

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЖУРНАЛ О НАУКЕ, ЭКОНОМИКЕ, ПРАКТИКЕ



Перспективы
использования
«Сапсанов»

Петербургский
метрополитен:
процессный подход



TRANSTEC

XVII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА
ЛОГИСТИКА · ТРАНЗИТ · ИНФРАСТРУКТУРА

XVII INTERNATIONAL FORUM-EXHIBITION
LOGISTICS · TRANSIT · INFRASTRUCTURE

29 НОЯБРЯ NOVEMBER - **1** ДЕКАБРЯ DECEMBER

2022



**БРОНИРУЙТЕ
ЛУЧШИЕ МЕСТА!**

**RESERVE
SPACE EARLY
TO SECURE
A PREFERRED
LOCATION**

WWW.TRANSTECFORUM.COM

**ГОСУДАРСТВО И ТРАНСПОРТ**

- Давыдов Г. Е.**
Некоторые итоги реформы на железнодорожном транспорте 3

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

- Ляшенко А. Н.**
Постановка задачи принятия решений на нечетком множестве данных в сфере мультимодальных перевозок 6

IT-ТЕХНОЛОГИИ

- Архипов И. А., Гниломедов А. В.**
Процессный подход в управлении пассажирскими перевозками Петербургского метрополитена 9

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ МАГИСТРАЛИ

- Парфененко Р. Е., Изварин М. Ю.**
Перспективы использования высокоскоростных электропоездов «Сапсан» увеличенной составности 15

ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНИКА

- Валинский О. С., Воробьев А. А.**
Методика расчета коэффициента сцепления локомотивного колеса с рельсом в вероятностной постановке 21

ПЕРЕВОЗКИ

- Волкова Е. М.**
Мультимодальные пассажирские перевозки как инструмент повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта 27

- Мачерет Д. А., Разуваев А. Д., Ледней А. Ю.**
Долгосрочный ретроспективный анализ неравномерности погрузки грузов на железнодорожном транспорте 31

ЛОГИСТИКА

- Тецлав И. А.**
Методологические основы расчета темпа производства транспортной продукции в авиационной транспортно-логистической системе 36

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

- Бороненко Ю. П., Поляков Б. О., Крон И. Р., Белгородцева Т. М.**
Расчетно-экспериментальный метод определения энергоэффективности грузовых вагонов с применением цифровых моделей 41

ЭКОЛОГИЯ

- Ложкин В. Н.**
Методика и результаты контроля опасного загрязнения воздуха поллютантами транспорта в городах Заполярья на режимах пуска и прогрева двигателей 44

- Аннотации** 48
Abstracts 49

Транспорт Российской Федерации

Журнал о науке, экономике, практике

Учредители

Петербургский государственный университет путей сообщения,
ООО «Издательский дом Т-ПРЕССА»,
Российская академия транспорта

Издатель

ООО «Издательский дом Т-ПРЕССА»

При поддержке
Объединенного научного совета по междисциплинарным
проблемам транспортных систем РАН

Генеральный директор

Людмила Карпичева

Главный редактор

Олег Тимофеев

Заместитель главного редактора

Игорь Киселев

Научный редактор

Дмитрий Ефанов

Выпускающий редактор

Андрей Гурьев

Арт-директор

Сергей Тюрин

Литературный редактор и корректор

Элла Горелик

Референт

Людмила Филиппова

Переводчик

Ульяна Романова

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС77- 34452 от 03.12.2008

выдано Федеральной службой по надзору
в сфере связи и массовых коммуникаций.

Журнал включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных
журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные
научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук».

При перепечатке опубликованных материалов ссылка на журнал
«Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, экономике, практике»
обязательна.

Адрес редакции:

190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9
Тел./факс: (812) 310-40-97
rt@rostransport.com
www.rostransport.com

Редакция журнала не несет ответственности
за содержание рекламных материалов.

Установочный тираж 7 000 экз.

Подписано в печать 10.06.2022.

Отпечатано:

ООО «АКЦЕНТ Типография»
(Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 60, лит. И)

Заказ №

Редакционный совет

Олерский В. А. — председатель редакционного совета
журнала

Нерадько А. В. — руководитель Федерального агентства воздуш-
ного транспорта

Ефимов В. Б. — президент Союза транспортников России

Мишарин А. С. — президент Российской академии транспорта

Гапанович В. А. — президент НП «ОПЖТ»

Тимофеев О. Я. — главный редактор журнала «Транспорт РФ»

Редакционная коллегия

Тимофеев О. Я. — председатель редакционной коллегии,
главный редактор

Сапожников В. В. — заместитель председателя редакционной
коллегии, профессор ПГУПС

Ефанов Д. В. — заместитель ген. директора по научно-иссле-
довательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мони-
торинга», профессор Высшей школы транспорта Института
машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургско-
го политехнического университета Петра Великого, профессор
кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорож-
ном транспорте» Российского университета транспорта

Белозеров В. Л. — представитель РОСПРОФЖЕЛ
в Северо-Западном федеральном округе, профессор кафедры
«Экономика транспорта» ПГУПС

Белый О. В. — директор по науке СПбНЦ РАН, председатель
Объединенного научного совета по междисциплинарным
проблемам транспортных систем РАН

Бороненко Ю. П. — заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное
хозяйство» ПГУПС, генеральный директор АО «НВЦ «Вагоны»

Дунаев О. Н. — председатель подкомитета по транспорту и
логистике комитета РСПП по международному сотрудничеству,
директор Центра стратегического развития логистики

Дудкин Е. П. — руководитель НОЦ ПГУПС «Промышленный
и городской транспорт»

Журавлева Н. А. — заведующая кафедрой «Экономика
транспорта» ПГУПС, директор ИПЭБУ ПГУПС

Киселев И. П. — профессор кафедры «Строительство дорог транс-
портного комплекса» и кафедры «История, философия, политоло-
гия и социология» ПГУПС

Клештик Томаш — профессор, заведующий кафедрой
«Экономика» факультета эксплуатации и экономики транспорта
и коммуникаций Жилинского университета, Словакия

Костылев И. И. — заведующий кафедрой «Теплотехника,
судовые котлы и вспомогательные установки»
ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова

Кравченко П. А. — научный руководитель Института
безопасности дорожного движения СПбГАСУ

Куклев Е. А. — директор Центра экспертизы и научного
сопровождения проектов при Санкт-Петербургском
государственном университете гражданской авиации (СПбГУГА)

Мачерет Д. А. — профессор РУТ (МИИТ), первый заместитель
председателя объединенного ученого совета ОАО «РЖД»

Панычев А. Ю. — ректор ПГУПС

Пимоненко М. М. — доцент кафедры «Логистика
и коммерческая работа» ПГУПС

Смулов М. Ю. — заведующий кафедрой «Коммерческая
деятельность» СПбГУГА

Соколов А. М. — вице-президент Союза «Объединение
вагоностроителей»

Шнайдер Экхард — профессор Фраун-Гоферовского
института неразрушающего контроля, Германия

Некоторые итоги реформы на железнодорожном транспорте



Г. Е. Давыдов,
д-р экон. наук, профессор

В целом, подводя итог некоторым аспектам реформирования железнодорожного транспорта, следует сделать два основных вывода.

- Цели и задачи по привлечению инвестиций в обновление парка грузовых вагонов, в вагонное хозяйство железнодорожного транспорта, в отрасль вагоностроения были выполнены и даже перевыполнены.

- Развитие конкурентных рынков в сфере перевозок грузов железнодорожным транспортом имело место, но в ограниченных масштабах (предоставление вагонов, оказание ремонтных услуг).

Услуги инфраструктуры железнодорожного транспорта и доступ к ней

В Программе реформирования [1] и соответствующих Федеральных законах [2, 3] было указано: 1) «владелец инфраструктуры оказывает услуги перевозчикам пассажиров и грузов»; 2) «доступ к инфраструктуре предоставляется перевозчикам на недискриминационной основе». В 2000-х годах многих это заинтересовало. Транспортные организации стали получать лицензии перевозчиков грузов на железнодорожном транспорте.

Летом 2003 г. Министерство путей сообщения представило в Общественный совет при правительственной комиссии по реформированию проект Правил оказания услуг инфраструктуры. К нему у экспертов возникло два главных замечания.

- Нет четко сформулированных признаков/критериев отсутствия (или наличия) ограниченности пропускной способности инфраструктуры. Между тем без ответа на это замечание было невозможно установить сферу применения данных правил.

- Между проектом Правил оказания услуг инфраструктуры и Правилами

После принятия Программы структурной реформы на железнодорожном транспорте прошло уже более 20 лет. Правительство РФ не подводило итоги реализации этого документа. Однако сегодня представляется важным остановиться на двух примечательных аспектах подготовки и реализации реформирования.

приема заявок на перевозки грузов возникало явное противоречие (рис. 1).

Важно отметить: при обсуждении на заседании Общественного совета выяснилось, что это недоразумение не является какой-то случайной оплошностью, а есть принципиальная позиция авторов, считающих, что предоставление перевозчикам ресурсов инфраструктуры, чтобы они могли заниматься планомерным привлечением грузов под свои перевозки, не нужно. По мнению МПС, перевозчиков следовало считать такими же грузоотправителями, только им надо было договориться с МПС о техническом обслуживании их локомотивов.

Тогда Общественный совет направил в Комиссию Правительства РФ по структурной реформе железнодорожного транспорта доклад по этому проекту. Однако он рассмотрен не был, и Правительство своим Постановлением от 20 ноября 2003 г. № 703 утвердило Правила оказания услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования [4].

Проект Правил недискриминационного доступа к инфраструктуре в Общественном совете не рассматривали, так как эти нормы изначально были предназначены для регулирования использования инфраструктуры в условиях ограниченности пропускной способности, но критерии (признаки) такой ограниченности в МПС не сформулировали.

В результате Постановлением № 710 от 25 ноября 2003 г. Правительством были утверждены и Правила недискриминационного доступа перевозчиков к инфраструктуре железнодорожного транспорта [5]. В них была попросту повторена очередность пропуска поездов различных категорий без ответа на вопрос, принадлежат все эти поезда одному или различным перевозчикам, и что, и как надо регулировать, если доступа требуют несколько разных перевозчиков.

В 2004–2006 гг. еще была инерция представлений о необходимости множественности независимых перевозчиков на инфраструктуре Российских

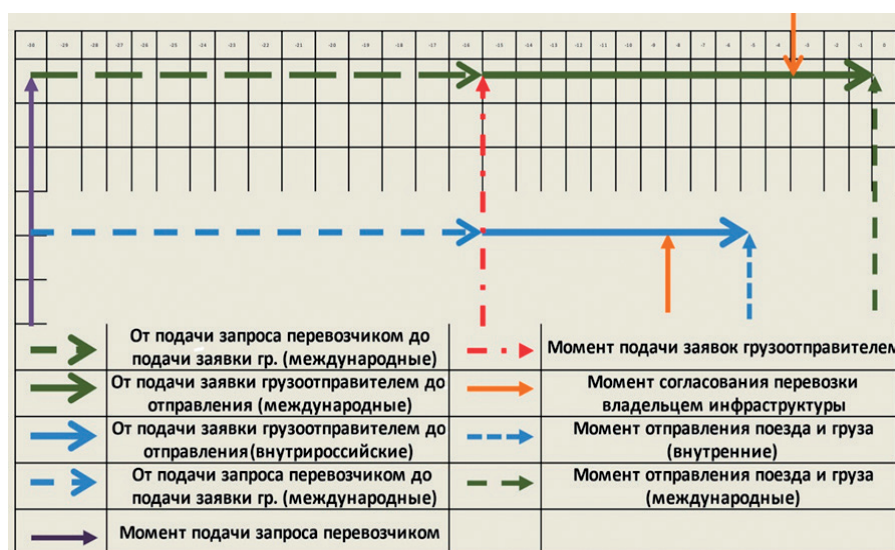


Рис. 1. Синхронизация согласования перевозок владельцем инфраструктуры, перевозчиком и грузоотправителем

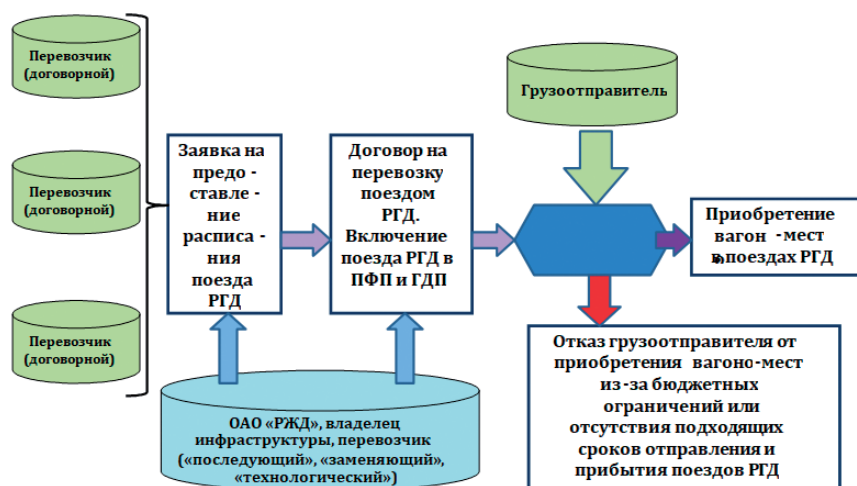


Рис. 2. Схема доступа к услуге грузовой железнодорожной перевозки на основе оферты перевозчика

железных дорог, навешанных Программой реформирования. Так формулировали свои позиции руководители реформаторского блока ОАО «РЖД» В. И. Якунин, А. Г. Белова, В. А. Сосипаторов, и даже сам президент компании Г. М. Фадеев в выступлении на научно-практической конференции ОАО «РЖД» 8 июня 2005 г. прямо заявил: «Нам нужен второй перевозчик!» [6].

Поэтому по поручению Минтранса РФ Ассоциация перевозчиков и операторов подвижного состава железнодорожного транспорта (АСКОП) с участием Национальной ассоциации транспортников (НААТ) подготовила Концепцию внесения изменений в Правила оказания услуг инфраструктуры. Она была одобрена Межведомственной комиссией по реализации

структурной реформы на железнодорожном транспорте при Минтрансе РФ, и последовало поручение Росжелдору доработать ее и подготовить проект типового договора на оказание услуг инфраструктуры.

Такой проект ассоциациями был сделан, и Росжелдор направил его в РЖД. Ответ был отрицательный: перевозчики предусмотрены на III этапе реформирования, поэтому пока в Правилах ничего менять не надо.

Затем, как известно, стали действовать «Целевые модели рынка», с помощью которых Программа реформирования железнодорожного транспорта в части развития конкуренции в сфере перевозок грузов была выхолощена.

В итоге вопрос о целесообразности реанимации Правил оказания услуг инфра-

структуры «здесь и сейчас» пока не имеет однозначного ответа.

Наша точка зрения о формах и масштабах продвижения конкуренции на рынке железнодорожных перевозок грузов известна (рис. 2). При нынешних раскладах на товарных рынках начинать надо с сегмента перевозок поездами, курсирующими по расписаниям с фиксированными датами отправления и прибытия, операторы которых («договорные перевозчики») выполняют начально-конечную операцию (частично или полностью) и не выполняют движущую. Для таких перевозчиков, использующих локомотивную тягу владельца инфраструктуры, Правила оказания услуг инфраструктуры в их действующей редакции не требуются.

Тарификация перевозок грузов в собственных и арендованных вагонах грузовладельцев и операторов

Прейскурант № 10–01 «Тарифы на грузовые железнодорожные перевозки» [7] издания 1989 г. был концептуально запретительным для использования универсальных вагонов парка «собственности», т. е. принадлежащих грузовладельцам. Его идея в этом смысле была в том, что все грузовладельцы должны были хотеть пользоваться только общесетевым подвижным составом, а не собственным. Однако в 1990 г. экономика уже «ходила ходуном», и изменения в Прейскурант № 10–01 стали вноситься буквально сразу после его ввода в действие.

Дальше — больше. После раздела СССР железные дороги в Российской Федерации стали устанавливать свои дорожные повышающие коэффициенты к ставкам Прейскуранта для перевозок в местном сообщении. С 1993 г. наступила эра централизованной индексации тарифов и предоставления скидок «фрагтовым агентам» МПС «для привлечения грузов». Слово «реформы» звучало в те времена каждый день и каждый час, но к структурным преобразованиям эти тарифные «причуды» не имели ни малейшего отношения.

Первым существенным уточнением Прейскуранта № 10–01 по части использования собственных вагонов стало предоставление в 1994 г. скидки в 20 % на перевозки наливных грузов в собственных цистернах (СФАТ, «Русский мир»). Эту меру усиливал и неформальный «сбор» в пользу работников МПС за предоставление цистерн общесетевого парка.

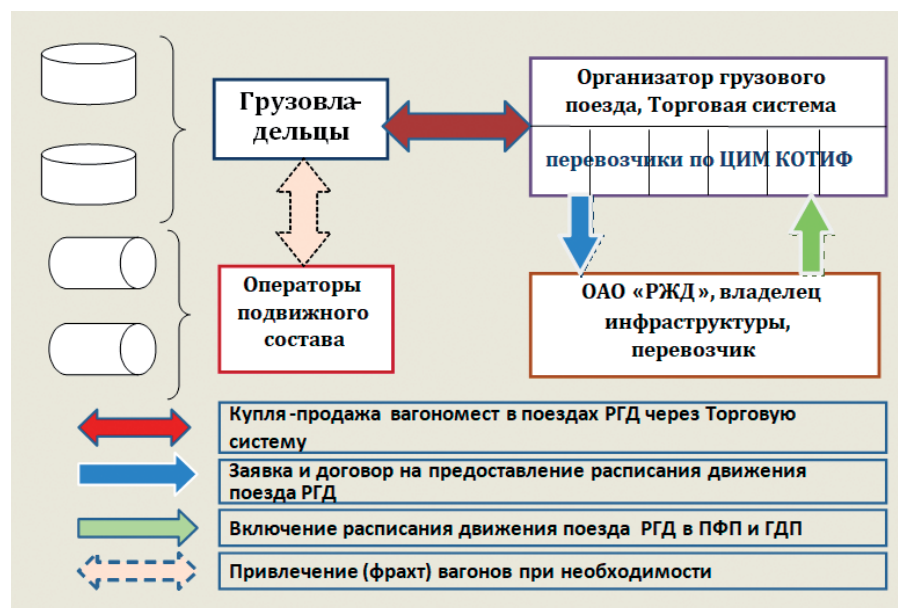


Рис. 3. Возможная схема доступа к услуге перевозки поездом РЖД для ее последующей реализации через организованные торги

В октябре–ноябре 1998 г., когда после дефолта в России начала реанимироваться промышленность и обозначился рост спроса на железнодорожные перевозки грузов на экспорт, в п. 6.4. Прейскуранта была введена скидка 20 % на перевозки в универсальном парке по замкнутым кольцевым маршрутам. Эта мера послужила толчком к созданию компаний-операторов железнодорожного подвижного состава.

В декабре 1999 г. на Тарифной конференции в Торгово-промышленной палате ВНИИЖТом был сделан доклад о концепции нового Прейскуранта № 10–01 с введением в него ставок за вагонную составляющую тарифа.

В 2000–2001 гг. прошла волна легализации компаний-операторов с созданием АСКОП. Таким образом, у нововведений будущего прейскуранта «с вагонной составляющей» стала формироваться база поддержки.

В марте 2002 г. МПС внесло проект нового Прейскуранта № 10–01 на рассмотрение причастных ведомств, а в апреле ВНИИЖТ провел конференцию по проекту нового документа. Дискуссии по нему проходили в Федеральной энергетической комиссии РФ являлся сертифицированным экспертом ФЭК). Основными темами обсуждений были следующие:

- принципы дифференциации тарифов (по классам грузов или классам качества перевозок, т. е. о том, как надо тарифицировать качество перевозок грузов: через множество дополнительных нерегулируемых договорных услуг или через стандарты качества перевозочных услуг и соответствующие уровни тарифа;
- оплата порожнего пробега собственных вагонов;
- отражение особенностей перевозок внутри страны и на экспорт (по импорту);
- размер локомотивной составляющей и способы его отражения в Прейскуранте № 10–01;
- размер вагонной составляющей тарифа и отмена п. 6.4 Прейскуранта (скидки на перевозки по замкнутым кольцевым маршрутам).

По каждому из этих вопросов шли активные дискуссии. Скажу лишь о двух эпизодах, касающихся размера вагонной составляющей.

Представители МПС добивались максимального ее занижения. Озвучивалась цифра в 12 % в целом по универсальным вагонам. При таком уровне перевозки грузов 1 класса на основных поясах дальности не давали минимально

необходимых уровней доходности для финансирования не только инвестиций в обновление парка, но и на текущее содержание и эксплуатацию. Мы добивались уровня не ниже 20 %. Как-то раз обсуждали этот вопрос у начальника департамента коммерческой работы в сфере грузовых перевозок МПС Ю. М. Косова. Он вдруг по собственной инициативе пригласил зайти к нему начальника департамента вагонного хозяйства МПС С. С. Барбарича. Когда тот пришел, то Ю. М. Косов ему поставил вопрос: «Сергей Сергеевич, какой нормальный средний уровень вагонной составляющей должен быть в грузовом тарифе?» Барбарич ему взял, да и ответил: «не ниже 20 %». После этого Ю. М. Косову срочно понадобилось куда-то бежать и совещание завершилось.

Второй эпизод — это неожиданная для меня встреча в Министерстве экономического развития и торговли (МЭРТ) в конце октября 2002 г. Сначала я был приглашен к первому заместителю министра Э. С. Набиуллиной, а затем вместе с ней — и к министру Г. О. Грефу. Тому предстоял поход на заседание Правительства, где должен был рассматриваться вопрос о новом тарифном руководстве. Они меня спрашивали о различных аспектах этого проекта, я как мог отвечал на их вопросы. Вечером того дня, когда Правительство заслушало доклад ФЭК о проекте нового Прейскуранта № 10–01, мне неожиданно позвонил один из руководителей ФЭК и сказал, что на мою электронную почту отправлен актуальный файл со ставками, и что он просит проверить, соответствуют ли они нашим предложениям. Я проверил. На всех основных поясах дальности перевозки угля в собственных полувагонах давали необходимую доходность.

И после этого решающего обсуждения в Правительстве РФ проект Прейскуранта № 10–01 продолжал еще дорабатываться до лета 2003 г., но для основной массы операторских компаний (не только занимавшихся наливными грузами и цистернами) стало понятно, что им дают жить, а не выживать.

Сравнивая тогдашние проблемы с нынешними, следует отметить основное отличие. Тогда операторы были еще экономически и профессионально довольно слабы, их становление виделось через выделение из провозного тарифа фрагментов, соответствующих отдельным работам (комплексам работ).

Сейчас можно и нужно рассматривать вопрос уже не фрагментарно, а по потенциально конкурентным сегментам, так как современные операторы в немалой своей части — это экономически и профессионально состоятельные структуры, которые могут осваивать перевозки дорогостоящих, контейнеропригодных и ряда других грузов, развивать и совершенствовать перевозочные технологии (рис. 3).

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 мая 2001 г. № 384 «О Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте». — URL: <http://government.ru/docs/all/38945/> (дата обращения: 17 мая 2022 г.).
2. Федеральный закон «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» от 10 января 2003 № 17-ФЗ. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40443/ (дата обращения: 17 мая 2022 г.).
3. Федеральный закон «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» от 10 января 2003 № 18-ФЗ. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/ (дата обращения: 17 мая 2022 г.).
4. Постановление Правительства РФ от 20 ноября 2003 № 703 «Об утверждении Правил оказания услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования». — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45153/c510b1dc0de45247b58dcac51f08ebbe39d6812/ (дата обращения: 17 мая 2022 г.).
5. Постановление Правительства РФ от 25 ноября 2003 № 710 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа перевозчиков к инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования». — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45207/ (дата обращения: 17 мая 2022 г.).
6. Давыдов, Г. Е. Целевая модель 2020 — третья попытка завершить реформы без реформирования? / Давыдов Г. Е. // Бюллетень транспортной информации. — 2016. — № 1(247). — С. 5.
7. Прейскурант № 10–01 «Тарифы на грузовые железнодорожные перевозки (Тарифное руководство № 1)». — Утв. Госкомцен СССР, МПС СССР 31.03.1989 № 328). — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_31058/ (дата обращения: 17 мая 2022 г.).

Постановка задачи принятия решений на нечетком множестве данных в сфере мультимодальных перевозок



А. Н. Ляшенко,
ведущий консультант
Министерства экономи-
ческого развития РФ

Сегодня в сфере мультимодальных перевозок, применимых к ТЭК, представляется полезным разработать метод, который бы сочетал преимущества существующих приемов в сфере логистики с акцентом на улучшение качества перевозочного процесса за счет рационализации результата с учетом влияющих на ход и развитие процесса факторов.

Традиционные аспекты по отношению к оперированию с нечеткими числами базируются на принципе обобщения [1]. На платформе теории нечетких множеств разработан ряд подходов к реализации нечетких вычислений [2–8]. Маршрутизация и логистика углеводородного сырья, инновации в сегменте управления транспортными потоками с применением оценки рисков получили отражение в зарубежных исследованиях [9–13].

В настоящей статье рассматриваются варианты $A_i \in A$ перевозок груза из пункта A^0 в пункт B^0 , состоящих из участков маршрутов $S^0 \in A_i$ ($l_{ж}$ — железнодорожного, $l_{в}$ — водного, $l_{а}$ — автомобильного) альтернативных видов транспорта. Для оценки рациональности маршрутов и выбора лучшего из них по результатам расчетов уместно применение комплексного подхода, учитывающего широкий спектр критериев, характеризующих основные особенности данного вида перевозочного процесса, ограничение параметров транспорта и требований владельца груза.

Для организации мультимодальных перевозок и выбора лучшего варианта маршрута по доставке топлива необходимо разработать алгоритм выбора лучшего решения из рассматриваемых. Об этом указывается в Стратегии научно-технологического развития Холдинга ОАО «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года. («Белая книга», где говорится о необходимости разработки новых транспортно-логистических продуктов и услуг в глобальных транспортных цепочках в развитии мультимодальных перевозок и о необходимости разработки и организации новых мультимодальных грузовых перевозок.)

Представление задач в многокритериальной постановке позволяет в каждом конкретном случае найти лучшее практическое решение. Любая задача сводится к выбору наиболее перспективного варианта, удовлетворяющего предъявленным требованиям сокращения транспортных и иных ограничений (множество k).

Для достижения указанной цели ставятся следующие взаимосвязанные задачи.

1. Установить возможные варианты $A^i \subset A$ доставки груза M_i из пункта A^0 в пункт B^0 . В каждом варианте $\forall A_i \in A^i$, $i \in N_1$, $N_1 = \{1, 2, \dots, n_1\}$, определить участки с $l_{ж}$, $l_{в}$, $l_{а}$ и их пути $S^i_{i_1} \subset A^i$, $i_1 \in N_3^{i_1}$, $N_3^{i_1} = \{1, 2, \dots, n^i_1\}$, n^i_1 — число участков перевалки груза. Выделить из возможных вариантов допустимые $A'' \subset A^i$, удовлетворяющие заданным требованиям.

2. Определить множество критериев k с разбивкой на конкретные (основные) группы $k_j \in k$, $j \in N_2$, $N_2 = \{1, 2, \dots, n_2\}$. Каждая группа содержит второстепенные критерии (требования, ограничения) $k_{j\lambda} \in k_j$, $\lambda \in N_3^j$, $N_3^j = \{1, 2, \dots, n^j_3\}$ для $\forall j \in N_2$, при этом $\lambda = 0$ означает их отсутствие, индекс $\lambda = 0$ опускается. Варианты доставки груза и критерии взаимосвязаны.

3. Рассчитать величины критериев в соответствующих цифровых размерностях (вес, время, объем, стоимость и др.), $\forall k_{j\lambda} \xrightarrow{f_1} \Pi_{j\lambda i}$, $j \in N_2$, $i \in N_1$, $\lambda \in N_3^j$ (λ может отсутствовать, если группа состоит из одного критерия), f_1 — функция соответствия. Информация рассчитывается или берется из справочной литературы, рабочих проектов. Для удобства проведения экспертных оценок иногда величины $\Pi_{j\lambda i}$ приводятся к единице транспортной массы, единице участка маршрута $\bar{\Pi}_{j\lambda i} = \Pi_{j\lambda i} (M_1 l)^{-1}$.

4. Провести экспертные оценки значимости $\forall \Pi_{j\lambda i} \xrightarrow{f_2} M_{j\lambda i} \in R_1 > 0$, R_1 — числовое множество, ставится в соответствие отношением f_2 числу мест критерия $k_{j\lambda}$. В i -м варианте экспертно определяются мера места, их количество $M_{j\lambda i}$ для $\forall i \in N_1$, $\forall \lambda \in N_3^j$, более предпочтительные имеют меньшее число мест, $\sum_{\lambda \in N_3^j} i M_{j\lambda i} \leq M_j$.

5. Провести вычисления матрицы $(\bar{M}_{j\lambda i})$ по предложенной математической модели $\Pi_{j\lambda i} \xrightarrow{f_3} \bar{M}_{j\lambda i}$, как альтернативы экспертной матрицы $(M_{j\lambda i})$ с неопределенными мерами (единицами места) $\bar{M}_{j\lambda i}^{-1}$ для $\forall j \in N_2$. При этом каждый элемент $\bar{M}_{j\lambda i}$, $j \in N_2$ выражается только через параметр M_j . Исходная задача сводится к определению общей меры M на множество M^j , $j \in N_2$.

6. Для окончательной оценки экспертам представляются данные векторов A_i , $i \in N_1$. Их компонентами и данными математической модели являются значения $(\beta_{j\lambda i})$, $(M_{j\lambda i})$, $(\Pi_{j\lambda i})$, $(\bar{M}_{j\lambda i})$, $(k_{j\lambda i})$, $j \in N_2$, $\lambda \in N_3^j$. Вектор-столбцы — (M^j) , $(\text{Supp } M_{j\lambda i})$, $(\text{Supp } \bar{M}_{j\lambda i})$. Элементами $\beta_{j\lambda i} \in [0, 1]$ являются $i \in N_1$ спускаемые «выше» (администрацией) заданные величины ограничений на $k_{j\lambda i}$ в вариантах A_i . Они снижают влияние критерия в каждом варианте (либо в окончательном выборе лучших) путем умножения $m_{j\lambda i} = M_{j\lambda i} \cdot \beta_{j\lambda i}$. По существу, экспертно определяется единая мера M на множестве мер (M_j) .

7. Задача выбора лучшего варианта $A_{j_0} \in A''$ решается экспертами с использованием данных, полученных в задачах 1–6. С позиции грузовладельца вводится понятие лучшего (рационального) варианта.

Если лучших несколько, то принимаются во внимание данные второстепенных критериев.

8. Для возможности проверки на устойчивость лучшего варианта предполагается сохранение A_{i_0} . Под его устойчивостью понимается сохранение $A_{i_0} \in A_i \subset A^{\Pi}$ при изменении критериев $k_j, j \in N_2$. Для проверки устойчивости по основным критериям k_j величина $\Pi_{j\lambda}$ увеличивается (уменьшается) на $\Delta\Pi_{j\lambda}$. Процесс прекращается при смене «лучшего» варианта. При этом определяются границы величин k критериев, при которых вариант A_{i_0} сохраняется.

Особую актуальность приобретает задача внедрения таких подходов, которые способны минимизировать издержки, связанные с транспортным производством и технологическими операциями. Оценка издержек осуществляется для каждого транспортного участника. Решения задач проводятся с учетом системного подхода, определения стыковых пунктов (терминалов), перезагрузок, при инновационных решениях по организации мультимодальных перевозок грузов. Согласно постановке задачи, стоит выделить следующие новации.

- Предложено описание необходимой информации возможных вариантов $A_i \subset A^{\Pi}, i \in N_1$, доставки груза M_i из пункта A^0 в пункт B^0 , их структуры в виде вектор-столбцов матриц $(\Pi_{j\lambda}), (M_{j\lambda}), (m_{j\lambda})$ для экспертного определения «лучшего» варианта. Множества $\{\Pi\}$ даются в размерной форме, (M) — в местах (безразмерная форма), (m) — в баллах. В каждой строке множества экспертных данных вводится понятие «лучшее» для подготовки экспертных оценок. Вариант содержит маршруты S с разными видами транспорта (железнодорожный, водный, автомобильный).

- Предложена система критериев $\{k\}$ (требования к маршрутам, видам транспорта, стоимости, времени на технологические операции, ремонта, возможных перевалок груза и т. д.). Множество $\{k\}$ представлено в виде основных $k_j \in k, j \in N_2$ и вспомогательных $k_{j\lambda} \in k, \lambda \in N_3$. Данные $k_{j\lambda}$ представляются в виде вектор-строки и являются компонентами одинаковой размерности, содержащими информацию каждого варианта $\forall A_i \in A^{\Pi}$. Система $\{k\}$ должна быть достаточно полна для экспертных оценок.

