

0106
ISSN
2073-0733
ISSN
2073-0733

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК



Том 21, Выпуск №2 (111)
2024



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА РУТ (МИИТ)



ИНСТИТУТ
УПРАВЛЕНИЯ
И ЦИФРОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Логистика и управление цепями поставок

2024 Том 21, выпуск 2 (111)

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научно-электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Розенберг И.Н. д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Россия)
Кузьмин Д.В. к.т.н., доцент (Россия)
Аврамович З.Ж. д.т.н., профессор (Сербия)
Апатцев В.И. д.т.н., профессор (Россия)
Багинова В.В. д.т.н., профессор (Россия)
Баранов Л.А. д.т.н., профессор (Россия)
Бекжанова С.Е. д.т.н., профессор (Казахстан)
Бородин А.Ф. д.т.н., профессор (Россия)
Вакуленко С.П. к.т.н., профессор (Россия)
Герامي В.Д. д.т.н., профессор (Россия)
Дыбская В.В. д.э.н., профессор (Россия)
Заречкин Е.Ю. к.филос.н. (Россия)
Илесалиев Д.И. д.т.н., профессор (Узбекистан)
Корнилов С.Н. д.т.н., профессор (Россия)
Мамаев Э. А. д.т.н., профессор (Россия)
Петров М.Б. д.т.н., профессор (Россия)
Рахмангулов А.Н. д.т.н., профессор (Россия)
Сергеев В.И. д.э.н., профессор (Россия)
Сидоренко В.Г. д.т.н., профессор (Россия)

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор:

Розенберг Игорь Наумович

Заместитель главного редактора:

Кузьмин Дмитрий Владимирович

Редакционный совет:

Апатцев Владимир Иванович
Багинова Вера Владимировна
Баранов Леонид Аврамович
Вакуленко Сергей Петрович
Заречкин Евгений Юрьевич

Компьютерная верстка:

Мусатов Дмитрий Вадимович

© ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК

Учредитель - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9)

Адрес редакции: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9, ГУК-1, ауд. 1203

Тел: +7 (495) 684 - 29 - 07

URL: <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

E-mail: transportjournal@yandex.ru

Журнал выходит 4 раза в год. Номер подписан в печать 24.10.2024. Тираж 150 экземпляров. Отпечатано с оригинал-макета в типографии «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. им Чернышевского Н.Г., д. 88, Литер У.

* Изображение на обложке сгенерировано нейронной сетью Kandinsky 2.1 по запросу «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов»

Logistics and Supply Chain Management

2024 Vol. 21, Iss. 2 (111)

The full texts in Russian and key information in English are also available at the Website of the Russian scientific electronic library at <https://www.elibrary.ru> (upon free registration).

Journal web-site - <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

EDITORIAL BOARD

Igor N. Rozenberg, D.Sc. (Eng), Professor, Corresponding member of the RAS (Russia)

Dmitry V. Kuzmin, PhD, Associate Professor (Russia)

Zoran J. Avramovich, D.Sc. (Eng), Professor (Serbia)

Vladimir I. Apattsev, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Vera V. Baginova, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Leonid A. Baranov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Saule E. Bekzhanova, D.Sc. (Eng), Professor (Kazakhstan)

Andrey F. Borodin, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Sergey P. Vakulenko, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Victoria D. Gerami, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Valentina V. Dybskaya, D.Sc. (Econ), Professor (Russia)

Evgeny Y. Zarechkin, PhD, (Ph), (Russia)

Daurenbek I. Ilesaliev, D.Sc. (Eng), Professor (Uzbekistan)

Sergey N. Kornilov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Enver A. Mamaev, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Mikhail B. Petrov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Alexander N. Rakhmangulov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Victor I. Sergeev, D.Sc. (Econ), Professor (Russia)

Valentina G. Sidorenko, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

EDITORIAL OFFICE

Editor-in-Chief:

Rozenberg N. Igor

Deputy Editor-in-Chief:

Kuzmin V. Dmitry

Editorial Board:

Vladimir I. Apattsev

Vera V. Baginova

Leonid A. Baranov

Sergey P. Vakulenko

Evgeny Y. Zarechkin

Dmitry V. Kuzmin

Computer layout:

Dmitrii V. Musatov

© LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Founder - Federal state autonomous educational institution of higher education «Russian University of Transport» (127994, Moscow, Obraztsova STR., 9, building 9,)

Editorship address: 127994, Moscow, Obraztsova STR., 9, building 9, office 1203

Phone number: +7 (495) 684 - 29 - 07

URL: <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

E-mail: transportjournal@yandex.ru

The journal is published 4 times a year. The number was signed to the press on 24/10/2024. The circulation is 150 copies.

Printed from the original layout in the Amirit printing house, 410004, Saratov, st. named after Chernyshevsky N.G., 88, Liter U.

СОДЕРЖАНИЕ

Вакуленко С.П.

Трансформация транспортного образования в условиях цифровизации эксплуатационных процессов железнодорожного транспорта4

**Нгуен Минь Тьен, Куанг Ву,
Нгуен Чонг Там.**

Дискретно–событийная имитационная модель организации работы железнодорожной системы Вьетнама (на примере участка Биен Хоа – Вунгтау)13

Краснобаев Д.А.

Применение имитационного моделирования для оценки эффективности мер по оптимизации транспортно-логистической инфраструктуры.....27

Ушаков Д.В.

Особенности организации перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом.....38

**Бородин А.Ф., Лаханкин Е.А., Кравченко
А.А., Рыбаков С.В., Кофанова Н.В., Журав-
лева Е.А.**

Расчет возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних вагонов47

Информация для авторов.....61

CONTENTS

Vakulenko S.P.

Transformation of educational technologies in the context of digitalization of operational processes of railway transport.....4

**Nguyen Minh Chien, Quang Vu,
Nguyen Trong Tam.**

A discrete-event simulation model of the organization of the Vietnamese railway system (a case study of the Bien Hoa – Vung tau section)13

Krasnobaev D.A.

Application of simulation modeling for evaluating the effectiveness of measures to optimize transport and logistics infrastructure.....27

Ushakov D.V.

Features of the organization of transportation of perishable goods by rail38

**Borodin A.F., Lakhankin E.A., Kravchenko
A.A., Rybakov S.V., Kofanova N.V.,
Zhuravleva E.A.**

Calculation of the capabilities of the railway infrastructure for the traffic of freight and empty wagons47

Information for authors.....61

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Вакуленко С.П.¹

¹ Российский университет транспорта

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы современного образования в условиях цифровизации железнодорожной отрасли. В частности, поднимаются вопросы траекторий перспективной трансформации образовательных программ, подготовки инженеров по эксплуатации инфраструктурного комплекса и технологии работы железных дорог в условиях использования современных цифровых инструментов организации и управления процессами перевозок.

Ключевые слова: транспортное образование, цифровая железная дорога, цифровые технологии транспорта, эксплуатация железных дорог

© Вакуленко С.П.

Поступила 25.09.2024, одобрена после рецензирования 21.10.2024, принята к публикации 21.10.2024.

Для цитирования:

Вакуленко С.П. Трансформация транспортного образования в условиях цифровизации эксплуатационных процессов железнодорожного транспорта // Логистика и управление цепями поставок. - 2024. - Т. 21, №2 (111). - С. 4–12.

Вакуленко С.П., к.т.н., проф., директор Института управления и цифровых технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта», 127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9; e-mail: post-iuit@bk.ru

Одним из наиболее заметных мировых трендов трансформации транспортной отрасли является повсеместное проникновение цифровых технологий в процессы управления перевозочным процессом, инфраструктурным комплексом, взаимодействия участников процесса перевозок и т.д.

Из анализа стратегических документов долгосрочного развития отрасли¹, следует, что недостаточный уровень цифровизации существенно тормозит развитие транспорта. Например, в значительной степени низкий уровень цифровизации негативно отражается на производительности труда (производительность труда на транспорте в РФ в 2 – 4 раза ниже в сравнении с развитыми и развивающимися странами). На одного занятого на транспорте приходится 1,2 млн руб. ВВП / год от транспортной отрасли. Этот показатель в 3 раза ниже уровня развитых и в 2 раза ниже уровня развивающихся стран. Другой пример, на отдельных видах транспорта объем транспортной документации достигает 3 млрд бумажных документов в год, а низкий уровень цифровизации в области документооборота и коммуникации удлиняет цепь посредников, участвующих транспортно – логистических процессах. Наиболее выраженным эффект избыточного посредничества проявляется в сегменте международных мультимодальных перевозок, где количество участников отправки может достигать 40 посредников.

Ряд стратегических документов развития транспорта в России^{2,4} определяет перечень вопросов цифровизации эксплуатационных процессов работы железных дорог. Согласно⁵ ключевые направления развития информационных систем в открытом акционерном обществе «Российские железные дороги» включают в себя:

- создание единого информационного пространства грузовых перевозок и логистики

для повышения доходности грузоперевозок и логистического бизнеса;

- создание единого информационного пространства пассажирского комплекса для повышения доходности пассажирских перевозок;

- формирование сквозных цифровых технологий организации перевозочного процесса («Цифровая железная дорога») для повышения эффективности железнодорожных перевозок и инфраструктуры;

- создание единой интегрированной автоматизированной системы управления, оптимизацию корпоративных систем управления предприятием, анализ и разработку отчетности для повышения доходности зарубежной деятельности, увеличение эффективности социальной сферы и корпоративного управления.

К наиболее перспективным технологиям, имеющим потенциал реального широкого использования можно отнести: технологии виртуальной сцепки, беспилотное вождение и использование технологий искусственного интеллекта в управлении транспортным процессом.

Технология виртуальной сцепки подразумевает ведение попутных поездов с сокращенными межпоездными интервалами. За счет сокращения интервалов до 6-8 минут, появляется возможность более эффективного использования провозных и пропускных способностей инфраструктуры, а также повышения производительности труда, участвующих работников.

Суть технологии заключается в следующем: между локомотивами попутного следования с использованием защищенного цифрового канала осуществляется постоянный обмен актуальной информацией: местонахождение, текущий и перспективный режим работы, длина и вес поезда и т.д.). На основе

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года №3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577> (дата обращения: 14.08.2024). – Текст : электронный.

² Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года №3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

³ Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 11.10.2023). – Текст : электронный.

⁴ Утверждена долгосрочная программа развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года. – URL: <http://government.ru/docs/36094/> (дата обращения: 14.08.2024). – Текст : электронный.

⁵ Утверждена долгосрочная программа развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года.

анализа поступающих данных все последующие за ведущим локомотивы корректируют собственный режим работы, учитывающий максимальный тормозной путь, разрешенные скорости движения на данном участке, план и

профиль пути, вес поезда и проч. Данный информационный обмен на непрерывной основе происходит в каждой паре локомотивов «Ведущий – Ведомый».

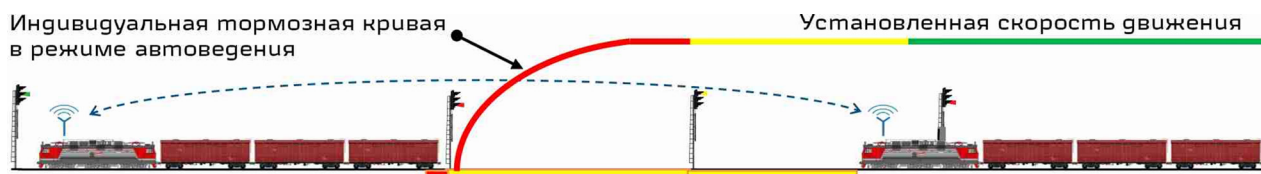


Рисунок 1. Основной принцип работы технологии виртуальной сцепки.

Данная технология уже применяется в рамках отдельных участков сети Забайкальской, Дальневосточной, Восточно – Сибирской железных дорог.

В работе [2] осуществлен анализ эффективности при организации вождения сдвоенных поездов в режиме виртуальной сцепки на полигоне Мариинск – Красноярск – Восточный при различных условиях организации пропуска поездов. Отмечаются следующие положительные эффекты: увеличение потребной пропускной способности железнодорожной линии на 19,05% относительно существующего графика движения, снижение потерь в тяговой сети и увеличение пропускной способности направления на 10 – 12%. Общий экономический эффект от использования технологии на данном участке составляет 894,14 тыс. руб./год.

В настоящий момент динамика внедрения данной технологии является достаточно высокой. Если в 2022 году сформировали 3,9 тыс. поездов по инновационной технологии «виртуальной сцепки» (2,2 раза больше чем в 2021 году (1,7 тыс. поездов)⁶), то к концу 2023 количество локомотивов, оснащенных данной технологией достигло 1200 единиц.⁷

На первый взгляд, данная технология снижает уровень вовлеченности работников, задействованных в процессе организации и управления движением. Однако, практика внедрения и использования показывает,

что ключевую роль в реализации технологии виртуальной сцепки играют работники, непосредственно участвующие в процессе пропуска поездов – дежурные по станции, машинисты, поездные диспетчеры. В источнике⁸ отмечается, что внедрение новой технологии требует большой концентрации, трудозатрат и вовлеченности коллектива. Преследуя данную цель, существует практика мотивационного премирования работников служб управления движением и локомотивных бригад, осуществляющих свои трудовые функции с использованием данной технологии.

Снижение межпоездных интервалов и увеличение пропускной способности неизбежно повлечет необходимость увеличения парка локомотивов, а следовательно, и локомотивных бригад, и запаса по энергосбережению. Повышение эксплуатационных затрат, позволяет сделать два ключевых вывода. Использование данной технологии: а) представляется целесообразным исключительно на грузонапряженных участках сети; б) данная технология не может быть распространена на всю сеть в виду существующего дефицита энергоснабжения.

Однако, это перспективы ближайшего времени и вытекающие из элементарных поверхностных рассуждений. Если исходить из того, что технология в будущем получит обширное распространение на дорогах с высокой транспортной загруженностью, то изменение про-

⁶ В 2022 году количество отправленных поездов по технологии «виртуальной сцепки» на Дальневосточной магистрали увеличилось более чем в два раза | Новости филиалов и компаний | Компания. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9398/page/104069?id=280913> (дата обращения: 30.08.2024). – Текст : электронный.

⁷ «Виртуальная сцепка» – будущее железнодорожных перевозок. – URL: <https://gudok.ru/zdr/172/?ID=1626719> (дата обращения: 30.08.2024). – Текст : электронный.

⁸ Виртуальная сцепка с реальной мотивацией. – URL: <https://gudok.ru/zdr/170/?ID=1645185> (дата обращения: 21.08.2024). – Текст : электронный.

цессов эксплуатационного администрирования представляется неизбежным. Например, задачи диспетчерского регулирования движения (ускорение, сдвигание и т.д.) если не выпадают полностью из компетенции поездного диспетчера, то требуют значительно меньшего внимания от него. Снижение загруженности приведет к укрупнению диспетчерского круга, а в перспективе, к локальной централизации этой функции, например, к созданию единых центров управления в рамках дороги.

Разумеется, данная технология является одним из направлений технико – технологического развития. Если дальше развивать мысль эволюции железнодорожного транспорта, то очевидным окажется прогнозирование наличия мощного синергетического эффекта от совместного использования данной технологии,

например, с беспилотными технологиями или искусственным интеллектом (ИИ). Уже сегодня предпринимаются попытки активного использования ИИ на железнодорожном транспорте⁹, а беспилотные технологии уже давно используются многими странами.

В феврале 2024 года Международный союз железных дорог совместно с McKinsey опубликовал отчет о внедрении ИИ на железнодорожных предприятиях^{10,11}. В документе отмечается что технологии искусственного интеллекта обладают потенциалом для решения более сотни различных задач организации работы железнодорожного транспорта. Однако в настоящий момент транспортные компании сфокусированы на следующих основных направлениях использования ИИ, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

Сферы с наибольшим потенциалом внедрения технологий ИИ
на железнодорожном транспорте

СФЕРА	ОПИСАНИЕ	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
Предприятия железнодорожного транспорта	Виды деятельности, которые прямо или косвенно связаны с предоставлением услуг по перевозке	1. Планирование эксплуатационной работы; 2. Обучение персонала, участвующего в организации и исполнении перевозки; 3. Анализ операционной деятельности персонала; 4. Безопасность; 5. Техническое обслуживание подвижного состава; 6. Управление запасами
Управление инфраструктурой	Виды деятельности, связанные с управлением железнодорожной инфраструктурой	1. Планирование работ по обслуживанию транспортной сети; 2. Обеспечение безопасности труда; 3. Помощь в принятии решений по развитию транспортной инфраструктуры.
Обслуживание пассажиров	Виды деятельности связанные с процессами обслуживания клиентов	1. Маркетинг и ценообразование; 2. Продажа билетов; 3. Информационное сопровождение пассажира

⁹ Digitalization in the railway industry. – URL: <https://railway-international.com/news/62652-digitalization-in-the-railway-industry> (дата обращения: 24.09.2024). – Текст : электронный.

¹⁰ The journey toward AI-enabled railway companies | McKinsey. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/the-journey-toward-ai-enabled-railway-companies> (дата обращения: 24.09.2024). – Текст : электронный.

¹¹ Communications U. I. C. UIC has a new report on the adoption of AI across railway companies. – URL: <https://uic.org/com/enews/article/uic-has-a-new-report-on-the-adoption-of-ai-across-railway-companies> (дата обращения: 24.09.2024). – Текст : электронный.

Прочее	Прочие виды деятельности	1. Управление персоналом; 2. Финансы; 3. Информационные технологии
--------	--------------------------	--

Отмечается, что ИИ может быть использован для анализа данных, прогнозирования, оптимизации расписания движения поездов и автоматизации некоторых процессов принятия решений. Однако важно отметить, что человеческий фактор, такой как принятие решений в нестандартных ситуациях или взаимодействие

с пассажирами, может требовать присутствия специалиста и в далёкой перспективе.

Внедрение технологий искусственного интеллекта неравномерно в различных странах и компаниях. Здесь можно выделить 4 группы, представленные на рисунке 2.

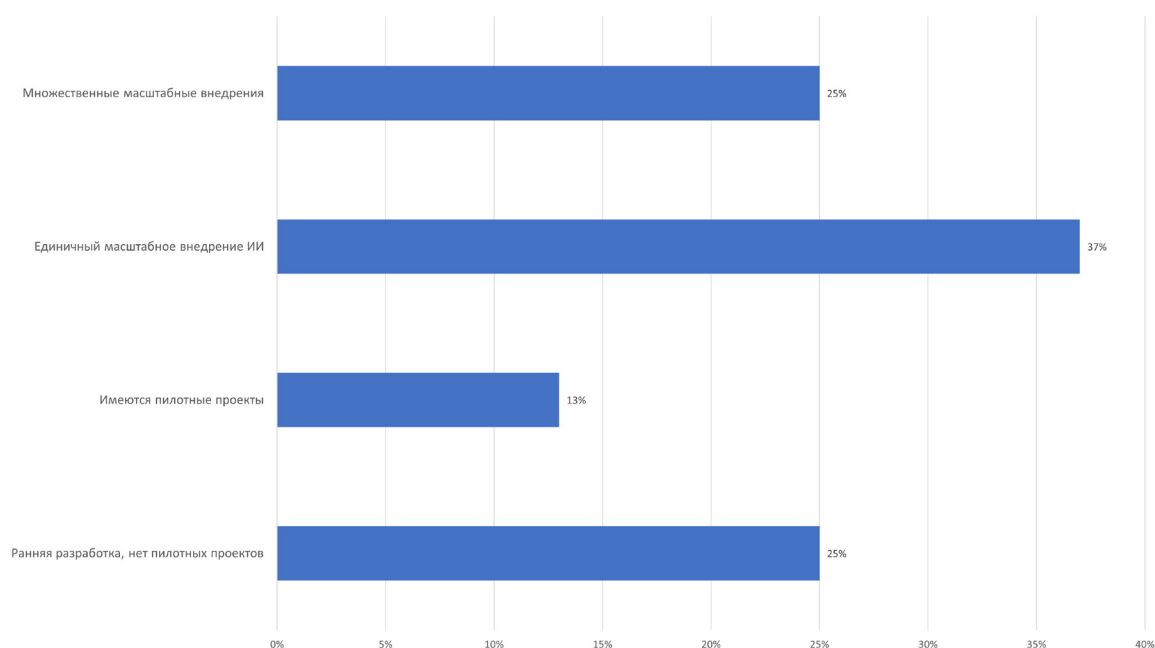


Рисунок 2. Внедрение технологий ИИ в железнодорожных компаниях.

Из анализа отчета следует два вывода: Первый – мировая индустрия железнодорожного транспорта стремится к внедрению новейших цифровых технологий, таких как искусственный интеллект автоматизированное управление поездами, системы мониторинга и диагностики оборудования, интеграция Интернета вещей (IoT) и использование больших данных для оптимизации процессов. Второй – индустрия нуждается в специалистах, способных быстро адаптироваться к изменениям и новым технологиям, поэтому учебные программы должны развивать у студентов гибкость мышления, умение работать в динамичной среде и быстро усваивать новые знания и навыки.

Стоит отметить, что даже после внедрения искусственного интеллекта и повышения уровня автоматизации процессов на железнодорожном транспорте, диспетчерская функция, очевидно, претерпит серьёзную трансформацию, но не будет полностью исключена из эксплуатационной работы. Вероятнее всего, ее роль будет сведена к вопросам мониторинга автоматизированных систем и корректировке их работы в случае необходимости. Очевидно, диспетчер останется ключевой фигурой в координации между различными службами и подразделениями железнодорожного транспорта (локомотивными бригадами, станциями, техническими службами и другими участниками). И самое главное – диспетчер останется ответственным лицом при

управлении в условиях нештатных ситуаций, таких как аварии, неблагоприятные погодные условия, аварийное техобслуживание оборудования и другие проблемы.

Учитывая вышесказанное, возникает ряд вопросов: как трансформируется структура кадрового обеспечения эксплуатационных подразделений и какими компетенциями должен обладать инженер, участвующий в процессах эксплуатации железнодорожного транспорта? как отразится внедрение этой и подобных технологий на процессы подготовки соответствующих кадров?

