and other sources of energy, electricity standards and the estimated maximum power are offered

Bokachev, R. A. Estimation of economic efficiency of new forms of management of the cost of construction of transport infrastructure. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2016, 24 p.

A leading role of material costs in the structure of capital investments in the construction of transport infrastructure facilities and the need to consider these costs as the most effective control lever of investment size in construction is determined. The most essential components of the estimated prices for materials ae revealed. The approaches to formation of weighted average estimated prices for material resources on the basis of multi-parameter model, allowing to reflect in the budget price a process for determining a supplier of materials, characteristic of the market economy, are offered. The factors of influence of material costs on the change in the investment and tax flows of a project are revealed. The methodical approach to evaluation of the implementation of new methods for determining the estimated material costs in terms of changing the final indicators of economic efficiency of investment programs is offered.

Kaletin, S. V. Ways to improve the dynamic properties of a bogie and durability of axle boxes of freight cars. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2016, 28 p.

A refined mathematical model of a freight car with bogies equipped with axle boxes or adapters with different load transfer schemes in the axle aperture of a side frame describing fluctuations in straight and curved track sections is developed, justified and recommended; a three-dimensional finite element model for estimating stress strain state of an adapter of a cassette-axle unit, taking into account influence of the wheelset design, is developed; a method of calculating durability of a bearing in relation to the cassette axle units is refined.

Struchalin, V. G. Ensuring fire safety of boilers of tank wagons for carriage of flammable and combustible liquids. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2016, 24 p.

The model of overlapping of explosive zones of gas-air mixture near an open hand-hole of boilers of tank wagons, as well as the algorithm for estimating the incendiary ability of friction sparks are developed. The dependence of minimum ignition energy of friction sparks of material of locking and sealing devices and construction materials on the diameter and velocity of the particles is found. Practical recommendations for ensuring fire safety of boilers of tank wagons are given.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

English text at p. 299

Адамов Е. И. [и др.]. Экспертиза промышленной безопасности. Нормативно-правовое обеспечение проектирования и эксплуатации грузоподъемных машин: конспект лекций для студентов оч. и заоч. обучения / Волж. гос. ун-т вод. трансп.– Н. Новгород: ВГУВТ, 2016.– 39 с.

Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. ст. Самар. гос. техн. ун-т.– Самара: СГТУ, 2016.– 233 с.

Болдин А. П., Богумил В. Н. Использование модулей программы STATISTICA и расчетных моделей для решения научных задач в области технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие / Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ).– М.: Техполиграфцентр, 2016.– 154 с.

Бондаренко В. А. [и др.]. Основы научных исследований, организация и планирование эксперимента: учеб. пособие / Рост. гос. ун-т путей сообщ.– Ростов н/Д: ДГТУ, 2016.– 90 с.

Васильев И. Л., Миловидов С. Н. Методическое пособие по разработке порядка реагирования сил транспортной безопасности и персонала объекта транспортной инфраструктуры и/или транспортных средств железнодорожного транспорта на угрозы подготовки, совершения актов незаконного вмешательства: метод. пособие.– М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2016.– 107 с.

Габец А. В. [и др.]. Современные технологии изготовления крупногабаритных деталей железнодорожного транспорта: монография / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова.– Барнаул: АлтГТУ, 2016.– 126 с.

Глухов Н. И., Середкин С. П., Лившиц А. В. Транспортная безопасность: конспект лекций.– М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2016.– 88 с.

Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы Междунар. науч.– практ. конф. / Тихоокеан. гос. ун-т.– Хабаровск: Изд-во ТОГУ.– Вып. 16.– 2016.– 533 с.

Изюмский А. А., Сенин И. С. Моделирование транспортных процессов: учеб. пособие / Куб. гос. технол. ун-т.– Краснодар: КубГТУ, 2016.– 203 с.

Калистратов Д. С. [и др.] Статистический анализ и компрессия цифровых аэровидеоизображений транспортных потоков / Тул. гос. ун-т.– Тула: ТулГУ, 2016.– 120 с.