- Предложена математическая модель вычисления экспертных оценок $(\bar{M}_{j\lambda})$ для $\forall k_{j\lambda}, j \in N_1$ во всех вариантах $A_i, i \in N_1$, зависящих только от одного параметра M_j .

- Вводится понятие «качество лучше другого» по количеству мест в нем. Единица меры M^j своя для $\forall^j$. Модель позволяет вычислить $(\bar{M}_{j\lambda})$. Экспертам по данным $(\Pi_{j\lambda}), (k_{j\lambda}), (M_{j\lambda})$, коэффициентам запрета (k^3) предлагается определить матрицу оценок $(m_{j\lambda})$, принять «лучший» вариант

доставки груза. В сущности, выявить взаимосвязь между мерами M^j и $m^j, j \in N_2$.

- Возможность вычисления приближенных экспертных оценок позволяет проводить их корректировку.

- Исследования по изменению величин критериев $k_{j\lambda}$ дают возможность определить границы (по параметрам) лучшего варианта (его эффективность, устойчивость) повышения качества решения задач по разработанному подходу выбора «лучшего» варианта транспортировки жидкого топлива за счет использования в алгоритме локально линейной и локальной кривизны (типа сплайна) исходных $\Pi_{j\lambda}$ и промежуточных результатов. При изучении различных аспектов повышения эффективности управления процессами перевозок автором рассмотрены процессы взаимодействия различных видов транспорта в целостном комплексе.

- При расчете рационального объема резервуарного парка нефтяных терминалов в настоящее время используются методики, не учитывающие фактическую загрузку резервуаров и объемы переваливаемого груза. Определение рациональной вместимости резервуарного парка без учета взаимодействующих транспортных потоков и производительности перегрузочных мощностей приводит к увеличению простоев транспортных средств в портах и на железнодорожных путях. В настоящей постановке задачи математический аппарат позволяет учитывать технико-экономические критерии модели ресурсоемкости с целью рационализации выбора рассматриваемых объемов резервуаров; возможность учета не только цифровых значений критериев, характеризующих каждый из описываемых вариантов, но и учета значимости различных критериев по их влиянию на рассматриваемый процесс.

Настоящая постановка задачи принятия решений на нечетком множестве данных в сфере мультимодальных перевозок представлена для выбора «лучшего» (рационального) маршрута из изучаемых с позиции владельца груза при выбранных критериях, в том числе рисков по доставке и перевалки сырья.

Проведенный обзор отечественной и зарубежной литературы и работ автора позволил создать информационное обеспечение (компактное, но достаточно полное), на базе которого стало возможным решение задач экспертами. В его основе заложена следующая матрица: $\Pi_{j\lambda} \in A_i \subset A^{\Pi}, i \in N_1$. Ее элементами являются размерные величины параметров вектор-строк $k_{j\lambda}, j \in N_2, \lambda \in N_3^i$. При необ-

ходимости экспертам дается требуемая информация из базы данных (БД). Данные матрицы $\Pi_{j\lambda}$ (рассчитанные, справочные) для экспертов считаются достоверными.

Принимается, что допустимые варианты A^{Π} известны, набор критериев определен, $k_{j\lambda}, j \in N_2, \lambda \in N_3$ для $\forall A_i \in A^{\Pi}$. Также известны (рассчитаны, из справочной литературы, технических проектов) размерные данные $\Pi_{j\lambda}$ для $\forall A_i \in A^{\Pi}$ (схематичное представление исходной информации задачи экспертов приведено в таблице). Для краткости обозначим, что

$$k_{j0} = k_j = \sum_{\lambda=1}^{n_3^j} k_{j\lambda} \lambda, \lambda \in N_3,$$

$$N_3 \in 1, 2, \dots, n_3^j, \text{аналогично}$$

$$\Pi_{j0i} = \Pi_{ji} = \sum_{\lambda=1}^{n_3^j} \Pi_{j\lambda i}.$$

Процесс экспертного решения проводится в три этапа. На первом по известным величинам $\Pi_{j\lambda}$ эксперты ставят количество мест каждому критерию $\forall k_{j\lambda}$ во всех вариантах $A_i \in A^{\Pi}$.

Физическая размерность $\Pi_{j\lambda}$ для $\forall j \in N_2$ во всех вариантах одинакова, эксперт имеет возможность ввести меру (единицу места). Экспертные оценки основных критериев аналогично, как в таблице, представляются в виде матрицы M_{ji} . Вектор-столбцы, вектор-строки сохраняют тот же смысл.

$\Pi_{j\lambda} \xrightarrow{f_1} M_{j\lambda}; f_1$ — отношение соответствия.

На втором этапе эксперты дают оценку каждого критерия $\forall k_{j\lambda}, j \in N_2$ в каждом варианте $A_i \subset A^{\Pi}$. Различие физической размерности компонент вектор-столбцов $A_i, i \in N_1$ затрудняет вводить меру (единицу бала), верхние границы компонент множеств $A_i, \text{Supp } \Pi_{j\lambda i}$; понятие лучше-хуже. В этом важны помощь экспертов, их опыт работы, знание эксплуатации аналогичных объектов. Здесь имеем $M_{j\lambda} \xrightarrow{f_2} m_{j\lambda}, f_2$ — отношение соответствия.

Для удобного обозначения «лучших» экспертных оценок по каждому критерию $\forall j \in N_2$ вводится вспомогательный вектор-столбец $\Gamma_j = \max_{i \in N_1} M_{ji}, j \in N_2$ (физического смысла возможное движение груза может не иметь).

На третьем этапе вводятся коэффициенты значимости $\beta_{j\lambda}^3 \in [0, 1]$, учитывающие возможную противоречивость критериев, сглаживание экспертных отклонений в величинах оценок. Имеем $M_{j\lambda} \cdot k_{j\lambda}^3 = m_{j\lambda}, \text{т. е. } M_{j\lambda} \xrightarrow{f_3} m_{j\lambda}; f_3$ — отношение соответствия. Анализ представленных исходных данных $A_i \subset A^{\Pi}, k_{j\lambda}^3, \Pi_{j\lambda}, i \in N_1$,

Таблица. Фактические значения основных критериев по вариантам

Критерии	Варианты				
	A_1	A_2	...	A_{n-1}	A_n
k_1	Π_{k1}	Π_{k1}	...	Π_{k1}	Π_{k1}
k_2	Π_{k2}	Π_{k2}	...	Π_{k2}	Π_{k2}
...	...	...	...	...	...
k_{m-1}	$\Pi_{k(m-1)}$	$\Pi_{k(m-1)}$	...	$\Pi_{k(m-1)}$	$\Pi_{k(m-1)}$
k_m	Π_{km}	Π_{km}	...	Π_{km}	Π_{km}

Источник: разработано автором

$j \in N_2, \lambda \in N_3$, экспертных данных $M_{j\lambda}, k_{j\lambda}^3, m_{j\lambda}$ определяет лучший вариант доставки груза $i_0 \in N_1$.

Анализ первого этапа определения матриц $M_{j\lambda}, m_{j\lambda}$ экспертных оценок проводится при следующих допущениях: 1) данные $\Pi_{j\lambda}$ считаем достоверными; 2) полагаем $\Pi_{j\lambda+1} \neq \Pi_{j\lambda} \neq \Pi_{j\lambda-1}$; 3) данные $\Pi_{j\lambda}, i \in N_1$, носят локально-линейный характер, возможность совершения арифметических операций в каждой вектор-строке матрицы.

В качестве математической модели приближенного вычисления количества присуждаемых мест M по данным Π использовались три первых члена аналогично ряду Тейлора в обычной топологии в конечно-разностном виде при соблюдении требований 1) – 3), не забывая, что находится в пространствах нечетких множеств (для простоты изложения индексы $j\lambda$ опускаем), и соотношения суммы отклонений от среднеарифметического.

$$M_{i+1} = M_i + \frac{M_{i+1} - M_{i-1}}{U_{i+1} - U_{i-1}} (U_{i+1} - U_i) + \left(\frac{M_{i+1} - M_i}{U_{i+1} - U_i} - \frac{M_i - M_{i-1}}{U_i - U_{i-1}} \right) \frac{(U_{i+1} - U_i)^2}{U_{i+1} - U_{i-1}},$$

$$i \in N_1 \quad (i = 1, 2),$$

$$\sum_{i=1}^n (M_i - \Pi^i) = 0, j \in N_2, U_{i-1} \neq U_i \neq U_{i+1}.$$

Физическая размерность данных $\Pi_i, i \in N_1$ одинакова, но своя для $\forall j \in N_2$.

Полагая, что

$$a_i = \frac{U_{i+1} - U_i}{U_{i+1} - U_{i-1}}, \quad b_i = \frac{(U_{i+1} - U_i)^2}{(U_i - U_{i-1})(U_{i+1} - U_{i-1})}$$

получим две рекуррентные приближенные формулы вычисления (M_i) .

Способ 1 (два первых члена) локально линейная модель:

$$-a_i M_{i-1} + M_i + (a_i - 1) M_{i+1} = 0, i \in N_1 \quad (i = 2, i = n_i - 1).$$

Способ 2, локальный учет кривизны данных Π_i, M_i :

$$(-a_i + b_i) M_{i-1} + (1 - a_i - b_i) M_i + (2a_i - 1) M_{i+1} = 0.$$

Для вычисления M_{i+1} необходимо определить количество мест в M_i . Величину M_{i-1} возьмем за эталон (произвольно). Этим определяется единица меры в $\forall j \in N_2$. Системы уравнений способов 1, 2 замыкаются среднеарифметическим отношением. При условии, что $\Pi_{i-1} \neq \Pi_i \neq \Pi_{i+1}$, их определители

отличны от нуля, определяются и зависят только от M_i и Π . Величину Π можно получить из условия $\min M_i \geq 0$. На нечетком множестве «лучший» вариант A_{i_0} определяется отношением $M_{i_0} \leq M_i, i \in N_1 / i_0$, или $M_{i_0} \geq M_i, i \in N_1 / i_0$ в зависимости от физического смысла k .

Аналогично анализ экспертных оценок проводится для матрицы (m) , где также находится мера балла.

Для $\forall j \in N_2$ решается аналогичная система уравнений определения $M_{j\lambda}$, зависящих только от M . Формализованная задача экспертов формируется так.

Дано: $A_i \in A^H, k_{j\lambda}, \Pi_{j\lambda}, \beta_{j\lambda}$, информация $M_{j\lambda}, \Gamma_j, M^j, \Pi^j$, определяемая с использованием предложенной математической модели. Требуется экспертно выявить «лучший» вариант доставки груза M_i из пункта A^0 в пункт B^0 с максимальным удовлетворением системы критериев $k_{j\lambda}$. В сущности, найти единую меру на множестве M .

Выполненные исследования позволяют сделать ряд выводов и рекомендаций, относящихся к методике определения и выбора технологического решения, позволяющего повысить эффективность транспортировки грузов при мультимодальных перевозках.

1. В основе заложен экспертный выбор лучшего варианта доставки груза из пункта A^0 в пункт B^0 разными видами транспорта. Экспертам необходимо представить достаточно полную систематизированную информацию о возможных вариантах. Предлагается экспертный совет проходить в два этапа выставления оценок требованиям заказчика и исполнителя (множество критериев k). В результате определяется «лучший» вариант.

2. Разработаны возможные варианты доставки груза разными маршрутами S_i различными видами транспорта. Определяются допустимые варианты $A^H \subset A^1$. Информация о $\forall A_i$ представляется в виде вектор-столбцов, содержащих размерные данные (критерии k) и экспертные оценки (количество мест, баллов) в каждом $A_i \in A^H$. Данные критериев k_j (вид транспорта, длина участка S_j , время доставки, параметры ре-

монта, стоимость и т. д.), экспертные оценки представляются в виде вектор-строк.

Предложенное представление данных экспертам в информационной форме на дисплее удобно (компактно, достаточно полно). Данные экспертов не имеют меры (единицы, места, баллы), есть их численная величина, по которой можно судить об оценке (больше, меньше) для $\forall A_i \in A^H$.

3. Экспертные оценки носят нечеткий характер. Предложены два способа их приближенного вычисления.

4. При использовании предложения определения метода приближенных оценок появилась возможность проводить анализ нечетких экспертных данных.

5. Предложен метод оценки «устойчивости» «лучшего» варианта путем изменения размерных величин критериев $k_{j\lambda}$, определения границ сохранения «лучшего» варианта по основным параметрам. ■

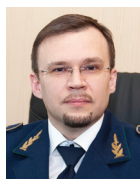
Литература

1. Zadeh, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Pt 1–3 / L. A. Zadeh. — California, USA: — Information Sciences. — 1975. — Vol. 8. — Pt 1. — P. 43–80; Pt 2. — P. 199–249; Pt 3. — P. 301–357.
2. Dubois, D. Operations on fuzzy numbers / D. Dubois, H. Prade — London, England: — International Journal of Systems Science. — 1978. — Vol. 9(6). P. — 613–626.
3. Klir, G. J. Fuzzy arithmetic with requisite constraints / G. J. Klir — Kluwer, Netherlands: — Fuzzy Sets and Systems. — 1997. — Vol. 91. — P. 165–175.
4. Lodwick, W. A. Constrained interval arithmetic / W. A. Lodwick // CCM report. — 1999. — Vol. 138. — P. 1–11.
5. Piegat, A. Fuzzy Modeling and Control / A. Piegat. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. — 728 p.
6. Nagoor Gani, A. New Operation on Triangular Fuzzy Number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem / A. Nagoor Gani, S. N. Mohamed Assarudeen — Hikari, Bulgaria: — Applied Mathematical Sciences. — 2012. — Vol. 11. — P. 525–532.
7. Chalco-Cano, Y. Single level constraint interval arithmetic / Y. Chalco-Cano, W. A. Lodwick, B. Bede — Elsevier, Netherlands: — Fuzzy Sets and Systems. — 2014. — Vol. 257. — P. 146–168.
8. Воронцов, Ю. А. Алгебраические операции с нечеткими LR-числами с использованием преобразования L / Ю. А. Воронцов, М. Г. Матвеев — Москва, РФ: — Программная инженерия. — 2014. — Т. 8. — С. 23–29.
9. Aven, T. Misconceptions of risk / T. Aven. — Chichester, England: John Wiley and Sons Inc., 2010. — 248 p.
10. Aven, T. Risk analysis. Assessing uncertainties beyond expected values and probabilities / T. Aven. — Chichester, England: John Wiley and Sons Inc., 2008. — 204 p.
11. Aven, T. Risk management: With application from the offshore petroleum industry / T. Aven, J. Vinnem. — London, England: — Springer, 2007. — 211 p.
12. Beaumont, E. A. Exploring for oil and gas trap / E. A. Beaumont, N. H. Forester. — Tulsa, Oklahoma, USA: — The American Association of Petroleum Geologists. — 1999. — P. 1–100.
13. Shapiro, J. F. Modeling the Supply Chain / J. F. Shapiro. — New York, USA: — Thomson Learning, 2001. — 586 p.

Процессный подход в управлении пассажирскими перевозками Петербургского метрополитена



И. А. Архипов,
заместитель главного
диспетчера Службы дви-
жения ГУП «Петербург-
ский метрополитен»



А. В. Гниломедов,
начальник Службы движе-
ния ГУП «Петербургский
метрополитен»

С появлением в СССР метрополитена, как разновидности внеуличного транспорта, встал вопрос о более рациональной организации пассажирских перевозок, растущих год от года. В связи с этим для оптимизации процесса управления перевозками предлагались различные варианты координационных схем. Этот вопрос является актуальным и сегодня.

Все предпринимаемые ранее попытки улучшить перевозочный процесс в Петербургском метрополитене решали определенные ситуационные проблемы, однако кардинальных результатов они не приносили. При этом одним из ключевых проблемных вопросов являлся и остается по сей день наличие существенных потоков информации, обрабатываемой в процессе организации работы метро.

Как известно, в целом современный мир с точки зрения информационных ресурсов в последние десятилетия шагнул далеко вперед. Еще в 1975 г. футуролог С. Лем отметил лавинообразное нарастание массы разнообразной информации в обществе, которое получило название «информационный взрыв» [1]. По прогнозу же аналитической фирмы IDC к 2025 г. объем всех данных в мире составит 163 зеттабайт, что в 10 раз больше, чем в 2016 г. [2].

Петербургский метрополитен, как крупнейшее транспортное предприятие [3], является и потребителем, и поставщиком огромного количества информации, возникающей в процессе обеспечения перевозочного процесса. При этом ее объемы продолжают быстро увеличиваться. Так, с 2010 до 2022 г. наблюдается существенный рост информационных потоков, связанных с вопросами обеспечения транспортной безопасности на объектах инфраструктуры.

В целом же информации становится все больше как во внешней, так и во внутренней средах взаимодействия предприятия. Становится очевидным тот факт, что непринятие мер упорядочивания, ускорения обработки, систематизации и проверки этого нарастающего потока — прямой путь к информационной энтро-

пии, обусловленной большими объемами данных, невысокой степенью доверия к ним и низкой скоростью передачи информации.

Мировым сообществом, в том числе и Российской Федерацией, уже осознана необходимость цифровизации и трансформации бизнес-процессов в ключевых сферах жизни общества (см., например, Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О стратегии развития информационного общества в РФ»). Это фактически определяет целевые ориентиры и концепцию дальнейшего развития в рассматриваемой сфере.

В этой связи Петербургским метрополитеном взят курс на разработку и реализацию проекта, бизнес-модель которого для всех участников перевозочного процесса обеспечивала бы в оптимальной форме и в полном объеме сохранение и обмен данными об эксплуатируемых объектах инфраструктуры и самом перевозочном процессе на всех стадиях жизненного цикла метрополитена, как объекта внеуличного транспорта. Такой бизнес-моделью стала концепция «Единого диспетчерского центра Санкт-Петербургского метрополитена» (ЕДЦМ) — комплекса как технологических средств управления, диагностики, телеметрии объектов инфраструктуры и подвижного состава, так и мер, направленных на реформирование процессов организации функционирования метрополитена.

В настоящее время процесс организации пассажирских перевозок представляет собой деятельность одиннадцати различных оперативно-диспетчерских подразделений, чьи организационные бизнес-процессы, регулирующие оперативное (диспетчерское) управление перевозками, являются одновременно

и одними из самых насыщенных (по количеству передаваемой информации), и весьма разнообразными (по направлениям деятельности оперативно-диспетчерского аппарата) процессами.

При этом до недавнего времени единственным возможным коммуникационным каналом обеспечения таких процессов была связь (телефонная, селекторная, радиосвязь), имеющая весьма лимитированную пропускную способность. В частности, она ограничивалась скоростью речи, которая напрямую влияет на адекватность при восприятии информации на другом конце линии. Процесс передачи данных широкому кругу лиц, в котором операции выполняются последовательно, занимал длительное время.

Существовавшие до настоящего времени способы хранения информации также нельзя назвать «прорывными». Это рукописные журналы и бланки на станциях, диспетчерских и эксплуатационных участках. Количество журналов по всем подразделениям сегодня исчисляется десятками.

Для оптимизации и дальнейшей автоматизации всех процессов диспетчерского управления и взаимодействия на Петербургском метрополитене было принято решение о внедрении процессного подхода в области организации перевозок пассажиров. Одновременно с этим был поднят вопрос о создании ЕДЦМ, где на новых мощностях стало бы возможно реализовать более эффективную модель централизованного диспетчерского управления процессом перевозки (далее — Модель).

Для формирования на основе процессного подхода новой Модели с последующим ее поэтапным внедрением создали рабочую группу, состоящую из специалистов нескольких подразделений метрополитена, так или иначе связанных с процессом перевозки и оперативно-диспетчерского управления им.

Все мероприятия по формированию Модели разделяются на ключевые этапы.

Постановка целей Модели

Любая трансформация деятельности в такой сфере как внеуличный транспорт всегда должна двигаться по пути достижения неких «глобальных» планов, показывающих курс, куда трансформация должна стремиться. Достижение конкретных целей должно давать и конкретный результат. Именно поэтому первым этапом является постановка целей внедрения. В Петербургском метрополитене были

определены три ключевые цели создания Модели:

- централизация управления бизнес-процессом «Диспетчерское управление метрополитена» как совокупностью бизнес-процессов диспетчерского управления в подразделениях;
- обеспечение выполнения графика транспортного обслуживания метрополитена в Санкт-Петербурге путем централизованного диспетчерского управления движением подвижного состава и объектами инфраструктуры;
- контроль и координация действий дежурно-диспетчерского персонала при устранении случаев нарушений нормальной работы, чрезвычайных ситуаций, а также оперативное возобновление транспортного обслуживания.

Описание бизнес-процессов существующей модели диспетчерского управления процессом перевозки

Для принятия решения, какие бизнес-процессы необходимо оптимизировать, нужно понимать — а какие процессы существуют сейчас, в чем их слабые и сильные стороны, насколько они отвечают современным требованиям. Поэтому на втором этапе был произведен аудит всех бизнес-процессов оперативно-диспетчерских подразделений метрополитена.

Результатом проведенного аудита существующей системы диспетчерского управления стало подробное описание процессов «как есть» (рис. 1) с выявлением «узких мест», которые легли в основу совокупности ключевых факторов, над которыми проводилась дальнейшая работа.

Так, были выявлены процессы, не относящиеся к диспетчерской деятельности, т. е. такие, которые необходимо передать в другие структуры подразделения. Также были определены процессы, не имеющие ценности, например, когда информация, получаемая диспетчером одного подразделения из другого, оказывалась невостремленной, попросту ненужной. Наконец, были обозначены бизнес-процессы, построенные неоптимальным образом, когда некоторые этапы выполнялись с излишними звеньями и дублированием некоторых функций либо с неоптимальными входами-выходами.

Наличие обозначенных выше «узких мест» приводило к излишней загруженности диспетчерских аппаратов, повышению звуковой составляющей и снижению эффективности работы диспетчеров.

Описание бизнес-процессов желаемой модели диспетчерского управления процессом перевозки

После описания бизнес-процессов модели «как есть» рабочей группой был проведен реинжиниринг полученных данных. Прежде всего для ликвидации «узких мест» производилось разделение существующих бизнес-процессов на связанные и несвязанные с диспетчерской деятельностью. При этом первые должны были отвечать на решение задач в рамках обозначенных на первом этапе целей.

Далее процесс проверялся на возможность дальнейшей оптимизации, достигаемой путем автоматизации (по соответствующим критериям [4]), а также его адаптации к существующим реалиям и требованиям (если это необходимо).

В результате указанных мероприятий не только формировались новые бизнес-процессы, но и определялись основные направления их возможной автоматизации и цифровизации.

Общий алгоритм реинжиниринга бизнес-процессов, описанный выше, приведен на рис. 2.

Увязка бизнес-процессов желаемой модели «как должно быть» и концепции ЕДЦМ

В связи с тем, что Петербургский метрополитен планирует внедрение новой модели диспетчерского управления на новой площадке, которой станет ЕДЦМ, перед рабочей группой ставилась задача связать новые должностные позиции Модели, бизнес-процессы и информационные каналы с проектом ЕДЦМ.

Результатом решения этой задачи стало разделение процессов, связанных с диспетчерской деятельностью, на относящиеся к управлению движением и инфраструктурой. Также были выделены в отдельную группу процессы, обусловленные взаимодействием с внешней средой, в частности, с исполнительными органами государственной власти и подведомственными им организациями. Были максимально унифицированы и типизированы схожие между собой процессы.

Это дало возможность еще на этапе проектирования предусмотреть многие важнейшие элементы ЕДЦМ. Так, например, планируется введение должностной позиции диспетчера инфраструктуры. Это позволит оптимизировать бизнес-процессы в части информационных каналов передаваемой информации и ее объемов. А кроме того, создаст предпо-

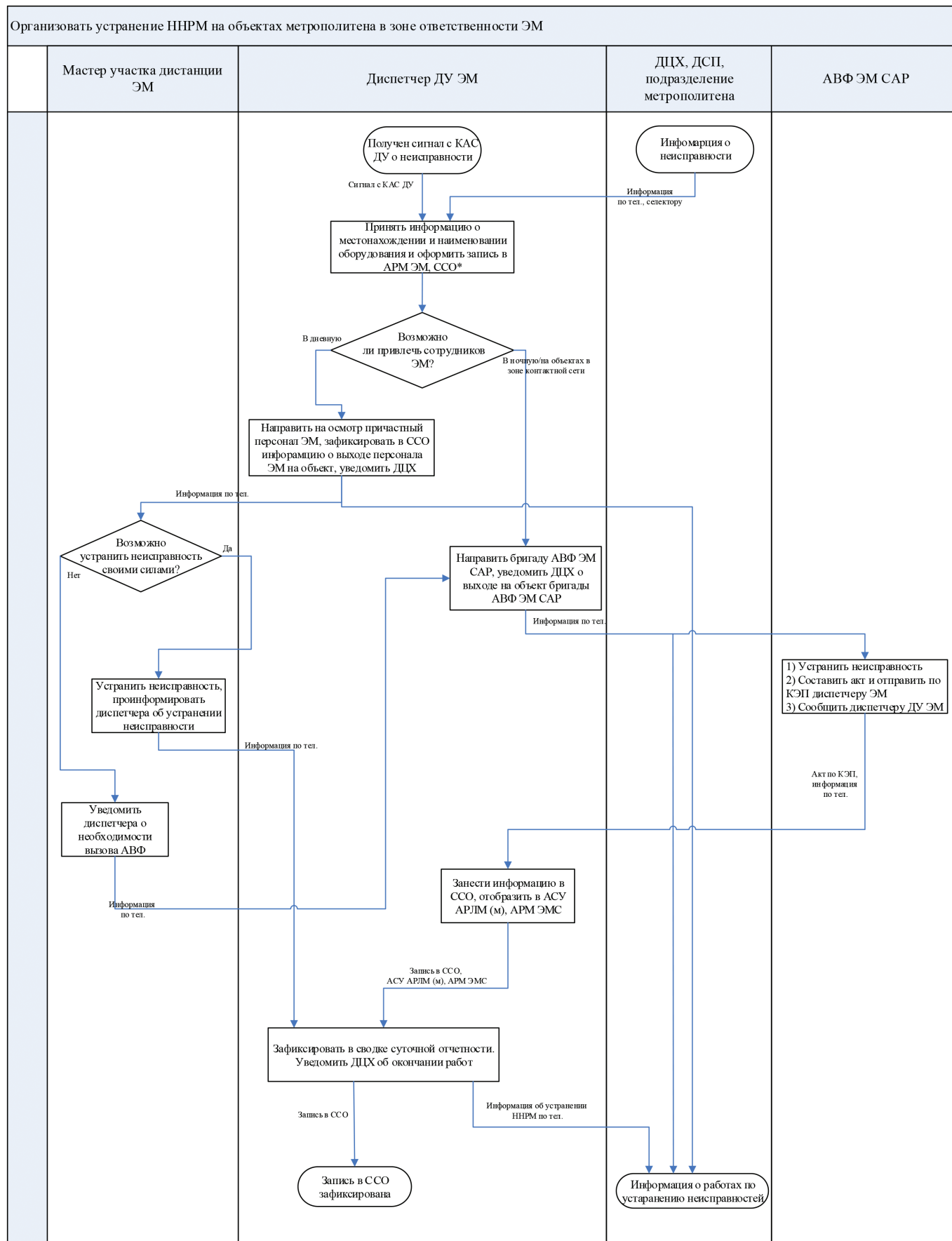


Рис. 1. Бизнес-процесс устранения нарушения нормальной работы оборудования одного из подразделений метрополитена (Электромеханической службы) в настоящее время

сылки для реинжиниринга процессов содержания объектов инфраструктуры таким образом, чтобы диспетчеры, управляющие соответствующими объ-

ектами, могли максимально достоверно и согласованно получать информацию о состоянии различных объектов инфраструктуры.

Также, благодаря проведенной работе, в проекте ЕДЦМ появился ситуационный центр, отсутствующий в изначальном варианте.

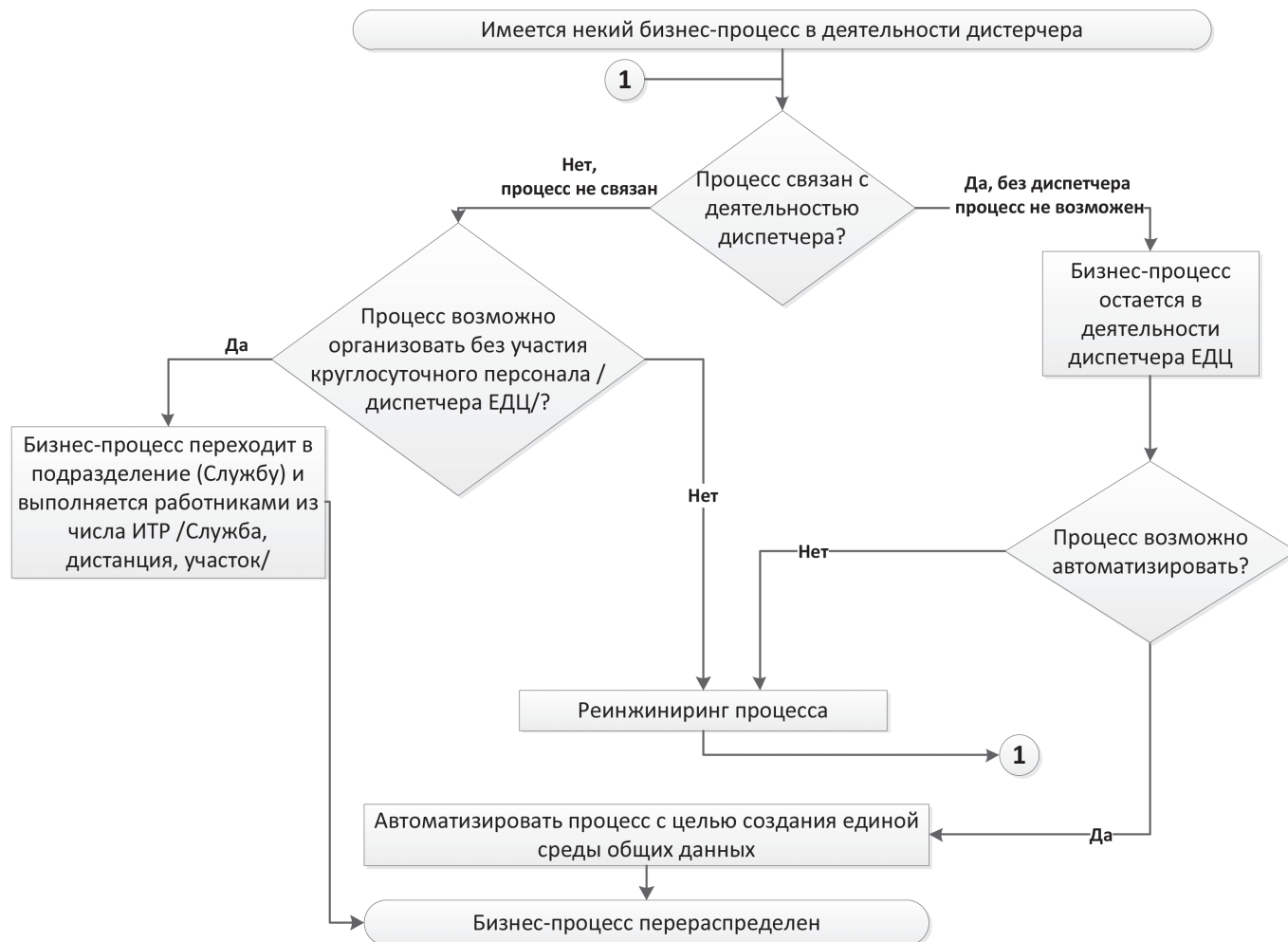


Рис. 2. Общий алгоритм реинжиниринга бизнес-процессов диспетчерского управления

Другим фактором стало то, что проведенная работа позволила применить практику сохранения численности некоторых отраслевых диспетчеров (например, Эскалаторной службы). При увеличении числа линий метрополитена до восьми, количество диспетчеров останется таким же, что и в настоящее время.

Результатом формирования новой модели диспетчерского управления с применением процессного подхода и дальнейшее ее наложение на проект ЕДЦМ с последующей оптимизацией и стала Модель, которую активно внедряет Петербургский метрополитен. На рис. 3 приведен фрагмент 3D модели диспетчерского зала ЕДЦМ.

Создание среды общих данных перевозочного процесса

Автоматизация и цифровизация как комплекс мероприятий позволяют устранить сразу несколько «узких мест», выявленных на ранних этапах создания Модели. Это в первую очередь возможность замены способов передачи информации (например, переговоры по телефону могут заменяться на передачу данных посредством программ, рис. 4). Кроме того, воз-

никают и совершенно иные возможности хранения и обработки информации.