Очевидно, что те вопросы цифровизации, которые еще 3-5 лет назад, не пересекались с компетенциями служб движения, уже сегодня приобретают совершенно иную актуальность. Несомненно, данная проблематика должна быть рассмотрена совместно научно – образовательным и профессиональным сообществами в ближайшее время. Учитывая вышесказанное, представляется целесообразным, выработка ряда решений.

Первым, и одним из наиболее целесообразных решений, является смещение фокуса образовательных программ вузов с «классической» технической программы в сторону цифровых компетенций. Здесь возникает дилемма следующего характера – с одной стороны необходимо сохранить фундаментальную инженерную базу, с другой стороны, внедрить в образовательные программы новый, достаточной объемный, блок цифровых компетенций. Данная проблематика подробно рассмотрена в работе [1].

Второе направление создание дискуссионно – координационной площадки трансформации отрасли и транспортного образования, в рамках которых будет сформирована бла-

гоприятная среда для работы транспортного сообщества по определению перспективных кадровых потребностей отрасли. К задачам последней можно отнести:

1. Обсуждение и анализ современных тенденций: Проведение дискуссий о текущем состоянии цифровизации в отрасли и железнодорожном образовании, выявление ключевых проблем и возможностей;

2. Координация профессиональной и образовательной работы. Определение актуальных и перспективных кадров запросов железнодорожного транспорта;

3. Идентификация необходимых ресурсов, технологий, партнеров и экспертов для успешной реализации стратегии цифровизации транспортного образования;

4. Установление сотрудничества между образовательными учреждениями, компаниями железнодорожной отрасли, государственными органами и другими заинтересованными сторонами для обмена мнениями, знаниями и опытом в области транспортной цифровизации;

5. Создание новых или адаптация существующих образовательных программ с учетом актуальных и перспективных цифровых технологий и инноваций в железнодорожной сфере;

6. Установление системы оценки достигнутых результатов и мониторинг реализации выработанных решений.

Реализация предлагаемых мероприятий позволит сформировать условия повышения качества, подготавливаемых для отрасли кадров и обеспечить постоянную эффективную коммуникацию профессионального и научно – образовательного сообществ системы железнодорожного транспорта.

Список источников

1. Вакуленко, С. П. Управление образовательным процессом при подготовке кадров в условиях цифровизации транспортно-логистической отрасли / С. П. Вакуленко // Логистика и управление цепями поставок. – 2023. – Т. 20, № 1(106). – С. 5-12. – EDN MZZVVQ.
2. Оленцевич, В. А. Эффективность внедрения интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке / В. А. Оленцевич, Р. Ю. Упырь, А. А. Антипина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 2(66). – С. 182-189. – DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).182-189. – EDN CRLWQS.

TRANSFORMATION OF EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF
DIGITALIZATION OF OPERATIONAL PROCESSES OF RAILWAY TRANSPORT

Vakulenko S.P.¹

¹ Russian University of Transport.

Abstract: the article considers the issues of modern education in the context of digitalization of the railway industry. In particular, the issues of trajectories of prospective transformation of educational programs, training of engineers for the operation of the infrastructure complex and technology of railway operation in the context of using modern digital tools for organizing and managing transportation processes are considered.

Keywords: transport education, digital railway, digital transport technologies, operation of railways

© Vakulenko S.P.

Received 25.09.2024, approved 21.10.2024, accepted for publication 21.10.2024.

For citation:

Vakulenko S.P. Transformation of educational technologies in the context of digitalization of operational processes of railway transport. Logistics and Supply Chain Management. 2024. Vol 21, Iss 2 (111). pp. 4-12.

Vakulenko S.P., Ph.D., Prof., director of the Institute of Management and Digital Technologies Russian University of Transport, 127994, Moscow, Obraztsova St., 9, build. 9 e-mail: post-iuit@bk.ru

References

1. Vakulenko, S. P. Management of the educational process in personnel training in the conditions of digitalization of the transport and logistics industry / S. P. Vakulenko // Logistics and supply chain management. – 2023. – Vol. 20, No. 1(106). – pp. 5-12. – EDN MZVVK.
2. Olentsevich, V. A. The effectiveness of the introduction of interval control of train traffic using the «virtual coupling» system on the site / V. A. Olentsevich, R. Yu. Upyr, A. A. Antipina // Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2020. – № 2(66). – Pp. 182-189. – DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66) .182-189. – EDN CRLWQS.

ДИСКРЕТНО–СОБЫТИЙНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЬЕТНАМА (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА БИЕН ХОА –
ВУНГТАУ)

Нгуен Минь Тьен¹, Куанг Ву², Нгуен Чонг Там³

¹ Ханойский университет науки и коммуникаций

² Ханойский университет науки и технологий

³ Хошиминский университет транспорта

Аннотация: в статье анализируется текущее состояние обучения и исследования применения имитационного моделирования при организации работы железнодорожных систем Вьетнама. В исследовании представлены этапы разработки модели имитационного моделирования для организации работы железнодорожного участка Биен Хоа – Вунгтау. Проведены эксперименты и анализ, направленные на разработку оптимального плана организации и оценку эффективности модели в исследованиях по организации железнодорожных систем. Также предложены рекомендации по дальнейшему развитию применения имитационного моделирования в организации железнодорожных систем Вьетнама.

Ключевые слова: железные дороги, имитационное моделирование, транспортная технология, транспортная система Вьетнама.

© Нгуен Минь Тьен, Куанг Ву, Нгуен Чонг Там.

Поступила 20.09.2024, одобрена после рецензирования 15.10.2024, принята к публикации 15.10.2024.

Для цитирования:

Нгуен Минь Тьен, Куанг Ву, Нгуен Чонг Там.. Дискретно–событийная имитационная модель организации работы железнодорожной системы Вьетнама (на примере участка Биен Хоа – Вунгтау) // Логистика и управление цепями поставок. - 2024. - Т. 21, №2 (111). - С. 13–26.

Нгуен Минь Тьен – аспирант, Ханойский университет науки и коммуникаций
Куанг Ву — доцент, к.ю.н., Ханойский университет науки и технологий, Ханой, Вьетнам
Нгуен Чонг Там – к.т.н., Хошиминский университет транспорта, Хошимин, Вьетнам

Железнодорожная система играет важную роль в развитии экономики, общества и в обеспечении устойчивого транспорта во Вьетнаме. Однако из-за устаревшей инфраструктуры многие железнодорожные участки изношены и не были своевременно модернизированы. Организация железнодорожной системы сталкивается не только с проблемами безопасности и производительности, но и с необходимостью удовлетворять потребности развития на фоне быстрого экономического роста и растущих требований к транспортировке¹.

Исследование организации железнодорожных систем — это процесс анализа множества взаимосвязанных событий, которые часто являются случайными, с целью достижения показателей по затратам, качеству, безопасности и времени. Исследователи обычно используют моделирование для решения задач по организации железнодорожных систем, среди которых выделяются два метода: физическое моделирование и математическое моделирование. Физическое моделирование считается более затратным, поэтому предпочтение отдается математическому моделированию. Математическое моделирование делится на два типа: аналитические модели и имитационные модели. Аналитическое моделирование представляет собой совокупность математических выражений, которые позволяют оценивать свойства объекта и обычно ограничиваются относительно простыми системами. Имитационное моделирование воссоздает реальные процессы и объекты с помощью языков программирования и позволяет анализировать процессы и объекты на разных уровнях сложности. Таким образом, имитационное моделирование является одним из современных важных инструментов, помогающих анализировать и оптимизировать сложные процессы организации железнодорожных систем.

Имитационное моделирование в настоящее время широко применяется во многих странах мира. В таких странах, как Россия,

США, Китай, Япония, Германия, Франция и Великобритания, где существуют развитые и давно функционирующие железнодорожные системы, имитационные модели используются для различных аспектов организации железнодорожных операций: моделирование потока поездов; моделирование безопасности и спасательных операций; моделирование обслуживания инфраструктуры; моделирование оптимизации и расширения сети; моделирование грузовых и пассажирских перевозок²[6].

В настоящее время во Вьетнаме существует очень мало углубленных исследований по применению имитационного моделирования в организации железнодорожных систем. Большинство исследований в области имитационного моделирования в сфере транспорта и логистики сосредоточено преимущественно на автомобильных дорогах или городских транспортных системах. Основными причинами, ограничивающими исследования по имитационному моделированию железнодорожных операций Вьетнама, являются следующие:

- недостаток финансовых ресурсов и инфраструктуры: инвестиции в лицензионное программное обеспечение, высокопроизводительные компьютеры и лаборатории для имитационного моделирования требуют значительных капиталовложений, тогда как вьетнамские университеты и исследовательские институты часто не имеют достаточного бюджета для комплексного инвестирования в эту область;

- недостаток специалистов и специализированных образовательных программ: количество специалистов с углубленными знаниями в области имитационного моделирования организации железнодорожных систем во Вьетнаме крайне ограничено. Это связано с отсутствием специализированных учебных программ в данной области в университетах и исследовательских институтах;

- ограниченное осознание роли моделирования: во Вьетнаме организации и пред-

¹ Отчет о логистике Вьетнама 2022 [Электронный ресурс] : Министерство промышленности и торговли Вьетнама. – Ханой. Издательство «Промышленность и торговля», 2022. – Режим доступа: <https://daotaocq.gdnn.gov.vn/wp-content/uploads/2022/06/4.-BC-Logistics-Viet-Nam-2022-Bo-CT.pdf>. (дата обращения: 10.09.2024)

² Отчет о логистике Вьетнама 2022 [Электронный ресурс] : Министерство промышленности и торговли Вьетнама. – Ханой. Издательство «Промышленность и торговля», 2022. (дата обращения: 10.09.2024).

приятия, занимающиеся железнодорожными операциями, пока недостаточно осознают значимость имитационного моделирования для оптимизации процессов, повышения производительности и улучшения безопасности. Стратегии развития железнодорожного транспорта во Вьетнаме в основном сосредоточены на модернизации инфраструктуры, тогда как применение технологий моделирования в управлении операциями и подготовке кадров остается недостаточно развитым.

В последние годы образовательные учреждения во Вьетнаме начали активно вклю-

чать имитационное моделирование в учебные программы. Такие престижные университеты, как Ханойский политехнический университет, Ханойский университет транспорта, Университет транспорта города Хошимин, являются ведущими учреждениями по предоставлению базовых знаний в области имитационного моделирования. Однако моделирование в организации железнодорожных систем пока не получило широкого распространения в обучении.

Таблица 1

Применение имитационного моделирования транспортно-логистических систем в обучении в некоторых образовательных учреждениях Вьетнама^{3,4,5,6}

№	Образовательное учреждение	Учебная дисциплина	Используемое программное обеспечение	Область применения
1	Ханойский политехнический университет	Моделирование производственных и сервисных систем	Arena, Matlab	Управление промышленностью, логистика
2	Ханойский университет транспорта	Моделирование транспортных процессов	Vissim, Matlab, Simul8	Транспортные системы, логистика
3	Университет транспорта города Хошимин	Имитационное моделирование транспортных систем	Vissim	Транспортные системы, логистика
4	Университет Тхайнгуен	Имитационное моделирование	Matlab	Управление промышленностью

При разработке имитационных моделирований существуют три основных подхода к моделированию [5,6,9]:

- системно-динамическое моделирование: этот подход был разработан одним из первых и предназначен для понимания сложных структур и их динамики. Он абстрагирует детали отдельных элементов, фокусируясь на системе как совокупности различных потоков (ма-

териальных, информационных, финансовых). Модели системной динамики включают такие элементы, как аккумуляторы, потоки, каналы и переменные, которые отражают ключевые аспекты системы.

- дискретно-событийное моделирование: это метод представления процессов в виде последовательности событий (например, прибытие железнодорожного поезда, контейне-

³ Программа обучения Ханойского политехнического университета – Режим доступа: <https://ts.hust.edu.vn/tin-tuc/chuong-trinh-dao-tao-chuan-truong-dai-hoc-bach-khoa-ha-noi> (дата обращения: 09.09.2024)

⁴ Программа обучения Ханойского университета транспорта – Режим доступа: <https://www.utc.edu.vn/dao-tao/chuong-trinh-dao-tao> (дата обращения: 09.09.2024).

⁵ Программа обучения Университета транспорта Хошимина – Режим доступа: <https://daotao.ut.edu.vn/dai-hoc-chuong-trinh-dai-tra/> (дата обращения: 09.09.2024).

⁶ Программа обучения Университета Тай Нгуен – Режим доступа: <https://tnu.edu.vn/dao-tao/thong-tin-dao-tao/chuong-trinh-dao-tao-dai-hoc>. (дата обращения: 09.09.2024).

ра), влияющих на состояние системы. Для его реализации используются специализированные языки программирования. Современные решения позволяют анализировать изменения в системе, включая размер, количество и эффективность обслуживания. Построенные модели включают функциональные блоки для создания и обработки событий, планирования и анализа их результатов в системе.

- агентное моделирование: самый новый подход, который понимается как метод имитации, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как их поведение определяет поведение всей системы. Агенты могут быть сотрудниками станции, поездами, тягачами, терминальными тракторами, водителями. Все эти объекты имеют специфическое поведение, определяемое их собственными наборами правил, по которым они взаимодействуют с окружающей средой. Индивидуальное поведение различных агентов определяет поведение всей системы. Агентное моделирование позволяет изучать множество сложных процессов, происходящих в системе.

В работе, с целью прояснения роли имитационного моделирования в организации железнодорожных систем, был выполнен пример дискретно-событийного моделирования для железнодорожного участка Биен Хоа – Вунгтау. Проект железной дороги Биен Хоа – Вунгтау является новым проектом железнодорожной системы Вьетнама и находится на стадии предпроектного исследования. Ожи-

дается, что этот проект решит задачи транспортировки в регионе, соединит крупные промышленные зоны юго-восточного региона с портовым кластером Кай Меп – Ти Вай, что позволит усилить мультимодальные перевозки и оптимизировать затраты на логистику⁷.

Разработка имитационной модели может быть разделена на следующие этапы: формулировка задачи и целей модели; разработка концепции модели; подготовка исходных данных; программирование модели; эксперименты модели; анализ результатов эксперимента; заключение. На рисунке 1 представлена схема этапов построения имитационной модели, на основе которой был разработан план создания модели для организации железнодорожного участка Биен Хоа – Вунгтау.

При исследовании эксплуатации железнодорожного участка Биен Хоа – Вунгтау задача заключается в определении вариантов эксплуатации контейнерных поездов с учетом количества локомотивов и погрузочно-разгрузочного оборудования на станции.

Концепция модели включает следующие процессы: движение поездов по отдельным участкам линии и процессы погрузки/разгрузки контейнеров. При этом движение поездов должно обеспечивать безопасные интервалы между поездами и предотвращать их скопление на узловых станциях, а процесс погрузки/разгрузки контейнеров на станции должен быть согласован с графиком движения поездов.

⁷ Корейское агентство международного сотрудничества во Вьетнаме, Отчет о технико-экономическом обосновании проекта железной дороги Биен Хоа (Ди Ан) – Вунгтау, 2018 г. – Режим доступа: <https://mt.gov.vn/vn/tin-tuc/59146/hoan-thien-nghien-cuu-kha-thi-du-an-duong-sat-bien-hoa---vung-tau.aspx>. (дата обращения: 10.09.2024).

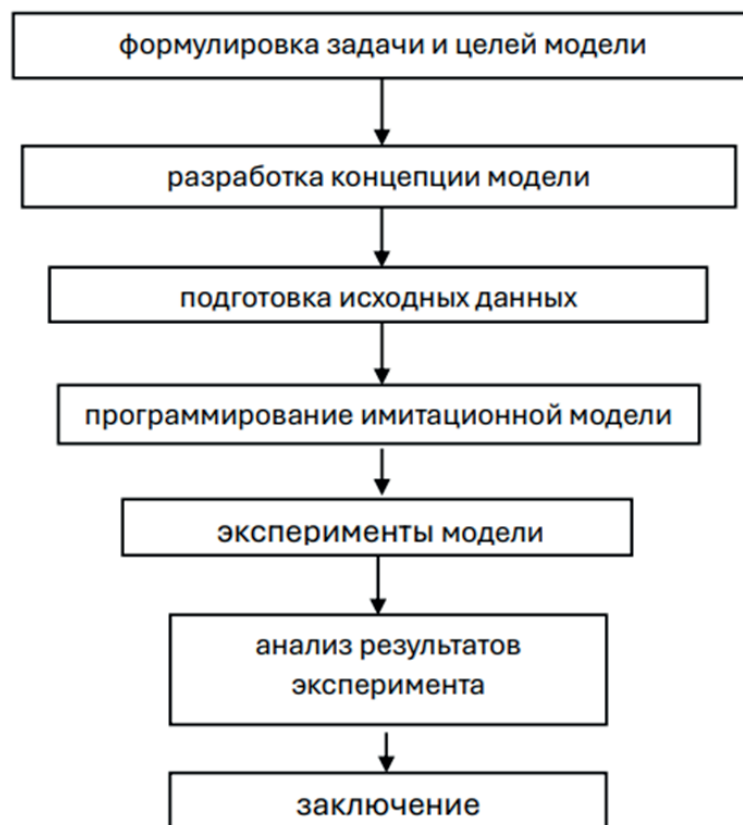


Рисунок 1. Этапы разработки имитационной модели.

Согласно отчету по технико-экономическому обоснованию проекта железной дороги Биен Хоа – Вунгтау, исходные данные для модели

были определены и представлены в таблице 2⁸.

Таблица 2

Исходные данные.

		Оборудования		Количество пар поездов (п.п./сутки)	Длина участка (км)	Среднее время загрузки и разгрузки 1 контейнера (минуты)	Скорость поезда (км)	Вместимость 1 поезда (teu)
		Количество автопогрузчиков	количество локомотивов					
станции	Тхи Вай	1				5	120	75
	Тан Цан	1						
	Кай Меп	3						
	Ан Бинь	5						

⁸ Корейское агентство международного сотрудничества во Вьетнаме, Отчет о технико-экономическом обосновании проекта железной дороги Биен Хоа (Ди Ан) – Вунгтау, 2018 г. (дата обращения: 10.09.2024).

участки	Ан Бинь – Тхи Вай		2	4	59,62			
	Ан Бинь – Тан Цан		2	3	59,64			
	Ан Бинь – Кай Меп		3	12	63,04			
ИТОГО		10	7	19				

Модель была разработана в программном обеспечении AnyLogic и состоит из трех частей: структура инфраструктуры, события, данные и результаты. Часть 1 — структура инфраструктуры, включает: карту проекта с масштабом 1 см = 2,5 км, структуры станций

и систему железнодорожных путей линии, которые подробно представлены на рисунке 2. Часть 2 — события, включает события, связанные с движением поездов и погрузочно-разгрузочными операциями на станциях, которые показаны на рисунке 3.



Рисунок 2. Структура инфраструктуры в имитационной модели.

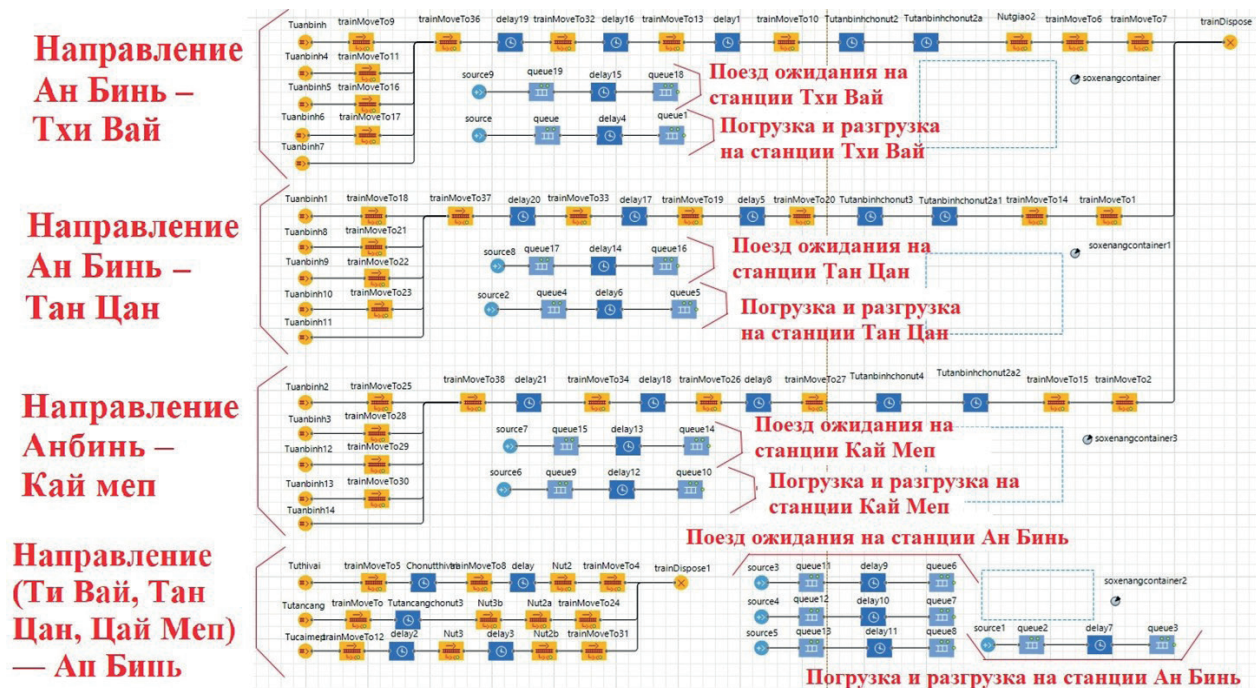


Рисунок 3. События в имитационной модели.

Часть 2 включает в себя различные блоки, моделирующие действия (события), происхо-

дящие с объектами (поезда, контейнеры). Эти блоки подробно описаны в таблице 3.

Таблица 3

Описание блоков в имитационной модели.

Stt	блоки	Описание
1		- Появление поезда
2		- Прибытие поезда на станцию для погрузочно-разгрузочных операций - Появление контейнера на станции для погрузки/разгрузки (75 TEU/1 поезд)
3		- Движение поезда (120 км/ч)
4		- Разъезд поездов на узловых станциях - Ожидание поезда на станции для погрузочно-разгрузочных операций - Время погрузки/разгрузки контейнеров
5		- Очередность ожидания поездов или контейнеров для погрузки/разгрузки
6		- Удаление объекта из события

Часть 3 включает в себя входные данные модели: количество автопогрузчиков, количество локомотивов и время погрузки/разгрузки одного контейнера, а также выходные данные:

количество поездов, работающих за 24 часа, и количество загруженных/разгруженных контейнеров. Часть 3 представлена на рисунке 4.