Кеслер А. А. Основы методологии проектирования: учеб. пособие для студентов оч. и заоч. обучения / Волж. гос. ун-т вод. трансп.– Н. Новгород: ВГУВТ, 2016.– 74 с.

Кораблева О. Н., Индейкин Е. А. Конструкционные и защитно-отделочные материалы для подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования: учеб. пособие / Яросл. гос. техн. ун-т.– Ярославль: ЯГТУ, 2016.– 114 с.

Лагерев И. А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов.– Брянск: РИО БГУ, 2016.– 370 с.

Луценко А. Н., Катин В. Д. Высокоэффективные технологические и технические решения для предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов при перевозке железнодорожным транспортом в условиях Дальнего Востока; под ред. В. Д. Катина / Дальневост. гос. ун-т путей сообщ.– Уфа: Аэтерна, 2016.– 173 с.

Мамлеев Р. Р., Табаков А. Р., Даянов И. С. Транспортная безопасность: курс лекций.– Уфа: Уфим. юрид. ин-т МВД России, 2016.– 157 с.

Материалы VII межвузовской научно-практической конференции аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России»: 18 мая 2016 г. Гос. ун-т мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова.– СПб.: Изд-во ГУМРФ, 2016.– 539 с.

Носырев Д. Я., Мишкин А. А. Перспективы применения алюмоводородной энергетики на железнодорожном транспорте: монография / Самар. гос. ун-т путей сообщ.– Самара: Изд–во СамГУПС, 2016.– 160 с.

Опыт и пути решения научных проблем водного транспорта Сибири и Дальнего Востока: [Сб. науч. тр.]. – Новосибирск: Сиб. гос. ун-т вод. трансп., 2016.– 185 с.

Рыбин П. К., Кизляк О. П., Четчуев М. В. Взаимодействие видов транспорта: учеб. пособие / Петерб. гос. ун-т путей сообщ. – СПб.: ПГУПС, 2016 – Ч. 1.– 2016.– 47 с.

Самулеев В. И. [и др.] Электрооборудование судов: курс лекций для студентов и курсантов оч. и заоч. обучения / Волж. гос. ун-т вод. трансп., Нижегор. реч. училище им. И. П. Кулибина.– Н. Новгород: ВГУВТ, 2016.– 230 с.

Сичкарев В. И. Основные задачи мореходной астрономии: учеб. пособие / Сиб. гос. ун-т вод. трансп.– Новосибирск: Изд-во СГУВТ, 2016.– 190 с.

Судовождение – 2016: сб. науч. тр. / Сиб. гос. ун-т вод. трансп.– Новосибирск: СГУВТ, 2016.– 102 с.

Трапезникова М. А., Чечина А. А., Чурбанова Н. Г. Описание динамики транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети с использованием двумерных математических моделей.– М.: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2016.– 20 с.

Черепанов Ю. Н. Глиссирующие маломерные суда. Теория, устройство, управление: учеб. пособие / Сиб. гос. ун-т вод. трансп.– Новосибирск: СГУВТ, 2016.– 182 с.

Шкурина Л. В., Беряков С. Н. Концепция и методология формирования бизнес-потенциала железнодорожного транспорта: инвестиционный аспект; науч. ред. С. М. Резер. – М.: ВИНИТИ РАН, 2016.– 175 с.

Яблоков А. С., Адамов Е. И. Диагностика береговых и плавучих кранов: конспект лекций / Волж. гос. ун-т вод. трансп.– Н. Новгород: ВГУВТ, 2016.– 75 с.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Actual problems of motor transport: university collection of scientific articles [*Aktual'nye problemy avtotransportnogo kompleksa: mezhvuz. sb. nauch. st.*]. Samara, SGTU publ., 2016, 233 p.

Adamov, E. I. [*et al*]. Examination of industrial safety. Regulatory support of design and operation of lifting equipment: lecture notes for students of intramural and extramural education [*Ekspertiza promyshlennoj bezopasnosti. Normativno-pravovoe obespechenie proektirovanija i ekspluatacii gruzopod'emnyh mashin: konspekt lekcij dlja studentov och. i zaoch. obuchenija*]. Nizhny Novgorod, VGUVT publ., 2016, 39 p.