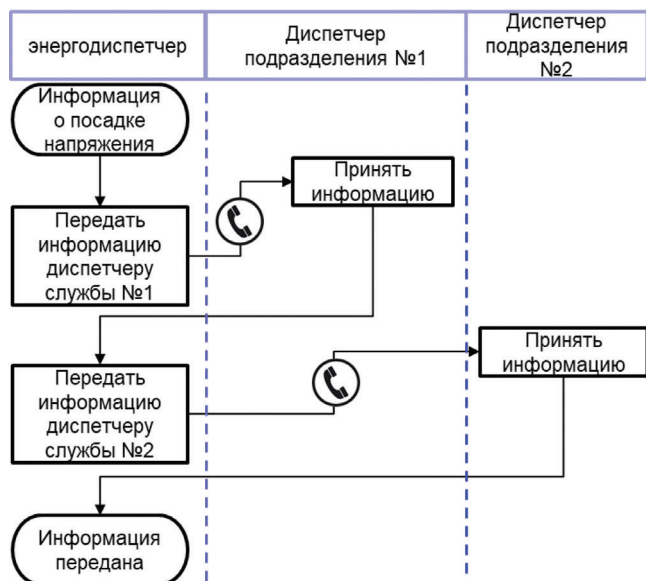
Также специалистами рабочей группы было предложено создание инструмента помощи оперативным работникам при ликвидации последствий нарушений нормальной работы,

координации и контроля хода восстановительных работ. В его основу закладываются разработанные бизнес-процессы диспетчерского управления. После подтверждения факта возникновения инцидента система запускает механизм исполнения утвержденного сценария



Рис. 3. 3D модель диспетчерского зала ЕДЦМ

Пример бизнес-процесса в настоящее время



Пример бизнес-процесса с использованием средств автоматизации

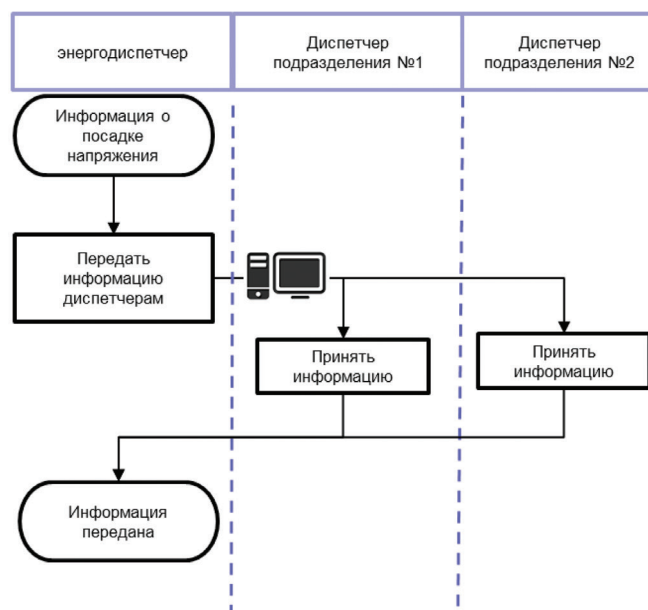


Рис. 4. Автоматизация процесса передачи информации посредством телефонограмм

действий работников по устранению конкретного случившегося инцидента путем запуска специализированного алгоритма, который повторяет бизнес-процесс диспетчерского управления. Такую систему решено назвать СППР-М (Система поддержки принятия решения для метрополитена).

Ожидаемый эффект от внедрения СППР-М:

- возможность одновременной передачи информации (в том числе распоряжений) всем участникам процесса с исключением последовательной схемы;
- обеспечение информационной поддержки оперативного персонала;
- сравнение и оценка времени, затраченного на выход из случая ННРМ с плановыми значениями.

На рис. 5 приведен обобщенный принцип отработки ситуационных сценариев для СППР-М.

Следующим шагом развития Модели должно стать внедрение комплекса программно-аппаратных средств, представляющих единый массив данных, доступный для использования всеми участниками перевозочного процесса в рамках их компетенций. Это большой

Функции поддержки хода отработки сценариев нештатных ситуаций, обеспечения получение необходимых для отработки сценариев данных из различных источников, а также формирование итоговой записи.



Рис. 5. Обработка ситуационных сценариев устранения посредством СППР-М

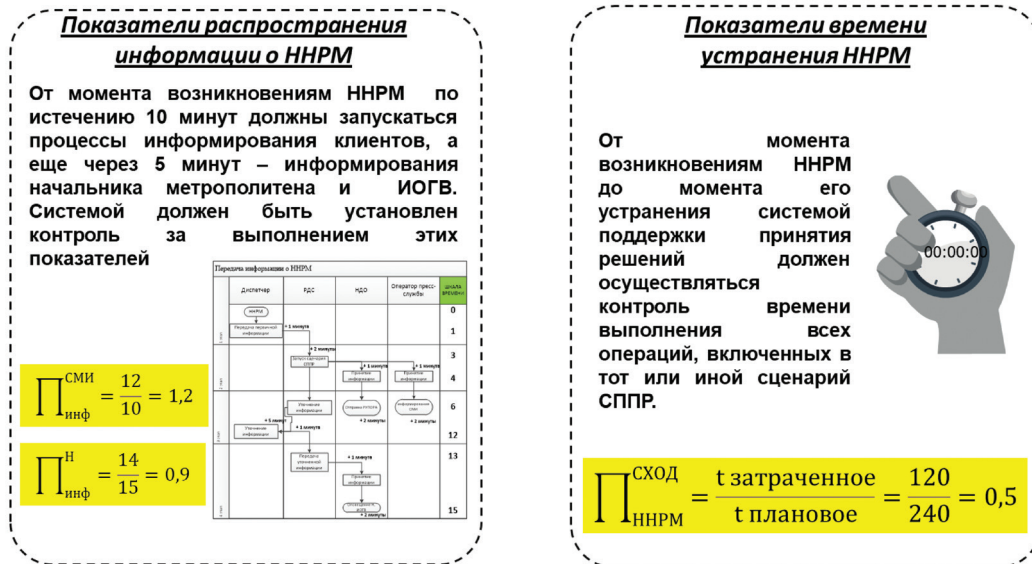


Рис. 6. Показатель распространения информации о нарушении нормальной работы метрополитена (а) и показатель времени устранения последствий нарушения нормальной работы (для случаев схода подвижного состава) (б)

и технологически сложный шаг, направленный на развитие принципиально нового уровня взаимодействия участников перевозочного процесса — взаимодействие в рамках среды общих данных перевозочного процесса (СОДПП), своего рода экосистемы Петербургского метрополитена.

При этом персонал метрополитена обеспечивает хранение и обмен данными об эксплуатируемых объектах и самом перевозочном процессе на всех стадиях жизненного цикла объекта управления метрополитена. Именно создание СОДПП — это тот уровень развития Модели, в котором исключаются все недоработки существующей системы «как есть», а подавляющее большинство процессов «как должно быть» осуществляется с помощью информационно-вычислительных систем.

Развитие СОДПП — это такой этап взаимодействия различных систем, входящих в эту среду, на котором информация становится уже данными, поддающимися обработке и хранению независимо от их объема и количества.

Важнейшим шагом в процессе создания СОДПП является цифровизация всех уровней оперативного управления Петербургского метрополитена, создание его некой «цифровой копии». Это позволит решить ряд задач, направленных на:

- ускорение передачи данных с нулевой вероятностью их искажения;
- переход на безбумажное ведение оперативной деятельности;
- создание базы данных для решения аналитических задач;
- упрощение процесса передачи информации.

Разработка показателей оценки эффективности

После разработки бизнес-процессов необходимо контролировать фактическое достижение их результатов. Для этого на этапе описания бизнес-процесса устанавливается система показателей его оценки, что позволяет:

- оценить достижение результата бизнес-процесса;
- определить проблемные зоны в случае, если результат не достигается;
- определить вклад каждого исполнителя в итоговый результат.

Так, для Модели были получены ключевые показатели и установлены критерии, по которым выполняется оценка эффективности процесса.

Например, показатель распространения информации о нарушении нормальной работы метрополитена (рис. 6, а) определяет эффективность бизнес-процесса информирования пассажиров, властных структур, СМИ и руководителей метрополитена о перерывах в работе, а показатель времени, затраченного на ликвидацию последствий нарушения нормальной работы метрополитена, — эффективность выполнения бизнес-процесса устранения сбоев в работе и возобновления движения (рис. 6, б).

Таким образом, в существующих реалиях процессы диспетчерского управления Петербургским метрополитеном, сформировавшиеся еще с момента его открытия в 1955 г., являются хотя и жизнеспособными, но далеко не оптимальными. Увеличение штата оперативно-диспетчерского персонала для обеспечения выполнения большего количества

функций станет архаичным решением и приведет как к усложнению организационной структуры предприятия, так и к увеличению ее прямых расходов.

Внедрение процессного подхода в этой области с разработкой обозначенной концепции Модели позволяет в сумме осуществить реинжиниринг бизнес-процессов таким образом, чтобы решались задачи по:

- экономии затрат;
- улучшению качества оказания услуг;
- сокращению времени выполнения процессов;
- улучшению организации деятельности;
- повышению контролируемости и прозрачности процессов.

Это, в свою очередь, должно положительно сказаться на выполнении главной функции метрополитена, обозначенной в его миссии: «обеспечение мобильности пассажиров с оптимальными затратами при соблюдении требований безопасности и равной доступности». **Т**

Литература

1. Лем, С. Сумма Технологий / под ред. С. Лема. — АСТ, 2020. — 736 с.
2. Объем данных всего мира: [электронный ресурс]. URL: <https://aboutdata.ru> (дата обращения: 12 мая 2022 г.).
3. Метрополитен Северной столицы (1955–1995) / под ред. В. А. Гарюгина. — СПб, 1995. — 385 с.
4. Автоматизация процессов: [Электронный ресурс]. URL: https://www.kpms.ru/Automatization_Process_automation.htm (дата обращения: 12 мая 2022 г.).

Перспективы использования высокоскоростных электропоездов «Сапсан» увеличенной составности



Р. Е. Парфененко,
студент ФГБОУ ВО
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)



М. Ю. Изварин,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Электротехнические комплексы и системы» ПГУПС

Преодолеть дефицит провозной способности в высокоскоростном сообщении на линии Санкт-Петербург — Москва возможно за счет увеличения числа вагонов в поездах «Сапсан». Это также улучшит показатели работы железной дороги в целом в условиях ограниченного финансирования. Реализация заявленных решений может быть осуществлена силами предприятий железнодорожного транспорта.

В России высокоскоростными считаются поезда, эксплуатируемые со скоростью 200 км/ч и более [1]. Первая коммерческая поездка электропоезда ЭВС1 «Сапсан», произведенного компанией Siemens [2], состоялась 17 декабря 2009 г. по маршруту Санкт-Петербург — Москва. В дальнейшем сеть высокоскоростного железнодорожного сообщения была в нашей стране несколько расширена.

Организация высокоскоростного движения в России имеет следующие особенности:

- эксплуатация осуществляется по общим путям совместно с обычными поездами, специально выделенных линий для скоростного движения нет;
- большая часть используемых линий электрифицирована по системе постоянного тока напряжением 3 кВ;
- скорость движения подвижного состава лимитируется инфраструктурными ограничениями.

Вторая и третья особенности приводят к недоиспользованию скоростных возможностей подвижного состава, поскольку, как показывает практика, эксплуатация при существующей системе электроснабжения возможна до скорости 250 км/ч, а существующие путевые ограничения составляют 200 км/ч на линии Санкт-Петербург — Москва. (Имеются реконструированные участки с ограничением до 220–230 км/ч и до 250 км/ч на участке Мстинский Мост — Окуловка, 140 – 160 км/ч на линии Москва — Нижний Новгород).

Первая же особенность говорит об острой конкуренции за место в графике движения между скоростными, скорыми пассажирскими, пригородными и грузовыми поездами. Известно, что

при запуске «Сапсанов» с линии Санкт-Петербург — Москва было практически полностью выведено грузовое движение и переведено большей частью на Вологодский ход, сокращено пригородное движение под Санкт-Петербургом, кроме того, увеличилось время хода пассажирских поездов по данному участку.

В настоящее время график движения насчитывает здесь 14 ежедневных пар высокоскоростных поездов и 16 по выходным дням. Электропоезда «Сапсан» отправляются парами с разграничением в 10 мин, интервал между парами составляет 2 ч. По этой же линии следуют около 40 пар пассажирских поездов дальнего следования со скоростью до 120–140 км/ч и до 50–55 пар пригородных поездов по участкам Санкт-Петербург — Тосно — Малая Вишера, Москва — Тверь, поддерживающие участковую скорость 50–70 км/ч.

В таких условиях можно говорить о дефиците пропускной и провозной способностей железной дороги. При этом следует отметить, что средняя заполняемость поездов «Сапсан» удерживается на уровне 95 %, а в период повышенного пассажиропотока доходит до 100 %. По данным [3] пассажирские перевозки «Сапсанами» в 2021 г. составили 5,4 млн человек, что более чем в 2 раза превышает отчетные данные по 2010–2011 гг. Анализ, проведенный в работе [4], прогнозирует к 2025 г. рост пассажиропотока на высокоскоростных поездах до 7,31 млн человек, что превышает их максимальную вместимость при существующих размерах движения.

Способы повышения провозной способности линии Санкт-Петербург — Москва

Из вышесказанного следует, что в условиях роста пассажиропотока необходимо



Рис. 1. Схема составности электропоезда ЭВС1 [6]

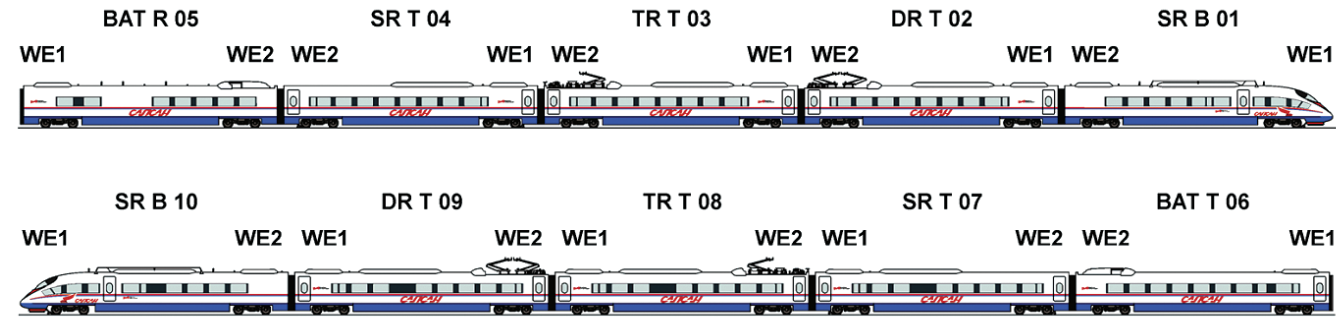


Рис. 2. Схема составности электропоезда ЭВС2 [6]

найти резервы провозной способности высокоскоростных поездов при существующих реальных условиях. Лучшим решением являлось бы строительство выделенной высокоскоростной магистрали (ВСМ), однако реализация данного проекта в условиях современной экономики займет достаточно длительный срок.

Увеличение числа высокоскоростных рейсов по направлению Санкт-Петербург — Москва приведет к еще большей перегрузке линии, снижению скоростей движения обычных поездов, возрастанию оборота локомотивов, возмущениям пользователей пригородного сообщения.

Эксплуатация электропоездов по системе многих единиц означает закупку новых электропоездов, что затруднительно в современных внешнеполитических условиях. Кроме того, движение 20-вагонного состава сильно перегружает тяговые подстанции, вызывает большие потери в контактной сети, вводит дополнительные ограничения по применению мощности подвижного состава [5] и увеличивает неравномерность загрузки рейсов.

Поэтому наиболее перспективным способом повышения провозной способности при использовании существующей инфраструктуры представляется увеличение числа вагонов в электропоезде «Сапсан». Данный метод позволяет сохранить число ниток в графике движения и более гибко рассчитывать потребное число предоставляемых в электропоезде мест. Строительство дополнительных промежуточных вагонов предполагается произвести в России.

Выбор составности электропоезда

Существующая схема состава электропоезда ЭВС1/ЭВС2 «Сапсан» включает 10 вагонов [6]. Данный поезд произведен на базе платформы Velaro. Основные концепции, принятые при его создании следующие:

- мотор-вагонная (распределенная) тяга, при которой силовое электрооборудование размещается равномерно по всем вагонам, а не в отдельном локомотиве;
- модульность размещения оборудования, все силовые элементы объедине-

ны в блоки и контейнеры, размещенные в крышном и подпольном пространствах, что создает удобство при техническом обслуживании и ремонте;

- асинхронный тяговый привод с подвешиванием 2-го класса (опорно-рамное подвешивание двигателя и опорно-осевое редуктора);
- частотное управление тягой и торможением при помощи полупроводниковых преобразователей, собранных на базе IGBT-транзисторов.

Существуют два типа электропоездов «Сапсан»: ЭВС1 — для линий постоянного тока и ЭВС2 — двухсистемный, имеющий дополнительное оборудование для движения на линии переменного тока напряжением 25 кВ. Схема формирования электропоезда представлена на рис. 1, 2. Функциональное назначение каждого вагона приведено в табл. 1.

Предлагается увеличить составность электропоезда до 12 вагонов путем добавления двух промежуточных вагонов: одного моторного по типу SR T 04 и одного дроссельного по аналогии с DR T 02.

Таблица 1. Функциональное назначение вагонов поезда ЭВС1/2

Обозначение вагона	Размещенное электрооборудование
SR B01 / SR B10	4 тяговых двигателя, тяговый преобразователь
DR T 02 / DR T 09	Быстродействующий выключатель, сетевой фильтр, 2 токоприемника постоянного тока
TR T 03 / TR T 08	Главный трансформатор, токоприемник переменного тока, главный выключатель, преобразователь собственных нужд
MW T 03 / MW T 08	Преобразователь собственных нужд
SR B04 / SR B07	Тяговые двигатели, тяговый преобразователь
BAT R05 / BAT R06	Аккумуляторная батарея, сдвоенный преобразователь собственных нужд, тормозные резисторы

Изменения в структуре электропоезда при увеличении числа вагонов

Разработанная для 12-вагонного электропоезда схема силовых цепей дополнительно включает:

- токоприемник постоянного тока (на дополнительном вагоне DR T 12);
- сетевой фильтр (на вагоне DR T 12);
- быстродействующий выключатель (на вагоне DR T 12);
- один тяговый преобразователь

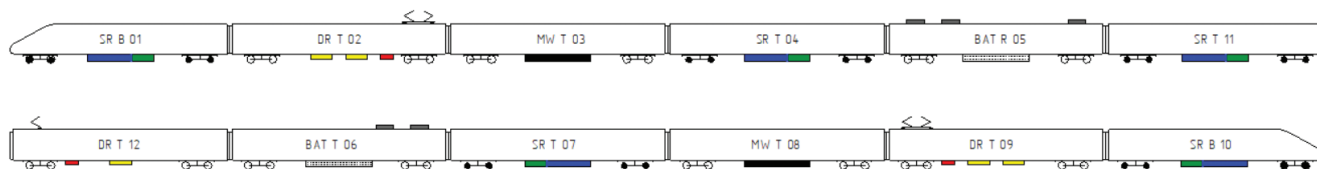


Рис. 3. Схема составности 12-вагонного электропоезда постоянного тока

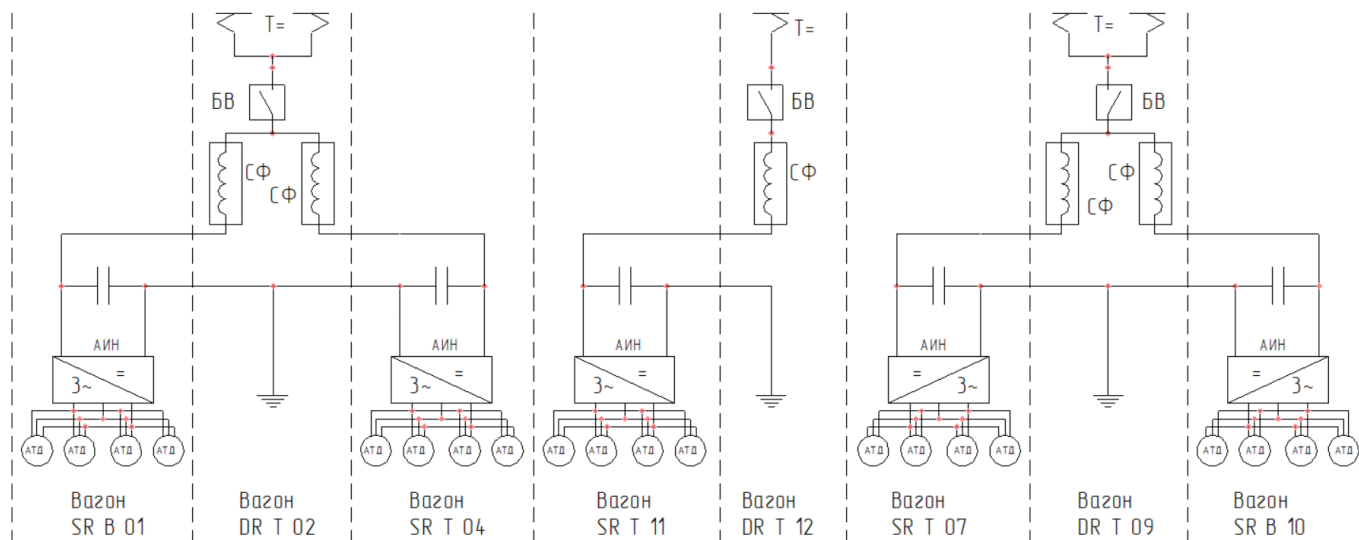


Рис. 4. Схема питания тяговых двигателей 12-вагонного электропоезда на постоянном токе: на схеме обозначены: Т — токоприемник; БВ — быстродействующий выключатель; СФ — сетевой фильтр; АИН — автономный инвертор напряжения; АТД — асинхронный тяговый двигатель

(на вагоне SR T 11);

- четыре тяговых двигателя (на дополнительном моторном вагоне SR T 11);
- два обогревательных элемента (на двух включенных вагонах);
- один тормозной резистор (на вагоне BAT R05).

Схема формирования 12-вагонного электропоезда будет иметь вид, представленный на рис. 3.

На схеме прямоугольниками обозначено основное силовое оборудование, расположенное в контейнерах:

- черным — преобразователь собственных нужд;
- синим — тяговый преобразователь;
- красным — быстродействующий выключатель;
- желтым — дроссель сетевого фильтра;
- серым — тормозной резистор (на крыше аккумуляторных вагонов);
- штриховым — аккумуляторная батарея;
- моторные колесные пары закрашены черным цветом.

Мощность электропоезда при данной модернизации считается по формуле:

$$P_{12-ваг} = P_{ЭВС} \cdot N_{д}^{12-ваг} / N_{д}^{ЭВС} = 8000 \cdot 20 / 16 = 10\,000 \text{ кВт},$$

где $P_{ЭВС}$ — мощность электропоезда «Сапсан»;

$N_{д}^{12-ваг}$ — число тяговых двигателей 12-вагонного поезда;

$N_{д}^{ЭВС}$ — число тяговых двигателей поезда ЭВС1/2.

Подобное увеличение мощности следует признать оптимальным, поскольку даже при встречном движении электропоездов нагрузка на существующие тяговые подстанции не превысит допустимого значения [7].

Поскольку при увеличении мощности будет расти потребляемый из контактной сети ток, в схеме 12-вагонного поезда предусмотрен дополнительный токоприемник постоянного тока. Соответственно движение на линии постоянного тока будет осуществляться с тремя поднятыми токоприемниками, а токовая нагрузка не превысит расчетное значение для токоприемников серии 8WLO 139–6YH42–2.

Токовая нагрузка на токоприемники переменного тока не столь велика. Расчетами установлено, что даже при 12-вагонной составности и увеличении мощности тяговых двигателей до 592 кВт качественный токосъем обеспечивается при одном поднятом токоприемнике, расчетный ток не превышает 700 А.

Схема питания тяговых двигателей 12-вагонного электропоезда в односистемном варианте показана на рис. 4.

Для реализации двухсистемной версии 12-вагонного электропоезда с пятью моторными вагонами потребуются увеличить мощность трансформатора для питания большего количества тяговых преобразователей, что приведет к необходимости проектирования нового трансформатора и дополнительным капитальным затратам. Размещение дополнительного 3-го трансформатора в двух включаемых вагонах затруднительно и означает повышенную нагрузку на ось, да и, к тому же, нецелесообразно, ввиду несимметричности 12-вагонной компоновки состава.

Учитывая факт отсутствия в России участков эксплуатации железных дорог с ограничением скорости более 160 км/ч, электрифицированных на переменном токе, можно считать, что четырех имеющихся моторных вагонов в двухсистемном 12-вагонном электропоезде достаточно для работы на таких маршрутах как Санкт-Петербург — Нижний Новгород и тому подобных. Кроме того, электропоезд ЭВС2 имеет достаточно большой запас по мощности и способен обеспечить равномерное движение со скоростью 200 км/ч даже при увеличенной массе. Несколько снизится ускорение при разгоне, но при современной эксплуатации это не критично.

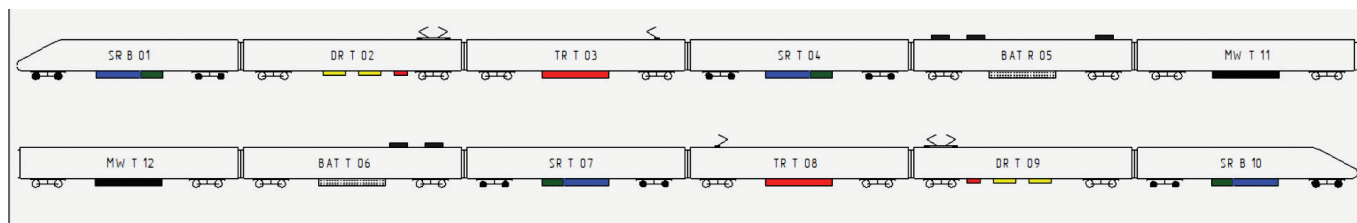


Рис. 5. Схема составности 12-вагонного электропоезда двойного питания

В таком случае схема формирования двухсистемного 12-вагонного электропоезда будет дополнительно включать два вагона типа MW T (прицепные вагоны, содержащие вспомогательное оборудование) в соответствии с рис. 5.

Оранжевыми прямоугольниками на рисунке показаны тяговые трансформаторы.

Схема питания тяговых двигателей на переменном токе приведена на рис. 6.

На рис. 7 представлены тяговые характеристики, рассчитанные для 12-вагонного электропоезда с четырьмя моторными вагонами. Как из него видно, на равнинном участке поезд сможет разогнаться до конструкционной скорости 250 км/ч, на подъеме крутизной 10 ‰ установившаяся скорость при максимальной мощности составит 215 км/ч.

Другие варианты формирования электропоездов увеличенной составности

Современный мировой опыт эксплуатации мотор-вагонного подвижного состава говорит о возможности вариации числа вагонов в составе одного и того же поезда, что позволяет гибко регулировать пассажиропоток на различных направлениях в разные периоды года.

В высокоскоростном движении, как правило, принимается постоянное формирование поезда, однако при разработке электропоезда AGV французской компании Alstom была изначально заложена возможность изменения составности при сохранении тяговых свойств подвижного состава. У данной серии электропоездов такая возможность имеется благодаря «триплетной» компоновке состава [8].

«Триплетом» у AGV является 3-вагонная группа, состоящая из одного трансформаторного вагона и двух с преобразователями и тяговыми двигателями. Вариация составности при этом осуществляется путем изменения числа «триплетов» в поезде, а также включения дополнительных вагонов, которые могут вмещать вспомогательное оборудование, такое как преобразователи собственных нужд или аккумуляторная батарея.

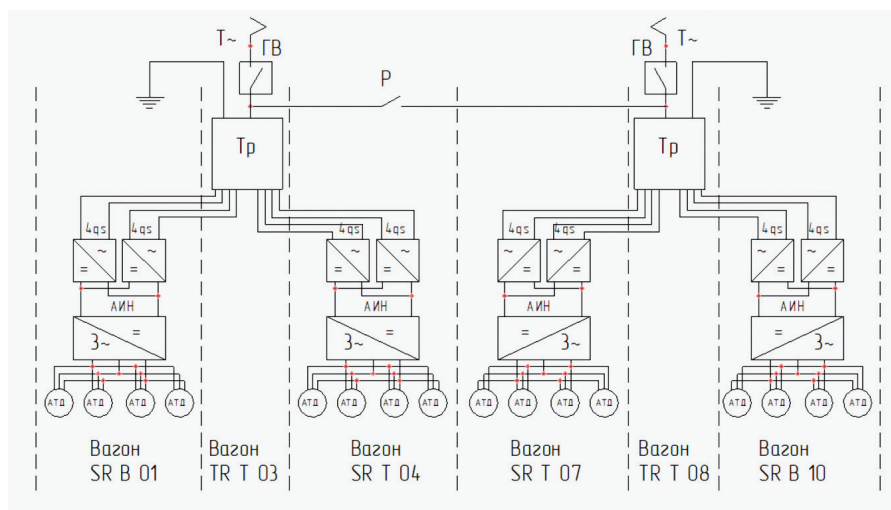


Рис. 6. Схема питания тяговых двигателей 12-вагонного электропоезда на переменном токе: на схеме обозначены: ГВ — главный выключатель; Р — сетевой разъединитель; Тр — тяговый трансформатор; 4qs — в режиме тяги преобразует переменное напряжение вторичной обмотки трансформатора в выпрямленное стабилизированное 3000 В

В компоновке электропоездов Velaro прослеживается схожая концепция [9], следовательно, увеличить число вагонов можно путем добавления целой секции, имеющей полный комплект основного силового оборудования, необходимого для самостоятельной реализации силы тяги/торможения. В таком случае необходимо будет включить группу, содержащую промежуточные вагоны типа TR T (трансформаторный, для линий переменного тока), SR T (моторный, необходимый для пропорционального увеличения мощности поезда), DR T (дроссельный, для питания моторного вагона на постоянном токе). Дополнительно можно включать прицепные вагоны по типу MW T или BAT R/T либо увеличивать мощность

вспомогательного оборудования в уже имеющихся секциях.

Данный способ имеет свои плюсы, поскольку нет необходимости изменения параметров силового оборудования имеющихся вагонов. Таким путем при добавлении одной моторной секции можно сформировать поезд из 13, 14 либо 15 вагонов.

Энергетика электропоезда с увеличенным числом вагонов

Согласно теории [10], увеличение числа вагонов в составе поезда положительно влияет на его энергетические показатели, поскольку лобовая и кормовая составляющие сопротивления движению остаются неизменными, следовательно,

Таблица 2. Результаты тяговых расчетов для электропоездов

Параметр	12 вагонов
Время хода, чч: мм.сс	2:38.48
Установившаяся скорость, км/ч	250
Расход электроэнергии на тягу, кВт·ч	14736
Возврат электроэнергии при рекуперации, кВт·ч	441
Результирующий расход электроэнергии, кВт·ч	14295
Техническая скорость, км/ч	245,7
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/(т·км)	0,0278
Расход электроэнергии на 1 место-км	0,030

Таблица 3. Энергоэффективность высокоскоростных электропоездов

Тип поезда и год начала эксплуатации	TGV Réseau, 1992	Class 373 Eurostar, 1993	TGV Duplex, 1997	Shinkansen 700 Series, 1998	Class 390 Pendolino, 2003	AGV 2008	ЭВС 1 (ЭВС2), 2009	ЭВС1 (ЭВС2) (12-вагонный)
Страна эксплуатации	Франция	Великобритания – Франция	Франция	Япония	Великобритания	Франция	Россия	Россия
Скорость, км/ч	300	300	300	300	200	300	250	250
Вместимость, мест	377	750	545	1323	439	650	604	736
Длина, м	200	394	200	400	215	250	250	300
Составность, ваг.	10	20	10	16	9	14	10	12
Масса, т	386	723	384	634	460	510	656 (672)	792 (792)
Масса метра поезда, т	1,93	1,84	1,92	1,59	2,14	2,04	2,62 (2,68)	2,64 (2,64)
Масса поезда на пасс. место, т	1,02	0,96	0,7	0,48	1,05	0,78	1,08 (1,11)	1,08 (1,08)
Уд. энергопотребление, кВт·ч/место·км	0,039	0,041	0,037	0,029	0,033	0,033	0,034	0,030 (0,031)

снижается удельное сопротивление движению. Для электропоезда Velaro выведена следующая формула для определения удельных сил сопротивления:

$$\omega_0(V) = 0,729 + 0,005V + \left(0,000093 + \frac{0,00031}{n_{\text{ваг}}}\right) \cdot V^2,$$

где V — скорость движения поезда;
 $n_{\text{ваг}}$ — число вагонов в составе.