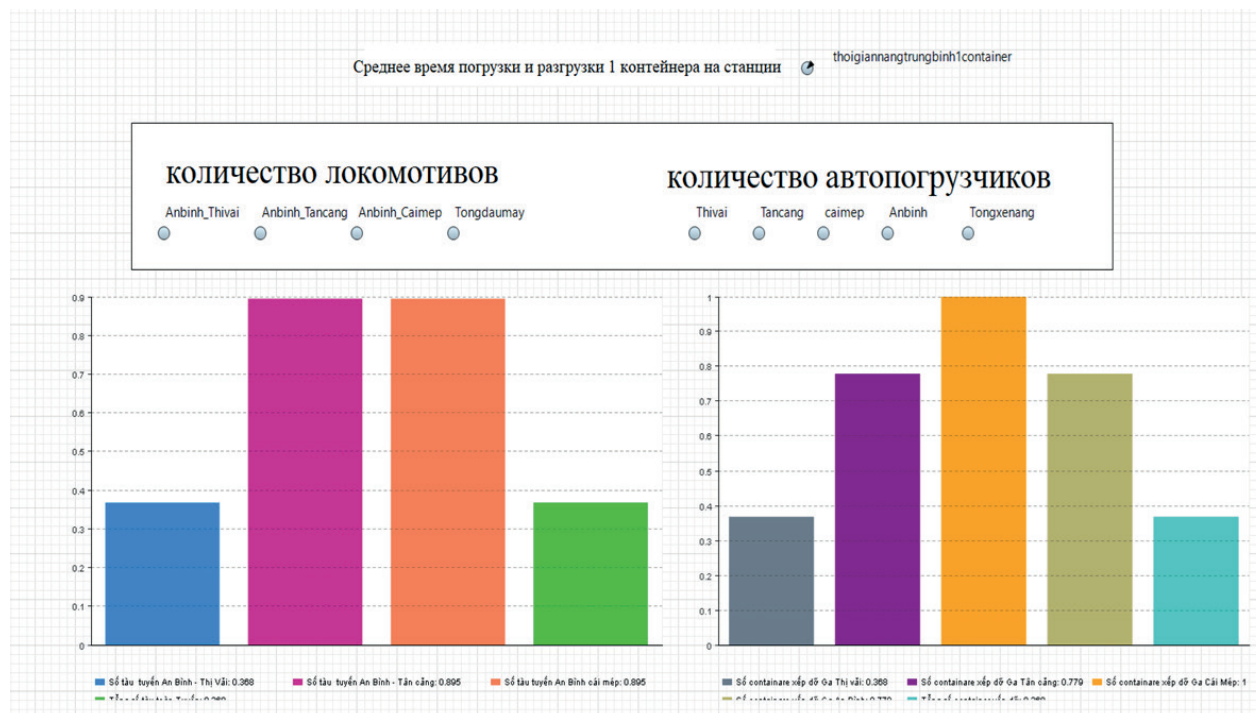


Рисунок 4. Входные и выходные данные.

При запуске модели необходимо обеспечить корректное выполнение имитации в соответствии со следующими требованиями:

- поезда должны избегать столкновений на пересечениях путей;
- между двумя поездами всегда должно поддерживаться безопасное расстояние.

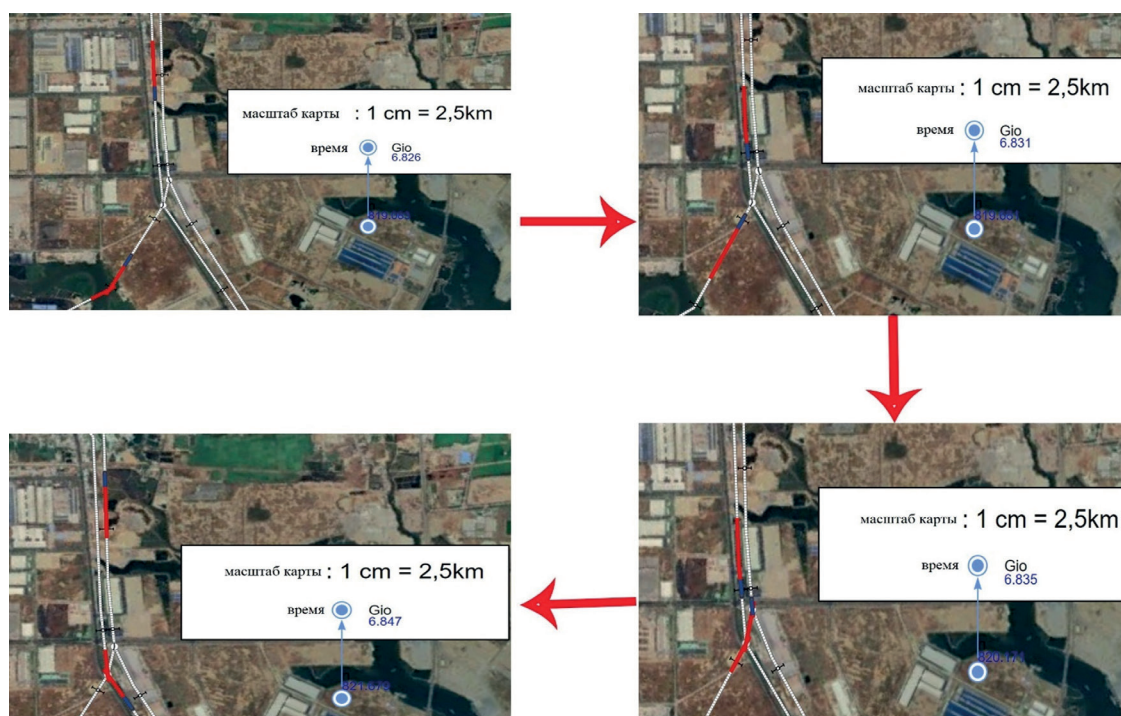


Рисунок 5. Два поезда избегают друг друга в имитационной модели.

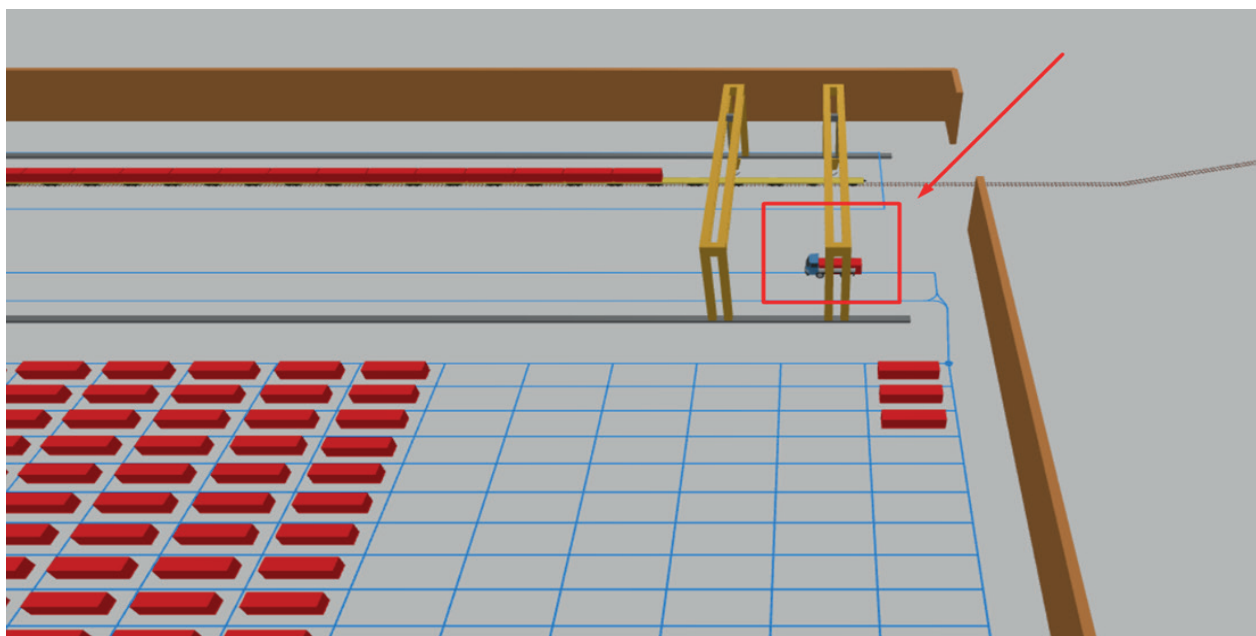


Рисунок 6. Погрузка и разгрузка контейнеров на станции в имитационной модели.

Для определения влияния погрузочно-разгрузочного оборудования и локомотивов на работу железнодорожного участка Биен Хоа – Вунгтау были проведены эксперименты

в модели с различными параметрами автопогрузчиков и локомотивов. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты экспериментов.

		Варианты															
		1		2		3		4		5		6		7		8	
		Теу	п.п./сутки	Теу	п.п./сутки	Теу	п.п./сутки	Теу	п.п./сутки	Теу	п.п./сутки	Теу	п.п./сутки	Теу	п.п./сутки	Теу	п.п./сутки
Станции	Тхи Вай	572		1134		1709		2121		571		1142		1714		2285	
	Тан Цан	548		984		1250		1636		569		1134		1687		2201	
	Кай Меп	1723		2297		2872		3446		1723		2298		2872		3447	
	Ан Бинь	2361		4049		5436		6720		2362		4049		5737		7404	
Участки	Ан Бинь – Тхи Вай		8		16		23		29		9		17		24		31
	Ан Бинь – Тан Цан		7		13		17		21		8		15		23		30
	Ан Бинь – Кай Меп		24		31		39		46		25		32		40		47

На основе результатов экспериментов было проведен анализ влияния погрузочно-разгрузочного оборудования и локомотивов на количество поездов, работающих ежедневно, а также на количество контейнеров,

загруженных и выгруженных на железнодорожном участке Биен Хоа – Вунгтау. Результаты анализа подробно представлены на рисунках 7 и 8.

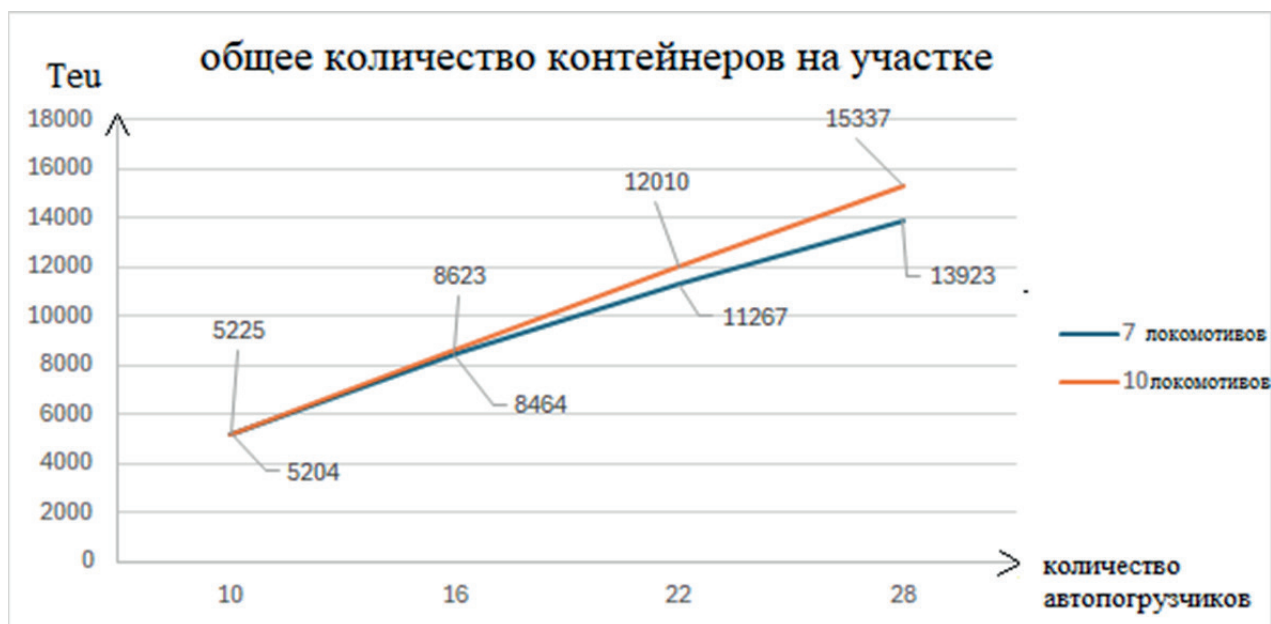


Рисунок 7. Влияние автопогрузчиков и локомотивов на количество загруженных и выгруженных контейнеров.

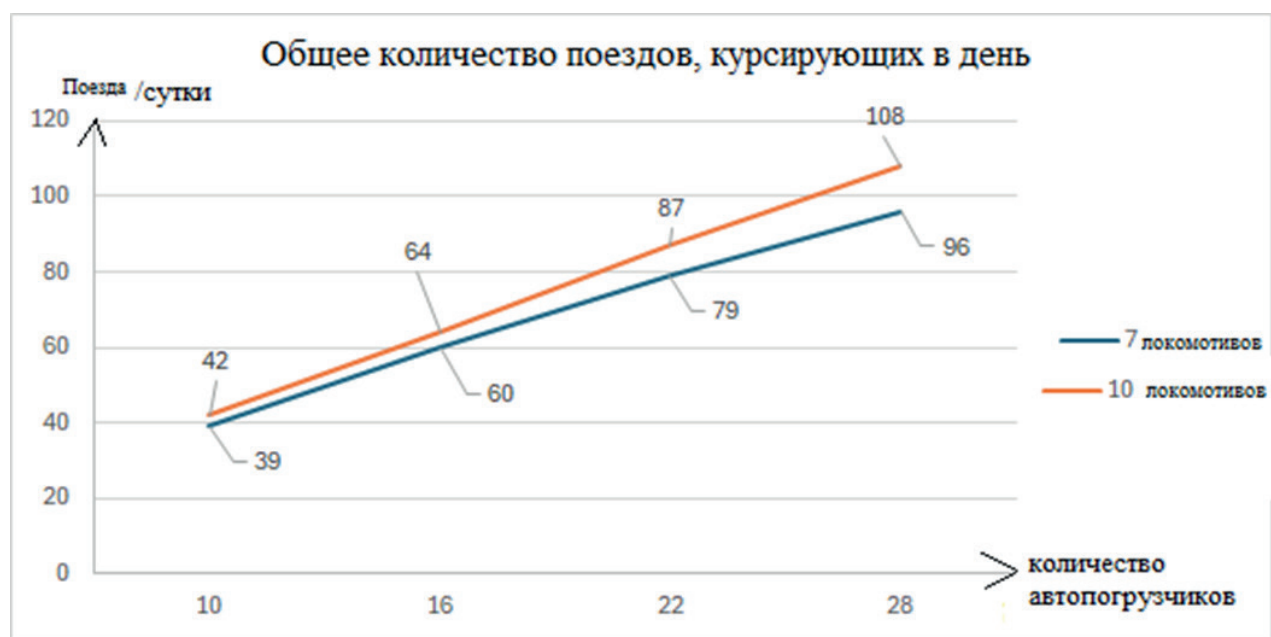


Рисунок 8. Влияние автопогрузчиков и локомотивов на количество поездов, работающих ежедневно.

Согласно технико-экономическому обоснованию проекта КОИСА [14], после завершения первой фазы участок будет работать с 7 локомотивами и обеспечивать 38 поездов в день. Имитационная модель была построена на основе входных данных из отчета и дополнительно протестирована с различными вариантами. При моделировании с 7 локомотивами и 10 автопогрузчиками результат составил 39 поездов в день, что свидетельствует о соот-

ветствии модели расчетам, представленным в технико-экономическом обосновании.

Тестирование модели с другими вариантами показало, что увеличение количества локомотивов приводит лишь к незначительному увеличению числа поездов, так как на станциях возникает затор из-за незавершенных погрузочно-разгрузочных операций. Поэтому в исследовании соглашаются с предложенным в отчете количеством локомотивов, но рекомендуют увеличить количество погрузоч-

но-разгрузочного оборудования на станциях. Были протестированы следующие варианты: 16 автопогрузчиков (60 поездок и 8464 TEU), 22 автопогрузчика (79 поездок и 11267 TEU) и 28 автопогрузчиков (96 поездок и 13923 TEU).

Имитационная модель предоставила глубокое понимание работы организации. Этот подход не только позволил определить ключевые области, требующие оптимизации, но и разработать конкретные рекомендации по улучшению организационных процессов на железнодорожном участке. Для развития применения имитационного моделирования в организации железнодорожных систем Вьетнама предлагаются следующие решения:

- Развитие кадрового потенциала в области моделирования: необходимо разработать специализированные программы обучения по имитационному моделированию для организации железнодорожных систем в университетах и исследовательских институтах. Следует внедрить программы повышения квалификации для преподавателей и экспертов в области моделирования. Важно укреплять сотрудничество с университетами, исследовательскими институтами и международными организациями для обмена опытом, технологиями и методиками преподавания по моделированию железнодорожных систем.

- Усиление инвестиций в инфраструктуру: инвестиции в специализированное программное обеспечение для моделирования железнодорожных систем являются неотложным решением. Программные пакеты, такие как OpenTrack, AnyLogic и PTV Vissim, уже широко используются в развитых странах. Университетам и исследовательским институтам необходимо создавать современные лаборатории моделирования, оснащенные высокопроизводительными компьютерами и передовыми технологиями для поддержки исследований и обучения.

- Совершенствование государственной политики поддержки: правительству следует разработать программы финансирования проектов по исследованиям и внедрению имитационного моделирования в организацию

железнодорожных систем. Развитие и применение моделирования должно стать важной частью стратегии развития национальной железнодорожной отрасли. Государство должно создавать условия для участия предприятий и научных организаций в международных программах сотрудничества по моделированию и управлению железнодорожными системами. Сотрудничество с странами, имеющими передовые железнодорожные системы, поможет Вьетнаму быстрее освоить новые технологии и улучшить возможности исследований и их применения внутри страны.

- Укрепление сотрудничества между исследовательскими учреждениями и предприятиями: для успешного внедрения имитационного моделирования в практику необходимо наладить тесные связи между университетами, исследовательскими институтами и предприятиями, занимающимися организацией железнодорожных систем. Железнодорожные компании могут спонсировать пилотные проекты и исследования по развитию применения моделирования, тем самым способствуя внедрению моделей в управление и организацию реальных процессов. Применение имитационных моделей в таких пилотных проектах, как оптимизация расписания поездов, управление пассажирскими и грузовыми потоками, или анализ аварийных ситуаций, поможет проверять и совершенствовать методы организации.

Таким образом, имитационное моделирование доказало свою ценность как инструмент анализа сложных железнодорожных систем, предоставляя возможность оценки влияния различных переменных и сценариев на общую производительность. Однако для развития применения моделирования необходимо скоординированное взаимодействие всех заинтересованных сторон отрасли: научных и образовательных учреждений, предприятий и государственных органов. Это позволит Вьетнаму в полной мере использовать потенциал технологий моделирования, повысить эффективность управления и двигаться к созданию современной, безопасной и устойчивой железнодорожной системы.

Список источников

1. Багинова, В. В. Управление транспортными системами и логистической инфраструктурой : учеб. Пособие / В. В. Багинова, А. Ю. Кузьмин. – Москва : Прометей, 2020. – С. 35–38. – ISBN 978-5-00172-043-0.
2. Багинова, В. В. Современные тенденции развития контейнерных перевозок / В. В. Багинова, Д. В. Кузьмин // Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей : Сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 08–09 февраля 2017 года. – Ростов н/Д. : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 40–44. – EDN ZGGKBV.
3. Рахмангулов, А. Н. Управление логистической инфраструктурой : Учебное пособие / А. Н. Рахмангулов, О. А. Копылова. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. – 77 с. – ISBN 978-5-9967-2781-0. – EDN LDNZOV.
4. Рахмангулов, А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования [Текст] / А.Н. Рахмангулов, О.А. Копылова, П.Н. Мишкурин. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 300 с.
5. Кузьмин, Д. В. Разработка имитационной дискретно-событийной модели транспортной инфраструктуры с использованием инструментов оптимизации / Д. В. Кузьмин, В. В. Багинова, Д. А. Краснобаев, Д. В. Мусатов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 42–48. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48. – EDN DXCLTV.
6. Кузьмин, Д. Дискретно-событийная имитационная модель железнодорожного вокзала / Д. Кузьмин, В. Багинова, А. Агейкин // X Международный научный Сибирский транспортный форум – ТрансСибирь 2022, Новосибирск, 02–05 марта 2022 года. – Новосибирск : Эльзевир, Б. В., 2022. – С. 929–937. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091. – ЭДН ФАГВФГ.
7. Нгуен Минь Тьен Актуальные проблемы развития транспортной инфраструктуры Вьетнама / Нгуен Минь Тьен // Академик владимир николаевич образцов – Основоположник транспортной науки: Труды международной научно-практической конференции, М. РУТ, 2021. – С. 546–550
8. Нгуен Минь Тьен Оптимальный вариант размещения логистических центров республики Вьетнам / Нгуен Минь Тьен, А. В. Багинов //Транспорт и логистика: развитие в условиях глобальных изменений потоков: Труды международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону: РГУПС, 2023. – С. 250–255
9. Нгуен Минь Тьен Применение имитационного моделирования в организации и развитии логистических центров Вьетнама / Нгуен Минь Тьен, А. В. Багинов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1 (89). С. 95–105
10. Данг Динь Дао Развитие логистических услуг во Вьетнаме / Данг Динь Дао // Вьетнам наука и технический журнал. – 2013. – № 6. – 14 с.
11. Нгуен Тхи Хиен Проблемы, которые необходимо решить для развития логистической системы в ключевом экономическом регионе Центрального региона / Нгуен Тхи Хиен // Вьетнам наука и технический журнал. – 2021. – № 3. – 35 с.
12. Forming and developing the controller terminal regional network for conditions of the Russia federation / D. V. Kuzmin, V. V. Baginova, A. N. Rakhmangulov [et al.] // International Journal of Economic Perspectives. – 2017. – Vol. 11, No. 2. – EDN EYQDF.