Boldin, A. P., Bogumil, V. N. Using STATISTICA software modules and computational models for solving scientific problems in the field of technical operation of automobiles: educational guide [*Ispol'zovanie modulej programmy STATISTICA i raschetnyh modelej dlja reshenija nauchnyh zadach v oblasti tehnicheskoj ekspluatacii avtomobilej: ucheb. posobie*]. Moscow, Tehpoligraftsentr, 2016, 154 p.

Bondarenko, V. A. [*et al*]. Fundamentals of scientific research, organization and planning of an experiment: educational guide [*Osnovy nauchnyh issledovanij, organizacija i planirovanie eksperimenta: ucheb. posobie*]. Rostov-on-Don, DSTU publ., 2016, 90 p.

Cherepanov, Yu. N. Gliding small boats. Theory, structure, management: educational guide [*Glissirujushhie malomernye suda. Teorija, ustrojstvo, upravlenie: ucheb. posobie*]. Novosibirsk, SGUVT publ., 2016, 182 p.

Experience and solutions to scientific problems of water transport of Siberia and the Far East: [collection of scientific works] [*Opyt i puti reshenija nauchnyh problem vodnogo transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka: [sb. nauch. tr.]*]. Novosibirsk, SGUVT publ., 2016, 185 p.

Far East: problems of development of architectural-building and road-transport complex: Proceedings of International scientific-practical conference of Pacific State University [*Dal'nij Vostok: problemy razvitija arhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksa: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Tihookean. gos. un-t.*]. Khabarovsk, TOGU publ., Iss. 16, 2016, 533 p.

Gabets, A. V. [*et al*]. Modern manufacturing techniques of large parts of rail transport: a monograph [*Sovremennye tehnologii izgotovlenija krupnogabaritnyh detalej zheleznodorozhnogo transporta: monografija*]. Barnaul, AltGTU publ., 2016, 126 p.

Glukhov, N. I., Seredkin, S. P., Livshits, A. V. Transport security: lecture notes [*Transportnaja bezopasnost': konspekt lekcij*]. Moscow, Training and methodological center for education on the railroad transport, 2016, 88 p.

Izyumsky, A. A., Senin, I. S. Modeling of transport processes: educational guide [*Modelirovanie transportnyh processov: ucheb. posobie*]. Krasnodar, KubGTU publ., 2016, 203 p.

Kalistratov, D. S. [*et al*] Statistical analysis and compression of digital air-video images of transport flows [*Statisticheskij analiz i kompressija cifrovyh ajerovideoizobrazhenij transportnyh potokov*]. Tula, Tula State University, 2016, 120 p.

Kesler, A. A. Fundamentals of design methodology: educational guide for students of intramural and extramural education [*Osnovy metodologii proektirovanija: ucheb. posobie dlja studentov och. i zaoch. obuchenija*]. Nizhny Novgorod, VGUVT publ., 2016, 74 p.

Korableva, O. N., Indeikin, E. A. Structural and protective and finishing materials for lift-and-carry, building, road machines and equipment: educational guide [*Konstrukcionnye i zashhitno-otdelochnye materialy dlja pod'emno-transportnyh, stroitel'nyh, dorozhnyh mashin i oborudovanija: ucheb. posobie*]. Yaroslavl, YAGTU publ., 2016, 114 p.

Lagerev, I. A. Modeling workflow of manipulation systems of mobile multi-purpose transport and technological machines and systems [*Modelirovanie rabochih processov manipuljacionnyh sistem mobil'nyh mnogocelevyh transportno-tehnologicheskih mashin i kompleksov*]. Bryansk, RIO BSU publ., 2016, 370 p.

Lutsenko, A. N., Katin, V. D. Highly efficient technological and technical solutions for prevention and elimination of oil spills during transportation by rail in the Far East [*Vysokoeffektivnye tehnologicheskie i tehnicheskie reshenija dlja preduprezhdenija i likvidacii razlivov nefti i nefteproduktov pri perevozke zheleznodorozhnym transportom v uslovijah Dal'nego Vostoka*]. Ed. by V. D. Katina. Ufa, Aeterna publ., 2016, 173 p.