Помимо этого, следует учитывать, что увеличивается число предоставляемых пассажирских мест, причем, как правило, вместимость промежуточных вагонов больше, чем головных, потому число пассажиров вырастает в большее количество раз, нежели масса состава. Так, например, расчетная масса 10-вагонного электропоезда ЭВС2 составляет 672 т, пассажировместимость — 604 человека; служебный вес 12-вагонного состава 792 т, вместимость — 736 мест.

При помощи компьютерного моделирования в программе Matlab Simulink проведены тяговые расчеты по участку длиной 650 км для 12-вагонного электропоезда. Результаты приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены статистические данные анализа энергопотребления высокоскоростных поездов различных серий по годам выпуска по информации компаний-производителей и эксплуатантов (Virgin, Eurostar, Systra, Alstom), а также управления по безопасности и стандартизации на железных дорогах (Rail Safety & Standards, RSSB) и Международного союза железных дорог (Union Internationale des Chemins de fer, UIC) [11–15]. В последнем столбце даны результаты моделирования для перспективного 12-вагонного электропоезда «Сапсан».

Как видно из табл. 3, увеличение числа вагонов в электропоезде положительно повлияет на удельное энергопо-

требление и будет сопоставимо с таковым для мировых лидеров по энергоэффективности.

Экономический эффект от увеличения составности электропоезда

Увеличение числа вагонов также оказывает положительное влияние на себестоимость технического обслуживания и ремонта подвижного состава, поскольку при повышении мощности предприятия (в нашем случае эксплуатационного депо «Металлострой») растут только переменные расходы (на материалы, оплату труда работников), а условно-постоянные остаются на прежнем уровне (амортизационные отчисления на обслуживание зданий и т. д.) [16]. Кроме того, остается неизменным штат локомотивных бригад.

С экономической точки зрения, наиболее важным является рост прибыли в результате увеличения объема перевозок. Произведен расчет годового экономического эффекта от увеличения числа вагонов электропоезда «Сапсан» по элементам затрат, в котором было учтено:

- увеличение выручки от продажи билетов при 95 % заполняемости рейса;
- рост расхода электроэнергии на тягу одного поезда;
- повышение стоимости технического обслуживания по части зависящих расходов.

Расчет произведен на основании данных о стоимости билетов, существующих тарифов на электроэнергию и ставок обслуживающего персонала депо. Приведем результаты расчета экономического эффекта:

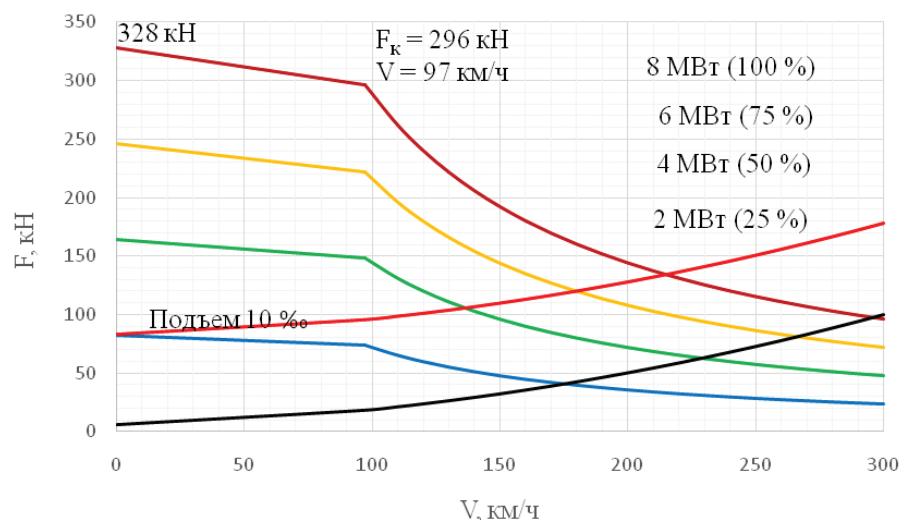


Рис. 7. Тяговые характеристики и кривые сопротивления 12-вагонного электропоезда двойного питания



ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН

Увеличение выручки с продажи билетов, млн руб	6217,344
Рост затрат по электроэнергии на тягу, млн руб	81,848
Увеличение стоимости ремонта, млн руб	9,651
ИТОГО, млн руб	6125,845

Заключение

Таким образом, применение высокоскоростных электропоездов «Сапсан» повышенной составности окажет положительное влияние на его технико-экономические показатели, позволит увеличить провозную способность в высокоскоростном сообщении по направлению Санкт-Петербург — Москва не менее чем на 22 %, улучшит качество обслуживания пассажиров, снизит удельные эксплуатационные затраты при использовании существующей инфраструктуры. Реализация подобного проекта с технической точки зрения возможна, поскольку для этого имеется необходимая научная база.

Годовой экономический эффект после внедрения 12-вагонных поездов взамен существующих 10-вагонных составит 6125,845 млн руб., что доказывает эффективность увеличения числа вагонов в составе высокоскоростных поездов. ■

Литература

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. — М, 2022.
2. Гапанович, В. А. Высокоскоростной подвижной состав: учеб. пособие / В. А. Га-

- панович. — СПб.: ОАО «Типография «НП-Принт», 2014. — 304 с.
3. СП 119.13330.2012. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализир. ред. СНиП 32-01-95. — Утв. Министерством регионального развития РФ № 276 от 30 июня 2012 г. — М.: ФАУ «ФЦС», 2012. — 52 с.
4. Бушуев Н. С. Анализ динамики пассажиропотока поездов «Сапсан» и авиационного транспорта на линии «Москва—Санкт-Петербург» до 2025 г.
5. Володин С. В. Электрические железные дороги: учеб. пособие / С. В. Володин, В. В. Иванов. — М.: ФГОУ УМЦ ЖДТ, 2010. — 356 с.
6. Ширяев А. В. Высокоскоростные поезда «Сапсан» В1 и В2: учеб. пособие / А. В. Ширяев. — М.: ОАО «Российские железные дороги», 2013. — 522 с.
7. Пышкин А. А. Электроснабжение железных дорог: учеб. пособие / А. А. Пышкин. — Екатеринбург: УрГУПС, 2016. — 373 с.
8. Ефремов, А. Ю. AGV — высокоскоростной электропоезд нового поколения / А. Ю. Ефремов // Железные дороги мира. — 2009. — № 1. — С. 51–57.
9. Гапанович, В. А. Технические особенности высокоскоростного поезда Velaro RUS / В. А. Гапанович // Техника железных дорог. — 2009. — № 5. — С. 8–20.
10. Исаев, И. П. Теория электрической тяги / И. П. Исаев, В. Е. Розенфельд, Н. Н. Сидоров, М. И. Озеров. — М.: Транспорт, 1995. — 294 с.
11. Титова, Т. С. Оценки энергоэффективности работы железнодорожного тран-

- спорта применением специализированных удельных единиц измерения / Т. С. Титова, А. М. Евстафьев, М. Ю. Изварин, М. В. Евстафьева // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2017. — Т. 14. — Вып. 1. — С. 119–126.
12. Сравнение воздействия на окружающую среду традиционного и высокоскоростного железнодорожного транспорта: отчет компании Network Rail (Великобритания). — 2010. — 60 с.
13. Потребление энергии и воздействие CO₂ от высокоскоростного железнодорожного транспорта: аналитический отчет ассоциации компаний-операторов поездов Великобритании (АТОС). — 2009. — 29 с.
14. Железнодорожный справочник 2015. Энергопотребление и выбросы CO₂ // Международное энергетическое агентство: [электронный ресурс]. — URL: <http://www.iea.org/> (дата обращения 20.12.2016).
15. Школьников, Е. Н. Коммерческий учет электрической энергии на электроподвижном составе / Е. Н. Школьников, В. Т. Черемисин, С. Ю. Ушаков // Железнодорожный транспорт. — 2016. — № 8. — С. 50–54.
16. Смехова, Н. Г. Издержки и себестоимость железнодорожных перевозок: учеб. пособие / Н. Г. Смехова и др.; под ред. Н. Г. Смеховой и Ю. Н. Кожевникова. — М.: ФГБОУ «Учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. — 472 с.

Методика расчета коэффициента сцепления локомотивного колеса с рельсом в вероятностной постановке



О. С. Валинский,
заместитель генерального
директора — начальник
Дирекции тяги
ОАО «РЖД»



А. А. Воробьев,
д-р техн. наук, заведующий
кафедрой «Наземные
транспортно-техно-
логические комплексы»
ФГБОУ ВО «Петербургский
государственный универ-
ситет путей сообщения
Императора Александ-
ра I» (ПГУПС)

Проблема сцепления колес локомотива с рельсами, возникающая с момента появления первого паровоза, является одной из важнейших на железнодорожном транспорте. От обоснованности и полноты ее решения зависят не только основные технико-экономические показатели работы железных дорог, но и безопасность движения поездов.

Качество сцепления ведущего колеса локомотива с рельсом оценивается величиной коэффициента сцепления, на которую влияет целый ряд факторов [1, 2].

В настоящее время безальтернативным способом повышения сцепления колес локомотива в сложных эксплуатационных условиях является противобуксовочная система на основе использования песка и системы его подачи под колесо (песочницы).

Аспекты применения песка в целях повышения сцепления исследовались многими учеными, однако до сих пор не существует единой точки зрения на механизм трения при наличии твердых частиц (в том числе и песка) в зоне контакта колеса и рельса [3]. В связи с этим использование других абразив-

ных материалов — мраморной крошки, размоленного доменного шлака, окиси алюминия и твердых материалов [4] — не нашли широкого применения, так как по стоимости песок является наиболее предпочтительным.

Перспективным направлением проектных разработок в области применения различных материалов для повышения сцепления колеса с рельсом является использование специальных материалов — модификаторов трения, в виде формованных активирующих трение элементов. Это требует разработки специальных устройств, устанавливаемых на локомотивах или подвижных транспортных средствах [5–7].

Применение элементов, активирующих трение до 0,4–0,6 ед., весьма востребовано для локомотивов большой мощности с высоким коэффициентом сцепления, используемых в тяжеловесном движении.

Основные факторы, влияющие на сцепление колеса с рельсом, можно условно разделить на три группы (рис. 1): внутренние, внешние и зависящие от локомотивной бригады.

Даже в лабораторных условиях коэффициент сцепления является случайной величиной, измеренные значения которой лежат в интервале 0,34–0,42. Истинные значения будут отличаться от измеренных на величину погрешности измерения [8]. Прибор TRB относится к высокоточному измерительному оборудованию, позволяющему определить коэффициент сцепления с погрешностью $\pm 3\%$. Поэтому лабораторный коэффициент сцепления f_L будет лежать в диапазоне

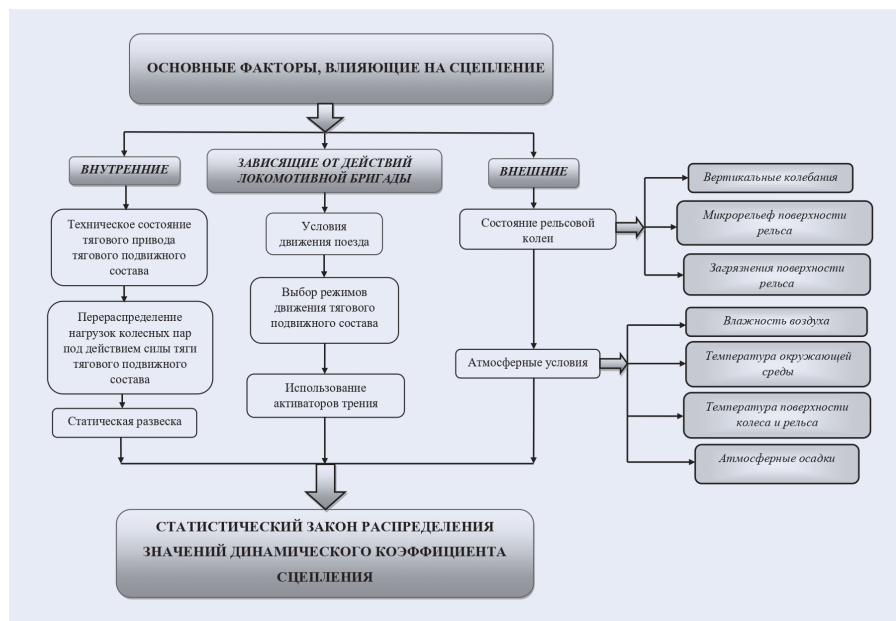


Рис. 1. Структурная модель процесса сцепления колеса с рельсом

$$f_L \in [(1-k_T) \cdot f_{L\min}; (1+k) \cdot f_{L\max}], \quad (1)$$

где $f_{L\min}, f_{L\max}$ — минимальный и максимальный измеренный при испытаниях коэффициент трения ($f_{L\min} = 0,34$; $f_{L\max} = 0,42$); k_T — коэффициент, учитывающий точность измерения. При использовании прибора TRB $k_T = 0,03$ (при применении другого оборудования данную величину необходимо откорректировать).

Подставляя данные в формулу (1), получаем, что лабораторный коэффициент сцепления лежит в диапазоне 0,33–0,433. При переходе от лабораторных условий к системе «колесо–рельс» лабораторный коэффициент умножается на величину коэффициента перехода $K_p = 1,087$. Важно отметить, что она получена для определенных твердостей колеса и рельса, а также геометрических параметров системы «колесо–рельс». При других значениях твердости и геометрических параметрах величину переходного коэффициента необходимо скорректировать.

Коэффициент сцепления в системе «колесо–рельс» $f_{кр}$ будет находиться в диапазоне

$$f_{кр} \in [K_p \cdot (1-k) \cdot f_{L\min}; K_p \cdot (1+k) \cdot f_{L\max}]. \quad (2)$$

Так как на коэффициент сцепления $f_{кр}$ влияют много не связанных друг с другом факторов, можно принять, что случайная величина $f_{кр}$ описывается нормальным законом распределения [9].

Случайная величина характеризуется метаматематическим ожиданием m_f и среднеквадратическим отклонением от метаматематического ожидания σ_f .

Математическое ожидание m_f определяется по формуле

$$m_f = \frac{[K_p \cdot (1-k) \cdot f_{L\min} + K_p \cdot (1+k) \cdot f_{L\max}]}{2} \quad (3)$$

Так $f_{кр}$ описывается нормальным законом распределения, среднеквадратическое отклонение σ_f найдем, используя правило «трех сигм» [9]:

$$\sigma_f = \frac{[K_p \cdot (1+k) \cdot f_{L\max} - K_p \cdot (1-k) \cdot f_{L\min}]}{6}. \quad (4)$$

Подставляя данные в формулы (3) и (4), получаем $m_f = 0,4144$, $\sigma_f = 0,018624$.

К наиболее существенным факторам, влияющим на коэффициент сцепления кроме твердости материалов и геометрических параметров в системе «колесо–рельс» относятся относительная скорость проскальзывания ε_x колеса по рельсу в точке контакта и климатические факторы, определяющиеся прежде всего наличием загрязнений на рельсах.

При качении колеса по рельсу в точке контакта обязательно имеет место относительное проскальзывание точек на площадке контакта колеса и рельса. Чистое качение без проскальзывания физически не реализуемо [2]. Проскальзывание характеризуется относительной скоростью проскальзывания ε_x

$$\varepsilon_x = \frac{u_x}{V}, \quad (5)$$

где u_x — скорость скольжения колеса по рельсу в продольном направлении; V — скорость движения локомотива.

Сила тяги, реализуемая одним колесом F_T , возникает в точке контакта колеса с рельсом и определяется по формуле [10]

$$F_T = k \cdot \varepsilon_x \text{ при } F_T \leq f_{кр} \cdot P, \quad (6)$$

$$k = 800 \cdot \sqrt{P \cdot R}, \quad (7)$$

где k — коэффициент крипа (тс), определяемый в соответствии с теорией Картера [11] по формуле (7); P — нагрузка на колесо, тс; R — радиус колеса, м.

Мощность, развиваемая локомотивом N , определяется по формуле:

$$N = F_T \cdot V = \frac{k \cdot u_x}{V} \cdot V = k \cdot u_x. \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что нулевой скорости проскальзывания соответствует нулевая мощность, развиваемая локомотивом, а это показывает физическую невозможность качения колес локомотива без проскальзывания.

В отличие от нетягового подвижного состава, у которого скольжение колес по рельсам вызвано прежде всего извилистым движением колесной пары, у локомотивов значительное влияние на скольжение колес по рельсам оказывают разница диаметров колесных пар и расхождение частот вращения тяговых электродвигателей. Дополнительное влияние оказывают кинематическая точность и плавность работы тяговой передачи.

В соответствии с ГОСТ 2582–2013 [12] допустимые отклонения частот вращения якорей новых двигателей составляют $\pm 3\%$. Эти же требования предъявляются к тяговым двигателям и при ремонте. То есть на одном локомотиве частоты вращения колесных пар могут отличаться друг от друга на 6%.

Разность диаметров колес в эксплуатации у грузовых электровозов может составлять 15 мм, что приводит к относительной скорости проскальзывания $\varepsilon_x = 0,014$ (1,4%).

Влияние на скольжение колес по рельсам у локомотивов оказывают также неравенство диаметров колес у одной колесной пары, неточность установки колесных пар в тележке и извилистое движение колесной пары (вызвано конической формой поверхности катания и зазором между гребнем колеса и головкой рельса).

Как видно, относительная скорость проскальзывания колес по рельсам для локомотивов является случайной величиной, которая может изменяться в достаточно широких пределах в зависимости от фактических параметров локомотива.

В работе [13] приведена зависимость коэффициента сцепления в системе «колесо–рельс» от относительной скорости проскальзывания. Вначале при малых значениях относительной скорости проскальзывания $\varepsilon_x = 0,5–0,8\%$ коэффициент сцепления растет прямо пропорционально ε_x , далее при относительной скорости скольжения от 0,5–0,8 до 1,5–2% линейная зависимость нарушается, хотя коэффициент сцепления остается высоким. Он растет до максимального значения при $\varepsilon_x = 1,0–1,2\%$, затем начинает уменьшаться. При дальнейшем росте ε_x величина коэффициента сцепления снижается. Это может приводить к значительной потере сцепления — вплоть до интенсивного проскальзывания, которое называется боксованием.

В работе [14] зависимость силы сцепления F_k от относительной скорости скольжения описывается формулой

$$F_k = a \cdot F_{TP} \cdot \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{кр}} \right)^b e^{-c \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{кр}}} \quad (9)$$

$$F_{TP} = f_{кр} \cdot P, \quad (10)$$

где a, b, c — коэффициенты, которые определяются условиями контакта колеса с рельсом; $\varepsilon_{кр}$ — критическая величина относительной скорости проскальзывания, при $\varepsilon_x \geq \varepsilon_{кр}$ возможно возникновение и развитие боксования колесной пары; P — статическая нагрузка на колесо; $f_{кр}$ — номинальное значение коэффициента сцепления в системе «колесо–рельс» (коэффициент сцепления без учета проскальзывания в системе «колесо–рельс»).

Значение коэффициентов a, b, c и $\varepsilon_{кр}$ для различных условий контакта колеса и рельса [14] приведено в табл. 1.

Если разделить обе части формулы (9) на величину статической нагрузки на колесо, получим формулу для коэффициента

ента сцепления f_k в конкретных условиях контакта колеса с рельсом в зависимости от относительной скорости проскальзывания и номинального значения коэффициента сцепления:

$$f_k = a \cdot f_{kp} \cdot \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{kp}} \right)^b e^{-\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{kp}}} \quad (11)$$

Важно отметить, что при $\varepsilon_x = 0$ $f_k = 0$. То есть при нулевой относительной скорости проскальзывания коэффициент сцепления равен нулю.

Определим, как влияет скольжение в системе «колесо–рельс» на величину максимально возможного значения коэффициента сцепления при различных условиях эксплуатации. Установим максимум функции, определяемой формулой (11):

$$\frac{\partial f_k}{\partial \varepsilon_x} = \frac{a \cdot f_{kp}}{\varepsilon_x^b} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{kp}}} \cdot \varepsilon_x^{b-1} \left(b - \varepsilon_x \cdot \frac{c}{\varepsilon_{kp}} \right) = 0, \quad (12)$$

$$\varepsilon_x^{\max} = \frac{b \cdot \varepsilon_{kp}}{c}, \quad (13)$$

$$f_k^{\max} = a \cdot f_{kp} \cdot \left(\frac{b}{c} \right)^b e^{-b}, \quad (14)$$

где $\varepsilon_x^{\max}$ — значение ε_x , при котором достигается максимум выражения (11); $f_k^{\max}$ — максимальное значение коэффициента сцепления в системе «колесо–рельс».

Разделим выражение (14) на f_{kp} и получим, какую долю составляет максимально возможный коэффициент сцепления в конкретных условиях от номинального значения:

$$\frac{f_k^{\max}}{f_{kp}} = a \cdot \left(\frac{b}{c} \right)^b \cdot e^{-b}. \quad (15)$$

Результаты расчета по формуле (15) для условий эксплуатации принимаемых в соответствии с табл. 1, приведены в табл. 2. Как из нее видно, скольжение колес по рельсам существенно влияет на коэффициент сцепления.

В формулах (9)–(14) величина ε_x должна быть больше или равна нулю. Поэтому, строго говоря, ε_x является абсолютной величиной относительной скорости проскальзывания. Из вышеизложенного следует, что ε_x является случайной величиной. Так как $\varepsilon_x \geq 0$, в качестве закона ее распределения рекомендуется использовать логарифмически нормальный закон или закон Рэлея [15]. Тогда плотность распределения случайной величины ε_x будет определяться формулой [16]:

$$(\varepsilon_x) = \frac{\varepsilon_x}{d^2} e^{-\frac{\varepsilon_x^2}{2d^2}}, \quad \varepsilon_x \geq 0, \quad (16)$$

$$0, \quad \varepsilon_x < 0$$

Как видно из формулы (16), распределение Рэлея достаточно простое и определяется одним параметром d . Найдем его на основе результатов экспериментального определения относительной скорости проскальзывания для колес локомотивов.

В работе [17] получено, что при реализации максимального касательного усилия $\varepsilon_x = 1,9 \div 2,35\%$. В [18] установлено, что для грузового электровоза среднее значение относительной скорости проскальзывания составляет 0,85 %. Существенный разброс в значениях относительной скорости проскальзывания вызван значительным количеством факторов, влияющих на величину скольжения. Определим параметр d , исходя из того, что математическое ожидание для случайной величины ε_x составляет 0,0085 (0,85 %). Для случайной величины, распределенной по закону Рэлея, математическое ожидание $M[\varepsilon_x]$ находится по формуле

Таблица 1. Зависимость коэффициентов в формуле (9) от условий контакта колеса и рельса

Условия контакта колеса с рельсом	a	b	c	ε_{kp}
Сухой чистый рельс с подачей песка	0,88454	0,41034	0,40645	0,032
Сухой обезжиренный рельс	0,72771	0,28755	0,28888	0,032
Сухой чистый рельс	0,71693	0,37933	0,37605	0,033
Мокрый рельс с подачей песка	0,62734	0,38389	0,37349	0,027
Чистый рельс, политый водой	0,35161	0,32744	0,33716	0,045
Рельс, покрытый тонким слоем загрязнений	0,24823	0,43601	0,43151	0,026

$$M[\varepsilon_x] = d \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}. \quad (17)$$

Выражая параметр d , из формулы (17) имеем, что:

$$d = M[\varepsilon_x] \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}}. \quad (18)$$

Подставляя данные в формулу (18), получаем, что параметр $d = 0,006782$.

Таким образом, коэффициент сцепления f_k будет определяться двумя случайными величинами f_{kp} и ε_x , распределенными по нормальному закону и закону Рэлея.

Для определения математического ожидания и среднеквадратического отклонения функции f_k представим выражение (11) как произведение двух случайных функций F и E :

$$f_k = F \cdot E, \quad (19)$$

$$E = a \cdot \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{kp}} \right)^b e^{-\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{kp}}}, \quad (20)$$

$$F = f_{kp}, \quad (21)$$

где F — линейная функция; E — нелинейная. Для расчета статистических характеристик функции f_k можно или воспользоваться точными формулами для нахождения числовых характеристик функций случайных величин [9], или использовать метод линеаризации функций случайных аргументов.

Точные формулы для нахождения числовых характеристик функций случайных величин позволяют определить статистические характеристики с высокой точностью, но приводят к сложным математическим выражениям, которые трудно использовать при практических расчетах, поэтому на практике в инженерных расчетах этот метод используется редко.

Методом линеаризации функций случайных аргументов можно получить гораздо более простые выражения для характеристик функций случайных величин, которые можно использовать для инженерных расчетов. Данный метод основан на том, что любая непрерывная дифференцируемая функция в достаточно узких пределах изменения аргументов может быть приближенно заменена линейной (линеаризована). Ошибка, возникающая в этом случае, тем меньше, чем уже границы изменения аргументов и чем ближе функция к линейной.

Определим характеристики функции f_k точными методами и методом линеаризации. Если математическое ожида-

ние и среднее квадратическое отклонение, вычисленное методом линеаризации, расходится с полученным точным методом не более чем на 10 %, то для расчетов будем использовать метод линеаризации.

Линеаризовать необходимо только функцию E (формула (19)), функция F линейная. Функция E определяет зависимость коэффициента сцепления от относительной скорости проскальзывания ε_x , которая является случайной величиной, распределенной по закону Рэлея ($\varepsilon_x \geq 0$).

Математическое ожидание для функции E будет определяться по формуле

$$M[E(\varepsilon_x)] = \int_0^{\infty} E(\varepsilon_x) \cdot f(\varepsilon_x) \cdot d\varepsilon_x. \quad (22)$$

Подставляя в формулу (22) выражения (16) и (20), получаем:

$$M[E(\varepsilon_x)] = \frac{a}{d^2 \cdot \varepsilon_k^b} \int_0^{\infty} \varepsilon_x^{b+1} \cdot e^{-\left(\frac{c \cdot \varepsilon_x}{\varepsilon_k} + \frac{\varepsilon_x^2}{2d^2}\right)} \cdot d\varepsilon_x. \quad (23)$$

Данный интеграл не выражается в классе элементарных функций, но может быть определен численно. В настоящее время существует большое количество разнообразного программного обеспечения, позволяющего вычислить определенный интеграл (например, пакеты прикладных программ Maple, MathLab, MathCad).

Для вычисления математического ожидания линеаризованной функции надо в формулу (20) вместо случайной величины ε_x подставить ее математическое ожидание $M[\varepsilon_x] = 0,0085$:

$$M[E(\varepsilon_x)] = a \cdot \left(\frac{M[\varepsilon_x]}{\varepsilon_k}\right)^b \cdot e^{-\frac{c \cdot M[\varepsilon_x]}{\varepsilon_k}}. \quad (24)$$

С использованием параметров, приведенных в табл. 1, и параметра распределения Рэлея d произведем расчет математического ожидания по формулам (23) и (24). Формула (24) значительно проще, чем (23) и не требует процедуры численного интегрирования для расчета математического ожидания.

Наибольшее расхождение между формулами (23) и (24) наблюдается для условий, соответствующих сухому чистому рельсу с подачей песка (первая строка табл. 1). Вычисленное по формуле (23) математическое ожидание составляет 0,4394, по формуле (24) — 0,4613. Расхождение между математическими ожиданиями, полученными по формулам (23) и (24), составляет 4,74 %.

Среднеквадратическое отклонение σ_E точным методом будет определяться следующим образом:

$$\sigma_E = \sqrt{\int_0^{\infty} (E(\varepsilon_x) - M[E(\varepsilon_x)])^2 \cdot f(\varepsilon_x) \cdot d\varepsilon_x}. \quad (25)$$

Подставляя в формулу (25) выражения (16) и (20), получаем

$$\sigma_E = \sqrt{\int_0^{\infty} \left(a \cdot \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_k} \right)^b \cdot e^{-\frac{c \cdot \varepsilon_x}{\varepsilon_k}} - M[E(\varepsilon_x)] \right)^2 \cdot \frac{\varepsilon_x}{d^2} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_x^2}{2d^2}} \cdot d\varepsilon_x}. \quad (26)$$

Данный интеграл не выражается в классе элементарных функций, поэтому будем вычислять его численно с помощью пакета прикладных программ Maple.

При использовании метода линеаризации среднеквадратическое отклонение σ_E будет определяться по формуле

$$\sigma_E = \left| \frac{\partial E(\varepsilon_x)}{\partial \varepsilon_x} \right|_{\varepsilon_x = M[\varepsilon_x]} \cdot \sigma_{\varepsilon_x}, \quad (27)$$

где σ_{ε_x} — среднеквадратическое отклонение случайной величины ε_x , распределенной по закону Рэлея:

$$\sigma_{\varepsilon_x} = \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}} \cdot d; \quad (28)$$

где d — параметр распределения Рэлея.

Подставляя выражение (20) в формулу (27), получаем

$$\sigma_E = \left| \frac{a}{\varepsilon_k^b} \cdot e^{-\frac{c \cdot M[\varepsilon_x]}{\varepsilon_k}} \cdot (M[\varepsilon_x])^{b-1} \left(b - M[\varepsilon_x] \cdot \frac{c}{\varepsilon_k} \right) \right| \cdot \sigma_{\varepsilon_x}. \quad (29)$$

Расчет с использованием формулы (29) не требует процедуры численного интегрирования.

Наибольшее расхождение между значениями, вычисленными по формулам (26) и (29), наблюдается для условий, соответствующих сухому чистому рельсу с подачей песка. Рассчитанное по формуле (26) среднеквадратическое отклонение составляет 0,0808, по формуле (29) — 0,073. Расхождение между математическими ожиданиями, вычисленными по формулам (26) и (29), равно 9,8 %.

Так как математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение, определенное методом линеаризации, расходится с вычисленным точным методом не более чем на 10 %, для расчетов будем использовать метод линеаризации.

Математическое ожидание для коэффициента сцепления f_k определим по формуле

$$M[f_k] = M[F] \cdot M[E],$$

где $M[F]$ — математическое ожидание номинального значения коэффициента трения (определяется по формуле (3)) $M[F] = m_f = 0,414$; $M[E]$ — математическое ожидание функции E (находится по формуле (24)).

Кроме математического ожидания существенный интерес представляет значение коэффициента сцепления $f_{p_k} = 0,95$, соответствующего односторонней доверительной вероятности $P_{f_k} = 0,95$. Данная величина определяет нижнюю границу коэффициента сцепления:

$$f_{p_k=0,95} = M[f_k] - \Delta f, \quad (30)$$

Таблица 2. Влияние относительной скорости проскальзывания на величину коэффициента сцепления в системе «колесо – рельс»

Параметр	Условия контакта колеса с рельсом					
	Сухой чистый рельс с подачей песка	Сухой обезжиренный рельс	Сухой чистый рельс	Мокрый рельс с подачей песка	Чистый рельс, политый водой	Рельс, покрытый тонким слоем загрязнений
$\frac{f_k^{\max}}{f_{кр}}$	0,5891	0,5451	0,4922	0,4319	0,2510	0,1612



Величину Δf находим с использованием метода линеаризации по формуле

$$\Delta f_{кр} = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial f_k}{\partial f_{кр}}\right)_{f_{кр}=M[F]} \cdot \Delta f_{кр}^2 + \left(\frac{\partial f_k}{\partial \varepsilon_x}\right)_{f_{кр}=M[F]} \cdot \Delta \varepsilon_x^2\right)}, \quad (31)$$

$$\left(\frac{\partial f_k}{\partial f_{кр}}\right)_{f_{кр}=M[F]} = \left(a \cdot \frac{M[\varepsilon_x]}{\varepsilon_{кр}}\right)^b \cdot e^{-\frac{M[\varepsilon_x]}{\varepsilon_{кр}}}, \quad (32)$$

$$\left(\frac{\partial f_k}{\partial \varepsilon_x}\right)_{f_{кр}=M[F]} = a \cdot \frac{M[F]}{\varepsilon_{кр}^b} \cdot e^{-\frac{M[\varepsilon_x]}{\varepsilon_{кр}}} \cdot \left(M[\varepsilon_x]^{b-1} (b - M[\varepsilon_x] \cdot \frac{c}{\varepsilon_{кр}})\right), \quad (33)$$

где $\Delta f_{кр}$ — отклонение от математического ожидания (среднего значения) случайной величины $f_{кр}$, соответствующее односторонней доверительной вероятности 0,95; $\Delta \varepsilon_x$ — отклонение от математического ожидания (среднего значения) случайной величины ε_x , соответствующее односторонней доверительной вероятности 0,95.

Так как случайная величина $f_{кр}$ распределена по нормальному закону [17]

$$\Delta f_{кр} = 1,645 \cdot \sigma_f, \quad (34)$$

где σ_f — среднеквадратическое отклонение номинального значения коэффициента сцепления, которое определяется по формуле (4).