A DISCRETE-EVENT SIMULATION MODEL OF THE ORGANIZATION OF THE VIETNAMESE RAILWAY SYSTEM (A CASE STUDY OF THE BIEN HOA – VUNG TAU SECTION)

Nguyen Minh Chien¹, Quang Vu², Nguyen Trong Tam³

¹ Hanoi University of Science and Communications

² Hanoi University of Science and Technology

³ Ho Chi Minh City University of Transport

Abstract: this article analyzes the current state of education and research on the application of simulation modeling in the organization of railway systems in Vietnam. The study presents the stages of developing a simulation model for the operation of the Bien Hoa – Vung Tau railway section. Experiments and analyses were conducted to develop an optimal operational plan and assess the model's effectiveness in research on railway system organization. Recommendations are also proposed for further development of the application of simulation modeling in the organization of railway systems in Vietnam.

Keywords: railways, simulation modeling, transportation technology, Vietnam's transportation system.

© Nguyen Minh Chien, Quang Vu, Nguyen Trong Tam.

Received 20.09.2024, approved 15.10.2024, accepted for publication 15.10.2024.

For citation:

Nguyen Minh Chien, Quang Vu, Nguyen Trong Tam. A discrete-event simulation model of the organization of the Vietnamese railway system (a case study of the Bien Hoa – Vung tau section). Logistics and Supply Chain Management. 2024. Vol 21, Iss 2 (111). pp. 13-26.

Nguyen Minh Chien – postgraduate student, Hanoi University of Science and Communications.
Quang Vu - Associate Professor, PhD., Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam.
Nguyen Trong Tam - PhD., Ho Chi Minh City University of Transport, Ho Chi Minh City, Vietnam.

References

1. Baginova, V. V. Management of transport systems and logistics infrastructure: textbook. Manual / V. V. Baginova, A. Yu. Kuzmin. - Moscow: Prometheus, 2020. - Pp. 35-38. - ISBN 978-5-00172-043-0.
2. Baginova, V. V. Modern trends in the development of container transportation / V. V. Baginova, D. V. Kuzmin // Transport and logistics: innovative development in the context of globalization of technological and economic ties: Collection of scientific papers, Rostov-on-Don, February 08-09, 2017. - Rostov n / D.: Rostov State University of Transport, 2017. - Pp. 40-44. - EDN ZGGKBV.
3. Rakhmangulov, A. N. Logistics Infrastructure Management: A Textbook / A. N. Rakhmangulov, O. A. Kopylova. - Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, 2023. - 77 p. - ISBN 978-5-9967-2781-0. - EDN LDNZOV.
4. Rakhmangulov, A. N. Railway Transport and Technological Systems: Organization of Functioning [Text] / A. N. Rakhmangulov, O. A. Kopylova, P. N. Mishkurov. - Magnitogorsk: Publishing House of Magnitogorsk. state technical University named after G. I. Nosov, 2014. - 300 p.
5. Kuzmin, D. V. Development of a discrete-event simulation model of transport infrastructure using optimization tools / D. V. Kuzmin, V. V. Baginova, D. A. Krasnobaev, D. V. Musatov // T-Comm: Telecommunications and transport. - 2023. - Vol. 17, No. 2. - Pp. 42-48. - DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48. - EDN DXCLTV.
6. Kuzmin, D. Discrete-event simulation model of a railway station / D. Kuzmin, V. Baginova, A. Ageikin // X International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2022, Novosibirsk, March 02-05, 2022. – Novosibirsk: Elsevier, B.V., 2022. – P. 929–937. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091. – EDN FAGVFG.
7. Nguyen Minh Chien Actual problems of development of transport infrastructure of Vietnam / Nguyen Minh Chien // Academician Vladimir Nikolaevich Obratsov - Founder of transport science: Proceedings of the international scientific and practical conference, M. RUT, 2021. - Pp. 546-550
8. Nguyen Minh Chien Optimal option for the placement of logistics centers of the Republic of Vietnam / Nguyen Minh Chien, A. V. Baginov // Transport and logistics: development in the context of global changes in flows: Proceedings of the international scientific and practical conference, Rostov-on-Don: RGUPS, 2023. - Pp. 250-255
9. Nguyen Minh Chien Application of simulation modeling in the organization and development of logistics centers in Vietnam / Nguyen Minh Chien, A. V. Baginov // Bulletin of the Rostov State Transport University. 2023. No. 1 (89). P. 95-105
10. Dang Dinh Dao Development of logistics services in Vietnam / Dang Dinh Dao // Vietnam Science and Technical Journal. - 2013. - No. 6. - 14 p.
11. Nguyen Thi Hien Problems that need to be solved for the development of the logistics system in the key economic region of the Central Region / Nguyen Thi Hien // Vietnam Science and Technical Journal. - 2021. - No. 3. - 35 p.
12. Forming and developing the controller terminal regional network for conditions of the Russian federation / D. V. Kuzmin, V. V. Baginova, A. N. Rakhmangulov [et al.] // International Journal of Economic Perspectives. - 2017. - Vol. 11, No. 2. - EDN EYCQDF.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕР ПО ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.

Краснобаев Д.А.¹

¹ ООО «Торговый Дом Магистраль»

Аннотация: в статье рассматривается применение дискретно-событийного имитационного моделирования для оценки эффективности мер по оптимизации транспортно-логистической инфраструктуры предприятия. Разработана дискретно-событийная имитационная модель в среде AnyLogic, которая позволяет моделировать различные сценарии работы складского комплекса. С моделью проведены оптимизационные эксперименты, результаты которых подтвердили целесообразность предлагаемых мер по усовершенствованию логистической деятельности предприятия.

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, транспортно-логистическая инфраструктура, оптимизационный эксперимент.

© Краснобаев Д.А.

Поступила 15.09.2024, одобрена после рецензирования 13.10.2024, принята к публикации 13.10.2024.

Для цитирования:

Краснобаев Д.А. Применение имитационного моделирования для оценки эффективности мер по оптимизации транспортно-логистической инфраструктуры // Логистика и управление цепями поставок. - 2024. - Т. 21, №2 (111). - С. 27–37.

Краснобаев Д.А., технолог, ООО «Торговый Дом Магистраль» (ООО «ТДМ»), e-mail: mitek.kras@gmail.com.

В современных условиях предприятия сталкиваются с необходимостью повышения эффективности своих логистических систем для сохранения конкурентоспособности. При этом возрастающая динамичность и сложность логистических процессов, обусловленная внедрением новых методов и технологий доставки товаров, требует применения инновационных подходов к совершенствованию логистической системы предприятий.

Эффективность транспортно-логистической инфраструктуры определяется в первую очередь тем, насколько быстро и качественно предприятие может доставлять свою продукцию клиентам. Это особенно важно для компании, осуществляющей торговлю металлопрокатом и металлоконструкциями, так как из-за объема и массы реализуемой продукции отгрузка заказов потребителей превращается в сложный и трудоемкий технологический процесс. В этом случае оперативное выполнение погрузочно-разгрузочных операций предусматривает использование специализированного оборудования, а также четкую координацию действий работников склада, оптимизацию маршрутов передвижения клиентов и техники, а также соблюдение правил техники безопасности.

Среднее время пребывания клиента на складе является одним из наиболее важных показателей оперативности логистических процессов компании. Этот показатель отражает способность сотрудников складского комплекса обслуживать заказчиков, обеспечивая минимальные временные задержки.

Снижение данного показателя может быть обусловлено отсутствием четкого разграничения зон для обслуживания оптовых и розничных клиентов. Отсутствие разделения склада компании на зоны приводит к пересечению потоков отгрузки крупных оптовых партий и небольших розничных заказов, что вызывает задержки в обработке и увеличивает время выполнения заказов. В этом случае происходит нерациональное использование складских площадей и ресурсов, так как оптовые заказы, требующие большого пространства для хране-

ния и специализированного оборудования для погрузки, могут блокировать доступ к мелким партиям товаров, предназначенным для розничных клиентов. Это затрудняет оперативное выполнение розничных заказов, ухудшает качество обслуживания и снижает уровень удовлетворенности клиентов.

Одним из наиболее прогрессивных и высокотехнологичных методов оптимизации логистических операций является метод имитационного моделирования. Использование всего потенциала имитационного моделирования предоставляет уникальную возможность проанализировать и улучшить логистические процессы без вмешательства в реальную деятельность предприятия [4].

Имитационная модель позволяет оценить эксплуатационные показатели логистической системы на этапе проектирования, провести необходимые корректировки и оптимизировать ее перед внедрением в реальную эксплуатацию. Также моделирование обеспечивает возможность протестировать альтернативные варианты функционирования системы путем изменения различных параметров, чтобы выявить оптимальное решение [1].

Наконец, следует отметить такое существенное преимущество имитационных моделей, как возможность управления временем. Это позволяет сократить продолжительность эксперимента до нескольких минут, тогда как в реальности такой процесс занял бы несколько рабочих дней¹.

В качестве меры по оптимизации деятельности складского комплекса предприятия может быть рассмотрен проект разработки дискретно-событийной имитационной модели, с помощью которой моделируются различные сценарии работы склада и проведение транспортных операций, обеспечивающих более рациональное использование ресурсов и сокращение времени доставки товаров потребителям.

Основной задачей имитационного моделирования является создание точной и адекватной модели реального объекта и его динамических процессов. При разработке

¹ Боев, В.Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для вузов / В.Д. Боев. - М.: Юрайт, 2020. - 253 с.

дискретно-событийной модели склада компании необходимо получить результаты, максимально соответствующие реальности, поэтому важным условием является минимальное искажение структуры объекта [2].

Для разработки имитационной модели выбрана среда Anylogic. Данный выбор обусловлен мощными функциональными возможностями программы AnyLogic, интуитивно понятным графическим редактором, а также наличием визуального представления результатов работы. Все эти преимущества

позволяют понять суть процессов, происходящих в моделируемой системе².

Разработанная модель представляет собой последовательную совокупность функциональных блоков из библиотеки моделирования процессов AnyLogic, которые имитируют различные события, происходящие с агентами. В данной работе агентами выступают такие объекты, как транспортные средства и материальные ресурсы [8].

Подробное описание функциональных блоков AnyLogic, используемых в модели, представлено в таблице 1.

Таблица 1

Описание функциональных блоков модели.

Используемый блок AnyLogic	Характеристика и функции
source	Добавляет агентов (грузовики и металлопрокат) в моделируемое пространство.
moveTo	Перемещает грузовики.
queue	Создает очередь перед следующим блоком для агентов.
delay	Задерживает агентов в данном блоке до вызова функции stopDelayForAll.
store	Размещает агента в ячейке заданного склада.
retrieve	Извлекает агента из ячейки склада и перемещает его в заданное место.
moveByCrane	Управляет перемещением металлопроката с помощью крана.
sink	Убирает поступивших агентов.
SelectOutput	Направляет входящих агентов в выходной порт в зависимости от выполнения заданного условия.

В ходе создания модели формируется диаграмма процесса, которая является графическим представлением последовательности действий. Диаграмма процесса позволяет визуально представить порядок выполнения

операций на складе и их взаимосвязь друг с другом [10, 11].

На рисунке 1 представлены все элементы диаграммы процесса модели, отвечающие за прибытие и отъезд транспортных средств.

² Сайт компании-разработчика программы «AnyLogic» [Электронный ресурс] / URL: <https://www.anylogic.ru/> (Дата обращения: 07.09.2024).

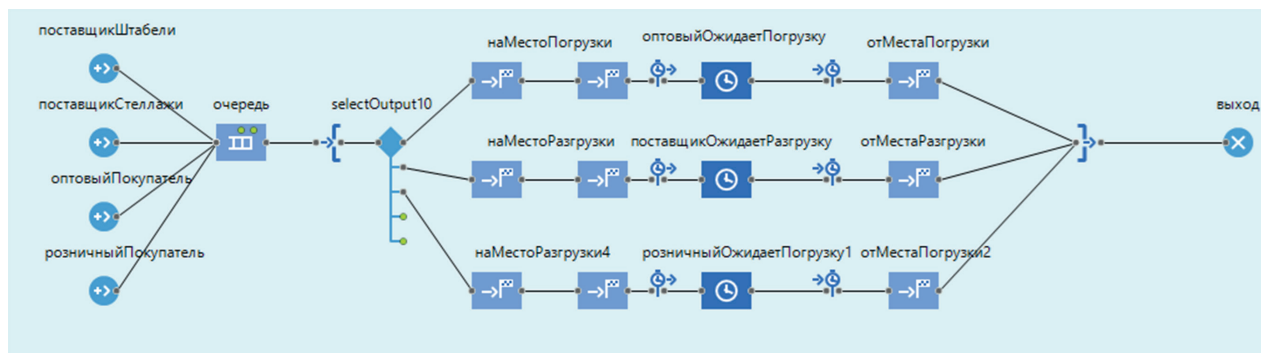


Рисунок 1. Элементы диаграммы процесса модели, отвечающие за прибытие и отъезд грузовиков.

Рассмотрим более подробно элементы диаграммы процесса.

Блоки source «поставщикШтабели», «поставщикСтеллажи», «оптовыйПокупатель» и «розничныйПокупатель» отвечают за прибытие на склад ТС клиентов и поставщиков металлопроката.

Если зона для погрузо-разгрузочных работ занята, грузовики останавливаются в блоке «очередь» (queue) и ожидают освобождения зоны.

Погрузка крупногабаритных тяжеловесных грузов, составляющих оптовые заказы, осуществляется в зоне для погрузо-разгрузочных работ с помощью кран-балки³.

На транспорт розничных покупателей с помощью вилочных погрузчиков доставляется сортовой металлопрокат, металлические листы, сетка, проволока и метизы и т.д.

После парковки ТС ожидает погрузку или разгрузку в блоке delay. Когда складская операция выполнена, ТС покидает территорию, направляясь к точке «вГород» [3].

На складе предусмотрены две зоны для погрузо-разгрузочных работ: основная и резервная. В настоящее время резервная зона фактически не используется, что является одним из факторов, влияющих на время пребывания в очереди на обслуживание розничных клиентов.

Для оценки эффективности открытия резервной зоны в модели использована возможность перенаправлять транспортные средства розничных покупателей в резервную зону. С этой целью в диаграмму процесса прибытия и отъезда ТС добавлен блок selectOutput. Транспортные средства от поставщиков, а также оптовые клиенты обслуживаются в основной зоне, а для выдачи розничных заказов используется резервная зона.

На рисунке 2 представлена диаграмма процесса с учетом использования резервной зоны.

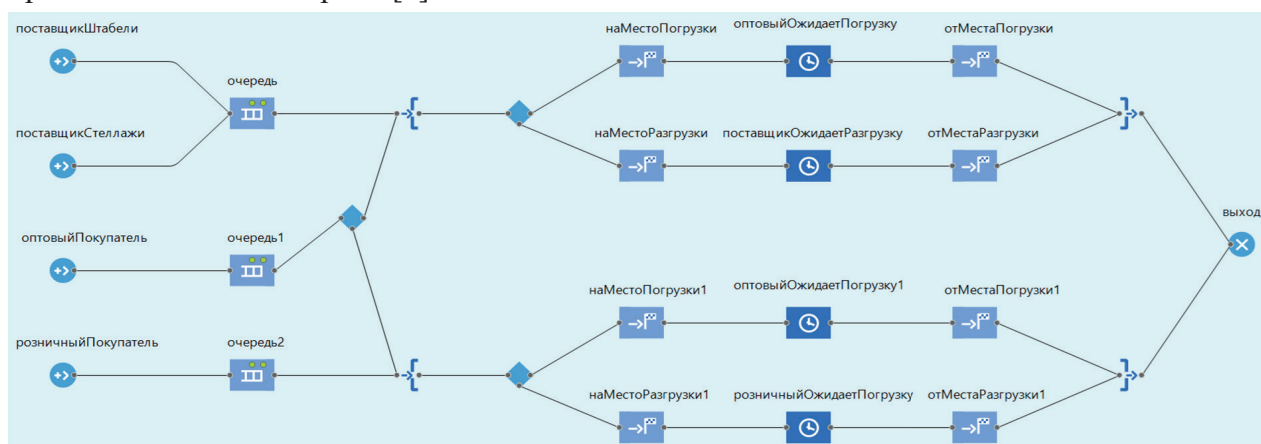


Рисунок 2. Диаграмма процесса с учетом использования резервной зоны.

³ Документация AnyLogic - «Мостовой кран» [Электронный ресурс] / URL: <https://anylogic.help/ru/markup/crane-overhead.html> (Дата обращения: 04.09.2024).

В разработанной модели реализовано множество параметров, с помощью которых осуществляется управление различными складскими процессами.

В таблице 2 представлены основные параметры, изменение которых предусмотрено в модели.

Таблица 2

Параметры, используемые в модели.

Параметр	Описание параметра
минВр, максВр	Минимальное и максимальное время задержки между прибытиями грузовиков.
минЗапасыШт, минЗапасыСт	Минимальный размер складских запасов.
количествовПартии	Количество металлопроката, которое привозят ТС от поставщиков.
вместимостьГрузовика	Количество металлопроката, которое погружается в ТС клиентов.
заполненностьПриЗапуске	Количество металлопроката на складе при запуске модели.
зонПогрузки	Количество зон для погрузо-разгрузочных работ.
количествоПогрузчиков	Количество вилочных погрузчиков на складе.

Значения указанных параметров можно изменять как в ходе создания модели, так и в процессе ее прогона. Для изменения параметров используются такие элементы управления, как текстовые поля, бегунки и др. Текстовые поля управляют количеством металлопроката, которое привозят транспортные средства от поставщиков и увозят ТС покупателей. Бегунки могут изменять время прибытия грузовика в пределах от 20 секунд до 120 секунд.

В рассматриваемой модели соотношение физического и модельного времени определяется, как 1:10, то есть 6 секунд модельного времени равны 60 секундам реального времени.

Визуализация моделируемых логистических процессов, благодаря функции анимации в AnyLogic, позволяет наблюдать за динамикой работы системы, что значительно упрощает понимание и интерпретацию результатов моделирования. С помощью анимации визуализируется перемещение агентов, работа оборудования, взаимодействие агентов и изменение параметров системы. Это делает модель более наглядной и помогает выявлять скрытые проблемы, которые сложно обнаружить при анализе числовых данных [9].

В AnyLogic есть возможность отображать как 2D, так и 3D анимацию модели в реальном времени. На рисунке 3 представлена модель складского помещения в окне 3D просмотра.

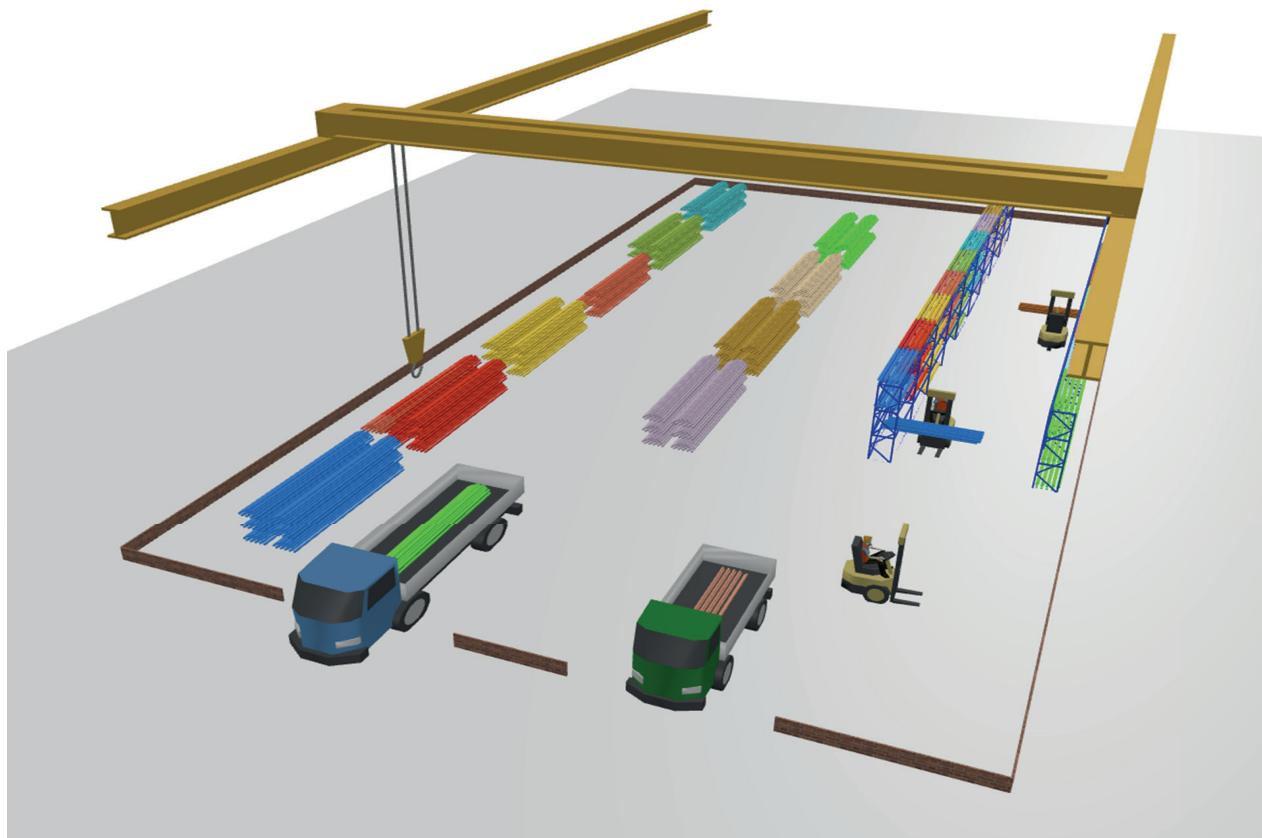


Рисунок 3. Отображение модели в 3D окне.