Mamleev, R. R., Tabakov, A. R., Dayanov, I. S. Transport security: a course of lectures [*Transportnaja bezopasnost': kurs lekcij*]. Ufa, Ufa Law Institute of the Russian Interior Ministry, 2016, 157 p.

Navigation – 2016: collection of works of Siberian State University of Water Transport [*Sudovozhdenie – 2016: sb. nauch. tr. Sib. gos. Un-t vod. transp*]. Novosibirsk, SGUVT publ., 2016, 102 p.

Nosyrev, D. Ya., Mishkin, A. A. Prospects of alane energetics in railway transport: a monograph [*Perspektivy primenenija aljumovodorodnoj energetiki na zheleznodorozhnom transporte: monografija*]. Samara, SamGUPS publ., 2016, 160 p.

Proceedings of VII inter-university scientific conference of Ph.D. students, students and cadets «Modern tendencies and prospects of development of water transport of Russia»: May 18, 2016 in Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping [*Materialy VII mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoj konferencii aspirantov, studentov i kursantov «Sovremennye tendencii i perspektivy razvitija vodnogo transporta Rossii»: 18 maja 2016 g. Gos. un-t mor. i rech. flota im. S. O. Makarova*]. St. Petersburg, GUMRF im. S. O. Makarova, 2016, 539 p.

Rybin, P. K., Kizlyak, O. P., Chetchuev, M. V. Interaction of transport modes: educational guide [*Vzaimodejstvie vidov transporta: ucheb. posobie*]. St. Petresburg, PSTU publ., 2016. Part 1, 47 p.

Samuleev, V. I. [*et al*]. Electrical equipment of ships: a course of lectures for students and cadets of intramural and extramural education [*Elektrooborudovanie sudov: kurs lekcij dlja studentov i kursantov och. i zaoch. obuchenija Volzh. gos. un-t vod. transp., Nizhegor. rech. uchilishhe im. I. P. Kulibina*]. Nizhny Novgorod, VGUVT publ., 2016, 230 p.

Shkurina, L. V., Beryakov, S. N. Concept and methodology of formation of the business potential of rail transport: investment aspect [*Koncepcija i metodologija formirovanija biznes-potenciala zheleznodorozhnogo transporta: investicionnyj aspekt*]. Moscow, VINITI RAN publ., 2016, 175 p.

Sichkarev, V. I. Main tasks of nautical astronomy: educational guide [*Osnovnye zadachi morehodnoj astronomii: ucheb. posobie*]. Novosibirsk, SGUVT publ., 2016, 190 p.

Trapeznikova, M. A., Chechina, A. A., Churbanova, N. G. Description of the dynamics of traffic flows on the road network elements using two-dimensional mathematical models [*Opisanie dinamiki transportnyh potokov na elementah ulichno-dorozhnoj seti s ispol'zovaniem dvumernyh matematicheskih modelej*]. Moscow, Keldysh IPM RAS, 2016, 20 p.

Vasilyev, I. L., Milovidov, S. N. Toolkit to develop an order of response of transport security forces and the transport infrastructure personnel and / or vehicles of railway transport to the threat of preparation, committing acts of unlawful interference: educational guide [*Metodicheskoe posobie po razrabotke porjadka reagirovanija sil transportnoj bezopasnosti i personala ob'ekta transportnoj infrastruktury i/ili transportnyh sredstv zheleznodorozhnogo transporta na ugrozy ppodgotovki, sovershenija aktov nezakonnogo vmeshatel'stva: metod. Posobie*]. Moscow, Training methodological centre for education on the railroad transport, 2016, 107 p.

Yablokov, A. S., Adamov, E. I. Diagnostics of onshore and floating cranes: lecture notes [*Diagnostika beregovyh i plavuchih kranov: konspekt lekcij*]. Nizhny Novgorod, VGUVT publ., 2016, 75 p.

Compiled by Natalia OLEYNIK