Величину $\Delta \varepsilon_x$ находим, исходя из условия

$$\int_0^{M[\varepsilon_x] + \Delta \varepsilon_x} \frac{\varepsilon_x}{d^2} e^{-\frac{\varepsilon_x^2}{2d^2}} d\varepsilon_x = P_k = 0,9. \quad (35)$$

Выражая из (35) $\Delta \varepsilon_x$, получаем

$$\Delta \varepsilon_x = d \cdot \sqrt{2 \cdot \ln \left[\frac{1}{1 - P_{f_k}} \right] - \frac{\pi}{2}}. \quad (36)$$

Подставив в формулу (36) значение параметра распределения d , имеем $\Delta \varepsilon_x = 0,0081$.

Определим математическое ожидание коэффициента сцепления и величину коэффициента сцепления, соответствующую односторонней доверительной вероятности 0,95 для различных условий контакта колеса с рельсом, приведенных в табл. 1. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Произведем расчет коэффициента сцепления колеса с рельсом для различных условий эксплуатации (см. табл. 1) без использования активатора трения.

Номинальное значение коэффициента сцепления определим по «Правилам тяговых расчетов для поездной работы» [19], который для грузовых электровозов переменного тока ψ_k (кН/тс) находится по формуле

$$\psi_k = 2,75 + \frac{39,2}{50 + 6 \cdot V} - 0,0059 \cdot V, \quad (37)$$

где V — скорость движения локомотива.

Максимальное значение коэффициента сцепления, на которое не влияет проскальзывание в системе «колесо–рельс», будет иметь место при нулевой скорости. Коэффициент сцепления, определяемый по формуле (37), измеряется в кН/тс. Необходимо перейти к безразмерному коэффициенту трения, для этого выражение (37) надо разделить на 9,81:

$$\psi_k = \left(2,75 + \frac{39,2}{50 + 6 \cdot V} - 0,0059 \cdot V \right) \cdot \frac{1}{9,81}. \quad (38)$$

Таблица 3. Значения коэффициента сцепления с учетом скольжения колес по рельсам при использовании активатора трения

Условия контакта колеса с рельсом	Номинальное значение коэффициента сцепления,	Математическое ожидание (среднее значение) коэффициента сцепления,	Значение коэффициента сцепления, соответствующие односторонней доверительной вероятности 0,95,
Сухой чистый рельс с подачей песка	0,4144	0,307	0,287
Сухой обезжиренный рельс	0,4144	0,286	0,268
Сухой чистый рельс	0,4144	0,256	0,239
Мокрый рельс с подачей песка	0,4144	0,228	0,214
Чистый рельс, политый водой	0,4144	0,126	0,117
Рельс, покрытый тонким слоем загрязнений	0,4144	0,085	0,080

Таблица 4. Значения коэффициента сцепления с учетом скольжения колес по рельсам без использования активатора трения

Условия контакта колеса с рельсом	Номинальное значение коэффициента сцепления, $f_{кр}$	Математическое ожидание (среднее значение) коэффициента сцепления, $M[f_k]$	Значение коэффициента сцепления, соответствующие односторонней доверительной вероятности 0,95, $f_{p f_k} = 0,95$
Сухой чистый рельс с подачей песка	0,36	0,267	0,247
Сухой обезжиренный рельс	0,36	0,248	0,231
Сухой чистый рельс	0,36	0,222	0,206
Мокрый рельс с подачей песка	0,36	0,198	0,185
Чистый рельс, политый водой	0,36	0,110	0,101
Рельс, покрытый тонким слоем загрязнений	0,36	0,074	0,069

Коэффициент сцепления, полученный по формуле (38) безразмерный. При нулевой скорости движения определяемый формулой (38) коэффициент сцепления $\psi_k = 0,36$ (это значение будет номинальным коэффициентом сцепления).

Результаты расчета коэффициента сцепления колеса с рельсом для различных условий эксплуатации без использования активатора трения приведены в табл. 4.

Если сравнить математическое ожидание коэффициентов сцепления в табл. 3 и 4, то можно видеть, что использование активатора трения привело к увеличению коэффициента сцепления на 15 %.

Поэтому представляется целесообразным модифицировать формулу, приведенную в «Правилах тяговых расчетов для поездной работы» [19]:

$$\psi_k = \left(2,75 + \frac{39,2}{50 + 6 \cdot V} - 0,0059 \cdot V \right) \cdot K_{V_A}, \quad (39)$$

где K_{V_A} — коэффициент, учитывающий применение активатора трения на основе термореактивных эпоксидных смол $K_{V_A} = 1,15$. Если активатор трения не используется, $K_{V_A} = 1$.

Литература

- Валинский О. С. Анализ факторов, определяющих процессы взаимодействия локомотивного колеса с рельсом: сб. науч. статей по итогам междунар. науч.-технич. конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении», г. Брянск / О. С. Валинский, А. А. Воробьев. — Брянск: БГИТА, 2022. — Вып. № 35. — С. 13–16.
- Чичинадзе А. В. Трение, износ и смазка / А. В. Чичинадзе. — М.: Машиностроение, 2003. — 576 с.
- Исаев И. П. Проблемы сцепления колес локомотива с рельсами / И. П. Исаев, Ю. М. Лужнов. — Москва: Машиностроение, 1985. — 238 с.
- Gage S. Evaluation of Century Oil Lubrication Products / S. Gage, R. Reiff // TTCI Report. — 1991. — P. 95–107.
- Меняйло С. Н. Усовершенствование метода оценки триботехнических характеристик смазочных материалов / С. Н. Меняйло, И. А. Майба, Д. В. Глазунов // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт-2014». — В 4 ч. — 2014. — С. 236–238.
- Глазунов Д. В. Методика исследования трибологических характеристик компонентов смазочного блока, работающего в трибоконтакте «колесо-рельс» / Д. В. Глазунов // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2013. — № 3. — С. 31–37.
- Майба И. А. Теоретическое обоснование механизма смешанной (полужидкостной) смазки в контакте «твердый оболочечный смазочный стержень-колесо-рельс» / И. А. Майба, Д. В. Глазунов

// Инженерный вестник Дона. — 2012. — Т. 19. — № 1. — С. 223–232.

- Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. — Л.: Машиностроение, 1985. — 352 с.
- Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — Изд. второе, перераб. и доп. / Е. С. Вентцель. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. — 564 с.
- Демин О. В. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей / О. В. Демин, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко [и др.]. — Киев: Наукова думка, 1984. — 160 с.
- Carter F. M. On the action of locomotive driving wheel / F. M. Carter // Proc. Roy. Soc. Ser. A. — 1926. — Vol. 112. — P. 151–157.
- ГОСТ 2582–2013. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия [Rotating electrical traction machines for rail and road vehicles. General technical specifications]. — Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное. — Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 ноября 2013 г. № 61-П: взамен ГОСТ 2582–81. — Дата введения 2015–01–01. — Подготовлен открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»). — М.: Стандартинформ. — 2014. — 119 с.
- Голубенко А. Л. Сцепление колеса с рельсом. Монография / А. Л. Голубенко. — Киев: Віпол. — 1983. — 448 с.
- Нехаев В. А. Оптимизация режимов ведения поезда с учетом критериев безопасности движения (методы и алгоритмы): дисс. на соискание учен. степени д-ра техн. наук, специальность: 05.22.07 / В. А. Нехаев. — Омск: ОмГУПС, 2000. — 352 с.
- Устич П. А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П. А. Устич, В. А. Карпычев, М. Н. Овечников. — М.: УМЦ МПС России, 2004. — 416 с.
- Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. — СПб.: Лань, 2003. — 832 с.
- Алехин С. В. К вопросу об исследовании трения качения в условиях реализации касательной нагрузки и износа трущихся деталей / С. В. Алехин, Е. Я. Красковский // Труды ЛИИЖТ. — М.: Трансжелдориздат, 1957. — Вып. 154.
- Бычковский А. В. Новый метод экспериментального исследования сцепления между рельсами и одиночными осями электровазов и тепловозов / А. В. Бычковский // Вестник ВНИИЖТ. — 1958. — № 2. — С. 52–54.
- Распоряжение ОАО «РЖД» от 12 мая 2016 г. № 867р «Об утверждении Правил тяговых расчетов для поездной работы». — 2016. — № 867.

Мультимодальные пассажирские перевозки как инструмент повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта



Е. М. Волкова,
канд. экон. наук,
доцент кафедры
«Экономика транспорта»
ФГБОУ ВО «Петербургский
государственный
университет путей
сообщения Императора
Александра I»
(ПГУПС)

В настоящий период в мире продолжается пандемия новой коронавирусной инфекции. Это не только накладывает ограничения на различные сферы общественной жизни, но и меняет структуру мировой экономики и большинства национальных отраслевых рынков. Не могла не отразиться новая ситуация и на железнодорожном транспорте.

Ускоренными темпами развиваются дистанционные технологии, появляются новые бизнес-модели, уверенный рост демонстрирует шеринг-экономика и интернет-торговля в разных сегментах потребительского рынка. Однако, многие инфраструктурные отрасли, являющиеся основой национальной и региональной экономики и создающие условия для ее нормального функционирования, терпят значительные убытки [1]. К таким отраслям можно отнести в первую очередь транспорт, в том числе железнодорожный.

Проблемы развития железнодорожных пассажирских перевозок и перспективы их развития отражены в целом ряде работ российских ученых и экспертов,

работающих в транспортных компаниях: Н. А. Журавлевой [2], М. А. Лякиной [3], И. Л. Саковича [4]. Аспекты формирования бесшовных транспортных систем с участием железнодорожного транспорта раскрыты в работах Б. М. Лapidуса, С. П. Вакуленко.

Вместе с тем в условиях сокращения объема перевозок пассажиров, обострения межвидовой конкуренции на рынках пассажирских перевозок необходима актуализация ранее разработанных подходов к решению проблем железнодорожного транспорта.

Целями настоящего исследования являются выявление проблем функционирования железнодорожного транспорта в период пандемии и разработка направлений их решения путем развития

ФОТО : СЕРГЕЙ ТОРИН





Рис. 1. Динамика структуры перевозок пассажиров по видам общественного транспорта в РФ (источник: составлено автором по данным Росстата)

мультимодальных перевозок. В статье на основе анализа показателей функционирования общественного транспорта предложены направления повышения конкурентоспособности железнодорожных пассажирских компаний и определены выгоды возможных вариантов кооперации видов пассажирского транспорта при оказании мультимодальных услуг.

Для достижения целей исследований используется инструментарий общей теории статистики: по имеющимся данным выполнен расчет относительных величин динамики и структуры, результаты их расчета представлены наглядно с использованием средств инфорграфики MS Excel. Информационной базой послужили материалы открытых источников, периодических изданий, а также интернет-ресурсов, в том числе данных официальных сайтов транспортных компаний [5, 6].

Объектом исследования является пассажирский транспорт общего пользования, предметом — процесс управления конкурентоспособностью транспортных организаций с применением различных вариантов мультимодальных пассажирских перевозок, обеспечивающих выгоды всем участникам и потребителям данных услуг.

В табл. 1 представлена динамика перевозок пассажиров транспортом общего пользования за период с 2000 по 2020 г.

Как видно из табл. 1, по всем видам транспорта, кроме воздушного, за анализируемый период наблюдается спад объема перевозок пассажиров. При этом до 2020 г. наибольшими темпами падения отличались перевозки городским общественным транспортом — троллейбусами и трамваями, а также железнодорожным транспортом.

В 2020 г. по причине пандемии коронавируса и сопутствующих ей ограничительных мер негативную динамику демонстрировали перевозки всеми видами транспорта. Число перевезенных пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в 2020 г. составляло меньше трети от уровня 2000 г.

Динамика структуры пассажирских перевозок представлена на рис. 1.

Как видно из него, в структуре перевозок пассажиров преобладает автотранспорт. Это объясняется тем фактом, что данный вид транспорта в основном осуществляет массовые городские перевозки. Доля перевозок пассажиров городским электрическим транспортом значительно сократилась на фоне массовой ликвидации трамвайных маршрутов в крупных городах. Доля железнодорожного транспорта за анализируемый период выросла с 3 до 7 %, несмотря на сокращение абсолютного показателя (табл. 1).

Рассмотрим далее динамику и структуру пассажирооборота, поскольку без него анализ будет неполным — данный показатель учитывает работу транспорта, а не только массовость перевозок.

По данным табл. 2 можно заключить, что пассажирооборот на протяжении анализируемого периода в целом оставался стабильным до 2019 г. Это происходило за счет быстрых темпов развития гражданской авиации: пассажирооборот воздушного транспорта с 2000 до 2019 г. вырос более чем в 6 раз. Стабильной осталась транспортная работа метрополитена, однако другие виды транспорта продемонстрировали значительное сокращение пассажирооборота.

На железнодорожном транспорте пассажирооборот за 19 лет уменьшился на 20 %. В 2020 г. наблюдалось значительное его сокращение в связи с распространением коронавирусной инфекции и последующими ограничениями.

Таблица 1. Динамика перевозок пассажиров транспортом общего пользования в РФ

Перевезено пассажиров, млн чел.	2000 г.	2001 г.	% к 2000 г.	2002 г.	% к 2000 г.	2019 г.	% к 2000 г.	2020 г.	% к 2000 г.
Всего	44809	43957	98	41683	93	18708	42	12482	28
В том числе:									
железнодорожным	1419	1306	92	1271	90	1201	85	876	62
автобусным	23001	22462	98	21021	91	10637	46	7697	33
трамвайным	7421	7354	99	6982	94	1240	17	889	12
троллейбусным	8759	8604	98	8181	93	1148	13	760	9
метрополитеном	4186	4205	100	4200	100	4351	104	2189	52
воздушным	23	26	113	28	122	131	570	71	309

Источник: рассчитано автором по данным Росстата

На рис. 2 представлены данные анализа структуры пассажирооборота по видам общественного транспорта. По ним можно сделать вывод о том, что сокращение показателя пассажирооборота железнодорожного транспорта с 2006 г. сопровождается уменьшением его доли в структуре пассажирооборота. Это говорит о потере конкурентоспособности данного вида общественного транспорта, несмотря на его существенные преимущества в части экологичности, пунктуальности и безопасности, а также высокой производительности.

Основным конкурентом железнодорожных перевозчиков на рынке транспортных услуг в дальнейшем следовании является воздушный транспорт, который имеет важнейшее для пассажира преимущество — высокую скорость перевозки. В то же время в пригородном сообщении сокращение перевозок железнодорожным транспортом обусловлено высокими темпами автомобилизации и оптимизацией пригородных маршрутов, а также нерациональной транспортной политикой субъектов РФ.

Таким образом, общая негативная динамика объемных показателей железнодорожного транспорта обусловлена разными причинами, если речь идет о дальнем следовании и пригородном сообщении. Вместе с тем становится очевидной необходимость разработки и реализации мероприятий по повышению конкурентоспособности железнодорожного транспорта.

При этом мероприятия в сегменте дальнего следования должны быть разработаны самими перевозчиками, в то время как в сегменте пригородного сообщения устойчивое развитие железнодорожного транспорта невозможно без совместных усилий пригородных пассажирских компаний (ППК) и органов государственной власти субъектов РФ, поскольку именно за последними

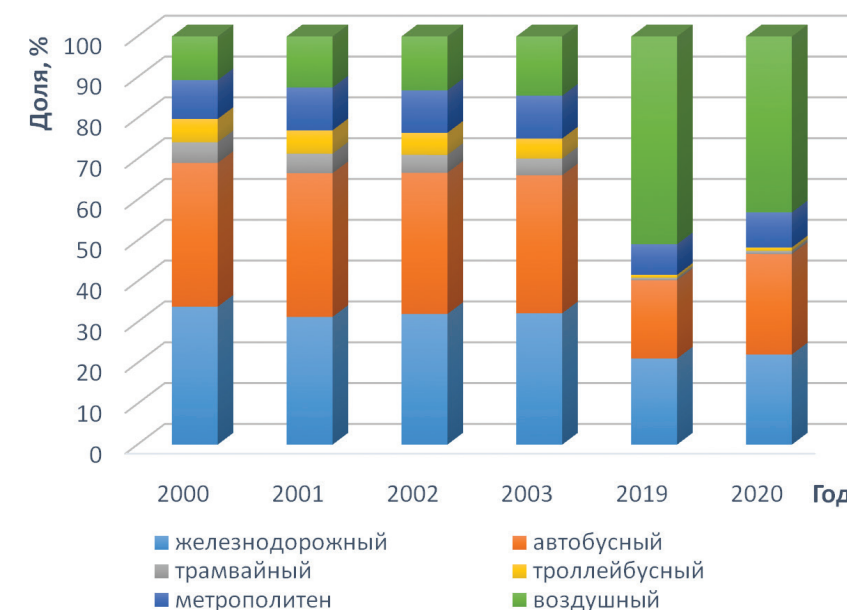


Рис. 2. Динамика структуры пассажирооборота по видам общественного транспорта в РФ (источник: составлено автором по данным Росстата)

закреплены полномочия по регулированию пригородных перевозок пассажиров на своей территории.

Полагаем, что повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта как в дальнем следовании, так и в пригородном сообщении может быть достигнуто за счет развития мультимодальных маршрутов. Под мультимодальными здесь будем понимать маршруты, на которых перевозка осуществляется разными видами транспорта по единому проездному документу и единому расписанию движения. При этом основным конкурентным преимуществом мультимодальных маршрутов является сокращение времени пассажира в пути, которое достигается благодаря минимизации времени на оформление проездных документов, ожидание на остановочных пунктах и пересадку.

Конкурентные преимущества мультимодальных перевозок подтверждаются как мировым опытом, так и отечествен-

ными практиками. Приведем некоторые примеры. Проводя анализ зарубежных конкурентов, в одном из годовых отчетов руководство АО «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК») отмечает, что более высокие финансовые показатели в Европе достигаются в том числе за счет развития мультимодальных перевозок. Так, мультимодальные пассажирские перевозки развиваются в транспортных холдингах Германии (DB Long Distance), Финляндии (VR Group), Франции (SNCF Voyage).

Сама компания АО «ФПК» для развития мультимодальных маршрутов создала дочернее общество — ООО «Инновационная мобильность», показатели которого вплоть до 2020 г. демонстрировали уверенный рост.

В пригородном сообщении также развиваются мультимодальные маршруты. Здесь можно привести как пример Московское центральное кольцо, так и другие пригородные пассажирские компании,

Таблица 2. Динамика пассажирооборота транспорта общего пользования в РФ

Пассажирооборот, млрд пасс-км	2000 г.	2001 г.	% к 2000 г.	2002 г.	% к 2000 г.	2019 г.	% к 2000 г.	2020 г.	% к 2000 г.
Всего	494,1	488,3	99	493,8	100	634,4	128	357,4	72
В том числе:									
железнодорожным	167	153	92	158	95	134	80	79	47
автобусным	174	172	99	171	98	122	70	88	51
трамвайным	25,1	23,2	92	21,9	87	3,8	15	2,8	11
троллейбусным	28,1	27,8	99	26,6	95	4,2	15	2,9	10
метрополитеном	46,9	51,3	109	51,3	109	47,4	101	30,7	65
воздушным	53	61	115	65	123	323	609	154	291

Источник: рассчитано автором по данным Росстата

Таблица 3. Основные выгоды (эффекты) от развития мультимодальных маршрутов в дальнем и пригородном сообщении с участием железнодорожного транспорта

Схема мультимодального маршрута	Эффекты для железнодорожной транспортной компании	Эффекты для государства	Эффекты для пассажиров
Железнодорожный транспорт + воздушный транспорт (пригородные маршруты «аэропорт — город»)	Рост выручки и прибыли за счет стабильного высокого пассажиропотока	Прямые: сокращение средств на субсидирование выпадающих доходов ППК; косвенные: экологический, рост безопасности дорожного движения	Сокращение времени в пути, возможность точного планирования времени поездки
Железнодорожный транспорт + автобус (пригородные маршруты)	Сокращение затрат и рост прибыли при замене авто-транспортном на нерентабельных участках действующих маршрутов	Прямые: сокращение средств на субсидирование выпадающих доходов ППК	Сохранение сети пригородных маршрутов, возможность поездки «от двери до двери», удобство планирования поездки
Железнодорожный транспорт + метрополитен (пригородно-городские маршруты)	Рост выручки и прибыли за счет стабильного высокого пассажиропотока	Прямые: сокращение средств на субсидирование выпадающих доходов ППК; косвенные: экологический, рост безопасности дорожного движения, рост возможностей для развития пригородного туризма	Возможность точного планирования времени поездки, расширение географии поездок для жителей мегаполисов
Железнодорожный транспорт + автобус (маршруты дальнего следования)	Рост выручки и прибыли за счет стабильного высокого пассажиропотока	Косвенные: рост возможностей для развития внутреннего туризма за счет транспортной доступности регионов	Сокращение времени в пути, возможность точного планирования времени поездки, возможность поездки «от двери до двери» по единому билету

Источник: разработано автором.

реализующие проект «Городская электричка», способствующий интеграции пригородного железнодорожного транспорта в бесшовные транспортные системы российских мегаполисов. Кроме того, железнодорожный транспорт в Европе и Китае часто соединяет аэропорты, расположенные на окраинах городов, с городским центром. Таким образом, железнодорожный транспорт во всем мире является важным звеном бесшовных транспортных систем, основанных на мультимодальных маршрутах.

Нами систематизированы основные выгоды (эффекты) от развития мультимодальных перевозок в дальнем и пригородном сообщении с участием железнодорожного транспорта (табл. 3). Получателями выделенных эффектов являются:

- а) железнодорожные транспортные компании (АО «ФПК», ППК);
- б) органы государственной власти — регуляторы рынка пригородных перевозок пассажиров;
- в) потребители транспортных услуг — пассажиры.

Задача экономической оценки перечисленных в табл. 3 эффектов весьма сложна. Ее решение требует комплексного подхода и учета специфики конкретного мультимодального маршрута в контексте реализующих его компаний, целей

разработки и реализации, географии пролегания. Однако остается несомненным, что мультимодальные перевозки повышают привлекательность транспортных компаний в глазах пассажиров, их конкурентоспособность и, как следствие, обеспечивают рост доходов.

В ряде случаев инициатива в разработке мультимодальных маршрутов должна принадлежать регуляторам рынка транспортных услуг, ответственным за транспортное обслуживание населения. Тогда они способны стать эффективным инструментом перераспределения пассажиропотоков на территории города или региона и одним из средств решения имеющихся транспортных проблем.

Можно заключить, что участие железнодорожного транспорта в мультимодальных маршрутах способствует росту его конкурентоспособности и стабилизации финансовых показателей транспортных компаний. Помимо этого, мультимодальные перевозки создают прямые и косвенные эффекты для государства и пассажиров. Следовательно, интеграция железнодорожного транспорта в бесшовные транспортные системы городов и регионов демонстрирует одновременно коммерческую и общественную эффективность и имеет высокий потенциал для развития в ближайшие годы. ■

Литература

- Журавлева, Н. А. Влияние постпандемной экономики на бизнес-модель транспортных организаций / Н. А. Журавлева // Транспорт Российской Федерации. — 2020. — № 3–4 (88–89). — С. 20–23.
- Журавлева, Н. А. Проблемы внедрения цифровых технологий на транспорте / Н. А. Журавлева // Транспорт Российской Федерации. — 2019. — № 3 (82). — С. 19–22.
- Лякина, М. А. Механизм образования внешних эффектов от повышения транспортной доступности, обусловленной развитием высокоскоростного железнодорожного сообщения / М. А. Лякина, А. С. Романов // Транспортные системы и технологии. — 2020. — Т. 6. — № 4. — С. 127–142.
- Лякина, М. А. Перекрестное субсидирование выпадающих доходов пригородных пассажирских компаний / М. А. Лякина, И. Л. Сакович // Экономика железных дорог. — 2019. — № 7. — С. 38–46.
- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [электрон. ресурс]. — URL: <https://gks.ru> (дата обращения: 17.12.2021).
- Официальный сайт АО «Федеральная пассажирская компания» [электрон. ресурс]. — URL: <https://fpc.ru> (дата обращения: 17.12.2021).

Долгосрочный ретроспективный анализ неравномерности погрузки грузов на железнодорожном транспорте



Д. А. Мачерет,
д-р экон. наук, первый
заместитель председателя
Объединенного ученого
совета ОАО «РЖД»,
АО «ВНИИЖТ», профессор
Российского университета
транспорта
(РУТ (МИИТ))



А. Д. Разуваев,
канд. экон. наук, доцент
кафедры «Экономика
транспортной инфра-
структуры и управление
строительным бизнесом»
РУТ (МИИТ)



А. Ю. Ледней,
канд. экон. наук, доцент
кафедры «Экономика
транспортной инфра-
структуры и управление
строительным бизнесом»
РУТ (МИИТ)

Сезонная неравномерность погрузки грузов на железнодорожном транспорте имеет тенденцию к снижению как в целом, так и по отдельным родам грузов, а в сложившейся структуре погрузки доминируют грузы, характеризующиеся низкой сезонной неравномерностью. Это способствует оптимизации эксплуатационных затрат, интенсивному использованию инфраструктуры и, на этой основе повышению доходов отрасли.

Железнодорожные грузовые перевозки имеют очень важное значение для экономики Российской Федерации. Это обусловлено значительными расстояниями между регионами производства и сбыта транспортотемной продукции и возможностью массовых грузовых перевозок, особенно эффективных на дальние расстояния при относительно невысокой себестоимости [1]. Благодаря этому доля железнодорожного транспорта в общем грузообороте транспортной системы страны (без учета трубопроводов) составляет около 87 % [2].

Грузовые перевозки играют определяющую роль и в экономике железнодорожной отрасли. Так, вид деятельности «грузовые перевозки» формирует свыше 82 % доходов и 80 % расходов системообразующей компании отрасли — ОАО «РЖД» — по обычным видам деятельности [3].

Доходы от грузовых перевозок зависят не только от их объема, но и от структуры, так как уровни удельной доходности от перевозки различных родов грузов существенно различаются [4]. При этом неравномерность грузовых перевозок по кварталам и месяцам («сезонность») существенно влияет на расходы по перевозкам [5, 6].

Таким образом, распределение объемов железнодорожных перевозок по родам перевозимых грузов и по месяцам года в совокупности оказывают

очень существенное влияние на доходы и расходы железнодорожного транспорта, на его финансовый результат. Поэтому актуальным является системный анализ неравномерности грузовых железнодорожных перевозок в разрезе родов грузов.

Оценка неравномерности перевозок

Сезонная неравномерность грузовых перевозок оценивается с помощью системы показателей по специальной методике, раскрытой в [7]. В настоящей статье внимание сфокусировано на оценке неравномерности погрузки на железнодорожном транспорте. Погрузка грузов является исходным моментом перевозки, в ходе которой формируется грузооборот. Именно ритм погрузки (осуществляемой с большей или меньшей равномерностью) выступает начальным фактором формирования уровня неравномерности грузооборота и приведенной работы железных дорог. Кроме того, данные о погрузке по родам грузов публикуются Росстатом в годовом и месячном разрезе [8].

Неравномерность погрузки грузов будет характеризоваться следующими показателями:

- коэффициент годовой неравномерности, определяемый как отношение максимального месячного значения среднесуточной погрузки в течение года к среднесуточной погрузке за год;
- коэффициент внутригодовой (месячной) неравномерности, определя-

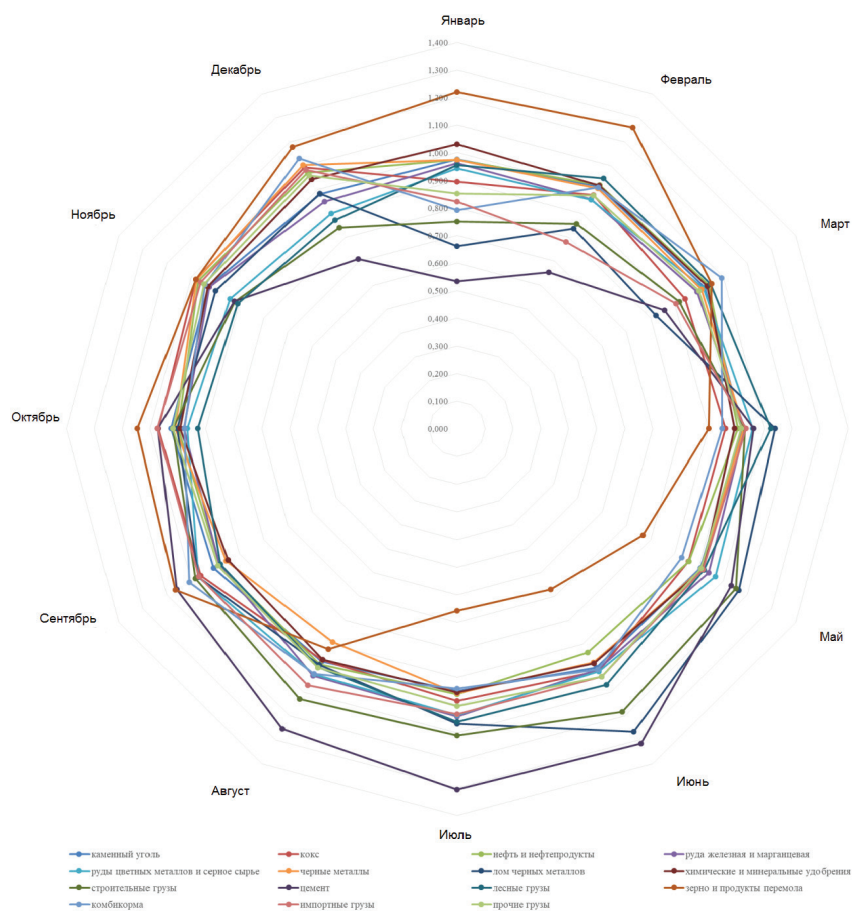


Рис. 1. Внутригодовая неравномерность погрузки по родам грузов в 2021 г.

емый как отношение среднесуточной погрузки конкретного месяца к среднесуточной погрузке за год.

Уровень внутригодовой неравномерности погрузки по родам грузов существенно различается (рис. 1). Высока неравномерность погрузки лома черных металлов, строительных грузов, цемента, зерна и продуктов перемолота. Погрузка каменного угля, руды, удобрений осуществляется достаточно равномерно.

Внутригодовая неравномерность погрузки грузов, естественно, отражается на коэффициенте годовой неравномерности. Долгосрочная динамика коэффициентов годовой неравномерности погрузки по родам грузов представлена на рис. 2.

Зонирование значений неравномерности

Хотя коэффициенты годовой неравномерности погрузки каждого груза в разные годы существенно различаются, из приведенных на рис. 2 графиков видно, что грузы можно сгруппировать по уровням неравномерности погрузки. Это позволяет дополнить количественную оценку не-

равномерности перевозок конкретных грузов качественной оценкой, имеющей ключевое значение для экономического анализа и принятия решений экономическими субъектами [9, 10].

Для того чтобы дать качественную характеристику экономическим явлениям, выражаемым количественными показателями, используется зонирование значений таких показателей [11]. Шкалу зональных значений коэффициента годовой неравномерности погрузки грузов можно представить следующим образом:

- от 1 до 1,1 — низкий уровень неравномерности;
- от 1,1 до 1,3 — средний уровень неравномерности;
- от 1,3 и выше — высокий уровень неравномерности.

Количество и границы интервалов значений коэффициента годовой неравномерности погрузки выбраны с учетом рекомендаций теории статистики [12].

Коэффициент годовой неравномерности погрузки каждого груза в разные годы может соответствовать разным интервалам сформированной шкалы зональных значений (рис. 3).

Однако у каждого груза есть доминирующий интервал уровня неравномерности. Исходя из этого, было выполнено распределение грузов по уровню неравномерности.

В группу с низким уровнем неравномерности за исследуемый период попали следующие рода грузов:

- каменный уголь,
- кокс,
- нефть и нефтепродукты,
- руда железная и марганцевая,
- руды цветных металлов и серное сырье,
- черные металлы,
- химические и минеральные удобрения,
- прочие грузы;

в группу со средним уровнем неравномерности —

- лом черных металлов,
- строительные грузы,
- лесные грузы,
- комбикорма,
- импортные грузы;

в группу с высоким уровнем неравномерности —

- цемент,
- зерно и продукты перемолота.

Получившиеся группы грузов существенно отличаются по количеству родов грузов, но еще более значимы различия по объему погрузки. На грузы с низким уровнем неравномерности погрузки приходится около 80 % ее общей величины, со средним уровнем неравномерности — порядка 16 %, и с высоким уровнем — около 4 %. С учетом преобладания грузов с низким уровнем неравномерности погрузки в целом по всем грузам коэффициент годовой неравномерности погрузки за рассматриваемый долгосрочный период неизменно попадал в диапазон, соответствующий низкому уровню неравномерности.