В целом, разработанная дискретно-событийная модель объекта транспортно-логистической инфраструктуры позволила детально воссоздать и проанализировать ключевые процессы, происходящие на складе. В процессе моделирования были учтены основные параметры и характеристики логистических операций, включая погрузочно-разгрузочные работы с использованием кран-балки и вилочных погрузчиков, перемещение и хранение металлопроката, а также взаимодействие различных элементов системы. Созданная модель дала возможность выявить проблемные места в логистических процессах и предложить способы их оптимизации для повышения эффективности работы склада.

Среда AnyLogic предоставляет множество различных инструментов для сбора, визуализации и анализа данных, полученных в ходе проведения эксперимента.

Для построения гистограмм используются данные, собранные блоком TimeMeasureEnd. В разработанной модели с помощью данных блоков отслеживается время, проведенное транспортными средствами в очереди на погрузку, а также время погрузки.

Гистограммы, созданные при помощи данных из блока TimeMeasureEnd, представлены на рисунке 4.

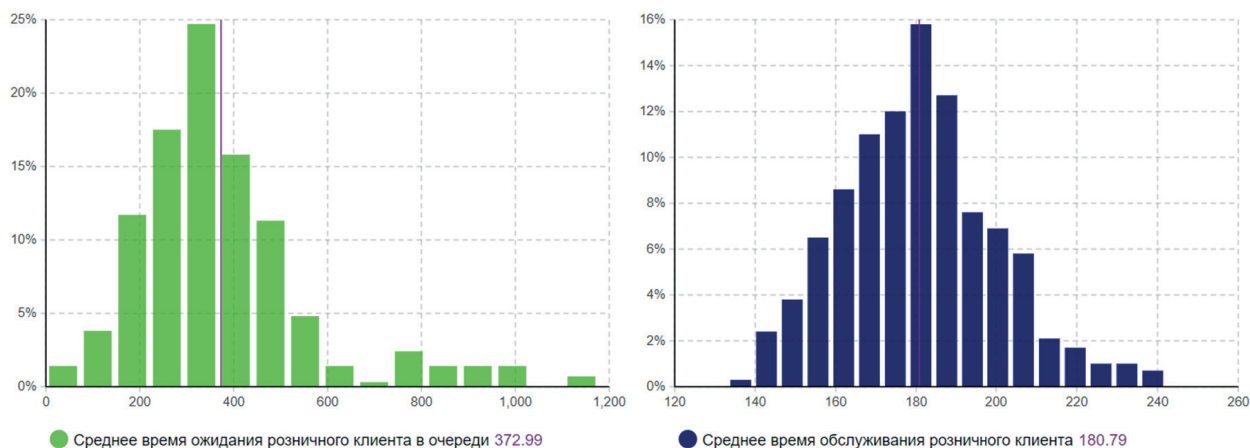


Рисунок 4. Гистограммы среднего времени обслуживания и ожидания розничного клиента в очереди до оптимизации.

Анализируя гистограммы, можно сделать вывод, что среднее время ожидания в очереди для розничного клиента составляет 372 секунды модельного времени, что соответствует примерно одному часу реального времени. При этом более процесс погрузки в среднем занимает 180 секунд модельного времени, что соответствует 30 минутам реального времени.

Для оценки эффективности открытия резервной зоны для обслуживания розничных клиентов с моделью был проведен оптимизационный эксперимент.

Среда AnyLogic имеет встроенный оптимизатор, который определяет оптимальные значения параметров модели с учетом заданных ограничений. Оптимизация состоит из нескольких прогонов модели с разными значениями параметров. Оптимизатор позволяет находить значения параметров модели, соответствующие максимуму или минимуму целевой функции, как в условиях неопределенности, так и при наличии ограничений. Подробнее данный вопрос рассмотрен в работах [5-7].

В модели значение количества активных зон для погрузочно-разгрузочных работ определяется дискретным параметром «зонПогрузки», изменение которого допустимо в диапазоне от 1 до 2 ед. с шагом 1. При проведении оптимизационного эксперимента осуществляется варьирование значениями данного параметра.

В качестве целевой функции оптимизации используется `root.конецОчереди.distribution.mean()`. Эта функция определяет значение среднего времени ожидания розничного клиента в очереди с использованием блоков `TimeMeasureStart` и `TimeMeasureEnd`.

Продолжительность эксперимента составляет 1 час модельного времени. В ходе эксперимента оптимизатор провел 16 итераций, по результатам которых была выбрана итерация с параметром «зонПогрузки», обеспечивающим минимальное значение целевой функции (`root.конецОчереди.distribution.mean()`). Результаты проведения эксперимента представлены на рисунке 5.

	Текущее	Лучшее
Итерация:	16	13
Функционал ↓	163.496	127.205
Параметры	Copy best	
количествоПогрузчиков	2	2
количествоПартии	70	70
вместимостьГрузовика	6	6
минВр	1	1
максВр	2	2
минЗапасыСт	30	30
заполненностьПриЗапуске	6	6
минЗапасыШт	40	40
зонПогрузки	2	2



Рисунок 5. Гистограммы среднего времени обслуживания и ожидания розничного клиента в очереди до оптимизации.

По результатам исследования определено, что минимальный показатель среднего времени ожидания розничного клиента в очереди при наличии одной погрузочно-разгрузочной зоны составляет 337 секунд модельного времени. В случае, если для розничных клиентов открыта резервная зона минимальное время ожидания в очереди составляет 127 секунд.

Таким образом, открытие резервной зоны для обслуживания розничных клиентов сокращает среднее время ожидания в очереди на 62%.

В целом, проведение экспериментов с имитационной моделью показало, что открытие зоны обслуживания розничных покупателей позволяет перераспределить поток клиентов и за счет этого уменьшить очередь и сократить время ожидания.

Экспериментальные данные подтвердили, что разделение складского помещения на зоны отгрузки оптовых и розничных заказов приводит к более эффективному использованию складского пространства и оборудования, улучшению клиентского сервиса и повышению общей производительности склада.

Список источников

1. Багинова, В. В. Применение алгоритмов маршрутизации агента при разработке дискретно-событийных имитационных моделей с использованием инструментов железнодорожной библиотеки Anylogic / В. В. Багинова, Д. В. Кузьмин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2(58). – С. 109-118. – DOI 10.20291/2079-0392-2023-2-109-118. – EDN PZILTM.
2. Борщев, А. В. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем / А. В. Борщев // Автоматизация в промышленности. - 2014. - № 7. - С. 43-48. – EDN SGNLOH.

3. Бялошицкая П.О. Моделирование складских операций в среде AnyLogic // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16–18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019. 678 с. – EDN TOUPUD.
4. Данилова, М. А. Моделирование логистических процессов с использованием программы Anylogic / М. А. Данилова // Математические исследования и информационные технологии в цифровой экономике : Сборник научных трудов по итогам межвузовской научно-практической конференции, Саратов, 25 февраля 2020 года. – Саратов: Саратовский социально-экономический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», 2020. – С. 27-30. – EDN XYMHWS.
5. Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Краснобаев Д.А., Мусатов Д.В. Разработка имитационной дискретно-событийной модели транспортной инфраструктуры с использованием инструментов оптимизации // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №2. С. 42-48. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48. – EDN DXCLTV.
6. Кузьмин, Д. В. Дискретно-событийная имитационная модель работы перекрестка / Д. В. Кузьмин, В. В. Багинова // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 487-497. – DOI 10.47581/2022/Obrazcov.65. – EDN TJOCUB.
7. Кузьмин, Д. В. Имитационная модель региональных контрейлерных перевозок / Д. В. Кузьмин // Транспорт Урала. – 2015. – № 1(44). – С. 114-118. – EDN TPCRNX.
8. Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Краснобаев Д.А., Совершенствование работы транспортно-логистической инфраструктуры с использованием средств дискретно-событийного имитационного моделирования // Транспорт Урала. 2023. № 4 (79). С. 67-71. – EDN NHWDWB.
9. Хатьянов, А. А. Визуализация логистических проектов с применением AnyLogic / А. А. Хатьянов, А. Р. Снигур // Управление научно-техническими проектами : Материалы Третьей Международной научно-технической конференции, Москва, 05 апреля 2019 года. – Москва: ФГБОУ высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана» (Научно-учебный комплекс «Информатика и системы управления» МГТУ им.Н.Э.Баумана), 2019. – С. 388-392. – EDN GDLKSI.
10. Kuzmin, D. Discrete event simulation model of the railway station / D. Kuzmin, V. Baginova, A. Ageikin // X International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2022, Novosibirsk, 02–05 марта 2022 года. – Novosibirsk: Elsevier B.V., 2022. – P. 929-937. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091. – EDN FAGWFG.
11. Kuzmin, D. Discrete-Event Intersection Operation Model (Yasnyy Proyezd-Dezhnev street, Moscow) / D. Kuzmin, V. Baginova // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2022. – Vol. 247. – P. 283-294. – DOI 10.1007/978-981-16-3844-2_29. – EDN FCGFPY.

APPLICATION OF SIMULATION MODELING FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF MEASURES TO OPTIMIZE TRANSPORT AND LOGISTICS INFRASTRUCTURE

Krasnobaev D.A.¹,

¹ «Magistral Trading House» LLC

Abstract: the article discusses the use of discrete-event simulation modeling to evaluate the effectiveness of measures aimed at optimizing the transport and logistics infrastructure of an enterprise. A discrete-event simulation model was developed in the AnyLogic environment, which allows modeling various scenarios for the operation of a warehouse complex. Optimization experiments were conducted with the model, and the results confirmed the feasibility of the proposed measures to improve the logistics activities of the enterprise.

Keywords: simulation modeling, AnyLogic, transport and logistics infrastructure, optimization experiment.

© Krasnobaev D.A.

Received 15.09.2024, approved 13.10.2024, accepted for publication 13.10.2024.

For citation:

Krasnobaev D.A. Application of simulation modeling for evaluating the effectiveness of measures to optimize transport and logistics infrastructure. Logistics and Supply Chain Management. 2024. Vol 21, Iss 2 (111). pp. 27-37.

Krasnobaev D.A., technologist, «Magistral Trading House» LLC, e-mail: mitek.kras@gmail.com.

References

1. Baginova, V. V. Application of agent routing algorithms in the development of discrete-event simulation models using the tools of the Anylogic railway library / V. V. Baginova, D. V. Kuzmin // Bulletin of the Ural State University of Railway Engineering. - 2023. - No. 2 (58). - P. 109-118. - DOI 10.20291 / 2079-0392-2023-2-109-118. - EDN PZILTM.
2. Borshchev, A. V. How to build simple, beautiful and useful models of complex systems / A. V. Borshchev // Automation in industry. - 2014. - No. 7. - P. 43-48. - EDN SGNLOH.
3. Byaloshitskaya P. O. Modeling of warehouse operations in the AnyLogic environment // The Ninth All-Russian scientific and practical conference on simulation modeling and its application in science and industry «Simulation modeling. Theory and practice» (IMMOD-2019). Conference proceedings, October 16-18, 2019, Ekaterinburg: Ural. state ped. univ., 2019. 678 p. - EDN TOUPUD.
4. Danilova, M. A. Modeling of logistics processes using the Anylogic program / M. A. Danilova // Mathematical research and information technology in the digital economy: Collection of scientific papers based on the results of the interuniversity scientific and practical conference, Saratov, February 25, 2020. - Saratov: Saratov Socio-Economic Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov, 2020. – P. 27-30. – EDN XYMHSW.
5. Kuzmin D.V., Baginova V.V., Krasnobaev D.A., Musatov D.V. Development of a simulation discrete-event model of transport infrastructure using optimization tools // T-Comm: Telecommunications and transport. 2023. Vol. 17. No. 2. P. 42-48. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48. – EDN DXCLTV.
6. Kuzmin, D. V. Discrete-event simulation model of intersection operation / D. V. Kuzmin, V. V. Baginova // Academician Vladimir Nikolaevich Obraztsov - the founder of transport science: proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of the university, Moscow, October 22, 2021. - Moscow: Russian University of Transport, 2021. - Pp. 487-497. - DOI 10.47581/2022/Obrazcov.65. - EDN TJOCUB.
7. Kuzmin, D. V. Simulation model of regional piggyback transportation / D. V. Kuzmin // Transport of the Urals. - 2015. - No. 1 (44). - Pp. 114-118. - EDN TPCRNX.
8. Kuzmin, D.V., Baginova, V.V., Krasnobaev, D.A., Improving the Operation of Transport and Logistics Infrastructure Using Discrete Event Simulation Modeling // Transport of the Urals. 2023. No. 4 (79). P. 67-71. – EDN NHWDWB.
9. Khatyanov, A.A. Visualization of Logistics Projects Using AnyLogic / A.A. Khatyanov, A.R. Snigur // Management of Scientific and Technical Projects: Proceedings of the Third International Scientific and Technical Conference, Moscow, April 5, 2019. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University (Scientific and Educational Complex «Informatics and Control Systems» of Bauman Moscow State Technical University), 2019. – P. 388-392. – EDN GDLKSI.
10. Kuzmin, D. Discrete event simulation model of the railway station / D. Kuzmin, V. Baginova, A. Ageikin // X International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2022, Novosibirsk, March 02–05, 2022. – Novosibirsk: Elsevier B.V., 2022. – P. 929-937. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091. – EDN FAGWFG.
11. Kuzmin, D. Discrete-Event Intersection Operation Model (Yasnyy Proyezd-Dezhnev street, Moscow) / D. Kuzmin, V. Baginova // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2022. – Vol. 247. – P. 283-294. – DOI 10.1007/978-981-16-3844-2_29. – EDN FCGFPY.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Ушаков Д.В.¹

¹ Российский университет транспорта

Аннотация: перевозки скоропортящихся грузов отличаются специфичным подходом к организации и реализации всего комплекса процессов, связанных с транспортировкой. Вследствие того, что железнодорожный транспорт занимает особую роль в отечественной транспортно-логистической системе, представляется актуальным акцентировать изучение особенностей организации перевозок скоропортящихся грузов этим видом транспорта. В данной статье предлагается дать оценку всем составляющим аспектам процесса перевозок скоропортящихся грузов по железной дороге начиная с предварительной оценки конъюнктуры спроса и предложения рынков скоропортящихся продуктов, предполагаемых к перевозке и заканчивая анализом мероприятий, связанных с заменой изотермических транспортных средств в процессе активной фазы сезона перевозок скоропортящейся продукции. Обоснована целесообразность наиболее приоритетного количества электрифицированных фитинговых платформ в составе рефрижераторного контейнерного сцеп, представлен комплекс факторов, определяющий оптимальное количество розеток для подключения на контейнерных площадках, предназначенных для обработки рефрижераторных контейнерах на железнодорожных станциях.

Ключевые слова: скоропортящийся груз; рефрижераторный контейнер; контейнерный сцеп; контейнерная площадка; фитинговая платформа.

© Ушаков Д.В.

Поступила 29.09.2024, одобрена после рецензирования 21.10.2024, принята к публикации 21.10.2024.

Для цитирования:

Ушаков Д.В. Особенности организации перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом // Логистика и управление цепями поставок. - 2024. - Т. 21, №2 (111). - С. 38–46.

Ушаков Д.В., к.э.н., доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами» Российского университета транспорта РУТ (МИИТ), Москва, e-mail: usdm888@mail.ru.

Процессы перевозок скоропортящихся грузов в формате транспортно-логистических систем требуют особого внимания и контроля осуществления комплекса процедур и операций, входящих в состав этих процессов. Сам термин «скоропортящийся груз» предполагает с одной стороны стремление логистического оператора доставить груз в пункт назначения максимально быстро, а с другой стороны, вследствие того, что скоропортящиеся грузы требуют специальных температурных режимов в процессе хранения, предпринять все возможные мероприятия по исключению угрозы нанесения ущерба качеству перевозимых грузов [1,3].

Организацию перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом, как комплекс мероприятий, нацеленных на совершенствование взаимодействия элементов транспортной системы, ориентированной на перевозку скоропортящихся грузов, можно рассматривать как совокупность нескольких этапов.

$$S_{\text{орг}} = S_1 + S_2 + S_3,$$

где $S_{\text{орг}}$ – комплекс мероприятий при организации перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом;

S_1 – предварительная оценка рынков скоропортящихся продуктов, предполагаемых к перевозке;

S_2 – формирование парка изотермических транспортных средств;

S_3 – управление парком изотермических транспортных средств в течение сезона перевозимого скоропортящегося продукта.

В свою очередь, процесс управления парком изотермических транспортных средств в течение сезона перевозимого скоропортящегося продукта (S_3) можно представить следующим выражением.

$$S_3 = S_{31} + S_{32} + S_{33},$$

где S_{31} – комплекс мероприятий по управлению парком изотермических транспортных средств в процессе стояночных операций;

S_{32} – комплекс мероприятий по управлению парком изотермических транспортных средств в процессе движения;

S_{33} – комплекс мероприятий по управлению процессом замены и (или) дополнительного приобретения изотермических транспортных средств в течение сезона перевозимого скоропортящегося груза¹[2,4].

Этап предварительной оценки рынков скоропортящихся продуктов, предполагаемых к перевозке (S_1) осуществляется на основании прогнозов экспертов в соответствующей области и нацелен на получение как можно точной информации об объемах производства скоропортящихся продуктов и сроках предоставления этих продуктов к перевозке. Сроки наступления и продолжительности этапа S_1 могут варьироваться в зависимости от тесноты контактов компании оператора изотермическим подвижным составом с грузовладельцами, существующими и потенциальными клиентами, а также от возможности доступа к наиболее авторитетным и достоверным источникам информации в области прогноза рынка производства соответствующего скоропортящегося продукта. В процессе этого этапа оператором изотермического подвижного состава формируются контуры будущего парка изотермических транспортных средств, оценивается техническое состояние транспортных средств, находящихся в собственности, анализируются лизинговые ставки, по которым можно будет взять в лизинг требуемый изотермические транспортные средства.

Этап формирования парка изотермических транспортных средств (S_2) осуществляется непосредственно перед началом сезона производства соответствующего вида (видов) скоропортящихся грузов. На основании результатов переговоров оператора изотермического подвижного состава с грузоотправителями выявляются объемы перевозимых скоропортящихся грузов, распределение этих объемов по времени в течение всего сезона производства скоропортящейся продукции, анализируется потребность в подвижном со-

¹ Приказ Минтранса России от 7 августа 2015 г. № 245 «Правила исчисления сроков доставки грузов, порожних грузовых вагонов железнодорожным транспортом» [Электронный ресурс]/Минтранс РФ URL: <https://base.garant.ru/71351294/?ysclid=mlgpose4hu983456147> (дата обращения: 25.09.2024 г.).

составе. Оценка состава парка подвижного состава осуществляется исходя из требуемых температурных режимов для хранения и перевозки транспортируемых грузов. Поскольку скоропортящиеся продукты имеют ограниченный срок годности, немаловажную роль при выборе вида изотермического подвижного состава играет расстояние на которое требуется перевезти определенный вид груза. Несмотря на то, что владельцем инфраструктуры ОАО «РЖД» в соответствии с «Правилами исчисления сроков доставки грузов, порожних грузовых вагонов железнодорожным транспортом» в соответствии с приказом Минтранса России от 7 августа 2015 г. № 245² определена скорость движения различных видов подвижного состава при различном расстоянии транспортировки, во избежание возможных задержек следует тщательно изучить практику подобных отправок в прошлые годы. В период ярко выраженного сезонного спроса на перевозку скоропортящейся продукции в формировании количества определенного вида изотермического подвижного состава целесообразно рассчитывать количество рейсов, которое может осуществить транспортное средство. Таким образом, необходимо определение предполагаемого времени доставки скоропортящегося груза из региона производства в регион сбыта, время выгрузки, подготовки к загрузке и загрузки в обратном направлении, время следования транспортного средства в регион производства. Либо, в случае отсутствия груза, время следования в порожнем состоянии.

Управление парком изотермических транспортных средств в процессе стояночных операций (S_{31}) складывается из организации предоставления изотермических транспортных средств к погрузке при отправке груза и организации выгрузки скоропортящихся грузов при приеме груза.

На железнодорожном транспорте скоропортящиеся грузы перевозятся в вагонах рефрижераторных секций, в рефрижераторных контейнерах и в вагонах термосах. Техноло-

гии обработки грузов при погрузке и выгрузке вагонов и контейнеров различные.

Рефрижераторная секция состоит из 4-х грузовых вагонов и вагона -дизель-электростанции, обеспечивающего электропитание рефрижераторных установок грузовых вагонов. Двери грузовых вагонов расположены с обеих сторон на боковых стенах транспортного средства, что обуславливает необходимость на станциях обработки рефрижераторных секций наличие железнодорожной ramпы, специального сооружения, примыкающего одной стороной к стене склада-холодильника, а другой располагается вдоль железнодорожного пути.

Вагоны-термосы обрабатываются идентичным образом, поскольку представляют из себя либо бывшие вагоны рефрижераторных секций с удаленной из них рефрижераторной установкой, либо бывшие крытые вагоны, поверхности грузового помещения которых изнутри оборудованы дополнительным слоем изотермического материала[5,6].

Обработка скоропортящихся грузов на железнодорожных станциях, перевозимых в рефрижераторных контейнерах имеет свою специфику вследствие особенностей конструкции рефрижераторного контейнера и особенностей транспортировки рефрижераторных контейнеров в пути следования по российским железным дорогам.

Рефрижераторные контейнеры представляют из себя транспортные средства стандартных размеров со встроенной рефрижераторной установкой с одной торцевой стенки и дверьми с другой. В процессе движения рефрижераторные контейнеры находятся в составе рефрижераторного контейнерного сцепа, состоящего из 12 и более электрифицированных фитинговых платформ, с размещенными на них рефрижераторными контейнерами и вагона-дизель-электростанции. В соответствии с сопроводительными документами сцеп в пути следования не может быть расформирован[7,8].

¹ Приказ Минтранса России от 7 августа 2015 г. № 245 «Правила исчисления сроков доставки грузов, порожних грузовых вагонов железнодорожным транспортом» [Электронный ресурс]/Минтранс РФ URL: <https://base.garant.ru/71351294/?ysclid=mlgpose4hu983456147> (дата обращения: 25.09.2024 г.).

В последние годы идет активное замещение рефрижераторных вагонов и вагонов-термосов на рефрижераторные контейнеры вследствие окончания сроков эксплуатации

изотермических вагонов и гораздо более эффективных технических и технологических характеристик рефрижераторных контейнеров (Рисунок 1) [9].

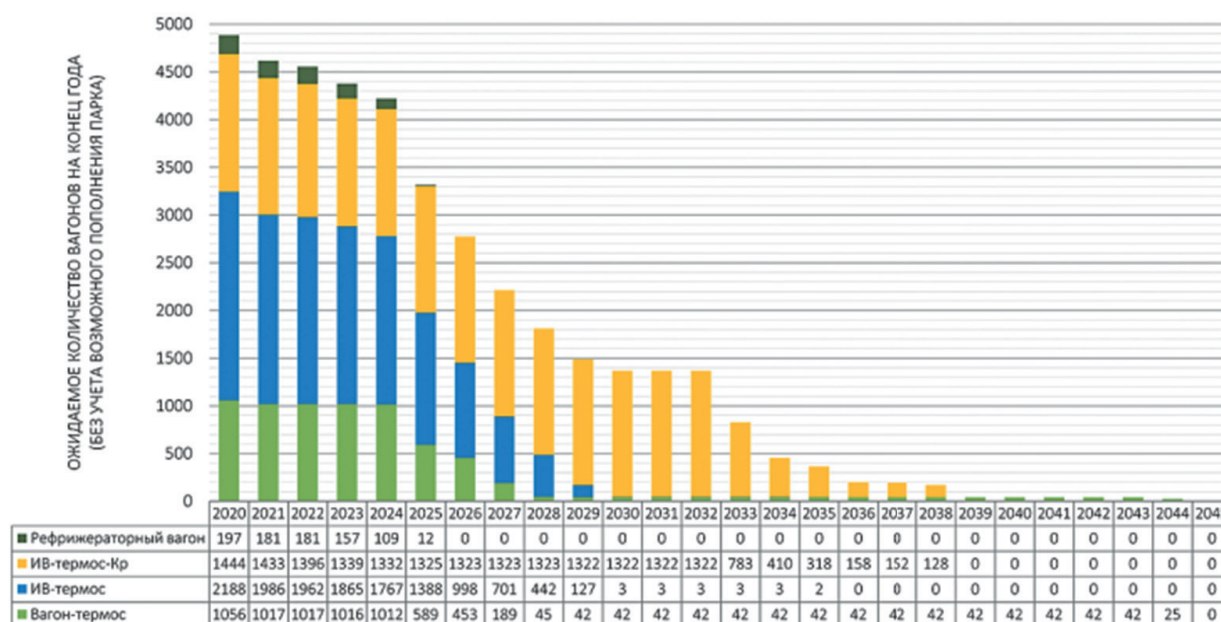


Рисунок 1. Динамика планового списания изотермических вагонов всех типов до 2045 года.

где ИВ-термос-Кр – вагоны-термосы на базе крытого вагона;

ИВ-термос – вагоны термосы переоборудованные из рефрижераторных вагонов.

В большинстве случаев, на станции назначения рефрижераторный контейнер после выгрузки с железнодорожной платформы размещается на специализированную контейнерную площадку или на специальный штабель с возможностью электропитания рефрижераторных установок, а затем вывозится автомобилями с прицепами-контейнеровозами на склад грузополучателя. В то же время, на освободившийся порожний контейнерный сцеп, т.е. на сцепленную между собой группу электрифицированных фитинговых платформ, размещаются груженные рефрижераторные контейнеры назначением в обратном направлении. Для исключения простоя сцепа рефрижераторные контейнеры должны быть уже готовы к погрузке к моменту прихода сцепа на станцию и быть размещены на специализированной контейнерной площадке.

Определение количества розеток на специализированно контейнерной площадке для хранения рефрижераторных контейнеров осуществляется исходя специфики и интен-

сивности контейнеропотока со скоропортящимися грузами через рассматриваемую железнодорожную станцию. Эта величина может быть представлена следующим выражением.

$$Q_{\text{plug}} = \{Q_{\text{teu}}/\text{day}, q_w, q_{\text{rep}}, t_w, t_{\text{rep}}, K_{\text{seas}}\}, \text{ где}$$

Q_{plug} – необходимое количество розеток на контейнерной площадке терминала, предназначенной для обработке рефрижераторных контейнеров;

$Q_{\text{teu}}/\text{day}$ – количество рефрижераторных контейнеров, поступающих на контейнерную площадку в сутки;

q_w – доля рефрижераторных контейнерных, обрабатываемых на контейнерной площадке в процессе производственных операций;

q_{rep} – доля рефрижераторных контейнеров, находящихся в процессе ремонта;

t_w – среднее время продолжительности нахождения одного рефрижераторного контейнера на контейнерной площадке в процессе производственных операций;

$t_{\text{пер}}$ – среднее время продолжительности нахождения одного рефрижераторного контейнера на контейнерной площадке в процессе ремонта;

K_{seas} – коэффициент сезонности, отражающий изменение интенсивности грузопотока рефрижераторных контейнеров через контейнерную площадку в течение года[10,11].

Качество управления парком изотермических транспортных средств в процессе движения (S_{32}) во многом обеспечивается соответствующим уровнем координации взаимодействия между логистическим оператором и подразделениями диспетчерской службы железной дороги. Определение количества рефрижераторных контейнеров в составе парка изотермических транспортных средств требует специального подхода. Это обусловлено

тем, что в процессе движения рефрижераторные контейнеры находятся в составе рефрижераторного контейнерного сцепы, состоящего из 12 и более электрифицированных фитинговых платформ, с размещенными на них рефрижераторными контейнерами и вагона-дизель-электростанции. Количество 12 и более электрифицированных платформ в составе рефрижераторного контейнерного сцепы наиболее приоритетно для логистических операторов и грузовладельцев.

Как видно из рисунка 2, наибольший понижающий коэффициент при определении тарифов на перевозку грузов в рефрижераторных сцепы составляет 0,95, который используется при наличии в составе сцепы 12 электрифицированных фитинговых платформ с рефрижераторными контейнерами².

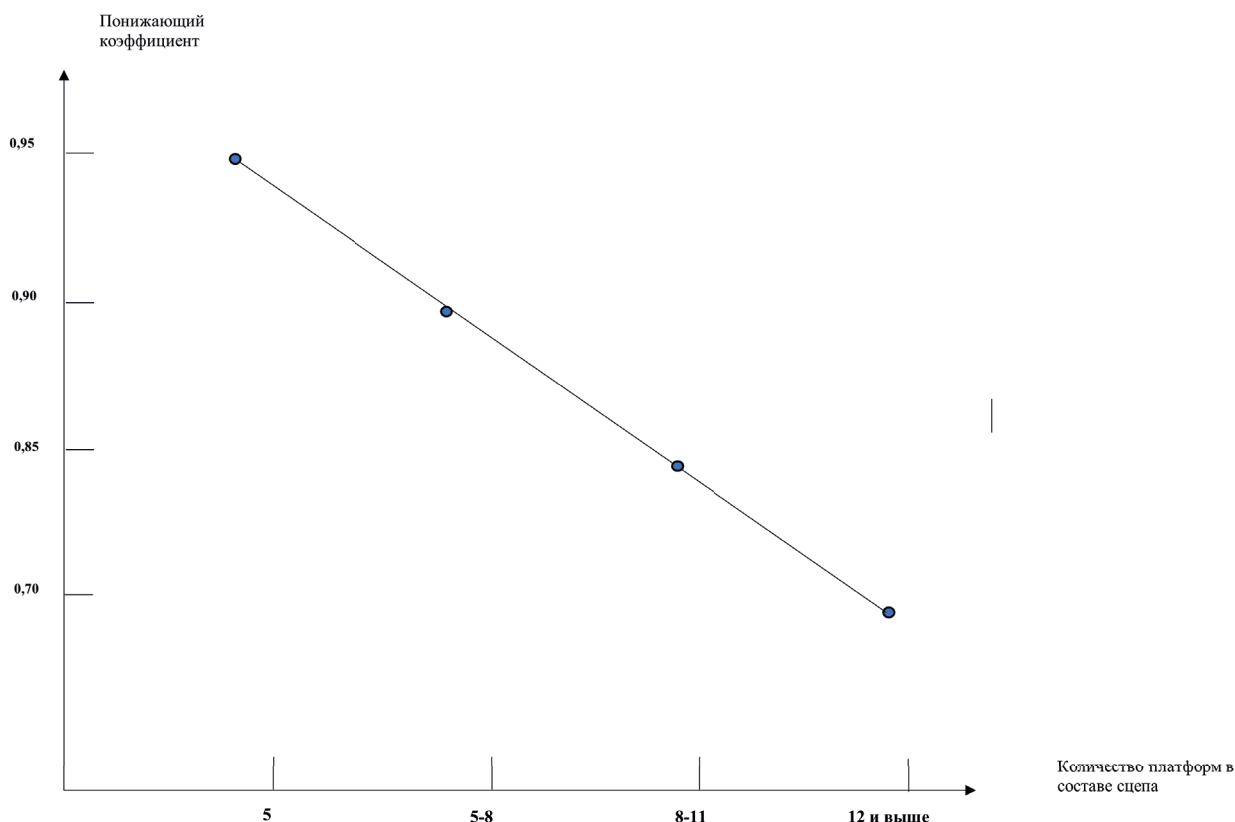


Рисунок 2. Изменение величины понижающего коэффициента в зависимости от количества платформ в рефрижераторном контейнерном сцепе.

Вагон-дизель-электростанция предназначен для обеспечения электропитанием рефрижераторных установок рефрижераторных

контейнеров в составе сцепы. В соответствии с сопроводительными транспортными документами рефрижераторный контейнерный сцеп в

¹ Постановление Федеральной энергетической комиссии РФ от 17.06.03 46-Т/5 об утверждении Прейскуранта 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами» (тарифное руководство №1, части 1 и 2). [Электронный ресурс]/ Федеральная энергетическая комиссия РФ. URL https://businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_83446_DocumIsPrint__Page_4.html (дата обращения: 29.09.2024 г.).

пути следования не может быть расформирован. Поскольку техническое состояние рефрижераторных контейнеров в составе парка изотермических транспортных средств обычно различное, логистический оператор обязан тщательно осуществлять контроль технического состояния рефрижераторных установок и корпуса эксплуатируемых рефрижераторных контейнеров. Должны быть исключены задержки отправок рефрижераторных контейнерных сцепов вследствие неготовности рефрижераторных контейнеров к погрузке из-за технических неисправностей. Для грузоотправителей скоропортящейся продукции фактор регулярности имеет исключительно важное значение. К заранее определенному дню грузоотправитель формирует отправку скоропортящихся грузов, при необходимости собирает партию к отправке с нескольких складов, согласовывает операции по доставке грузов на железнодорожную станцию с авто-транспортными предприятиями. Любой сбой в графике процедур отправки может повлиять на качество отправляемого груза и тогда доверие грузоотправителя к логистическому оператору может резко измениться. Проводимые регулярные предрейсовые осмотры рефрижераторных установок рефрижераторных контейнеров (PTI, pre trip inspection) позволяют минимизировать случаи поломок рефрижераторных установок, выхода из строя отдельных узлов и механизмов, исключить случаи нарушения регулярного расписания движения рефрижераторных контейнерных сцепов.

Мероприятия по **управлению процессом замены и (или) дополнительного приобретения изотермических транспортных средств в течение сезона перевозимого скоропортящегося груза (S_{33})**, как правило, связаны с непредвиденными ситуациями, связанными либо с возникшими проблемами собственного парка технического характера, либо

с проблемами с эксплуатацией парка изотермических транспортных средств возникших у компаний-конкурентов. Причины возникновения проблем, связанные с эксплуатацией парка изотермического подвижного состава у компаний-конкурентов могут быть следующие:

- необходимость срочного возврата арендованных изотермических транспортных средств собственнику, вследствие неуплаты в срок лизинговых платежей;

- необходимость осуществления обязательного планового технического освидетельствования;

- финансовая нестабильность деятельности компании, невозможность осуществления текущих платежей.

Таким образом, в заключении можно сделать вывод, что вследствие особенностей требований к хранению и транспортировке скоропортящихся грузов на железнодорожном транспорте для осуществления успешной организации перевозок от логистического оператора на соответствующем рынке требуется глубокий и комплексный подход к формированию и эксплуатации парка изотермических транспортных средств. Важной особенностью в достижении существенного эффекта в организации перевозок продовольственной продукции по железной дороге в течение всего сезона перевозок является обязательная реализация начальных этапов процесса, начиная с предварительной оценке рынков скоропортящихся продуктов, предполагаемых к перевозке. Следует также отметить, что сезонный фактор присутствует практически на всех рынках перевозок продовольственных грузов, и, несмотря на то, что время начала и окончания сезона перевозок каждого скоропортящегося продукта известно заранее, специфика формирования парка изотермических транспортных средств ежегодно меняется [12,13].

Список источников

1. Ворон О.А. Экономические и технологические основы развития подвижного состава и транспортной инфраструктуры для перевозок скоропортящихся грузов/О.А.Ворон, Э.А.Мамаев//Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2021. – №2(74). – С. 30-40. – EDN DBMUQO.
2. Збарский А.М. Модель инновационной транспортной системы/А.М. Збарский, Д.В.Горбунов, К.А. Иващева // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Том 13. Р – №7. – С.2385-2398. – DOI 10.18334/erpp.13.7.118347. – EDN PWQMNB.
3. Никифорова Г.И. Проблемы управления железнодорожным подвижным составом в современных условиях/Г.И. Никифорова, Т.Г. Сергеева//Транспорт России: проблемы и перспективы-2018: сб. материалов Международ. Научно-практич. Конференцию- СПб.: ИПТ РАН, 2018. – С.249-255. EDN: NCMSYC.
4. Аветикян М.А. Система управления движения поездов в условиях структурных преобразований/М.А. Аветикян// Журнал «Железнодорожный транспорт». – 2011. №9. – С. 8-16. – EDN OZBUQX.
5. Елисеев С.Ю., Шатохин А.А. Логистические принципы эффективного взаимодействия операторов подвижного состава и грузовладельцев/С.Ю. Елисеев, А.А. Шатохин// Журнал «Железнодорожный транспорт». – 2015. №10. – С. 30-33. – EDN TZUOLF.
6. Кубрак Н.А., Некоторые результаты централизации управления порожними грузовыми вагонами на сетях общего пользования/Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Новосибирск: НГУЭУ, 2014.
7. Бодюл, В.И. Концепция рационального управления вагонными парками операторов железнодорожного подвижного состава и информационная технология ее реализации/В.И. Бодюл, А.Н. Феофилов// Вест. Науч.- исслед. ин-та ж.-д. трансп. – 2016. – Т.75, №1. – С. 46-52. – EDN VMFSZN.
8. Голубинский, В. В. Развитие перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом на территории России / В. В. Голубинский // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 108-109. – EDN CGUMHA.
9. Давыдов, Д. О. Подходы к обеспечению железнодорожной части непрерывной холодильной цепи / Д. О. Давыдов, Т. А. Винокурова // Труды АО «НИИАС» : Сборник статей. Том 1. Выпуск 11. – Москва : Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 150-163. – EDN HFYWUD.
10. Сироткин, А. А. Развитие контейнерных терминалов на железнодорожном транспорте в современных экономических условиях / А. А. Сироткин, И. В. Жуляев // Логистические системы в глобальной экономике. – 2017. – № 7. – С. 308-312. – EDN YMSGTP.
11. Антонова, Е. И. Решение задачи планирования грузовых процессов на железной дороге контейнерного терминала / Е. И. Антонова, И. А. Васильев // Информатизация и связь. – 2015. – № 2. – С. 23-27. – EDN TXTNOB.
12. Левин, Д. Ю. Организация вагонопотоков в рыночных условиях / Д. Ю. Левин // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 4(71). – С. 178-192. – EDN ZXWGR.
13. Бондаренко, Е. М. Сравнительный анализ логистических технологий перевозки скоропортящихся грузов / Е. М. Бондаренко // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 2(16). – С. 97-102. – EDN WDULTF.

FEATURES OF THE ORGANIZATION OF TRANSPORTATION OF PERISHABLE GOODS BY RAIL

Ushakov D.V.¹

¹ Russian University of Transport

Abstract: transportation of perishable goods is characterized by a specific approach to the organization and implementation of the entire complex of processes related to transportation. Due to the fact that rail transport plays a special role in the domestic transport and logistics system, it seems relevant to focus on the study of the peculiarities of the organization of transportation of perishable goods by this type of transport. In this article, it is proposed to assess all the constituent aspects of the process of transporting perishable goods by rail, starting with a preliminary assessment of the supply and demand conditions of the markets of perishable products intended for transportation and ending with an analysis of measures related to the replacement of insulated vehicles during the active phase of the season of transportation of perishable products. The expediency of the highest priority number of electrified fitting platforms as part of a refrigerated container coupling is substantiated, a set of factors determining the optimal number of sockets for connection at container sites intended for processing refrigerated containers at railway stations is presented.

Keywords: perishable cargo; refrigerated container; container trailer; container platform; fitting platform.

© Ushakov D.V.

Received 29.09.2024, approved 21.10.2024, accepted for publication 21.10.2024.

For citation:

Ushakov D.V. Features of the organization of transportation of perishable goods by rail. Logistics and Supply Chain Management. 2024. Vol 21, Iss 2 (111). pp. 38-46.

Ushakov D.V., c. of E.S., Associate Professor. Russian University of Transport (MIIT), Department of Logistics and Transport Systems Management Moscow, e-mail: usdm888@mail.ru.

References

1. Voron O.A. Economic and technological foundations for the development of rolling stock and transport infrastructure for the transportation of perishable goods / O.A. Voron, E.A. Mamaev // Bulletin of the Rostov State University of Economics (RINH). - 2021. - No. 2 (74). - P. 30-40. - EDN DBMUQO.
2. Zbarsky A.M. Model of an innovative transport system / A.M. Zbarsky, D.V. Gorbunov, K.A. Ivashcheva // Economy, entrepreneurship and law. - 2023. - Vol. 13. R - No. 7. - P. 2385-2398. - DOI 10.18334/epp.13.7.118347. - EDN PWQMNB.
3. Nikiforova G.I. Problems of railway rolling stock management in modern conditions/G.I. Nikiforova, T.G. Sergeeva//Transport of Russia: problems and prospects-2018: collection of materials of the International. Scientific and practical. Conference- St. Petersburg: IPT RAS, 2018. - Pp. 249-255. EDN: NCMSYC.
4. Avetikyan M.A. Train traffic control system in the context of structural transformations/ M.A. Avetikyan// Magazine «Railway Transport». - 2011. No. 9. - Pp. 8-16. - EDN OZBUQX.
5. Eliseev S.Yu., Shatokhin A.A. Logistic principles of effective interaction between rolling stock operators and cargo owners/S.Yu. Eliseev, A.A. Shatokhin// Magazine «Railway Transport». - 2015. No. 10. – P. 30-33. – EDN TZUOLF.
6. Kubrak N.A., Some results of centralization of control of empty freight cars on public networks/Collection of scientific papers based on the materials of the international scientific and practical conference. – Novosibirsk: NSUEM, 2014.
7. Bodyul, V.I. The concept of rational management of wagon fleets of railway rolling stock operators and information technology for its implementation/V.I. Bodyul, A.N. Feofilov// Vest. Research Institute of Railway Transport. – 2016. – Vol. 75, No. 1. – P. 46-52. – EDN VMFSZN.
8. Golubinsky, V.V. Development of perishable cargo transportation by rail in Russia / V.V. Golubinsky // Science and education in transport. – 2020. – No. 1. – P. 108-109. – EDN CGUMHA.
9. Davydov, D. O. Approaches to providing the railway part of the continuous refrigeration chain / D. O. Davydov, T. A. Vinokurova // Proceedings of JSC NIIAS: Collection of articles. Volume 1. Issue 11. – Moscow: Printing house of JSC T 8 Publishing Technologies, 2021. – P. 150-163. – EDN HFYWUD.
10. Sirotkin, A. A. Development of container terminals in railway transport in modern economic conditions / A. A. Sirotkin, I. V. Zhulyaev // Logistics systems in the global economy. – 2017. – No. 7. – P. 308-312. – EDN YMSGTP.
11. Antonova, E. I. Solution of the problem of planning freight processes on the railway of a container terminal / E. I. Antonova, I. A. Vasiliev // Informatization and communication. - 2015. - No. 2. - P. 23-27. - EDN TXTNOB.
12. Levin, D. Yu. Organization of car flows in market conditions / D. Yu. Levin // World of transport. - 2017. - Vol. 15, No. 4 (71). - P. 178-192. - EDN ZXLWGR.
13. Bondarenko, E. M. Comparative analysis of logistics technologies for the transportation of perishable goods / E. M. Bondarenko // Young Science of Siberia. - 2022. - No. 2 (16). - P. 97-102. - EDN WDULTF.

РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРОПУСКА ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ И ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ

Бородин А.Ф.^{1,2}, Лаханкин Е.А.², Кравченко А.А.², Рыбаков С.В.³, Кофанова Н.В.³, Журавлева Е.А.³¹ Российский университет транспорта² Акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта»³ Центральная дирекция управления движением – филиал ОАО «Российские железные дороги»

Аннотация: излагаются результаты исследования динамики изменения парка грузовых вагонов, влияния избыточности парка на эффективность и результативность работы сети железных дорог. Представлены назначение, область действия, основные принципы и допущения, периодичность расчетов и положения Методики оценки возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов. Возможности и потребности инфраструктуры определяются гибридным модельным комплексом, объединяющим результаты имитационных расчетов с сетевой потоковой моделью. Представлены алгоритмы расчета взаимозависимостей функциональной емкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети. Определен порядок оценки допустимых размеров движения поездов и вагонопотоков с учетом потерь пропускной способности из-за отказов технических средств и технологических нарушений, а также с учетом заданий по отправлению поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов.

Ключевые слова: избыточный парк грузовых вагонов, возможности железнодорожной инфраструктуры, гибридный модельный комплекс, функциональная емкость, пропускная способность, допустимые размеры движения поездов.

© Бородин А.Ф., Лаханкин Е.А., Кравченко А.А., Рыбаков С.В.,
Кофанова Н.В., Журавлева Е.А.

Поступила 15.09.2024, одобрена после рецензирования 18.10.2024, принята к публикации 18.10.2024.