Однако и невысокая неравномерность перевозок является экономически значимой. В условиях общей перегрузки сети железных дорог превышение среднегодового уровня объемов перевозок даже на 2–3 процентных пункта уже вызывает экспоненциальный рост маргинальных эксплуатационных расходов, а при превышении на 4 процентных пункта и более он существенно ускоряется [5]. Если же рост годовой неравномерности перевозок происходит при их неизменном объеме в месяц максимального уровня при сокращении объемов в другие ме-

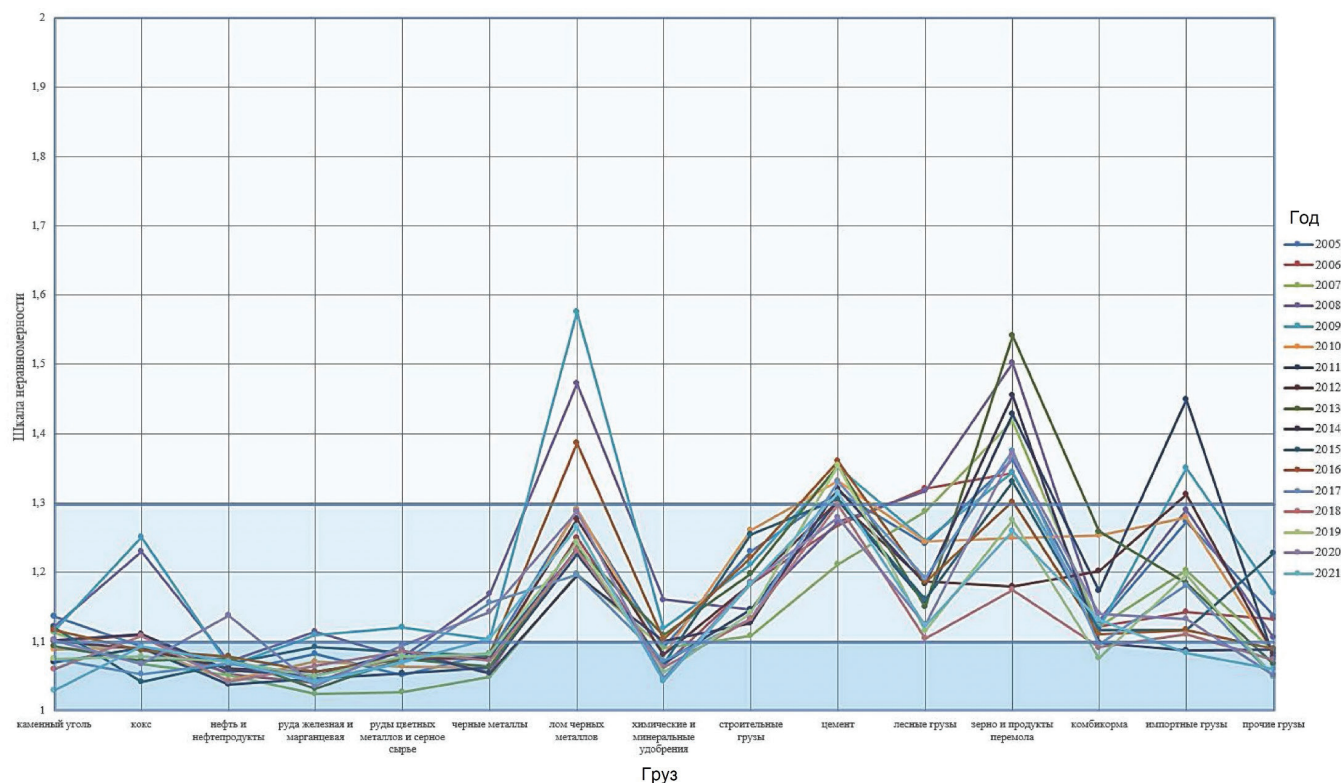


Рис. 2. Долгосрочная неравномерность погрузки по родам грузов за 2005–2021 гг.

сыцы, относительное сокращение доходов от перевозок примерно в 3 раза опережает относительное сокращение расходов [6], что негативно влияет на финансовые результаты перевозочной деятельности.

Долгосрочные тренды

Весьма показательно, что все периоды общего повышения неравно-

мерности погрузки грузов приходится на годы сокращения объемов перевозок: 2008–2009 гг.; 2014–2015 гг.; 2019–2020 гг. (см. рис. 4, график «все грузы»). При этом наивысший за рассматриваемый период уровень неравномерности погрузки наблюдался в 2009 г., когда произошел существенный спад объемов грузовых перевозок, связанный с глобальным финан-

сово-экономическим кризисом [13]. И наоборот, локальные максимумы погрузки достигались при минимальных значениях ее неравномерности.

Из этого можно сделать вывод, что повышение неравномерности грузовых перевозок сопутствует ухудшению экономической конъюнктуры, на колебания которой транспорт очень чутко реагирует [14]. И наоборот, при

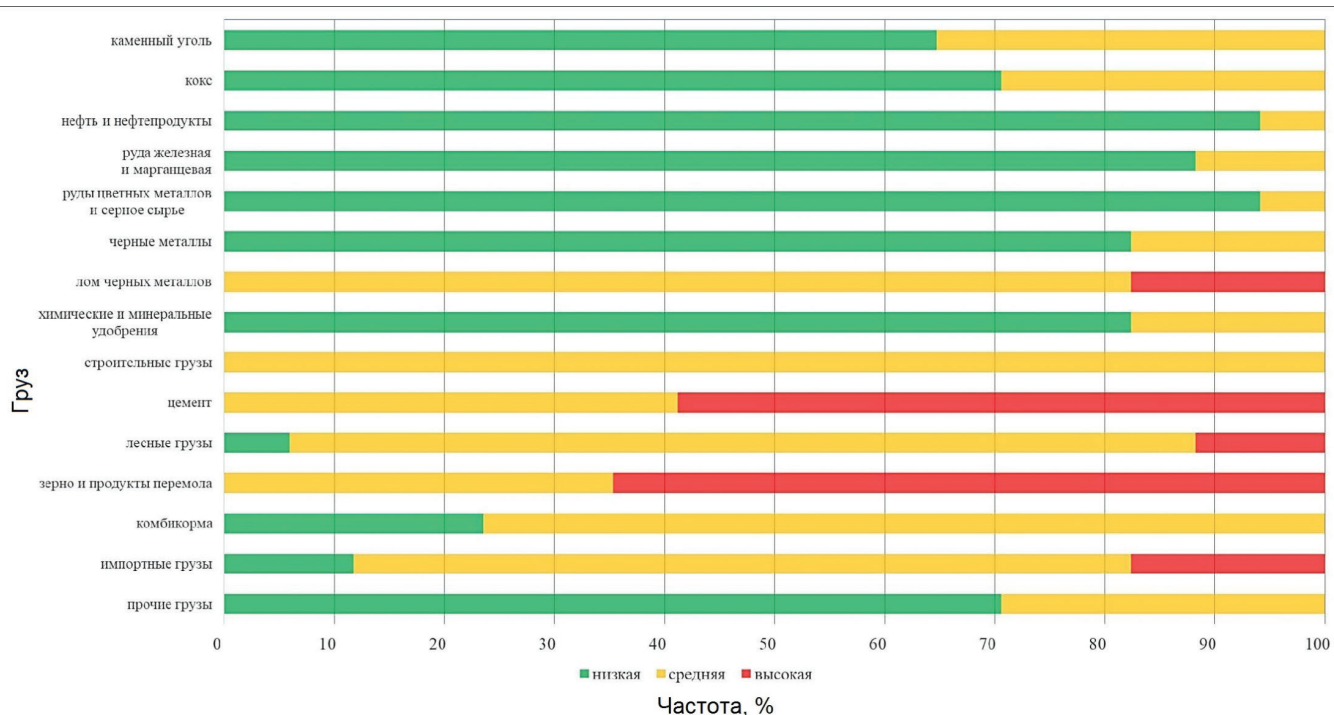


Рис. 3. Частота попаданий коэффициентов годовой неравномерности погрузки в различные интервалы шкалы зональных значений за 2005–2021 гг.

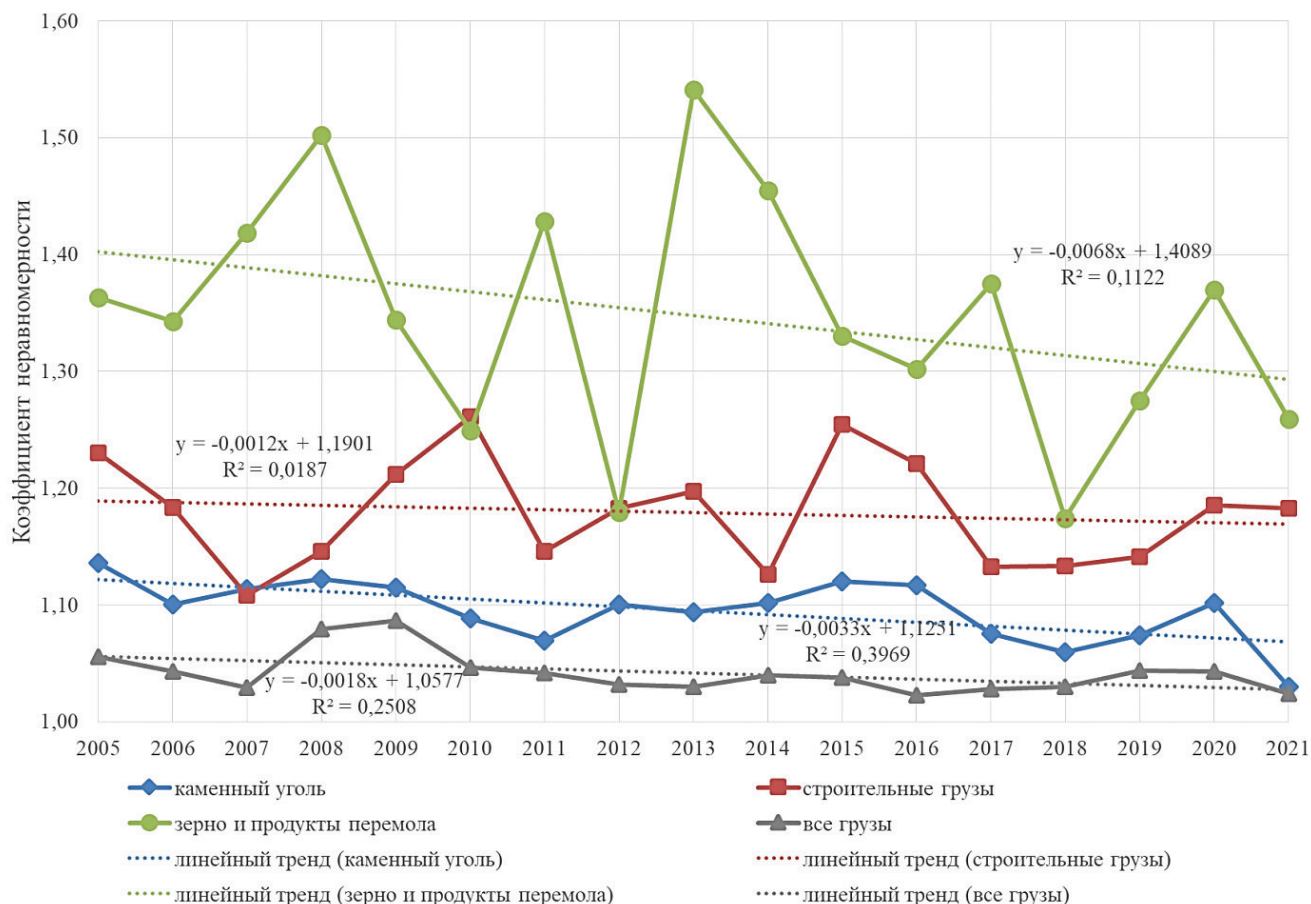


Рис. 4. Динамика коэффициентов годовой неравномерности погрузки всех и отдельных родов грузов на сети железных дорог

стабильном функционировании экономики неравномерность грузовых перевозок снижается. Это, в свою очередь, позволяет увеличить их объем в условиях инфраструктурных ограничений, отмечаемых как в научных исследованиях [15, 16], так и при опросах грузоотправителей [17, 18]. Потому экономически значим долгосрочный тренд снижения общего уровня неравномерности погрузки грузов (рис. 4).

Данный тренд в определенной степени связан с долгосрочным изменением структуры погрузки грузов — ростом доли грузов с преимущественно низкой неравномерностью перевозок (каменный уголь, руда железная и марганцевая, химические и минеральные удобрения) и понижением доли ряда грузов, входящих в группы средней и высокой неравномерности погрузки (строительные, лесные грузы, цемент). Вместе с тем, в рассматриваемый период существенно выросла доля зерновых грузов, погрузка которых наиболее волатильна.

Однако общая тенденция к снижению неравномерности погрузки характерна как для всех грузов в целом,

так и для отдельных грузов, являющихся типичными представителями различных групп (рис. 4).

Это свидетельствует о системном и долгосрочном характере снижения неравномерности погрузки на железнодорожном транспорте, который подтверждается графическим отображением и математической интерпретацией линейных трендов. Все линии тренда, построенные по коэффициентам неравномерности, имеют отрицательный наклон, но при этом разную степень качества связи между переменными. Так, наиболее низкий показатель коэффициента детерминации (R^2) у долгосрочной динамики коэффициента неравномерности по строительным грузам ($R^2 = 0,0187$), а наиболее высокий — у каменного угля ($R^2 = 0,3969$).

Примечательно, что динамика коэффициента неравномерности по каменному углю и коэффициента неравномерности погрузки всех грузов близка по траекториям и аналитическому выравниванию. Это подтверждает тезис об «углецентричности» отечественных железных дорог [19]. Причем неравномерности погруз-

ки по всем грузам в целом ниже, чем по углю. Это обеспечивается благодаря тому, что рост и снижение неравномерности погрузки отдельных родов грузов находятся в противофазе (как видно, например, из сравнения графиков по зерну и строительным грузам) и частично компенсируют друг друга.

Значимый вывод о долгосрочном характере снижения неравномерности погрузки не свидетельствует о том, что проблема неравномерности близится к решению. Ведь уровень неравномерности погрузки волатилен, и его достигнутая минимизация не гарантирует невозможности роста неравномерности в будущем. Как показывает ретроспективный анализ, неравномерность погрузки может с минимальных значений повыситься до гораздо большего уровня в течение 1–3 лет (2007–2009 и 2016–2019 гг.).

Следует также отметить, что, хотя равномерность и ритмичность погрузки являются исходным моментом для обеспечения равномерности и ритмичности всего перевозочного процесса, это далеко не единственный фактор. Ритмичность доставки грузовых отправок может нарушаться из-за

перезаполнения пропускной способности участков и перерабатывающей способности сортировочных станций, технических и технологических сбоев, неритмичной выгрузки грузополучателями, сбоев в работе портов и возникновения вследствие этого перезаполнения пропускных способностей на подходах к ним, по другим причинам.

Потому важно дополнять повышение равномерности погрузки грузов обеспечением комплексной синхронизации грузовых перевозок, вплоть до доставки груза потребителю [20]. При этом важным инструментом может стать динамическая модель загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД», позволяющая согласовывать планирование погрузки с возможностями железнодорожной инфраструктуры по пропуску грузопотоков и оперативно предлагать грузоотправителям альтернативные маршруты следования в случае невозможности перевозки по кратчайшим направлениям [21]. Тем самым будут уменьшаться риски нарушения ритмичности и равномерности грузовых перевозок, а значит — понижаться и риски экономических потерь у транспортных компаний и их клиентов.

Таким образом, долгосрочный анализ неравномерности погрузки грузов на железнодорожном транспорте как в целом, так и по отдельным родам грузов показал, что она имеет тенденцию к снижению. При этом в структуре погрузки доминируют грузы, характеризующиеся низким уровнем сезонной неравномерности. Такой уровень способствует как оптимизации эксплуатационных затрат, так и интенсивному использованию железнодорожной инфраструктуры и, следовательно, росту доходов отрасли.

Исходя из вышеизложенного, для обеспечения долгосрочной экономической устойчивости и эффективности железнодорожного транспорта целесообразно стремиться к повышению равномерности перевозок на основе как тарифных, так и организационно-технологических мер [22], опираясь на современные возможности, открываемые цифровизацией отрасли [23].

Литература

1. Терешина, Н. П. Экономика железнодорожного транспорта / Н. П. Терешина, В. А. Подсорин, М. Г. Данилина. —

М.: МГУПС (МИИТ), 2017. — 262 с.

2. Социально-экономическое положение России. 2021 год. — М.: Росстат, 2021. — 380 с.
3. Финансовая отчетность ОАО «РЖД» за 2021 год по РСБУ [Электрон. ресурс]. — URL: <https://company.rzd.ru/api/media/resources/1813657?action=download> (дата обращения: 19.04.2022 г.).
4. Хусаинов, Ф. И. Влияние структуры погрузки и грузооборота на доходность грузовых перевозок ОАО «РЖД» / Ф. И. Хусаинов // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 3 (76). — С. 29–32.
5. Мачерет, Д. А. Экономическая оценка сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры / Д. А. Мачерет, А. Д. Разуваев, А. Ю. Ледней // Мир транспорта. — 2020. — Т. 18. — № 1 (86). — С. 94–115.
6. Ледней, А. Ю. Влияние сезонной неравномерности перевозок на экономическую эффективность развития транспортной инфраструктуры / А. Ю. Ледней, Д. А. Мачерет // Экономика железных дорог. — 2020. — № 6. — С. 14–26.
7. Мачерет, Д. А. Совершенствование методического инструментария оценки сезонной неравномерности перевозок / Д. А. Мачерет, А. Ю. Ледней // Вестн. науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта. — 2019. — Т. 78. — № 6. — С. 323–327.
8. Объем погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте [Электрон. ресурс]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (дата обращения: 19.02.2022).
9. Harstad, R. M. Bounded-rationality models: Tasks to become intellectually competitive / R. M. Harstad, R. Shelten // Journal of Economic Literature. — 2013. — Vol. 51. — N2. — P. 496–511.
10. Мачерет, Д. А. Вектор развития экономической науки на транспорте / Д. А. Мачерет // Транспорт Российской Федерации. — 2017. — № 2 (69). — № 2. — С. 26–36.
11. Валеев, Н. А. Управление эксплуатационными затратами железнодорожных компаний / Н. А. Валеев // Экономика железных дорог. — 2017. — № 2. — С. 26–36.
12. Шеремет, Н. М. Общая теория статистики / Н. М. Шеремет — М: Учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. — 360 с.
13. Мачерет, Д. А. Экономический кризис и транспорт / Д. А. Мачерет // Мир транспорта. — 2010. — Т. 8. — № 2 (30). — С. 4–13.
14. Рышков, А. В. Экономическая конъюнктура транспорта / А. В. Рышков — М.: МИИТ, 2008. — 130 с.
15. Липидус, Б. М. Возможности долгосрочного роста эффективности перевозочного процесса на основе принципов бережливого производства / Б. М. Липидус // Бюл. Объед. учен. совета ОАО «РЖД». — 2018. — № 3. — С. 1–10.
16. Прокофьева, Е. С. Единые принципы организации эксплуатационной работы железнодорожных грузовых перевозок / Е. С. Прокофьева, В. В. Панин // Мир транспорта. — 2019. — Т. 17. — № 5 (84). — С. 186–198.
17. Исследование в сфере оценки потребителями качества услуг на рынке грузоперевозок железнодорожным транспортом. IV квартал 2021. [Электрон. ресурс]. — URL: [https://www.rzd-partner.ru/files/publications/articles/pdf/index_4_2021_короткий%20\(1\).pdf](https://www.rzd-partner.ru/files/publications/articles/pdf/index_4_2021_короткий%20(1).pdf) (дата обращения: 19.02.2022).
18. Зайцева, В. Стратегия на дефицит / В. Зайцева // РЖД-Партнер. — 2021. — № 18. — С. 40–43.
19. Липидус, Б. М. Влияние экологической парадигмы на долгосрочное развитие железнодорожного транспорта / Б. М. Липидус, Д. А. Мачерет // Экономика железных дорог. — 2016. — № 9. — С. 12–24.
20. Липидус, В. А. Повышение эффективности транспортной системы на основе развития принципов бережливого производства в перевозочном процессе / В. А. Липидус, М. Б. Рышков, М. Н. Мальцева, Д. И. Цвирунов // Бюл. Объед. учен. совета ОАО «РЖД». — 2018. — № 2. — С. 32–49.
21. Осьминин, А. Т. Динамическая модель загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» / А. Т. Осьминин, А. В. Кабанов // Железнодорожный транспорт. — 2021. — № 8. — С. 10–19.
22. Мачерет, Д. А. Экономическая оценка сезонной неравномерности перевозок: монография / Д. А. Мачерет, А. Д. Разуваев, А. Ю. Ледней. — М.: Прометей, 2022. — 142 с.
23. Липидус, Б. М. О влиянии цифровизации и Индустрии 4.0 на перспективы развития железнодорожного транспорта / Б. М. Липидус // Бюл. Объед. учен. совета ОАО «РЖД». — 2018. — № 1. — С. 1–8.

Методологические основы расчета темпа производства транспортной продукции в авиационной транспортно-логистической системе



Тецлав И. А.,
старший преподаватель
кафедры аэропортов
и авиaperевозок ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский
государственный универси-
тет гражданской авиации»
(СПбГУ ГА)

С начала 2020 г. объём пассажирских авиаперевозок в мире снизился в среднем на 60–75 % вследствие коронавирусной инфекции. Постоянно изменяющиеся условия работы транспортных систем и ввод новых ограничений определяют необходимость поиска новых методов и моделей формализации работы транспортных систем, позволяющих повысить их эффективность.

Производство транспортной продукции является основной целью деятельности транспортной системы, которая выражена как результат объема выполненных работ по перемещению пассажиров, почты или груза на расстояние:

$$A = F \cdot L, \quad F = m \cdot a, \quad a = \text{const},$$

$$q_{zp}^{\pi} = m \cdot L \quad [m \cdot \text{км}], \quad (1)$$

$$q_{nacc}^{\pi} = n \cdot L \quad [nacc \cdot \text{км}]$$

Предел показателя работы в единицу времени для выбранной системы равен [21]:

$$p = F \cdot dt = m \cdot a \cdot dt = m \cdot \frac{dV}{dt} dt = m \cdot dV. \quad (2)$$

Учитывая тождественность понятия (2) с импульсом или темпом транспортного процесса, можно определить эффективность транспортной системы:

$$p_i = m_i V_i, \quad p_j = n_j V_j. \quad (3)$$

Каждый вид транспорта имеет свой темп создания транспортной продукции. Фактический темп производства

транспортной продукции в транспортно-логистической системе имеет вид,

$$p_{ij}^{\text{факт}} = n_{ij}^{\text{факт}} \cdot V_{ij}^{\text{факт}} \quad (4)$$

где $n_{ij}^{\text{факт}}$ – количество пассажиров, прибывших на рейс i -го транспортного средства j -го вида транспорта, определяемое коммерческой деятельностью, $nacc$; $V_{ij}^{\text{факт}}$ – фактическая скорость воздушного судна при выполнении рейсов, км/ч.

Если основными параметрами для транспортной системы (3), оценивающими эффективность работы, являются коммерческая загрузка j -го вида транспорта и его скорость, тогда предел темпа производства транспортной продукции в транспортной системе рассчитывается следующим образом:

$$p_{ij}^{nl} = n_{ij}^{nl} \cdot V_{ij}^{nl}, \quad (5)$$

где n_{ij}^{nl} – пассажироместность i -го транспортного средства j -го вида транспорта, определяемая техническими характеристиками, $nacc$; V_{ij}^{nl} – плановая скорость воздушного судна при выполнении рейсов, км/ч.

Зависимость коммерческой загрузки и скорости от времени работы есть производная темпа транспортной продукции i -го транспортного средства j -го вида транспорта. Геометрическое представление производной транспортной продукции от времени представляет собой график функции $p_j(t)$ в виде линии на плоскости, где абсцисса ось — это время t , а ось ординат — количество транспортной продукции i -го транспортного средства j -го вида транспорта.

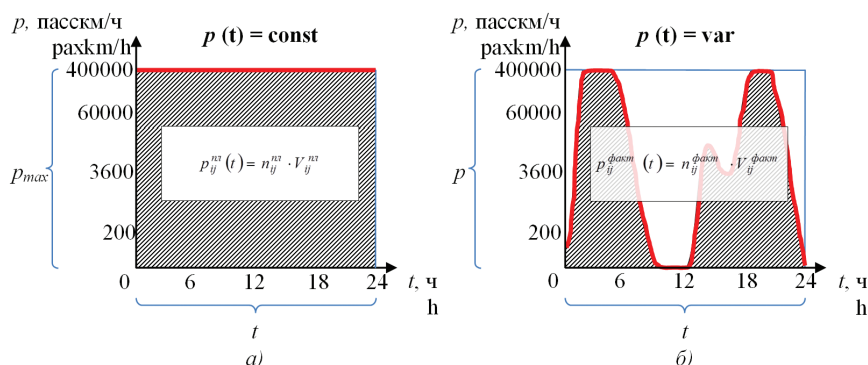


Рис. 1. Зависимости прямолинейной (а) и криволинейной функций (б) транспортной продукции от времени работы транспортной системы



Рис. 2. Авиационная транспортно-логистическая система (АвиаТЛС)

При равномерном движении j -го вида транспорта $V_j^{пл} = const$ с максимальной коммерческой загрузкой $n_j^{пл} = const$ (рис. 1, а) и криволинейной при $V_j^{факт} = var$ и $n_j^{факт} = var$ (рис. 1, б).

Математическая постановка транспортной задачи определена целевой функцией управления движением транспортных средств [1, 2] с учетом темпа транспортного процесса и различных норм рабочего времени транспортных систем:

$$\lim_{\substack{k_{НП} \rightarrow 1 \\ k_{ТИ} \rightarrow 1}} F_D = k_{НП} k_{ТИ} = \frac{p_{ij}^{факт}}{p_{ij}^{пл}} \cdot k_{ТИ} = \frac{n_{ij}^{факт} V_{ij}^{факт}}{n_{ij}^{пл} V_{ij}^{пл}} \cdot \left(k_{PB} - \frac{t_{орз}}{t_k} \right) \quad (6)$$

где F_D — целевая функция управления движением транспортных средств; $k_{НП}$ — коэффициент непрерывности транспортного процесса; $k_{ТИ}$ — коэффициент технического использования времени; k_{PB} — коэффициент использования рабочего времени; t_k — календарный период функционирования транспортной системы; $t_{орз}$ — время организационных простоев.

Целевая функция управления движением транспортных средств определяет требования к построению ресурсно-временной модели производства транспортной продукции, а также к необходимости формирования системы подготовки всех ресурсов к процессу транспортировки пассажиров, почты и груза за минимальное время, не снижая уровень безопасности и экологичности транспортного процесса.

Задача о минимизации времени простоя воздушных судов в авиационной транспортно-логистической системе (АвиаТЛС), включающей всех участников авиационной перевозки «АвиаТЛУ-1 (авиационный транспортно-логистический узел) — Система ОрВД — АвиаТЛУ-2», должна решаться по принципу партнерства, направленному на потребителя перевозки с целью минимизации стоимости билета на авиационном транспорте и повышения мобильности населения страны (рис. 2).

Тогда АвиаТЛС и ее авиационные транспортно-логистические узлы (АвиаТЛУ), как ее элементы, далее будем рассматривать как транспортный комплекс, состоящий из взаимосвязанных систем «Аэропорт — Авиакомпания — Система ОрВД» [3, 4], которые должны работать во взаимодействии с целью повышения темпа производства транспортной продукции.

Например, при транспортировке пассажиров с использованием авиационного плеча примем фактическую коммерческую загрузку для воздушного судна (ВС) равной 150 пассажирам, а плановую (предельную) коммерческую загрузку — 200 пассажиров. При этом фактическая (рейсовая) скорость движения ВС в АвиаТЛС равна 750 км/ч, а плановая (техническая) скорость ВС — 950 км/ч.

Например, при транспортировке пассажиров с использованием авиационного плеча примем фактическую коммерческую загрузку для воздушного судна (ВС) равной 150 пассажирам, а плановую (предельную) коммерческую загрузку

ку — 200 пассажиров. При этом фактическая (рейсовая) скорость движения ВС в АвиаТЛС равна 750 км/ч, а плановая (техническая) скорость ВС — 950 км/ч.

Для АвиаТЛС определим темп производства транспортной продукции, который характеризуется фактическими (4) и плановыми (5) значениями коммерческой загрузки транспортных средств, а также фактическими и плановыми значениями скорости транспортных средств:

$$p_{авиа}^{факт} = 150 [пасс] \cdot 750 \left[\frac{км}{ч} \right] = 112500 \left[\frac{пасскм}{ч} \right];$$

$$p_{авиа}^{пл} = 200 [пасс] \cdot 950 \left[\frac{км}{ч} \right] = 190000 \left[\frac{пасскм}{ч} \right].$$

На основании (6) получим коэффициент непрерывности транспортного процесса для воздушного транспорта:

$$k_{НП}^{авиа} = \frac{p_{авиа}^{факт}}{p_{авиа}^{пл}} = \frac{112500 \left[\frac{пасскм}{ч} \right]}{190000 \left[\frac{пасскм}{ч} \right]} = 0,5921.$$

Коэффициент технического использования времени, вычисляется следующим образом:

$$t_{ТИ} = t_{PB} - t_{орз} \Rightarrow \frac{t_{ТИ}}{t_k} = \frac{t_{PB} - t_{орз}}{t_k} \Rightarrow \frac{t_{ТИ}}{t_k} = k_{ТИ}; \frac{t_{PB}}{t_k} = k_{PB}; \frac{t_{орз}}{t_k} = k_{орз}. \quad (7)$$

Норма рабочего времени исчисляется в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю по расчетному графику пятидневной рабочей недели с двумя выходными днями (в субботу и воскресенье) исходя из продолжительности ежедневной работы (смены) [5]. Так, при 40-часовой рабочей неделе норма рабочего времени составит 8 ч., при продолжительности рабочей недели 36 ч. — 7,2 ч., при 24-часовой рабочей неделе — 4,8 ч.

Исходя из данных о производственном календаре на 2021 г., можно взять основные характеристики:

$$t_k = 365 [дней], \quad t_{PB} = 247 [дней], \quad t_{всх} = 118 [дней],$$

$$t_{орз} = 65 [дней], \quad t_{PB} = 8 \left[\frac{часов}{день} \right]$$

Благодаря этому, можно рассчитать рабочее время за 2021 г. в часах:

$$t_{PB}^{40} = 5 \left[\frac{дней}{неделю} \right]; \quad t_{PB}^{36} = 4,5 \left[\frac{дня}{неделю} \right]; \quad t_{PB}^{24} = 3 \left[\frac{дня}{неделю} \right].$$

На основании (7) можно рассчитать:

$$k_{PB}^{40} = \frac{247 [дней]}{365 [дней]} = 0,6767; \quad k_{PB}^{36} = \frac{222 [дня]}{365 [дней]} = 0,6082;$$

$$k_{PB}^{24} = \frac{148 [дней]}{365 [дней]} = 0,4055.$$

Кроме норм рабочего времени, на коэффициент технического использования времени могут воздействовать и организационные проблемы, которые влияют на время простоя i -х транспортных средств на j -м участке смешанной перевоз-

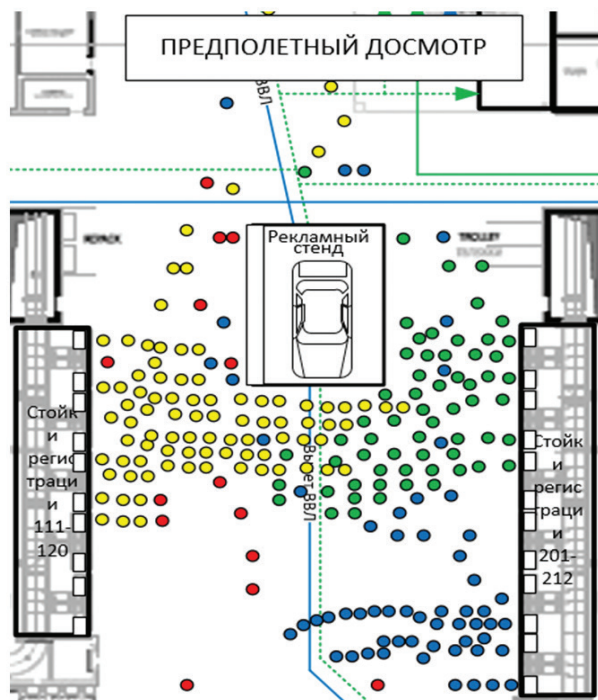


Рис. 3. Очереди пассажиров в зоне регистрации аэровокзала

ки и как следствие на целевую функцию управления движением транспортных средств.