Для цитирования:

Бородин А.Ф., Лаханкин Е.А., Кравченко А.А., Рыбаков С.В., Кофанова Н.В., Журавлева Е.А. Расчет возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних вагонов // Логистика и управление цепями поставок. - 2024. - Т. 21, №2 (111). - С. 47–60.

Бородин А.Ф., д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (МИИТ), заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте», акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта», начальник отдела технологического обеспечения автоматизированных систем и имитационного моделирования, borodinaf@mail.ru

Лаханкин Е.А., Акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта», начальник Центра эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем

Кравченко А.А., к.т.н., Акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта», старший научный сотрудник Центра эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем

Рыбаков С.В., Центральная дирекция управления движением – филиал ОАО «Российские железные дороги», заместитель начальника Управления планирования и анализа эксплуатационной работы.

Кофанова Н.В., Центральная дирекция управления движением – филиал ОАО «Российские железные дороги», заместитель начальника отдела организации использования тяговых ресурсов Центра управления тяговыми ресурсами на Северо-западном полигоне.

Журавлева Е.А., Центральная дирекция управления движением – филиал ОАО «Российские железные дороги», начальник отдела нормирования эксплуатационной работы.

Введение.

Оценка возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних вагонов является важным этапом в решении сразу нескольких задач: прогнозирование эксплуатационной обстановки; разработка мер по повышению пропускной и провозной способностей железных дорог; предупреждение возникновения эксплуатационных затруднений.

Пропускная способность элементов железнодорожной сети зависит от множества

факторов и условий, что приводит к значительным колебаниям уровней возможного использования результирующей пропускной и провозной способностей железнодорожной сети.

Учитывая важность обеспечения потребностей экономики и населения страны, необходимо развитие алгоритмов и подходов к оценке возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних вагонов.

Изменение парка грузовых вагонов.

Начиная с 2021 года, темпы поступления российских грузовых вагонов на сеть железных дорог в значительной степени превышают темпы исключения их из эксплуатации (поступило 243,0 тыс. вагонов, исключено 90,3 тыс. вагонов). В результате с 2021 года парк вагонов российской принадлежности увеличился на 152,7 тыс. и достиг максимального значения за всю историю Российских железных дорог. Сегодня наличный парк составляет 1 млн. 357 тыс. грузовых вагонов (рис. 1).

В соответствии с методикой [1] на 1 января 2024 года технически допустимая величина рабочего парка грузовых вагонов на станционных путях общего пользования превышена на 96 168 тыс. вагонов (помимо наличия грузовых вагонов в поездах на перегонах и промежуточных станциях участков), на путях необщего пользования - на 48 956 тыс. вагонов.



Рисунок 1. Динамика изменения парка грузовых вагонов (по отчету АГО-15).

Избыточный рабочий парк вагонов на технических станциях привел к необходимости дополнительного содержания 377 локомотивов рабочего парка и 1 621 локомотивных бригад явочного контингента. При этом потери в участковой скорости грузовых поездов со-

ставляли 1,45 км/ч. Снижение производительности локомотива рабочего парка в грузовом движении составило 203,80 тыс. ткм брутто. Увеличение времени оборота грузового вагона из-за излишнего вагонного парка составило 3,06 сут.

Текущие возможности инфраструктуры.

В ОАО «РЖД» утверждена Методика расчета возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов (далее – Методика), предназначенная для расчета инфраструктурных возможностей при выполнении перевозочного процесса, характеризующих:

- 1) допустимые размеры движения поездов, передачи поездов и вагонов;
- 2) допустимые размеры вагонопотоков транзитных вагонов с переработкой и без переработки на технических станциях и местных вагонов на путях общего и необщего пользования;
- 3) допустимые размеры эксплуатируемых и неэксплуатируемых парков грузовых вагонов в границах выделенных элементов железнодорожной сети (станций выполнения грузовых операций, железнодорожных путей необщего пользования, технических станций, расчетных участков) и выделенных подразделений железнодорожной сети (регионов железных дорог);

- 4) допустимое количество задержанных в продвижении составов грузовых поездов.

Областью действия Методики является оценка функциональных возможностей железнодорожной инфраструктуры:

при ежемесячном техническом нормировании эксплуатационной работы (в части нормирования объемов перевозок по направлениям, передачи поездов и вагонов, размещения вагонных парков различных категорий);

при динамическом моделировании загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» в целях применения расчетных параметров в Динамической модели загрузки инфраструктуры ДМЗИ [2], используемой при согласовании заявок на перевозку грузов (в части принятия решения о согласовании заявки либо в полном объеме, либо на условиях договора о размещении вагонов на путях общего пользования в пути следования без прерывания договора перевозки, либо об изменении даты подачи вагонов или направлений следования) (рис. 2).

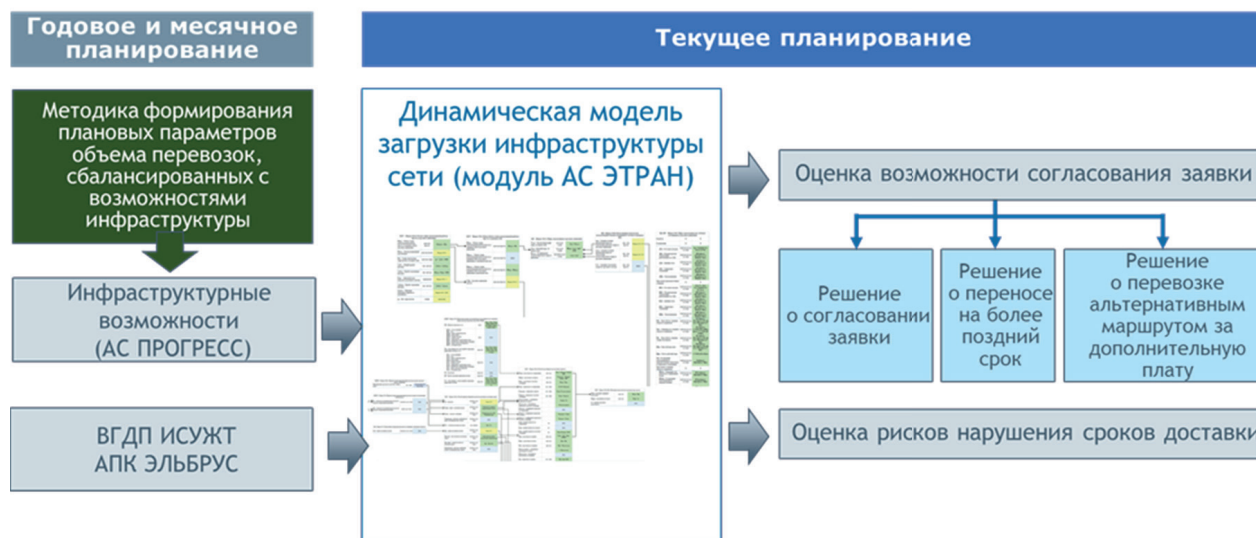


Рисунок 2. Обеспечение баланса между принимаемыми объемами перевозок и возможностями инфраструктуры.

При этом принимаются во внимание: значительная степень неопределенности эксплуатационной обстановки, предстоящей на момент выполнения планируемых перевозок. Указанная неопределенность учитывается методами оперативного планирования поездной и грузовой работы и диспетчерского руко-

водства движением поездов и станционными процессами;

значительная степень неопределенности порожних вагонопотоков, требующая резервирования инфраструктурных ресурсов для их организации, продвижения и размещения. Указанная неопределенность учитывается ме-

тодами статистической обработки данных о перемещениях порожних вагонов за предшествующий период в сопоставимых условиях.

Должны вычисляться:

значения инфраструктурных возможностей из условия обеспечения беспрепятственного приема поездов грузовыми, техническими станциями, межгосударственными стыковыми пунктами;

значения регулирующих емкостей путевого развития, позволяющих размещать составы поездов, груженные и/или порожние вагоны при отсутствии возможности и/или необходимости их дальнейшего следования.

Расчет инфраструктурных возможностей устанавливает функциональные зависимости:

технически допустимого рабочего парка грузовых вагонов $P_{\text{техн}}$, участвующих в перевозочном процессе, при котором станции полигона обеспечивают беспрепятственный прием поездов, от технически допустимых размеров движения грузовых поездов n_r , поездов/сут., и перерабатываемых вагонопотоков N_r , вагонов/сут.;

резерва приемоотправочных путей на станциях $\Delta\Pi_{\text{по}}$ для размещения составов поездов при отсутствии возможности и/или необходимости их дальнейшего следования, от величины $P_{\text{техн}}$;

резерва емкостей станционного путевого развития $\Delta P_{\text{нэп}}$ для размещения грузовых вагонов неэксплуатируемого рабочего парка от величин $P_{\text{техн}}$ и $\Delta\Pi_{\text{по}}$.

Расчет возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов производится в сроки, установленные действующим Регламентом сквозного производственного планирования в ОАО «РЖД»:

на планируемый год с детализацией по месяцам с учетом календарных периодов ведения ремонтных работ на инфраструктуре и сезонных пассажирских перевозок;

на планируемый месяц на основе актуализированных данных о вводе в эксплуатацию объектов реконструкции и развития пропускных и провозных способностей, внедрения технологических мероприятий, выполнения и завершения ремонтных работ;

в случае изменений в инфраструктуре или технологии перевозочного процесса, которые влекут за собой существенное изменение перерабатывающей, пропускной и провозной способностей сети железных дорог общего пользования и мест необщего пользования.

В основе расчета возможностей инфраструктуры лежат параметры нормативного графика движения поездов, которые корректируют с учетом плана предоставления «окон» для проведения ремонтных и строительных работ, «окон» по текущему содержанию пути, динамики изменения количества пассажирских поездов на плановый период, коэффициента надежности инфраструктуры по данным систем КАСАНТ и КАСАТ (рис. 3).

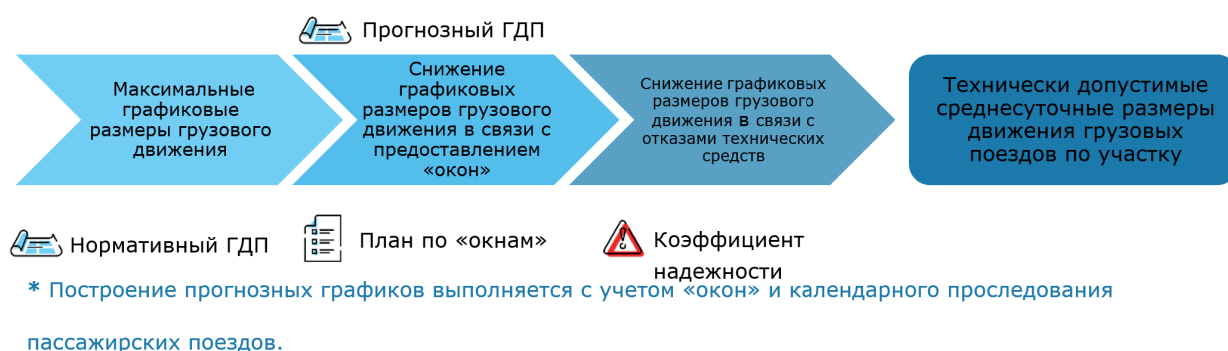


Рисунок 3. Порядок расчета технически допустимых размеров грузового движения по участкам.

Для каждого перегона строится календарь проведения «окон» с указанием продолжительности и размеров движения по вариантной графике. Для каждой даты определяются технически допустимые размеры движения, которые в «разъездные» дни принимаются на уровне графиковых параметров с учетом возможностей технических станций и тяговых ресурсов. На основе посуточных данных определяются средневзвешенные за месяц технически допустимые размеры движения грузовых поездов.

На среднесрочный период (от месяца до года) на основе плановой «шахматки» погрузки, рассчитанных инфраструктурных возможностей, наличия на сети задержанных в

продвижении груженных вагонов в границах транзитных дорог и дорог погашения грузопотоков в АС ПРОГРЕСС моделируются расчетные вагоно- и поездопотоки и их прокладка по участкам согласно плану формирования поездов и плану маршрутных перевозок [3].

При этом возникают как резервы, так и дефициты возможностей инфраструктуры на плановый период (рис. 4), что обусловлено изменением доступных мощностей в связи с предстоящим объемом ремонтных и строительных работ, количеством курсирующих пассажирских поездов, ввода в эксплуатацию объектов инфраструктуры, а также изменением объемных параметров грузовой базы и её распределения по направлениям сети.

Ресурсы инфраструктуры, ваг/сут

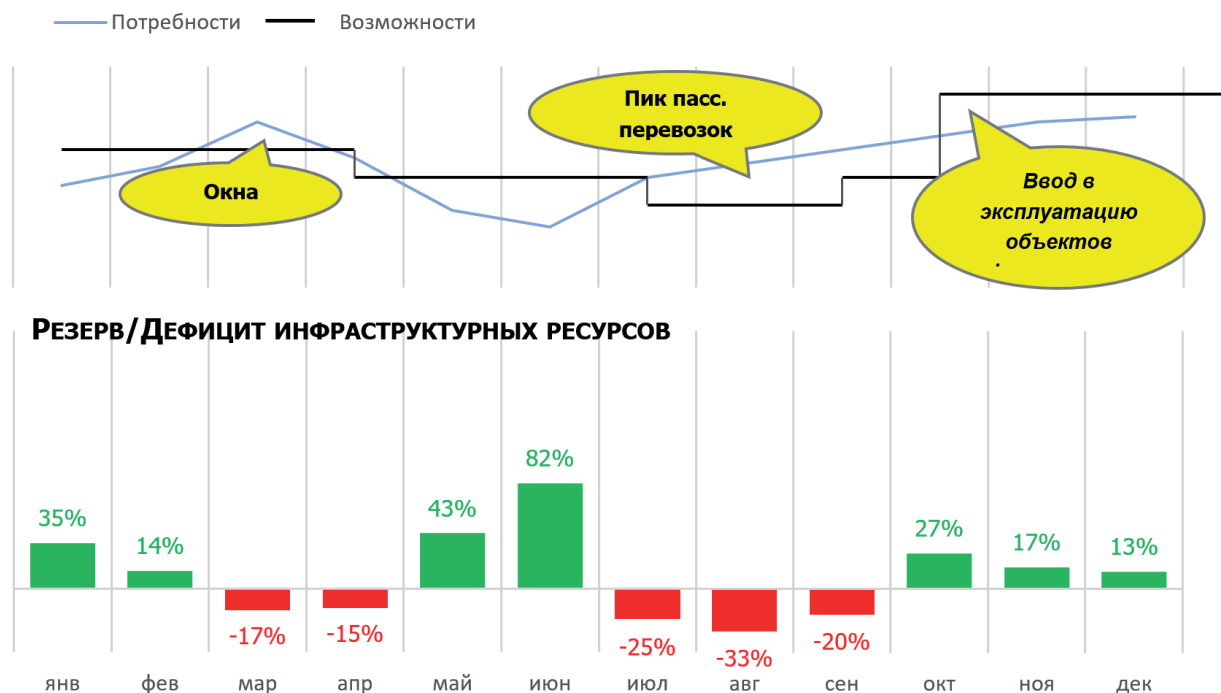


Рисунок 4. Возможности и потребности инфраструктурных ресурсов.

Гибридный модельный комплекс [4], объединяющий результаты имитационных расчетов с сетевой потоковой моделью, предусматривает вычисление баланса и по путевой емкости, и по пропускной способности элементов железнодорожной инфраструктуры — функциональной емкости и эффективной пропускной способности, при которых обеспечивается непрерывность перевозочного процесса [5]. Таким образом, расчетным эле-

ментом выступает бункер — канал (дуплекс) в терминах исследований [6,7].

Расчет возможностей инфраструктуры для организации перевозок и размещения неэксплуатируемого парка вагонов производится по каждому элементу инфраструктуры (станции проведения грузовых операций, станции проведения технических операций и участкам железнодорожной сети) и по совокупности элементов по сети в целом и заданным направлениям.

По железнодорожному пути необщего пользования определяются:

результатирующая перерабатывающая способность $N_{\text{ноп}}^*$, вагонов/сут. [8];

технологические сроки оборота вагонов, технологические нормы погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов $t_{\text{гр}}$, ч.

Значения $N_{\text{ноп}}^*$ и $t_{\text{гр}}$ определяются для теплого и холодного периодов года, для маршрутизированного и немаршрутизированного вагонопотока, по выделенным родам грузов и в целом по железнодорожному пути необщего пользования.

Технически допустимый (рациональный) эксплуатируемый рабочий парк вагонов на путях необщего пользования:

$$P_{\text{техн.ноп}} = (N_{\text{погр.ноп}}^* + N_{\text{выгр.ноп}}^*) k_{\text{рем}} (t_{\text{гр}} + t_{\text{пу}} + t_{\text{псo}}) / (24 k_{\text{сд}}), \quad (1)$$

где $N_{\text{погр.ноп}}^*$, $N_{\text{выгр.ноп}}^*$ – наличная перерабатывающая способность железнодорожного пути необщего пользования соответственно по погрузке и по выгрузке, вагонов/сут;

$t_{\text{гр}}$ – технологический срок оборота вагона с одной грузовой операцией на железнодорожном пути необщего пользования (при обслуживании мест погрузки, выгрузки локомотивом перевозчика – технологическая норма погрузки грузов в вагоны, выгрузки грузов из вагонов), ч;

$t_{\text{псo}}$ – длительность одной приемосдаточной операции, ч;

$t_{\text{пу}}$ – длительность проведения приемосдаточных операций в парках станции примыкания, ч;

$k_{\text{сд}}$ – коэффициент вдвоенных операций;

$k_{\text{рем}}$ – коэффициент, учитывающий снижение перерабатывающей способности железнодорожного пути необщего пользования в периоды производства ремонтных работ, планируемых ограничений грузовых операций.

Допустимая величина емкости путевого развития для вагонов неэксплуатируемого рабочего парка $\Delta P_{\text{ноп}}^{\text{нэп}}$ может быть оценена при детальном анализе путевого развития и технологии работы пути необщего пользования [8]. При отсутствии такого детального анализа

$\Delta P_{\text{ноп}}^{\text{нэп}}$ устанавливается по фактическим данным вагонных данных отчета КОО-4ВЦ:

$$\Delta P_{\text{ноп}}^{\text{нэп}} = \frac{2nt^{\text{к}} - nt^{\text{ж}} - nt^3}{24D} \geq 0 \quad (2)$$

где $nt^{\text{к}}$ – фактическое время нахождения вагона на ответственности организации на ЖДПНП, ваг-час;

$nt^{\text{ж}}$ – нормативное время нахождения вагона на ЖДПНП, в соответствии с договором на подачу-уборку/эксплуатацию ЖДПНП, ваг-час;

nt^3 – фактическое время нахождения вагона на ответственности организации на станции назначения, ваг-час;

D – количество суток в расчетном месяце.

По железнодорожным станциям определяются технически допустимые размеры вагонопотоков, вагонов/сут, при которых обеспечивается беспрепятственный прием поездов:

в поездах, проследующих станцию без технических операций $N_{\text{т.просл}}$;

транзитные без переработки $N_{\text{т.тр}}$;

транзитные с переработкой $N_{\text{т.пер}}$;

местные $N_{\text{т.м}}$ (в том числе маршрутизированные, передаваемые на железнодорожный путь необщего пользования без технических операций на станции примыкания $N_{\text{т.марш}}^{\text{просл}}$, либо со сменой поездных локомотивов и приемосдаточными операциями на станции примыкания) $N_{\text{т.марш}}^{\text{под}}$.

На двусторонних сортировочных станциях и на станциях других типов, где приемоотправочные парки жестко специализированы для поездов четного и нечетного направлений, технически допустимые размеры вагонопотоков определяют отдельно по каждой системе (направлению).

Технически допустимые размеры вагонопотоков определяются по формуле:

$$N_{\text{т}} = n_{\text{огр}} \gamma_{\text{огр}} m_{\text{физ}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{огр}}$ – результирующая пропускная способность по ограничивающим элементам станционной инфраструктуры для вагонопотока соответствующей категории, поездов/сут;

$\gamma_{\text{огр}}$ – средневзвешенный допустимый коэффициент использования пропускной способности станции для вагонопотока соответствующей категории¹;

$m_{\text{физ}}$ – фактический средний состав поездов соответствующей категории, физических вагонов.

Формула (3) учитывает максимальную пропускную способность элементов станционной инфраструктуры за вычетом бюджета времени, необходимого для:

- движения пассажирских поездов;
- технического обслуживания устройств;
- нормативного уровня отказов технических средств;
- уборки снега;
- погашения неравномерности поездопотоков и станционных процессов.

Для расчетов на определенный планируемый месяц расчетная величина технически допустимых размеров вагонопотоков определяется по формуле:

$$N_{\text{т.пл}} = \left(N_{\text{т}} - \Delta N_{\text{т}}^{\text{закр}} \frac{D_{\text{закр}}}{D_{\text{мес}}} \right) \frac{\sum_s k_{\text{ок}(s)} \delta_{\text{ок}(s)} D_{\text{ок}(s)}}{D_{\text{мес}}} + \Delta N_{\text{отм.пс}} \quad (4)$$

где $\Delta N_{\text{т}}^{\text{закр}}$ – снижение результирующей пропускной способности из-за закрытия сооружений и устройств для движения поездов и маневровой работы, а также ограничений скоростей следования подвижного состава по лимитирующим элементам станционной инфраструктуры, вагонов/сут;

$D_{\text{закр}}$ – число суток закрытия устройств и ограничения скоростей в течение планируемого месяца;

$k_{\text{ок}(s)}$ – коэффициент снижения пропускной способности станции из-за увеличения времени занятия путей в дни предоставления технологических «окон» категории s на прилегающих участках;

$\delta_{\text{ок}(s)}$ – доля вагонопотока участка, на котором предоставляются технологические «окна» категории s , в общем вагонопотоке станции, где s – вариант продолжительности технологического «окна» и места его проведения;

$D_{\text{ок}(s)}$ – число суток предоставления технологических «окон» категории s в течение планируемого месяца;

$D_{\text{мес}}$ – число суток в планируемом месяце;

$\Delta N_{\text{отм.пс}}$ – изменение допустимых размеров грузового вагонопотока в зависимости от количества и категорий отменяемых из обращения пассажирских поездов по приемоотправочным паркам станции в сутки.

$$\Delta N_{\text{отм.пс}} = \sum_{r=1}^R \Delta n_{\text{пс}}(r) \frac{t_{\text{пс.пост}}}{t_{\text{зан}}} m_{\text{по}} \quad (5)$$

где $t_{\text{пс.пост}}$ – время перерыва в использовании путей из-за пропуска одного пассажирского поезда;

$t_{\text{зан}}$ – время занятия приемоотправочного пути технологическими операциями, приходящимися на один грузовой поезд, мин;

$\Delta n_{\text{пс}(r)}$ – количество пассажирских поездов категории r , отсутствующих в обращении, пар поездов/сут.;

$m_{\text{по}}$ – средний состав грузовых поездов, обрабатываемых на приемоотправочных путях станции, физических вагонов.

Технически допустимый (рациональный) эксплуатируемый рабочий парк вагонов на станции $P_{\text{техн.ст}}$ определяется согласно работе [1], которая является развитием исследований [9, 10]. Технически допустимые размеры вагонопотоков станции $N_{\text{т.пл}}$, рассчитанные по формуле (4), сопоставляются с суммарным вагонопотоком, рассчитанным исходя из допустимого наличия вагонов рабочего парка на станции.

$$N_{\text{т.пл}}^* = \frac{24 P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}}{t_{\text{ст}}} \quad (6)$$

где $t_{\text{ст}}$ – средневзвешенное технологическое время нахождения на станции транзитных вагонов и местных вагонов (за вычетом времени их нахождения на железнодорожных путях необщего пользования), ч;

Если

$$N_{\text{т.пл}} > N_{\text{т.пл}}^* \quad (7)$$

то для освоения вагонопотока $N_{\text{т.пл}}$ средневзвешенное время $t_{\text{ст}}$ должно быть

¹ Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования: утв. приказом Минтранса России от 18 июля 2018 г. № 266 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/542629643> (дата обращения: 22.08.2024).

$$t_{\text{ст}} \leq t_{\text{ст}}^* = \frac{24P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}}{N_{\text{т.пл}}} \quad (8)$$

Резерв приемоотправочных путей на станциях $\Delta\Pi_{\text{по}}$ для размещения составов поездов при отсутствии возможности и/или необходимости их дальнейшего следования в зависимости от величины $P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}$:

$$\Delta\Pi_{\text{по}} = \Pi'_{\text{по}} - \left[\frac{\Sigma E'_{\text{по}}}{m_{\text{по}}} \times \frac{P_{\text{пл}}}{P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}} \right] \leq \Pi_{\text{отст}}^{\text{разр}} \quad (9)$$

где $\Pi'_{\text{по}}$, $\Sigma E'_{\text{по}}$ – число приемоотправочных путей и их суммарная вместимость;

$P_{\text{техн.по}}^{\text{пл}}$ – технически допустимое среднее наличие вагонов эксплуатируемого рабочего парка на приемоотправочных путях станции в планируемом месяце;

$P_{\text{пл}}$ – планируемый эксплуатируемый рабочий парк станции (за вычетом вагонов, находящихся на путях необщего пользования) в планируемом месяце;

$[x]$ – обозначение округления числа x до целого в большую сторону;

$\Pi_{\text{отст}}^{\text{разр}}$ – число приемоотправочных путей станции, на которых по местным условиям (включая продольный профиль) разрешены отставление поездов от движения и отстой подвижного состава вне перевозочного процесса.

Резерв емкостей станционного путевого развития $\Delta P_{\text{нэп}}$ для размещения грузовых вагонов неэксплуатируемого рабочего парка и нерабочего парка в зависимости от величин $P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}$ и $\Delta\Pi_{\text{по}}$:

$$\Delta P_{\text{нэп}} = \frac{E_{\text{в.ст}}^{\text{пл}}}{\omega} - P_{\text{пл}} \frac{E_{\text{в.ст}}^{\text{пл}} - E_{\text{отст}}}{P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}} \omega} - \Delta\Pi_{\text{по}} m_{\text{по}} \quad (10)$$

где $E_{\text{в.ст}}^{\text{пл}}$ – вместимость станции в условных вагонах, рассчитанная для планируемого месяца [1];

$E_{\text{отст}}$ – суммарная вместимость в условных вагонах путей, специализированных для отстоя вагонов по Техническо-распорядительному акту станции;

ω – отношение средневзвешенной длины физического вагона на рассчитываемой стан-

ции (по существующей структуре вагонного парка) к длине условного вагона, $\omega = l_{\text{ср.физ}} / l_{\text{усл}}$.

Снижение пропускной и перерабатывающей способности станции из-за дефицита вместимости путевого развития, вызванного избыточным парком грузовых вагонов, рассчитывается в соответствии с результатами исследования [11]. По результатам корректируется величина $n_{\text{огр}}$, см. формулу (3).

По расчетным участкам определяются технически допустимые среднесуточные размеры движения грузовых поездов по участку в планируемом месяце:

$$n_{\text{т.уч}}^{\text{пл}} = \frac{n_{\text{гдп}}^{\text{max}} - \Delta n_{\text{ок}}^{\text{тек}} - \Delta n_{\text{ок}}^{\text{рем}} - \Delta n_{\text{огр}} - \Delta n_{\text{назн.пс}}}{1 + 0,5(k_{\text{н.сут}} - 1)} \quad (11)$$

где $n_{\text{гдп}}^{\text{max}}$ – максимальные графиковые размеры грузового движения, пар поездов/сут. (включая нитки нормативного графика, проложенные в нормативные технологические «окна» и по ниткам пассажирских поездов не ежедневного обращения);

$\Delta n_{\text{ок}}^{\text{тек}}$ – расчетное снижение графиковых размеров грузового движения в связи с предоставлением нормативных технологических «окон» для текущего содержания инфраструктуры, пар поездов/сут.;

$\Delta n_{\text{ок}}^{\text{рем}}$ – расчетное снижение графиковых размеров грузового движения в связи с предоставлением технологических «окон» для ремонтных и строительных работ, пар поездов/сут.;

$\Delta n_{\text{огр}}$ – расчетное снижение графиковых размеров грузового движения в связи с действующими ограничениями скорости, пар поездов/сут.;

$\Delta n_{\text{назн.пс}}$ – расчетное снижение графиковых размеров грузового движения в связи с назначением пассажирских поездов не ежедневного обращения, пар поездов/сут.;

$k_{\text{н.сут}}$ – коэффициент суточной неравномерности грузового движения в течение месяца.

При наличии прогнозного графика движения поездов, разработанного на плановый период, числитель формулы (11) принимается по данным прогнозного графика.

Технически допустимое наличие вагонов эксплуатируемого рабочего парка в поездах на

участках в планируемом месяце определяется по формуле:

$$P_{\text{техн.уч}}^{\text{пл}} = \frac{2n_{\text{т.уч}}^{\text{пл}} L_{\text{уч}} m_{\text{уч}}}{24V_{\text{уч}}} \quad (12)$$

где $L_{\text{уч}}$ – длина участка, км;

$m_{\text{уч}}$ – средний состав грузового поезда на участке, рассчитанный на основе отчетов ДО-1 и ЦО-1, физических вагонов;

$V_{\text{уч}}$ – участковая скорость грузовых поездов, км/ч.

Снижение пропускной способности участка из-за дефицита вместимости путевого развития, вызванного избыточным парком грузовых вагонов, рассчитывается согласно положениям [11].

Ограничения для планируемого месяца.

Допустимые размеры движения поездов и вагонопотоков с учетом потерь пропускной способности из-за отказов технических средств и технологических нарушений на планируемый месяц.

$$n_{\text{пл}} = n_{\text{т.уч}}^{\text{пл}} \left(1 - \frac{\sum nt_{\text{отс}} + \sum nt_{\text{тн}}}{\sum nt_{\text{общ}}}\right) \quad (13)$$

$\sum nt_{\text{отс}} + \sum nt_{\text{тн}}$ – среднесуточные поезде-часы задержек грузовых поездов по отказам технических средств (по данным АС КА-САНТ) и технологическим нарушениям (по данным АС КАСАТ) в предплановый период;

$\sum nt_{\text{общ}}$ – поезде-часы грузовых поездов по диспетчерским участкам с учетом движе-

ния по многопарковым станциям (по данным отчета ДО-10).

Допустимые размеры вагонопотоков по участкам на планируемый месяц.

$$N_{\text{пл}} = n_{\text{пл}} m_{\text{уч}} \quad (14)$$

Допустимые размеры движения поездов и вагонопотоков с учетом заданий по отправлению составов поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов и (или) его составляющих – транзитных вагонов по заданным направлениям (назначениям), местных вагонов по заданным назначениям; порожних вагонов по родам и принадлежности подвижного состава, определяются

$$n_{\text{пл}}^* = n_{\text{пл}} - \frac{1}{T_{\text{норм}}} \left(p_3 + \frac{\Delta P_{\text{изб}}^{\text{тр}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{мест}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{пор}}}{m_{\text{ДО-1}}} \right) \quad (15)$$

$$N_{\text{пл}}^* = N_{\text{пл}} - \frac{1}{T_{\text{норм}}} (p_3 m_{\text{ДО-1}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{тр}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{мест}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{пор}}) \quad (16)$$

где p_3 – наличие составов поездов, задержанных в продвижении, на станциях в зоне влияния на рассматриваемый участок на начало планируемого месяца;

$\Delta P_{\text{изб}}^{\text{тр}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{мест}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{пор}}$ – избыток рабочего парка (по категориям соответственно транзитных, местных и порожних вагонов) на станциях и участках в зоне влияния на рассматриваемый участок на начало планируемого месяца (кроме вагонов в p_3 задержанных грузовых поездах);

$T_{\text{норм}}$ – заданная длительность периода нормализации поездной обстановки, сут.

Заключение.

Практическое применение результатов разработки обеспечивается доработкой информационных источников, формирующих актуальные данные с необходимой степенью детализации, для их автоматизированного

применения при проведении расчетов; функциональным развитием автоматизированных систем [12 – 14], выполняющих расчеты и использующих их результаты.

Список источников

1. Сайбаталов, Р. Ф. Методы устранения затруднений, связанных с избыточным парком грузовых вагонов, в работе полигонов железнодорожной сети / Р. Ф. Сайбаталов // Транспорт Урала. – 2013. – № 4(39). – С. 32-37. – EDN RSPAFT.

2. Осьминин, А. Т. Динамическая модель загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» / А. Т. Осьминин, А. В. Кабанов // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 8. – С. 10-19. – EDN QTORKF.
3. Бородин, А. Ф. Автоматизированная система прогноза ресурсов сети / А. Ф. Бородин, В. В. Панин // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 18-27. – EDN YPTUDX.
4. Методы гибридной технологии имитационного моделирования при выборе вариантов реконструктивных мероприятий по развитию железнодорожных направлений и крупных узлов / А. Ф. Бородин, А. А. Кравченко, К. Ю. Николаев [и др.]. – Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): Труды Четырнадцатой международной конференции, Москва, 27–29 сентября 2021 года / под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. – М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 963–971.
5. Оценка баланса провозной способности полигонов сети железных дорог / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, М. А. Агеева [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – Т. 81, № 2. – С. 158-169. – DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-2-158-169. – EDN RDALYA.
6. Козлов, П. А. Поток и бункер-канал в транспортной системе / П. А. Козлов // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12, № 2(51). – С. 30-37. – EDN SFRHZR.
7. Козлов, П. А. Теоретические аспекты взаимодействия потока и элементов структуры в транспортных системах / П. А. Козлов, В. С. Колокольников // Транспорт Урала. – 2019. – № 4(63). – С. 3-7. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-4-3-7. – EDN YTPVCG.
8. Программное обеспечение ведения технологии взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (АС ЕТП) / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, К. А. Капунов [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 4. – С. 11-18. – EDN ZCONZZ.
9. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог : (Состояние, проблемы, перспективы) – М. : Транспорт, 1986. – 255 с.
10. Бородин, А. Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 8-19. – EDN NXLPNJ.
11. Сайбаталов Р. Ф. Методы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сайбаталов Рашид Фердаусович, 2021. – 231 с. – EDN QHULCB.
12. Соколов, А. Ю. Автоматизированная система расчета наличной пропускной способности железных дорог / А. Ю. Соколов, С. Ю. Кириллова, Е. В. Панин // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 10. – С. 42-45. – EDN ZJTBHN.
13. Комплекс имитационного моделирования работы железнодорожных станций и участков / И. Р. Гургенидзе, С. В. Калинин, Д. Ю. Халевин, А. П. Козловский // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 12. – С. 38-42. – EDN GBFYXF.
14. Бородин, А. Ф. Автоматизация решения задач развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов в Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» / А. Ф. Бородин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019) : Труды восьмой научно-технической конференции, Москва, 21 ноября 2019 года. – Москва: Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», 2019. – С. 22-26. – EDN VLDMNZ.

CALCULATION OF THE CAPABILITIES OF THE RAILWAY INFRASTRUCTURE FOR THE TRAFFIC OF FREIGHT AND EMPTY WAGONS

Borodin A.F.^{1,2}, Lakhankin E.A.², Kravchenko A.A.², Rybakov S.V.³, Kofanova N.V.³, Zhuravleva E.A.³

¹ Russian University of Transport.

² Joint-Stock Company «Institute of Economics and Transport Development»

³ Central Directorate of Traffic Management – branch of JSC «Russian Railways»

Abstract: The results of a study of the dynamics of changes in the fleet of freight wagons, the impact of fleet redundancy on the efficiency and operability of the work of the railway network are presented. The purpose, scope, basic principles and assumptions, frequency of calculations and provisions of the Methodology for assessing the capabilities of the railway infrastructure for the traffic of freight and empty freight wagons are presented. The capabilities and needs of the infrastructure are determined by a hybrid model complex combining the results of simulation calculations with a network streaming model. Algorithms for calculating the interdependencies of functional capacity and the permissible level of traffic capacity utilization of railway network elements are presented. The procedure for assessing the permissible sizes of train and carriage traffic has been defined, taking into account traffic capacity losses due to failures of technical means and technological violations, as well as taking into account tasks for the departure of trains delayed in progress and for the normalization of the working fleet of wagons.

Keywords: excess fleet of freight cars, railway infrastructure capabilities, hybrid model complex, functional capacity, traffic capacity, permissible train traffic sizes

© Borodin A.F., Lakhankin E.A., Kravchenko A.A., Rybakov S.V.,
Kofanova N.V., Zhuravleva E.A.

Received 15.09.2024, approved 18.10.2024, accepted for publication 18.10.2024.

For citation:

Borodin A.F., Lakhankin E.A., Kravchenko A.A., Rybakov S.V., Kofanova N.V., Zhuravleva E.A. Calculation of the capabilities of the railway infrastructure for the traffic of freight and empty wagons. Logistics and Supply Chain Management. 2024. Vol 21, Iss 2 (111). pp. 47-60.

Borodin A.F., Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian University of Transport (MIIT), Head of the Department of Operational Work and Safety Management in Transport, Joint Stock Company «Institute of Economics and Development of Transport», Head of the Department of Technological Support for Automated Systems and Simulation Modeling, borodinaf@mail.ru

Lakhankin E.A., Joint-Stock Company «Institute of Economics and Development of Transport», Head of the Center for Railway Operation and Interaction of Transport Systems.

Kravchenko A.A., Candidate of Technical Sciences, Joint Stock Company «Institute of Economics and Development of Transport», Senior Researcher at the Center for Railway Operation and Interaction of Transport Systems.

Rybakov S.V., Central Directorate of Traffic Management – branch of JSC “Russian Railways”, Deputy Head of the Department of Planning and Analysis of Operational Work.

Kofanova N.V., Central Directorate of Traffic Management – branch of JSC «Russian Railways», Deputy Head of the Department for the Organization of the Use of Traction Resources of the Traction Resources Management Center at the North-Western Polygon

Zhuravleva E.A., Central Directorate of Traffic Management – branch of JSC «Russian Railways», Head of the Department of Rationing of Operational Work.

References

1. Saibatalov, R. F. Methods for eliminating difficulties associated with excess freight car fleet in the operation of railway network polygons / R. F. Saibatalov // *Transport of the Urals*. - 2013. - No. 4 (39). - P. 32-37. - EDN RSPAFT.
2. Osminin, A. T. Dynamic model of infrastructure loading of JSC Russian Railways / A. T. Osminin, A. V. Kabanov // *Railway transport*. - 2021. - No. 8. - P. 10-19. - EDN QTORKF.
3. Borodin, A. F. Automated system for forecasting network resources / A. F. Borodin, V. V. Panin // *Railway transport*. - 2017. - No. 4. - P. 18-27. - EDN YPTUDX.
4. Methods of Hybrid Simulation Modeling Technology in Selecting Options for Reconstruction Measures for the Development of Railway Routes and Large Junctions / A. F. Borodin, A. A. Kravchenko, K. Yu. Nikolaev [et al.]. – Management of Large-Scale Systems Development (MLSD'2021): Proceedings of the Fourteenth International Conference, Moscow, September 27–29, 2021 / edited by S. N. Vasiliev, A. D. Tsvirkun. – Moscow: V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, 2021. – P. 963–971.
5. Assessment of the Balance of Carrying Capacity of Railway Network Polygons / A. F. Borodin, V. V. Panin, M. A. Ageeva [et al.] // *Bulletin of the Research Institute of Railway Transport*. – 2022. – Vol. 81, No. 2. – P. 158-169. – DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-2-158-169. – EDN RDALYA.
6. Kozlov, P. A. Flow and bunker-channel in the transport system / P. A. Kozlov // *World of transport*. – 2014. – Vol. 12, No. 2(51). – P. 30-37. – EDN SFRHZR.
7. Kozlov, P. A. Theoretical aspects of the interaction of flow and structure elements in transport systems / P. A. Kozlov, V. S. Kolokolnikov // *Transport of the Urals*. – 2019. – No. 4(63). – P. 3-7. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-4-3-7. – EDN YTPVCG.
8. Software for maintaining the technology of interaction of private railway tracks and junction stations (AS ETP) / A. F. Borodin, V. V. Panin, K. A. Kapunov [et al.] // *Railway transport*. – 2019. – No. 4. – Pp. 11-18. – EDN ZCOHZZ.
9. Sotnikov, E. A. Operational work of railways: (Status, problems, prospects) – M.: Transport, 1986. – 255 p.
10. Borodin, A. F. Rational ratio of the capacity of station tracks and car parks taking into account the increase in the share of private cars / A. F. Borodin, E. A. Sotnikov // *Railway transport*. – 2011. – No. 3. – P. 8-19. – EDN NXLPNJ.
11. Saibatalov R. F. Methods for eliminating difficulties in the operation of railway network polygons: specialty 05.22.08 «Transportation process management»: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Saibatalov Rashid Ferdausovich, 2021. – 231 p. – EDN QHULCB.
12. Sokolov, A. Yu. Automated system for calculating the current throughput capacity of railways / A. Yu. Sokolov, S. Yu. Kirillova, E. V. Panin // *Railway transport*. – 2017. – No. 10. – P. 42-45. – EDN ZJTBHN.
13. Simulation modeling complex for the operation of railway stations and sections / I. R. Gurgenedze, S. V. Kalinin, D. Yu. Khalevin, A. P. Kozlovsky // *Railway transport*. - 2021. - No. 12. - P. 38-42. - EDN GBFYXF.
14. Borodin, A. F. Automation of solving problems of development and use of railway infrastructure and transportation resources in the Digital Transformation Strategy of JSC Russian Railways / A. F. Borodin // *Intelligent control systems in railway transport. Computer and mathematical modeling (ISUZhT-2019): Proceedings of the eighth scientific and technical conference, Moscow, November 21, 2019. – Moscow: Joint-Stock Company “Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communications in Railway Transport”, 2019. – P. 22-26. – EDN VLDMNZ.*

Приглашаем ученых, работников системы высшего образования и специалистов в области транспорта и логистики к сотрудничеству в качестве авторов журнала «Логистика и управление цепями поставок».

Тематика журнала определяется следующим перечнем научных специальностей:

- 2.9.1. Транспортные и транспортно – технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки)
- 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)
- 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки)
- 2.9.9. Логистические транспортные системы (технические науки)

Структура и содержание документа при подаче статьи:

1. УДК
2. Название статьи
3. Информация о авторах (полное ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, РИНЦ AuthorID). Для корреспондирующего автора необходимо указать телефон и e-mail.
4. Аннотация (120 – 200 слов. Аннотация должна кратко раскрывать содержание проведенного исследования)
5. Ключевые слова (5 – 8 слов или словосочетаний)
6. Текст статьи (15 – 20 тысяч символов). Текст статьи должен быть логичным, последовательным и исчерпывающе раскрывающим проведенное исследование. Статья обязательно содержит вводную, основную и заключительную часть. Содержание статьи должно соответствовать тематике журнала.
7. Перечень источников. Не менее 15 актуальных позиций, оформленных в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Название статьи, информация о авторах, аннотация, ключевые слова и перечень источников представляются на русском и английском языках.

Требования и условия публикации

- Публикации в журнале бесплатны и проходят слепое рецензирование.
- Публикация возможна при наличии положительного заключения рецензента. Нуждающаяся в доработке статья направляется автору вместе с замечаниями рецензента. После устранения замечаний статья направляется автором для повторного рецензирования. При отрицательном заключении рецензента статья возвращается автору.
- Редакция оставляет за собой право отклонять без рассмотрения по существу статьи, не соответствующие профилю журнала, имеющие некорректные заимствования или оформленные с нарушением требований.
- Представленные на рассмотрение редакции тексты проходят проверку на наличие некорректных заимствований.
- Опубликованные статьи, а также информация об авторах на русском и английском языках размещается в свободном доступе в Интернете на платформе Научной Электронной Библиотеки – eLIBRARY.RU.

Контактная информация редакции:

Дмитрий Владимирович Кузьмин

Телефон: +7 (495) 684 - 29 - 07

Почта: transportjournal@yandex.ru

Ссылка на страницу журнала на платформе Научной Электронной Библиотеки – eLIBRARY.RU – https://www.elibrary.ru/title_profile.asp?id=26698

ISSN 2587-6775