Примем, что $t_{орг} = 65[\text{дней}]$, тогда

$$k_{орг} = \frac{65[\text{дней}]}{365[\text{дней}]} = 0,1781.$$

Исходя из (6), можно рассчитать целевую функцию управления движением транспортных средств, с учетом различных норм рабочего времени:

$$F_{Давиа}^{40} = k_{нп} k_{ти} = 0,5921 \cdot (0,6767 - 0,1781) = 0,5921 \cdot 0,4986 = 0,2952$$

$$F_{Давиа}^{36} = k_{нп} k_{ти} = 0,5921 \cdot (0,6082 - 0,1781) = 0,5921 \cdot 0,4301 = 0,2546$$

$$F_{Давиа}^{24} = k_{нп} k_{ти} = 0,5921 \cdot (0,4055 - 0,1781) = 0,5921 \cdot 0,2274 = 0,1346$$

Относительно предельного темпа производства транспортной продукции в АвиаТЛС определяются требования к пропускной способности АвиаТЛУ, а также к провозной возможности, вследствие чего возникает необходимость решения задачи по оптимальному планированию ресурсов транспортного производства во времени.

Для решения ресурсно-временной задачи необходимо использовать систему уравнений

$$F^{АвиаТЛС} = \begin{cases} F_{Д}^{АвиаТЛС} = \frac{F_{Д}^{факт}}{F_{Д}^{план}} \rightarrow \max \\ F_{РЕС}^{АвиаТЛС} = N_{рес}^{АвиаТЛС} \cdot t_{орг} \rightarrow \min \\ F_{Э}^{АвиаТЛС} = \frac{F_{Э}^{факт}}{F_{Э}^{план}} \rightarrow \max \\ F_{Б}^{АвиаТЛС} = \frac{F_{Б}^{факт}}{F_{Б}^{план}} \rightarrow \max \end{cases},$$

где $F^{АвиаТЛС}$ — целевая функция оценки эффективности работы АвиаТЛС; $F_{РЕС}^{АвиаТЛС}$ — целевая функция оценки эффективности работы ресурсов во времени АвиаТЛС; $N_{рес}^{АвиаТЛС}$ — количество ресурсов, используемых при производстве транспортной продукции в АвиаТЛС; $t_{орг}$ — время организационных простоев; $F_{Э}^{АвиаТЛС}$ — целевая функция оценки экологической безопасности АвиаТЛС; $F_{Б}^{АвиаТЛС}$ — целевая функция оценки безопасности АвиаТЛС.

При решении оптимизационной задачи для АвиаТЛУ с использованием теории массового обслуживания можно применить многоканальную систему с ограничением на длину очереди. При этом рассчитываются вероятности простоя СМО, нахождения заявок в СМО, образования очереди и отказа в обслуживании пассажиров с учетом относительной пропускной способности обслуживающих аппаратов и средних значений параметров СМО [6–8].

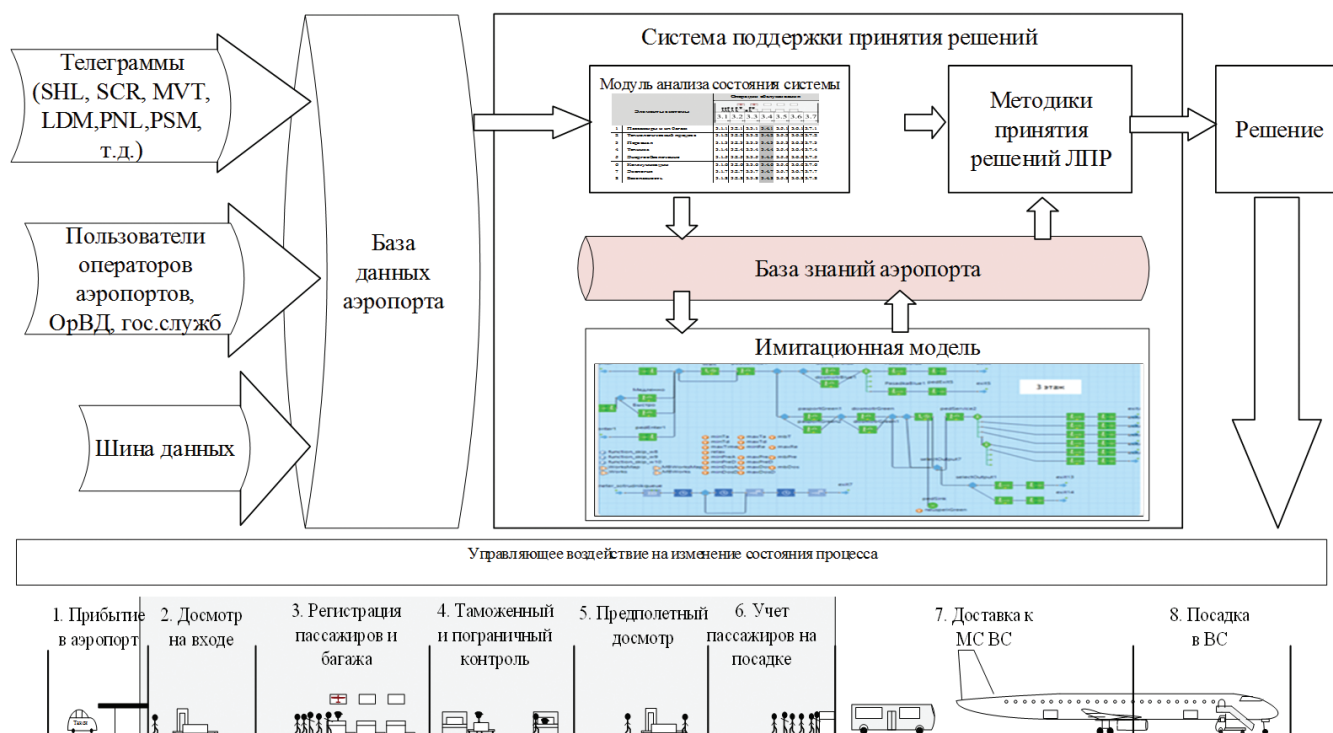


Рис. 4. Схема организации информационных потоков в системе поддержки принятия решений с самообучением

- разработка модели обслуживания пассажиров, включающая сценарии сбойных и нештатных ситуаций при обслуживании пассажиров;
- процесс калибровки и проверки, направленный на обеспечение соответствия массиву данных наблюдаемого состояния обслуживания пассажиров;
- разработка руководства пользователя ДСИМ.
- ввод в эксплуатацию ДСИМ в АвиаТЛУ.

ДСИМ обслуживания пассажиров в АвиаТЛУ применяется в процессах принятия решений при планировании и распределении ресурсов в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах в составе системы управления ресурсами (СУР). ДСИМ АвиаТЛУ разработан на принципах дискретно-событийного моделирования в среде AnyLogic [14]. Интерактивные возможности настройки ДСИМ позволяют разработать модель АвиаТЛУ любой конфигурации.

Алгоритм формирования плана с использованием СУР АС «Кобра» и ДСИМ состоит из последовательных этапов (рис. 5).

Основные этапы алгоритма формирования плана распределения ресурсов:

- 1) выгрузка файла с исходными данными из АС «Кобра»;
- 2) подготовка файла исходных данных;
- 3) формирование плана распределения ресурсов в СУР АС «Кобра»;
- 4) загрузка сформированного плана распределения ресурсов в ДСИМ;
- 5) выгрузка из ДСИМ результатов имитационных экспериментов в виде экспресс-отчетов для ЛПР.

Минимизация организационного времени в АвиаТЛУ обуславливает стремление АвиаТЛС к пределу создания транспортной продукции, а также позволяет повысить эффективность транспортно-логистического комплекса смешанных перевозок страны.

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что разработанный подход оценки эффективности работы АвиаТЛС и его математическая постановка определяют необходимость стремления к пределу темпа производства транспортной продукции за счет сокращения времени нахождения НВС на земле.

Предложенный алгоритм принятия решения ЛПР позволяет оценить состояние системы обслуживания пассажиров в АвиаТЛУ с учетом динамично меняющейся обстановки. Применение имитационного моделирования на новых принципах уменьшает неопределенность возникновения факторов

и дает возможность проактивно управлять технологическими процессами в АвиаТЛУ с целью минимизации ресурсно-временных издержек при возникновении сбойных ситуаций, а также повышения регулярности отправок ВС.

Литература

1. Зайцев Е. Н. Синтез комплексной системы управления смешанными перевозками: монография / Е. Н. Зайцев. — СПб.: СПбГУГА, 2007. — 212 с.
2. Шайдуров И. Г. Метод комплексной оценки эффективности технологических процессов грузового терминала авиационного транспортно-логистического узла: дис. канд. техн. наук, специальность: 05.22.01 / И. Г. Шайдуров. — СПб., 2021—185 с.
3. Зайцев Е. Н. Комплекс взаимодействия систем «Аэропорт—Авиакомпания—УВД» в системе смешанных перевозок / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. — 2016. — № 2 (11). — С. 101–117.
4. Зайцев Е. Н. Методология формирования системы коммерческой готовности воздушного судна к рейсу / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. — 2016. — № 2 (11). — С. 118–132.
5. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 13.08.2009 N588н «Об утверждении Порядка исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды времени (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю» // КонсультантПлюс.
6. Фомин Г. П. Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности: учеб. пособие / Г. П. Фомин. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 144 с.
7. Соколов А. А. Стохастические модели обслуживания пассажиров в аэропортах / А. А. Соколов — М.: Грин Принт, 2019. — 264 с.
8. Бозуйла М. Проектирование новой транспортной системы с использованием микроскопических моделей и многоагентного подхода / М. Бозуйла, А. Т. Тола // Автоматическое управление и информатика. — Т. 55(2). — С. 125–136.
9. Evon M. O. A. T. Handbook of research on discrete event simulation environments: technologies and applications / M. O. A. T. Evon, A. E. S. Asim — New

York: Information Science Reference, 2009. — 585 p.

10. Lim E. W. C. Discrete event simulations: development and applications/ E. W. C. Lim — Rijeka: InTech, 2012. — 206 p.
11. Boero R. Agent-based models of the Economy: from theories to applications / R. Boero [и др.]. London: Palgrave Macmillan, 2015. — 232 p.
12. Hokamp S. Agent-based modeling of tax evasion: theoretical aspects and computational Simulations / S. Hokamp, L. Gulyas, M. Koehler, S. Wijesinghe— Chennai: Wiley, 2018. — 364 p.
13. Шеннон Р. Имитационное моделирование — искусство и наука/ Р. Шеннон; — пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 420 с.
14. Borshchev A. The big book of simulation modeling. Multimethod modeling with AnyLogic 6. AnyLogic North America.
15. Асаул А. Н. Концептуальные подходы к построению интеллектуальной мультимодальной транспортной системы РФ/А. Н. Асаул, И. Г. Малыгин, В. И. Комашинский, М. Ю. Аванесов // Информатика и Космос. — № 3 / Радиотехника и связь. — 2016. — С. 8–17.
16. Малыгин И. Г. Сети, информация и знания — основные драйверы четвертой промышленной революции (Industrie 4.0) / И. Г. Малыгин, В. И. Комашинский, М. Ю. Аванесов, С. А. Комиссаров, К. Н. Сорокин // Информатика и Космос. — № 1 / Радиотехника и связь. — 2016. — С. 14–25.
17. Толуев Ю. И. Задачи имитационного моделирования при реализации концепции Индустрия 4.0 в сфере производства и логистики / Ю. И. Толуев // Труды Восьмой Всерос. науч.-практич. конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017) (г. Санкт-Петербург, 18–20 октября 2017). — СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. — С. 57–65.
18. Sauter V. L. Decision support systems for business intelligence./ V. L. Sauter. — New Jersey: Wiley, 2010. — 453 p.
19. Burstein F. Handbook on decision support systems 1. Basic themes / F. Burstein, C. W. Holsapple. — Leipzig: Springer, 2008. — 907 p.
20. Jao C. S. Efficient decision support systems — Practice and challenges from current to future/ C. S. Jao — Rijeka: InTech, 2011. — 566 p.
21. Devlin G. Advances in decision support systems/ G. Devlin — Rijeka: InTech, 2010. — 352 p.
22. Turban E. Decision support systems and intelligent systems / E. Turban, J. E. Aronson, T. P. Liang — New Jersey: Prentice Hall, 2004. — 955 p.
23. Зайцев Е. Н. Применение систем имитационного моделирования в управлении потоками пассажиров в аэровокзалах / Е. Н. Зайцев, А. Г. Пашкевич, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Технологии построения когнитивных транспортных систем: Материалы Всерос. науч.-практич. Конференции. 30–31 мая 2018 г. — СПб.: ИПТ РАН, 2018. — С. 42–47

Расчетно-экспериментальный метод определения энергоэффективности грузовых вагонов с применением цифровых моделей



Ю. П. Бороненко,
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)



Б. О. Поляков,
инженер-испытатель
АО «НВЦ «Вагоны»



И. Р. Крон,
аспирант ПГУПС



Т. М. Белгородцева,
заведующий научно-исследовательской лабораторией «Динамика вагонов» кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС

Для энергосбережения важно разработать, ввести и научиться определять научно-обоснованные показатели энергоэффективности грузовых вагонов. Используемый в настоящее время показатель «основное удельное сопротивление движению вагона» является косвенным и характеризует не затраты энергии, а силу сопротивления.

Энергетическая эффективность подвижного состава является одним из важнейших приоритетов развития железнодорожного транспорта. На тягу поездов ОАО «РЖД» расходует около 70 % потребляемой электроэнергии. Однако вопросы электросбережения рассматриваются преимущественно в отношении тягового подвижного состава. Для него введены тягово-энергетические паспорта.

Вопросы же энергетической эффективности вагонов практически не рассматриваются. При определении удельного расхода энергии на тягу поезда расход энергии на передвижение вагонов принимается усредненно для некоторых условных четырехосных вагонов с осевой нагрузкой 17 тс [1].

В то же время проведенные в последние годы испытания новых инновационных вагонов показали [2–4], что их сопротивление движению, а, следовательно, и затраты энергоресурсов меньше на 15–30 % в сравнении с традиционными вагонами с осевой нагрузкой 23,5 тс.

Поэтому предлагается ввести показатель энергоэффективности грузовых вагонов:

$$\Pi_3 = \frac{\mathcal{E}}{A}, \quad (1)$$

здесь $\mathcal{E}$ — расход энергии на перемещение вагона на расстояние транспортировки L ;

A — полезная работа: масса перевезенного груза на расстояние L .

Расход энергии определяется следующим образом:

$$\mathcal{E} = (m_r + m_t) \int_0^L w'' dl, \quad (2)$$

m_r — масса груза;

m_t — масса тары вагона;

w'' — основное удельное сопротивление движению вагона в поезде.

Полезная работа равна

$$A = m_r L \quad (3)$$

Поставив (2) и (3) в выражение (1), для определения энергоэффективности вагона получаем формулу

$$\begin{aligned} \Pi_3 &= \frac{(m_r + m_t)}{m_r \cdot L} \int_0^L w'' dl = \\ &= \frac{(1 + k_t)}{L} \int_0^L w'' dl, \end{aligned} \quad (4)$$

в которой $k_t = \frac{m_t}{m_r}$ — коэффициент тары вагона.

В качестве измерителя можно принять в соответствии с установленным в ОАО «РЖД» $m_r L = 10\,000$ ткм нетто или с используемым в мировой практике $m_r L = 1$ ТКм нетто.

Таким образом, энергоэффективность вагона зависит от коэффициента тары и основного удельного сопротивления движению.

Коэффициент тары каждого вагона — известная величина, она приводится в технической документации на вагон. Основное сопротивление для вагонов в большинстве случаев неизвестно. В последнее десятилетие его величина была установлена только для нескольких типов вагонов из более 100 моделей, поступивших в эксплуатацию.

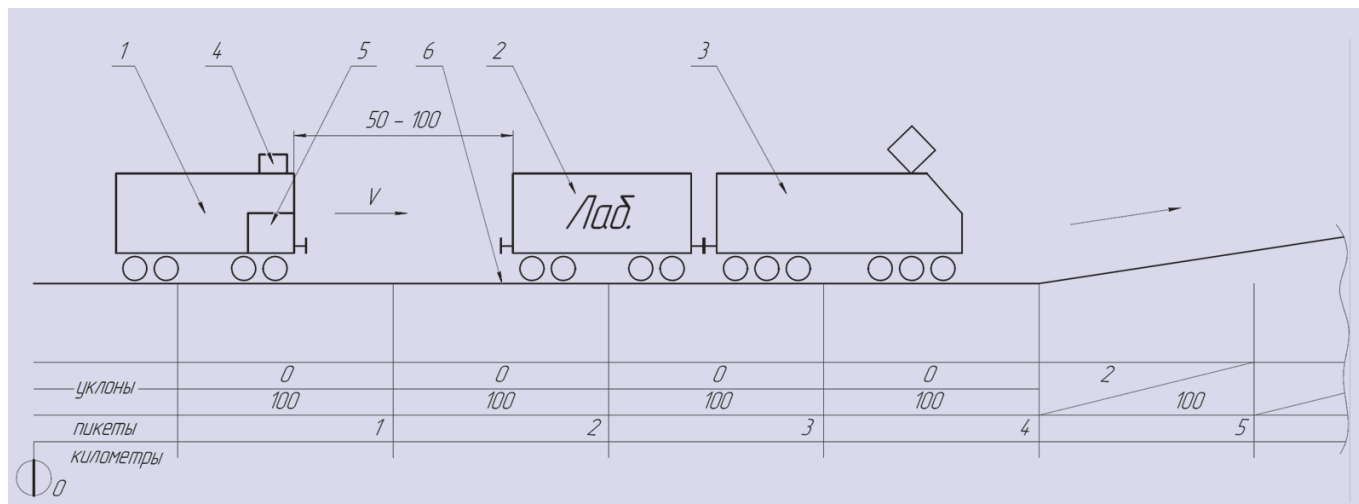


Рис. 1. Схема проведения испытания: 1 – испытываемый вагон; 2 – вагон-лаборатория; 3 – локомотив; 4 – навигационный приемник; 5 – устройство включения тормоза вагона; 6 – прямолинейный участок пути

В настоящее время на железных дорогах Российской Федерации основное сопротивление движению находится с помощью динамометрического метода, суть которого изложена в [5–6].

Однако, согласно данной методике, для определения основного сопротивления необходимо вывести из эксплуатации 65 исследуемых вагонов, что влечет за собой большие финансовые затраты и потери для предприятия. В связи с этим, возникает объективная необходимость в разработке нового метода определения основного сопротивления движению — более технологичного, точного и экономически превосходящего существующий динамометрический способ.

Для определения основного сопротивления движению грузовых вагонов предлагается использовать новый расчетно-экспериментальный метод [7], в котором механическая составляющая находится экспериментально, а аэродинамическая — посредством расчетов с применением цифровых твердотельных моделей вагонов [8].

Экспериментальная часть метода схожа с существующим методом скатывания [6], при котором испытываемый вагон разгоняется локомотивом, а затем, после выключения двигателей, свободно скатывается по участку пути под действием накопленной кинетической энергии. Однако предлагаемый метод имеет свои особенности (рис. 1).

Во-первых, исследуемый вагон после разгона при помощи локомотива отцепляется на заранее выбранном прямом участке пути с известными уклонами, затем локомотив удаляется от этого вагона на такое расстояние, при котором возможна адекватная оценка аэроди-

намического сопротивления движению вагона.

Во-вторых, при расцеплении локомотива с вагоном, выпуск воздуха из тормозного рукава испытываемого вагона заблокирован с помощью специального управляемого радиосигналом с пульта дистанционного управления устройством, которым манипулирует оператор, находящийся на локомотиве или на вагоне-лаборатории. Для обеспечения безопасности проведения таких испытаний, предусмотрено автоматическое включение тормозов вагона по истечении определенного времени.

В-третьих, на исследуемом вагоне установлена ЭВМ с подключенным GPS-навигатором, получающим данные о местоположении, скорости движения и времени от спутников радионавигационных систем. Эти данные фиксируются в памяти ЭВМ, а затем обрабатываются с целью получения результата, которым является сопротивление движению одиночного вагона $w_{к0}$.

При таком эксперименте определяется основное сопротивление w одиночного вагона.

Для расчета показателя энергоэффективности необходимо знать не основное



Рис. 2. Фото поезда с вагон-лабораторией и испытываемым вагоном

Работа выполнена при финансовой поддержке департамента технической политики ОАО «РЖД».

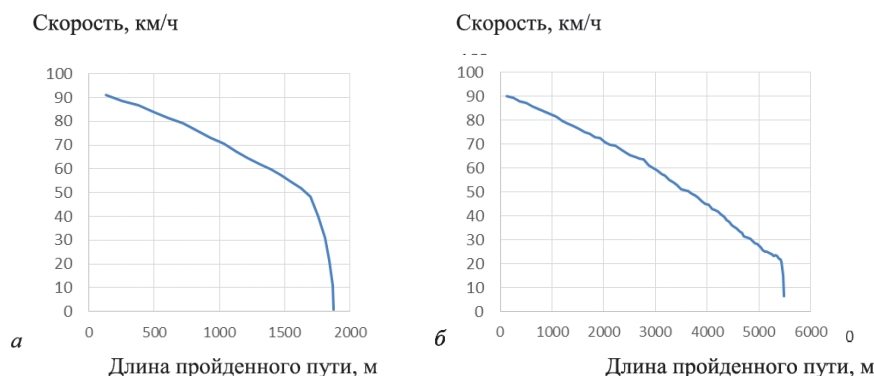


Рис. 3. Зависимость скорости порожнего (а) и груженого (б) вагона от пройденного пути при бросковых испытаниях

сопротивление одиночного вагона, а его основное сопротивление $w_{\sim}$ в составе поезда. Полное сопротивление одиночного вагона w_{k0} представляет собой сумму механического $w_{\text{мех } 0}$ и аэродинамического сопротивления $w_{\text{аэр } 0}$:

$$w_{k0} = w_{\text{мех } 0} + w_{\text{аэр } 0}$$

Проведя расчет аэродинамического сопротивления на цифровых моделях одиночного вагона [8], можно определить механическое сопротивление одиночного вагона:

$$w_{\text{мех } 0} = w_{k0} - w_{\text{аэр } 0}$$

Далее, учитывая, что механическое сопротивление одиночного вагона равно механическому сопротивлению вагона в поезде, проводя вычисления аэродинамического сопротивления этого же вагона $w_{\text{аэр } n}$ в поезде, можно получить полное сопротивление вагона в составе поезда:

$$w_{\sim} = w_{k0} - w_{\text{аэр } 0} + w_{\text{аэр } n}$$

Основное сопротивление движению вагона определяется при помощи выражения

$$w_{k0} = gi + (1 + \gamma) \frac{dV}{dt},$$

где w_{k0} — сопротивление движению одиночного вагона;

g — ускорение свободного падения;

i — уклон участка пути;

γ — коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся узлов вагона.

В мае 2022 г. ПГУПС совместно с ВНИИЖТ провели апробацию предлагаемой методики испытаний с определением основного сопротивления движению полувагона модели 12–196–01 методом скатывания (рис. 2). Зависимости скорости от пройденного пути порожнего и груженого вагона, которые

позволяют перейти к определению энергоэффективности, приведены на рис. 3.

Проведенные испытания показали работоспособность разработанной аппаратуры и возможность сбрасывания одиночного вагона с удаленным управлением его тормозами. Предлагаемый подход позволит при проведении тормозных испытаний определять энергоэффективность каждого испытуемого вагона и создать базу для введения нормативов энергоэффективности грузового подвижного состава.

По итогам проделанной работы:

рекомендовано, учитывая мировую тенденцию экономии расхода энергоресурсов, ввести в технико-экономические параметры каждой модели грузового вагона показатель его энергоэффективности — отношение расхода энергии к полезной работе, зависящий от коэффициента тары и основного удельного сопротивления движению;

предложен расчетно-экспериментальный способ определения основного сопротивления движению, позволяющий существенно снизить стоимость испытаний, включающий определение механической компоненты сопротивления движению экспериментально методом скатывания, аэродинамической компоненты — расчетом на цифровых моделях.

показана возможность и безопасность проведения бросковых испытаний одиночного вагона с удаленным управлением его тормозами по определению зависимости его основного сопротивления от скорости движения. В дальнейшем предлагается определять эту зависимость при постановке на производство и сертификации новых вагонов одновременно с проведением бросковых тормозных испытаний вагонов.

Литература

1. Гапанович В. А. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник для вузов / В. А. Гапанович и др. — ОАО «Российские железные дороги». — М.: МИСИС, 2012. — 619 с.
2. Титова Т. С. Экономическая эффективность увеличения грузоподъемности вагонов / Т. С. Титова, Ю. П. Бороненко // Железнодорожный транспорт. — 2018. — № 5. — С. 52–55.
3. Соколов А. М. Осевая нагрузка 27 тс — новая веха развития вагоностроения / А. М. Соколов, А. М. Орлова // Вагоны и вагонное хозяйство. — 2016. — № 3(47). — С. 5–7.
4. Boronenko Y. P. Energy efficiency of freight wagons and influence of their oscillations on rolling resistance / Y. P. Boronenko, A. N. Komarova, Y. S. Romen // The Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks — Proceedings of the 24th Symposium of the International Association for Vehicle System Dynamics. IAVSD2015 24th. — 2016. — P. 1491–1498.
5. Методика оценки экономической эффективности эксплуатации грузовых инновационных вагонов на железнодорожной инфраструктуре российских железных дорог. — Электрон. ресурс regulation.dov.ru. ID02/08/08–16/00052734. — Утв. Приказом Минтранс РФ № 457 от 23.10.2017 г.
6. Астахов П. Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава / П. Н. Астахов. — М.: Транспорт, 1966. — 176 с. (Труды ВНИИЖТ. — Вып. 311.)
7. Крон И. Р. Расчетно-экспериментальный метод определения основного сопротивления движению подвижного состава с применением цифровых моделей / И. Р. Крон, Б. О. Поляков // Транспорт Российской Федерации. — 2021. — № 4(95). — С. 50–53.
8. Бороненко Ю. П. Определение аэродинамического сопротивления грузовых поездов с инновационными полувагонами на цифровых моделях / Ю. П. Бороненко, Б. О. Поляков, Т. М. Белгородцева // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. — 2021. — № 1–2 (92–93). — С. 57–62.

Методика и результаты контроля опасного загрязнения воздуха поллютантами транспорта в городах Заполярья на режимах пуска и прогрева двигателей



В. Н. Ложкин,
д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

В городах Заполярья наблюдается опасное загрязнение воздуха промышленностью и транспортом. При этом препятствием на пути решения проблемы может оказаться низкая эффективность нейтрализаторов двигателей транспортных средств на малых нагрузках при отрицательных температурах. Предложена методика расчета выбросов поллютантов с отработавшими газами транспорта экологических классов Евро 3 – Евро 5 для условий Арктики.

Промышленное освоение Арктики, связанное с добычей углеводородов и прокладкой Северного морского пути, в новейшей истории [1] стало доступным благодаря наблюдаемому беспрецедентному потеплению климата и развитию мощных технических средств [2] для освоения ранее недоступных территорий вечной мерзлоты из-за аномального холода.

С приходом в Заполярье континентальной цивилизации в отличие от коренных популяций, приспособленных тысячелетиями к «жесткому» климату в естественной жизненной гармонии с уникальной окружающей средой, стали востребованы города с избыточной концентрацией промышленности и транспорта. Это постепенно привело в городских агломерациях Заполярья к тем же континентальным проблемам сверхнормативного загрязнения воздушной среды промышленностью и транспортом [1, 2] поллютантами (CO , SO_2 , NO_x , летучих органических соединений, частиц $\text{PM}_{2.5}$ черного углерода, бензо(α)пирена — $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), парниковыми газами (CO_2 , метан CH_4 , закись азота N_2O) и настоятельной необходимости внедрения на транспорте городов Заполярья систем фильтрации и каталитической нейтрализации [3].

Данная проблема адаптации технологий фильтрации и каталитической нейтрализации отработавших газов (ОГ) транспорта к аномально низким температурам арктического климата, вытекающая

из отмеченной проблематики реальной экономики мировой цивилизации, исследуется в настоящей статье применительно к актуальным режимам запуска и прогрева двигателей транспорта на малых нагрузках [4, 5] в городах Заполярья России.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов были взяты города Заполярья Арктической зоны РФ с общим населением более 180 000 человек: Мурманск, Архангельск и Норильск. На климат Мурманска и Архангельска сильное влияние оказывает теплое течение Гольфстрим. Для Мурманска характерны относительно мягкие температуры зимой — колебания в пределах значений $(-10)-(-12)^\circ\text{C}$ и относительно низкие температуры летом — $11-13^\circ\text{C}$, с экстремальным минимумом — $(-39,4)^\circ\text{C}$. Для Архангельска соответственно зимой — $(-11)-(-13)^\circ\text{C}$, летом — $13-15^\circ\text{C}$, с экстремальным минимумом за десять последних лет $(-41,3)^\circ\text{C}$.

Норильск является самым северным поселением из крупных городов русского Заполярья с суровым субарктическим климатом. Средняя температура зимой около $(-28)^\circ\text{C}$, с экстремальным минимумом $(-53)^\circ\text{C}$. Лето короткое и прохладное с температурой в среднем $9-10^\circ\text{C}$.

Методически проблема загрязнения воздуха в этих городах исследовалась с использованием открытой официальной информации, а именно: государственных докладов и интернет-сервисов Федераль-

ной службы государственной статистики (<https://www.fedstat.ru>), ГИБДД (www.гибдд.рф), Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (<http://www.meteorf.ru/>), Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (<https://rpn.gov.ru>), аналитического агентства «Автостат» (<https://www.autostat.ru>).

Предлагаемый метод контроля загрязнения воздушной среды опасными веществами основан на авторской адаптации [6, 7] фундаментальных теоретических представлений (рис. 1) кинетики гетерогенного катализа к реальным процессам, протекающим в металлических сотовых матрицах на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ автомобильных каталитических нейтрализаторов для проблемных режимов пуска, прогрева и малых нагрузок двигателя [8–9] применительно к аномально низким значениям температуры воздуха климата Арктики.

Оценим скорость результирующего процесса нейтрализации ОГ с учетом «диффузионного торможения» с помощью уравнения (в нем замена индекса s на m , по смыслу, отражает это):

$$\left(\frac{dm}{dt}\right) = \left[\left(\frac{Nu_D \cdot D}{d_{\text{экв}}} \sqrt{D_{\text{эф}} \cdot k^1} \right) \left(\frac{Nu_D \cdot D}{d_{\text{экв}}} + \sqrt{D_{\text{эф}} \cdot k^1} \right) \right] \cdot C_0 \quad (1)$$

где Nu_D — критерий Нуссельта для процесса диффузии внутри активного слоя катализатора;

D — коэффициент диффузии реагирующих веществ в «ядре» потока ОГ сотового канала КН;

$d_{\text{экв}}$ — геометрическая характеристика эквивалентного сечения сотового канала КН;

$D_{\text{эф}}$ — условный коэффициент диффузии реагирующего вещества внутри пористого слоя толщиной H катализатора на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (рис. 1, б), физическая сущность которого характеризуется соотношением

$$dc/dt = D_{\text{эф}} \cdot \Delta c - W'(c). \quad (2)$$

где c — концентрация реагирующего вещества на удалении l в произвольном сечении активного слоя катализатора;

Δ — оператор Лапласа;

$W'(c)$ — эффективная (с учетом «диффузионного торможения») скорость каталитической реакции внутри слоя H , оцениваемая по соотношению $W'(c) = k' \cdot c^n$; где k' — константа «псевдогомогенной» гомогенной химической реакции внутри слоя H [6] ($k' = k \cdot S_v$, S_v — удельная поверхность пор активного слоя, $\text{м}^2/\text{м}^3$, k — постоянная скорости «истинной» химической реакции по уравнению Аррениуса);

n — порядок этой химической реакции в соответствии с уравнением Аррениуса [6].

Эффективность η активного слоя толщиной H в КН оценивалась степенью проникания химической реакции на предельную глубину L (рис. 1, б) по уравнению [6]:

$$\eta = \frac{\int_{l=0}^{l=H} k' \cdot c(l) dl}{k' \cdot c_1} \cong \text{th} \Psi / \Psi, \quad (3)$$

где $\text{th} \Psi / \Psi$ — функция гиперболического тангенса модуля Тиле $\Psi = L \sqrt{\frac{k'}{D_{\text{эф}}}}$.

Интегрирование (3) осуществляется в границах (рис. 1, б): $\frac{dc}{dt} = 0$ (при $l = H - L$), $C = C_1$ (при $l = H$). По физической сущности функция η характеризует влияние «диффузионного торможения» на скорость результирующей кинетики (1) в пористом активном слое на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатора в зависимости от температуры. Положительной особенностью модели, с условной заменой гетерогенной химической реакции по зависимости «чистой кинетики» Аррениуса, условно гомогенной «псевдогомогенной» реакцией для активного слоя $H - L$ по уравнению (1) позволяло оценивать внутри поровую кинетику по моделям Фольмера и Кнудсена [6, 7].

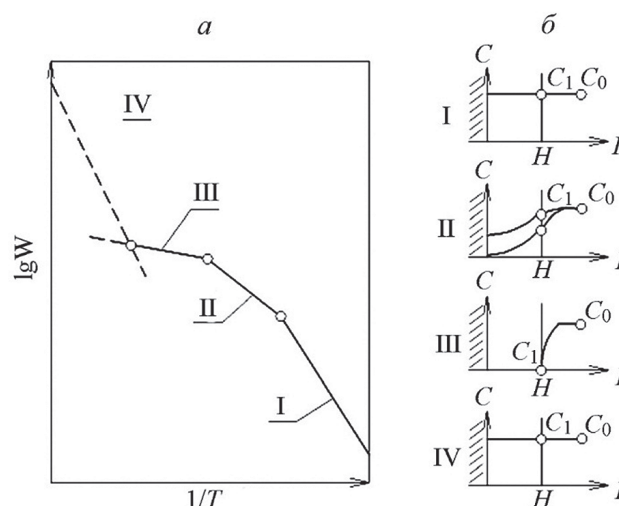


Рис. 1. Предельные, в координатах зависимости Аррениуса (а), области кинетики процесса катализа ОГ в каналах блочного металлического КН (б) [6]:

C_0, C_1 — концентрация реагирующего вещества, соответственно в «ядре» течения ОГ в канале и на внешней условной поверхности слоя толщиной H каталитического покрытия на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ КН; I — внутренняя кинетическая область; II — внутренняя диффузионная область; III — внешняя диффузионная область; IV — внешняя кинетическая область

Результаты и обсуждение

Главными антропогенными источниками загрязнения атмосферы в городах российского Арктического региона служат заводы черной и цветной металлургии, организации выработки и передачи потребителям электроэнергии, природного газа и воды, комбинаты целлюлозно-бумажной промышленности, предприятия добычи полезных ископаемых.

В новейшей истории значимым поставщиком поллютантов и парниковых газов становится автомобильный транспорт. Анализ статистической информации за 2010–2018 гг. демонстрирует неуклонный рост роли передвижных источников, в частности автотранспорта, в воздействии на качество атмосферы в городах Арктики РФ (рис. 2).

В Мурманской области роль автотранспорта в валовых выбросах поллютантов возросла с 16,2 % в 2010 г. до 27,9 % в 2018 г. Конкретно в 2018 г. они составили величины в суммарной валовой эмиссии поллютантов: 70,8 % по CO; 31,5 % по NO_x и 84,1 % по летучим органическим соединениям.

По данным анализа сведений, представленных в ранее упомянутом Государственном докладе за 2019 г., ситуация «хронического» загрязнения атмосферы в Мурманске прео-



Рис. 2. Сравнение выбросов от стационарных источников и автотранспорта в Мурманске, Архангельске и Норильске за 2010–2018 гг.

долена и сверхнормативное загрязнение наблюдается для неблагоприятных метеорологических условий: в 2018–2019 гг. в зимнее время имели место повышенные разовые концентрации NO_x , CO до 1,5 ПДК_{мр} и опасное среднесуточное содержание бензо(а)пирена до 2,5 ПДК для января.

В Архангельской области на роль автотранспорта приходится до 8,4 % суммарных выбросов загрязнителей. Непосредственно в г. Архангельске вклад автомобилей в загрязнение воздуха выше — до 30 %. В 2019 г. уровень загрязнения атмосферного воздуха загрязнителями в городе для января–марта оценен как высокий, для мая, июня и августа–декабря — как повышенный, апреля и июля — как низкий. В городе наблюдались превышения среднесуточной нормы для CO и NO_2 до 2 ПДК_{сс}. В январе 2019 г. было зафиксировано 2 случая аномально высокого загрязнения атмосферы бензо(а)пиреном до 13,9 ПДК_{мр}.

Норильск в новейшей истории входит в «приоритетный список» городов РФ по загрязнению атмосферы. К проблемным загрязнителям относят NO_2 , SO_2 , NO, PM, бензо(а)пирен. Среднегодовое содержание NO_2 в 2018 г. составило 2,38 ПДК_{мр}.

Принимая во внимание возрастающее значение автотранспорта в загрязнении атмосферы, при разработке расчетной методики контроля проблемных режимов пуска, прогрева и малых нагрузок двигателя потребовался анализ структуры транспортного парка городов Заполярья по типам и экологическим классам подвижного состава. В открытых источниках информации были найдены сведения о численности, типовой и возрастной структурах парка автомобилей в регионах РФ, в которых находятся «проблемные» промышленные центры Архангельской, Мурманской областей и Красноярского края.

Анализ структуры автопарка показал, что в Архангельской, Мурманской областях и Красноярском крае за последние 10 лет число автомобилей выросло приблизительно в среднем до 20–30 %, преимущественно за счет роста доли легкового транспорта экологических классов Евро 3 — Евро 5. Доля последних для отмеченных регионов в 2018–2019 гг. составила соответственно 4 и 30 %, что следует отметить, как положительную тенденцию.

Конечно, проблемно высокие выбросы опасных веществ ОГ транспорта характерны для нестационарных режимов пуска,

Таблица. Выброс CO (г/старт) двигателями бензиновых и дизельных легковых автомобилей при пуске и прогреве двигателя при изменении температуры атмосферного воздуха

	Температура атмосферного воздуха				
	–20 °C	–7 °C	0 °C	+10 °C	+23 °C
Легковые бензиновые автомобили					
Euro 3	78,3	46,2	17,9	13,6	6,1
Euro 4	67,2	34,8	16,8	13,1	4,5
Euro 5	51,8	29,3	14,5	8,2	1,5
Легковые дизельные автомобили					
Euro 3	7,2	3,8	2,9	1,8	1,3
Euro 4	6,3	3,5	2,7	1,6	0,9

прогрева двигателей из холодного состояния и на малых нагрузках (по оценкам [8, 9] — до 80–90 % от суммарного выброса CO и ЛОС). В сочетании с неблагоприятными метеорологическими условиями, аномально низкими температурами наружного воздуха и часами «пик» движения это приводит к локальным чрезвычайно опасным загрязнениям приземного слоя атмосферы на городских улично-дорожных сетях (УДС) городов Заполярья.

Вышерассмотренный концептуальный теоретический подход моделирования кинетики гетерогенного катализа был верифицирован и оптимизирован с учетом передовых отечественных и зарубежных представлений о переносе тепла и веществ [10, 11], а также результатов многолетних авторских исследований на стационарных установках и в условиях эксплуатации [5–7, 12].

В частности, испытаниями дизеля 8ЧН 12/12 (КАМАЗ) с КН оригинальной конструкции на режимах Правил № 49 ЕЭК ООН (ТР ТС 018/2011) было установлено [6, 12], что эффективность использования активного слоя катализатора в зависимости от температуры может изменяться в диапазоне $\eta = 20 \dots 95$ %. Меньшие величины характерны для полной нагрузки на дизель, а большие — режимам холостого хода и малых нагрузок.

В исследованиях транспорта на УДС было задействовано 13 легковых бензиновых автомобилей экологических классов Euro 3, Euro 4 и Euro 5 и 3 легковых дизельных автомобиля экологических классов Euro 3 и Euro 4. Измерения содержания в ОГ CO, CH и NO_x осуществляли аттестованными и поверенными газоанализаторами моделей Testo-300 XXL (Германия), «Инфракар 10.02» (Россия). В качестве иллюстративного примера в таблице приведены обобщенные данные экспериментально-расчетной оценки влияния температуры окружающей среды на процесс гетерогенного катализа по выбросам с ОГ CO легковыми

бензиновыми и дизельными автомобилями при функционировании двигателя в режимах пуска и прогрева.

Резюмирующий анализ данных многолетних исследований поставленной в статье проблемы показал существование закономерной тенденции существенного роста CO, CH и опаснейшего бензо(а)пирена при холодном запуске и прогреве двигателя по мере уменьшения температуры наружного воздуха.

Для бензиновых автомобилей экологических классов Euro 3, Euro 4 и Euro 5 при температуре –20 °C эмиссия CO за период прогрева двигателя соответственно в 12,8, 14,9 и 34,5 раза больше, чем при температуре 23 °C; количество CH — аналогично больше в 35,6, 40,8 и 49,2 раза. В отличие от веществ неполного окисления топлива эмиссия NO_x в режиме запуска двигателя изменяется существенно меньше для автомобилей экологических классов Euro 3 — Euro 5 в зависимости от температуры атмосферного воздуха. Это объяснимо особенностями ранее рассмотренной температурной кинетики образования NO [2].

Аналогичные тенденции ожидаемо [2] были обнаружены для дизельных легковых автомобилей: отношение показателей эмиссии CO, CH и NO_x при –20 °C к показателям при 23 °C составило в среднем соответственно 5,5–7,1, 13,7–16,7 и 4,5–4,8. Полученные результаты не противоречат данным аналогичных расчетно-экспериментальных исследований, полученных зарубежными специалистами в предметной области исследований [13, 14].

Заключение

Опасное загрязнение воздуха в крупных городах Заполярья РФ наблюдается преимущественно зимой при аномально низких температурах атмосферного воздуха, инверсии, штилевой погоде, туманах, в часы «пик» эксплуатации транспорта и объектов тепловой энергетики.



Данные теоретических и экспериментально-расчетных исследований показали, что эмиссия с отработавших газов поллютантов современных бензиновых и дизельных автомобилей эффективно уменьшаются КН, за исключением режимов холодного запуска и прогрева двигателя, поскольку для функционирования КН требуется температура 300–600 °С. Установлено, что продолжительность времени работы КН на этих проблемных режимах в реальной эксплуатации городов Заполярья является критичной, поскольку на нее существенное влияние оказывает аномальная температура наружного воздуха в зимнее время

Результаты настоящего исследования были использованы при разработке «Методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха», утвержденной Приказом Минприроды России от 27 ноября 2019 г. № 804 и вступившей в силу 6 января 2020 г. 

Литература

1. Wael, K. Al-delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air pollution and health / K. Wael // eBook. Springer. XXIII. 2020. —

417 p. — <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8>

2. Контроль и прогнозирование эффективности управления чрезвычайным воздействием транспорта на городскую среду и население: монография / под общ. ред. Б. В. Гавкалюка. — СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. — 220 с.
3. Ложкин, В. Н. Метод парирования рисков сверхнормативного загрязнения атмосферного воздуха транспортом / В. Н. Ложкин // Транспорт Российской Федерации. — 2021. — № 5(96). — С. 68–72.
4. Gänzler, A. M. Unravelling the different reaction pathways for low temperature CO oxidation on Pt/CeO₂ and Pt/Al₂O₃ by spatially resolved structure – activity correlations / A. M. Gänzler, M. Casapu, D. E. Doronkin et al. // The Journal of Physical Chemistry Letters. — 2019. — Vol. 10(24). — P. 7698–7705. — <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.9b02768>
5. Lozhkin, V. N. Catalytic converter with storage device of exhaust gas heat for City bus / V. Lozhkin, O. Lozhkina // Transportation Research Procedia. — 2017. — Vol. 20. — P. 412–417. — <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.067>
6. Ложкин, В. Н. Теория и практика безразборной диагностики и каталитической

нейтрализации отработавших газов дизелей: дисс. ... докт. техн. наук: / В. Н. Ложкин. — СПб.: СПбНТУ Петра Великого, 1995. — 444 с.

7. Ложкин, В. Н. Модель устройства утилизации тепла и нейтрализации отработавших газов для пожарного автомобиля северного исполнения / В. Н. Ложкин, О. В. Ложкина // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25. — № 9. — С. 84–91. <https://doi.org/10.18322/PVB.2016.25.09.84-91>
8. Gao, J. Review of thermal management of catalytic converters to decrease engine emissions during cold start and warm up / J. Gao, G. Tian, A. Sornioti // Applied Thermal Engineering. — 2019. — Vol. 147. — P. 177–187. — <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.037>
9. Khan, S. R. Thermal management of newly developed nonnoble metal-based catalytic converter to reduce cold start emissions of small internal combustion engine / S. R. Khan, M. Zeeshan, S. Iqbal // Chem. Eng. Commun. — 2018. — Vol. 205. — P. 680–688. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.08.003>
10. Getsoian, A. B. Sensitivity of Three-Way Catalyst Light-Off Temperature to Air-Fuel Ratio / A. B. Getsoian, J. R. Theis, C. K. Lambert // Emiss. Control Sci. Technol. — 2018. — Vol. 4. — P. 136–142. — <https://doi.org/10.1007/s40825-018-0089-3>
11. Ramanathan, K. Global kinetics for ammonia formation and oxidation reactions in a commercial three-way catalyst / K. Ramanathan, Ch. Sh. Sharma, Ch. H. Kim // Ind. Eng. Chem. Res. — 2012. — Vol. 51(3). — P. 1198–1208.
12. Ложкин, В. Н. О моделировании химической кинетики на макро и нано уровнях в задачах нейтрализации отработавших газов автотранспорта / В. Н. Ложкин, И. А. Онищенко, О. В. Ложкина // Науч.-аналит. журн. «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)». — 2016. — № 3 (19). — С. 30–34.
13. Weilenmann, M. Regulated and nonregulated diesel and gasoline cold-start emissions at different temperatures / M. Weilenmann // Atmospheric Environment. — 2005. — Vol. 39. — P. 2433–2441.
14. Weilenmann, M. Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories / M. Weilenmann, J.-Y. Favez, R. Alvarez // Atmospheric Environment. — 2009. — Vol. 43. — P. 2419–2429.

Георгий Е. Давыдов, д-р. экон. наук, профессор

Некоторые итоги реформы на железнодорожном транспорте // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 3–5.

Обосновывается, что после более чем 20-летнего реформирования железнодорожного транспорта в РФ цели и задачи по привлечению инвестиций в обновление парка грузовых вагонов и вагонное хозяйство, а также в вагоностроение были выполнены и даже перевыполнены. Вместе с тем развитие конкурентных рынков в сфере перевозок грузов имело место, но в ограниченных масштабах (предоставление вагонов, оказание ремонтных услуг).

Ключевые слова: реформа железнодорожного транспорта, рынок грузовых перевозок, тарифы на перевозку грузов.

Контактные данные: ged@natrans.ru

Антон Н. Ляшенко, ведущий консультант Министерства экономического развития РФ
Постановка задачи принятия решений на нечётком множестве данных в сфере мультимодальных перевозок // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 6–8.

В сфере организации управления перевозочным процессом представлена постановка задачи технологического решения, позволяющего выделить лучший вариант транспортировки из рассматриваемых маршрутов. Для оценки рациональности маршрутов и выбора лучшего из них использован комплексный подход, учитывающий широкий спектр критериев, характеризующих основные особенности данного вида перевозочного процесса, ограничение параметров транспорта и требований владельца груза. Ключевые слова: мультимодальная перевозка, рациональный маршрут, логистика, комплекс критериев, теория нечетких множеств. Контактные данные: an-lyashenko@yandex.ru

Игорь А. Архипов, заместитель главного диспетчера Службы движения ГУП «Петербургский метрополитен»,

Антон В. Гниломедов, начальник Службы движения ГУП «Петербургский метрополитен»

Процессный подход в управлении пассажирскими перевозками Петербургского метрополитена // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 9–14.

В Петербургском метрополитене взят курс на разработку и реализацию проекта, бизнес-модель которого для всех участников перевозочного процесса обеспечивала бы в оптимальной форме и в полном объеме сохранение и обмен данными об эксплуатируемых объектах инфраструктуры и самом перевозочном процессе на всех стадиях жизненного цикла метрополитена как объекта внеуличного транспорта. Такой бизнес-моделью стала концепция «Единого диспетчерского центра Санкт-Петербургского метрополитена» (ЕДЦМ).

Ключевые слова: метрополитен, процессный подход, цифровизация, внеуличный транспорт.

Контактные данные: Arkhipov.I@metro.spb.ru

Роман Е. Парфененко, студент ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС),

Михаил Ю. Изварин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехнические комплексы и системы» ПГУПС

Перспективы использования высокоскоростных электропоездов «Сапсан» увеличенной составности // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 15–20.

Выявлены основные проблемы существующей организации высокоскоростного сообщения в России, предложены варианты решения заявленных проблем и пути их осуществления, представлены технические решения для модернизации подвижного состава, эксплуатируемого на линии Санкт-Петербург — Москва, перечислены преимущества высокоскоростных поездов повышенной составности, доказана экономическая эффективность внесения изменений в схему формирования электропоезда «Сапсан».

Ключевые слова: высокоскоростной электропоезд, увеличение составности электропоезда, повышение провозной способности высокоскоростных линий, повышение эффективности пассажирских перевозок, модернизация высокоскоростного поезда. Контактные данные: roman.ski.rock.1999@gmail.com

Олег С. Валинский, заместитель генерального директора — начальник Дирекции тяги ОАО «РЖД»,

Александр А. Воробьев, д-р. техн. наук, заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)

Методика расчета коэффициента сцепления локомотивного колеса с рельсом в вероятностной постановке // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 21–26.

Разработана методика, позволяющая рассчитывать коэффициент сцепления, учитывающий применение активатора трения в системе «колесо электровоза — рельс» в вероятностной постановке. С помощью предлагаемой методики можно модифицировать эмпирическую зависимость, приведенную в «Правилах тяговых расчетов для поездной работы» для расчета коэффициента сцепления при применении разного вида модификаторов трения. Расчет выполнен на примере использования модификатора трения на основе терморезистивных эпоксидных смол.

Ключевые слова: модификатор трения, коэффициент сцепления, колесо, рельс, электровоз, локомотив, правила тяговых расчетов для поездной работы.

Контактные данные: nttk@pgups.ru

Елена М. Волкова, канд. экон. наук, доцент кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ

ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС).

Мультимодальные пассажирские перевозки как инструмент повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 27–30.

Выявлены проблемы функционирования железнодорожного транспорта в период пандемии, разработаны направления их решения путем развития мультимодальных перевозок. Основным научным результатом являются рекомендации по развитию мультимодальных перевозок с участием железнодорожного транспорта, сформированные с учетом текущих проблем и глобальных трендов развития транспортных систем. Обосновано, что устойчивое развитие железнодорожного транспорта возможно только при условии его интеграции в бесшовные транспортные системы регионов и городов. Ключевые слова: бесшовные транспортные системы, железнодорожный транспорт, мультимодальные перевозки, пассажирские перевозки, дальнее следование, пригородное сообщение.

Контактные данные: Moonlight34@ya.ru.

Дмитрий А. Мачерет, д-р экон. наук, профессор, первый заместитель председателя Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» (АО «ВНИИЖТ»), профессор Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ))

Алексей Д. Разуваев, канд. экон. наук, доцент кафедры «Экономика транспортной инфраструктуры и управление строительным бизнесом» РУТ (МИИТ)

Анастасия Ю. Ледней, канд. экон. наук, доцент кафедры «Экономика транспортной инфраструктуры и управление строительным бизнесом» РУТ (МИИТ)

Долгосрочный ретроспективный анализ неравномерности погрузки грузов на железнодорожном транспорте // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 31–35.

Выявлено, что сезонная неравномерность погрузки грузов на железнодорожном транспорте имеет тенденцию к снижению как в целом, так и по отдельным родам грузов, а в сложившейся структуре погрузки доминируют грузы, характеризующиеся низкой сезонной неравномерностью. Это способствует оптимизации эксплуатационных затрат, интенсивному использованию железнодорожной инфраструктуры и повышению доходов отрасли. Сделан вывод о целесообразности повышения равномерности грузовых перевозок с использованием как тарифных, так и организационно-технологических мер. Ключевые слова: железнодорожный транспорт, неравномерность погрузки грузов, долгосрочные тренды, эксплуатационные расходы, доходы.

Контактные данные: macheretda@rambler.ru

Илья А. Тецлав, старший преподаватель кафедры аэропортов и авиаперевозок ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государствен-

ный университет гражданской авиации» (СПбГУ ГА)

Методологические основы расчета темпа производства транспортной продукции в авиационной транспортно-логистической системе // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 36–40.

Рассмотрены методологические основы расчёта темпа производства транспортной продукции в авиационной транспортно-логистической системе с применением дискретно-событийной имитационной модели (ДСИМ) обслуживания пассажиров в авиационном транспортно-логистическом узле (АвиаТЛУ). Проведены расчёты целевой функции управления движением транспортных средств при производстве транспортной продукции во времени. Обоснована необходимость минимизации организационного времени в АвиаТЛУ с целью повышения темпа производства транспортной продукции АвиаТЛУ.

Ключевые слова: имитационное моделирование, управление потоками пассажиров, авиационный транспортно-логистический узел.

Контактные данные: tetslavil@gmail.com.

Юрий П. Бороненко, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообще-

щения Императора Александра I» (ПГУПС), **Борис О. Поляков**, инженер-испытатель АО «НВЦ «Вагоны»,

Игорь Р. Крон, аспирант ПГУПС,

Татьяна М. Белгородцева, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Динамика вагонов» кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС

Расчетно-экспериментальный метод определения энергоэффективности грузовых вагонов с применением цифровых моделей // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 41–43.

Предложен расчетно-экспериментальный способ определения основного сопротивления движению грузовых вагонов, позволяющий существенно снизить стоимость испытаний и включающий определение механической компоненты сопротивления движению экспериментальным методом скатывания, аэродинамической компоненты — расчетом на цифровых моделях. Данную зависимость предлагается определять при постановке на производство и сертификации при одновременном проведении тормозных испытаний вагонов. Определены показатели сопротивления полувагона модели 12–196–01.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, грузовой вагон, сопротивление вагона.

Контактные данные: boron49@yandex.ru

Владимир Н. Ложкин, д-р. техн. наук, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»

Методика и результаты контроля опасного загрязнения воздуха поллютантами транспорта в городах Заполярья на режимах пуска и прогрева двигателей // Транспорт РФ. — 2022. — № 1–2 (98–99). — С. 44–47.

Исследовано опасное загрязнение воздуха промышленностью и транспортом за период 2010–2019 гг. в городах Заполярья России. Установлено, что препятствием на пути решения проблемы для транспорта может оказаться низкая эффективность нейтрализаторов двигателей на малых нагрузках при отрицательных температурах. Предложена методика расчета выбросов поллютантов с отработавшими газами транспорта экологических классов Евро 3 — Евро 5 для климатических условий Арктики. Теоретический подход верифицирован с использованием данных экспериментов на транспорте, актуальных для северных регионов России моделей.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, выбросы поллютантов, Арктика, Северный морской путь.

Контактные данные: vnlojkin@yandex.ru

Georgy E. Davydov, Doctor of Economics, professor, President of National Association of Transporters

Some results from the railway transport reform. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1–2 (98–99), pp. 3–5.

Nekotoryye itogi reformy na zheleznodorozhnom transporte.

The article establishes that after more than 20 years of railway transport reform in the Russian Federation, the goals and objectives of attracting investment in the renewal of the freight car fleet and the wagon economy, as well as in car building, have been met and even exceeded. At the same time, the development of competitive markets in the field of cargo transportation have taken place, but on a limited scale (provision of wagons and repair services rendering). Key words: railway transport reform, freight transportation market, freight transportation tariffs.

Contact: ged@natrans.ru

Anton N. Lyashenko, lead consultant in the Ministry of Economic Development of the Russian Federation

Goal setting of decision making in a fuzzy set of data in the field of multimodal transportation. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1–2 (98–99), pp. 6–8.

Postanovka zadachi prinyatiya resheniy na nechotkom mnozhestve dannykh v sfere mul'timodal'nykh perevozok.

The study considers the statement of the problem of a technological solution in the field of organization of transportation and manage-

ment of transport making it possible to select the best transportation option from the routes under consideration. An integrated approach was used to assess the rationality of routes and select the best of them, considering a wide range of criteria that characterize the main features of this course of carriage type, the limitation of transport dimensional characters and the requirements of cargo owners.

Key words: multimodal transportation, a rational route, logistics, fuzzy set theory.

Contact: an-lyashenko@yandex.ru

Igor A. Arkhipov, Deputy Chief Dispatcher of the Traffic Service of the State Unitary Enterprise “Petersburg Metropolitan”

Anton V. Gnilomedov, Head of the Traffic Service of the State Unitary Enterprise “Petersburg Metropolitan”

Process approach to management of passenger transportation of the St. Petersburg Metro. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1–2 (98–99), pp. 9–14.

Protessnyy podkhod v upravlenii passazhirskimi perevozkami Peterburgskogo metropolitena. The St. Petersburg Metro has set a course for the development and implementation of a project which business model would ensure data storage and exchange on the infrastructure facilities in operation and the transportation process itself at all the stages of the life cycle of the metro as a means of subsurface transport for all transportation process participants. The concept of the Consolidated Control Center of the St. Petersburg Metro has become such a business model.

Key words: underground railroad, process approach, digitalization, subsurface transport
Contact: Arkhipov.I@metro.spb.ru

Roman Parfyonenko, undergraduate student, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

Mikhail Yu. Izvarin, Candidate of Science, associate professor of the Department “Electro-technical complexes and systems”, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

Prospects for the use of high-speed electric trains “Sapsan” of increased train formation. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1–2 (98–99), pp. 15–20.

Perspektivy ispol'zovaniya vysokoskorostnykh elektropoyezdov «Sapsan» uvelichennoy sostavnosti.

The article highlights the main problems of the existing organization of high-speed service in Russia. The authors propose options for solving the reported problems and their implementations as well as technical solutions for the modernization of the rolling stock operated on the St. Petersburg – Moscow railway line. The article lists the advantages of high-speed trains of increased train formation and proves the economic efficiency of making changes to the “Sapsan” electric train formation scheme.

Key words: high-speed electric train, increased train formation, increasing the carrying capacity of high-speed railway lines, increasing the efficiency of passenger transportation, high-speed train modernization.

Contact: roman.ski.rock.1999@gmail.com

Oleg S. Valinsky, Deputy Managing Director, Head, Directorate of Locomotive Traction

Alexander A. Vorobyev, Doctor of Engineering Science, head of the department «Over-ground Transport Technological Systems» in Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Method for calculating the friction coefficient of a locomotive wheel with a rail in a probabilistic formulation. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1-2 (98-99), pp. 21–26.

Metodika rascheta koeffitsiyenta stsepleniya lokomotivnogo kolesa s rel'som v veroyatnostnoy postanovke.

A technique has been developed that makes it possible to calculate the friction coefficient, considering the use of a friction activator in the system “electric locomotive wheel - rail” in a probabilistic formulation. Using the proposed method, it is possible to modify the empirical dependence given in the “Rules for Grade Computations for Train Operation” to calculate the friction coefficient when using various types of friction modifiers. The calculation was performed by using a friction modifier based on thermosetting epoxy resins.

Key words: friction modifier, adhesion coefficient, wheel, rail, electric locomotive, locomotive, traction calculation rules for train operation.

Contact: nttk@pgups.ru

Elena M. Volkova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Economics in Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Multimodal passenger transportation as a tool to increase the competitiveness of railway transport. Transport of the Russian Federation, 2022, №1-2 (98-99), Pp. 27–30.

Mul'timodal'nyye passazhirskiye perevozki kak instrument povysheniya konkurentosposobnosti zheleznodorozhnogo transporta.

The purpose of the study is to identify the problems of railway transport functioning during the pandemic and develop ways to solve them through the development of multimodal transportation. To achieve the goal, we use methods and instruments of statistics. The information base of the study was the materials of open sources, periodicals, as well as Internet resources, including data from the official websites of transport companies. The main result is the recommendations for the development of multimodal routes on the base of railway transport in concordance with current conditions and global trends in transport mobility. The study proves that sustainable development of railway transport is possible if it is integrated in seamless transport systems of regions and cities. The obtained results and conclusions can be used by the management of transport companies and regulatory authorities in updating the transport policy and strategies.

Keywords: seamless transport systems, railway transport, multimodal transportation, passenger transportation, long-distance service, commuter service.

Contact: Moonlight34@ya.ru

Dmitry A. Macheret, Doctor of Economic Sciences, First Deputy Chairman of the Joint academic board in public limited company “Russian Railways”, professor in Russian University of Transport

Aleksey D. Razuvaev, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of “Economics of construction business and property management”

Anastasia Yu. Ledney, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of “Economics of construction business and property management”

Long-term post-event analysis of freight handling irregularity in railway transport. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1-2 (98-99), pp. 31–35.

Dolgosrochnyy retrospektivnyy analiz neravnomernosti pogruzki gruzov na zheleznodorozhnom transporte.

It was revealed that the seasonal irregularity of freight handling in railway transport tends to decrease both in general and for individual types of cargo, and in the current organization of carloadings dominated by goods characterized by low seasonality. This contributes to the optimization of operating costs, the intensive use of the railway infrastructure and the rise in industry revenues. The conclusion is made about the practicality of increasing the uniformity of freight traffic using both tariff mechanisms and organizational and technological measures.

Key words: railway transport, uneven loading of goods, long-term trends, operating costs, income.

Contacts: macheretda@rambler.ru

Ilya A. Tetslav, Assistant Professor at the Airports and air transportation department in Saint Petersburg State University of Civil Aviation

Methodological foundation for calculating the transportation service rate in the aviation sector. Transport of the Russian Federation, 2022, №1-2 (98-99), pp. 36–40.

Metodologicheskiye osnovy rascheta tempa proizvodstva transportnoy produktsii v aviatsionnoy sfere.

The article considers the methodological foundation for calculating the transportation service rate in the aviation transport and logistics network using a discrete-event simulation model (DESM) of passenger service in an aviation transport and logistics center (AviaTLC). The author carries out calculations for the performance function of motion control in the transportation service through time. The article substantiates the necessity of administrative time minimization in AviaTLC to increase the transportation service rate.

Key words: simulation modeling, passenger flow management, aviation transport and logistics hub

Contact: tetslavil@gmail.com.

Yuri P. Boronenko, D. Sci, professor, head of the department “Wagons and Carriage Fa-

cilities» in Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Boris O. Polyakov, test engineer in stock company «Scientific Computing Center «Rolling stock»

Igor P. Kron, post graduate student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Tatyana M. Belgorodtseva, Head of the Research Laboratory “Dynamics of Cars” of the Department “Cars and Carriage Economy” in Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Calculation-experimental method for efficiency tracing of freight carriages by digital model. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1-2 (98-99), pp. 41–43.

Raschetno-eksperimental'nyy metod opredeleniya energoeffektivnosti gruzovykh vagonov s primeneniym tsifrovyykh modeley.

An experimental computational method is proposed in order to determine the main resistance in the movement of freight cars. This method makes it possible to significantly reduce the cost of testing and determines the mechanical components causing resistance to movement through the use of the experimental rolling method. Calculation of the aerodynamic component on digital models in production, while simultaneously conducting freight car brake testing shows resistance indicators of the low-sided car model 12-196-01.

Key words: energy saving, energy efficiency, freight car, freight car resistance.

Contact: boron49@yandex.ru

Vladimir N. Lozhkin, Doctor of Technical Sciences, professor, of the Department of fire, rescue equipment and road management in University of state fire service of the Ministry of Emergency Situations of Russia

Methods and results of control of hazardous air pollution by transport pollutants in the engine run and warm-up modes in Arctic Circle towns. Transport of the Russian Federation, 2022, no. 1-2 (98-99), pp. 44–47.

Metodika i rezul'taty kontrolya opasnogo zagryazneniya vozdukha pollyutantami transporta v gorodakh Zapolyar'ya na rezhimakh puska i progrevu dvigateley.

Dangerous air pollution by industry and transport for the period 2010 – 2019 has been studied in the Russian Arctic towns. It has been established that the poor performance catalytic converters at low loads at sub-zero temperatures might become an obstacle to solving the problem for transport use. A method is proposed for calculating pollutant emissions with exhaust fumes of transport Euro 3 – Euro 5 emission standards for the Arctic weather conditions. The theoretical approach is verified using data from transport experiments relevant for the northern regions of Russia.

Key words: air pollution, pollutant emissions, Arctic, Northern Sea Route.

Contacts: vnlojkin@yandex.ru

Подписка

Подписка на журнал «Транспорт Российской Федерации» оформляется в любом отделении почтовой связи

- по объединенному каталогу «**Пресса России**»,
подписной индекс 15094,
- по электронному каталогу «**Почта России**»,
подписной индекс П1719

Подписаться на журнал через редакцию можно в течение года с любого месяца,

- выслав заявку по факсу: **(812) 310-40-97**;
- выслав заявку по электронной почте: **rt@rostransport.com**;
- или заполнив заявку на сайте **www.rostransport.com**, раздел «Подписка».



Подписку также
можно оформить
в агентствах:

«Книга-Сервис»

Тел.: (495) 680-90-88

<http://akc.ru>

«Урал-Пресс»

Тел.: (495) 789-86-36

«Почта России»

Тел.: (495) 956-20-67

<http://russianpost.ru>



Научно-исследовательские институты и центры Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

**Центр компьютерных
и железнодорожных технологий**
(812) 457-89-01

**Институт прикладной экономики
и бухгалтерского учета
железнодорожного транспорта**
(812) 572-62-55

**Испытательный центр
“Экологическая безопасность
и охрана труда”**
(812) 457-88-19, (812) 457-87-15

Центр транспортной безопасности (ЦТБ)
(812) 233-84-70, (812) 498-40-72

**Научно-образовательный центр
инновационного развития пассажирских
железнодорожных перевозок**
(812) 570-75-55