

На правах рукописи



**Дмитриев Егор Олегович**

**МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ВАРИАНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПОЛИГОНОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ**

2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ))

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор  
Бородин Андрей Федорович

**Официальные оппоненты –**

Мамаев Энвер Агапашаевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», кафедра «Логистика и управление транспортными системами», заведующий кафедрой.

Костенко Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Железнодорожные станции и узлы», доцент.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится «26» января 2024 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета 44.2.008.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС) по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 6б, аудитория Б2–15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Колясов Константин  
Михайлович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Организация эксплуатационной работы на сети ОАО «РЖД» базируется на основных технологических документах: плане формирования грузовых поездов и нормативном графике движения поездов. В течение годового периода в данные документы вносятся корректировки, исходя из текущей эксплуатационной обстановки, а также проводится построение вариантных графиков движения поездов (далее – ВГДП) с целью пропуска максимального количества поездов в условиях ограничений.

На ряде направлений ежегодно складываются предпосылки к сезонному изменению порядка работы полигона, отличающемуся от заложенного в нормативном варианте. Примерами таких ограничений являются: плановые ремонтно-путевые работы, проводимые по технологии длительного закрытия перегонов до нескольких суток и по классической технологии ремонтов в заявленные технологические «окна» этапно в течение нескольких суток. Сезонные ограничения также связаны с пиками перевозок грузов, а также пиками пассажирских перевозок.

Организация движения поездов при проведении ремонтно-путевой компании в настоящее время предусматривает разработку ВГДП, основанных на максимальном использовании пропускной способности ограничивающих элементов и увязке «окон» в створах сетевых направлений. Необходимо разработать методы планирования и организации работы полигона в условиях прогнозируемых затруднений, которые будут базироваться на принципе учёта всех элементов технологии организации эксплуатационной работы, позволяющем наиболее эффективно организовать работу и снизить влияние факторов с непрогнозируемым эффектом в условиях дефицита тех или иных ресурсов (инфраструктурных, перевозочных, тяговых и т.д.), именуемые в дальнейшем – вариантные технологические режимы полигонов железнодорожной сети.

Разработка вариантных технологических режимов позволит:

создать новый подход к разработке технологии организации эксплуатационной работы в условиях прогнозируемых ограничений;

повысить надежность перевозочного процесса в условиях ограничений;

сократить эксплуатационные расходы Холдинга ОАО «РЖД».

**Степень разработанности темы исследования.** Научно-методической базой настоящего исследования являются труды отечественных и зарубежных научных школ и коллективов в области эксплуатации железнодорожного транспорта, совершенствования технологии работы станций и узлов, технологии организации вагонопотоков, организации эксплуатационной работы железнодорожных направлений и полигонов, организации эксплуатационной работы полигонов в период ремонтно-путевой кампании, моделирования эксплуатационной работы железных дорог. Учеными, проводившими исследования по данной проблематике, являются: доктора технических наук А.А. Аветикян, В.М. Акулиничев, А.Э. Александров, А.В. Анненков, В.И. Апатцев, Е.В.

Архангельский, А.П. Батулин, С.А. Бессоненко, К.А. Бернгард, В.И. Бодюл, Н.Е. Боровой, А.Ф. Бородин, В.А. Буянов, И.И. Васильев, П.С. Грунтов, С.В. Дувалян, Ю.В. Дьяков, Д.В. Железнов, Н.Д. Иловайский, В.И. Ковалев, П.А. Козлов, В.С. Колокольников, В.А. Кудрявцев, А.В. Кутыркин, Ф.П. Кочнев, Д.Ю. Левин, А.М. Макарович, В.М. Николашин, В.И. Некрашевич, Л.В. Одинцов, О.В. Осокин, А.Т. Осьминин, А.П. Петров, А.И. Платонов, В.В. Повороженко, С.М. Резер, В.М. Сай, Е.А. Сотников, И.Б. Сотников, А.А.Смехов, Е.Н. Тимухина, К.К. Тихонов, Е.М. Тишкин, С.В. Трофимов, Л.П. Тулупов, Н.А. Тушин, А.К. Угрюмов, Н.И. Федотов, В.А. Шаров, В.Г. Шубко и другие ученые; доктора экономических наук А.П. Абрамов, С.А. Быкадоров, Н.Н. Громов, А.Н. Ефанов, П.В. Куренков, Б.М. Лapidус, Л.А. Мазо, Д.А. Мачерет, В.А. Персианов, Н.С. Усков; кандидаты технических наук В.К. Буянова, В.И. Васильева, В.Г. Винокуров, Ф.С. Гоманков, Г.А. Кутукова, А.Ю. Папахов, А.И. Попов, Дел Рио Б., С.Г. Стопичев, В.Г. Саенко, А.Д. Чернюгов и другие исследователи; кандидаты экономических наук А.И. Купоров, А.А. Пугачева, П.Б. Маневич, И.В. Серяпова, Н.Г. Смехова.

В то же время отсутствуют научно обоснованные рекомендации по разработке и применению вариантных технологических режимов работы в условиях длительных прогнозируемых ограничений пропускной и провозной способности полигонов железнодорожной сети.

**Направлениями исследований** являются планирование, организация и управление транспортными потоками; технология транспортных процессов, моделирование и совершенствование транспортных технологических процессов.

**Предметом исследования** являются методы обоснования вариантных технологических режимов эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети.

**Целью исследования** является разработка научно-методических решений по обоснованию вариантных технологических режимов эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети в условиях прогнозируемых ограничений пропускных и провозных способностей.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

исследование и определение особенностей технико-технологических параметров и взаимосвязей в эксплуатационной работе полигонов в рамках вариантных технологических режимов;

разработка методических положений по обоснованию параметров вариантных технологических режимов эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети;

практическая проверка и разработка принципов применения методических положений в рамках сквозного производственного планирования, текущей разработки технологии работы полигонов железнодорожной сети, а так же задач развития пропускных и провозных способностей на перспективу.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в разработке новой научной идеи обоснования вариантных технологических режимов эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети, для чего:

разработаны методические положения по обоснованию параметров вариантных технологических режимов эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети с учётом экономической оценки вариантов, которые включают в себя совместное решение задач по разработке элементов технологии эксплуатационной работы (параметры директивного плана технологических окон, норм массы и длины грузовых поездов, направления и организации вагонопотоков, технологии тягового обслуживания и технологии работы технических станций), выбору эффективных вариантов среди рассматриваемых;

разработаны методические положения по прогнозированию распределения транспортных потоков, инфраструктурных и перевозочных ресурсов, возможных затруднений в эксплуатационной работе на основе потоковой модели полигона железнодорожной сети, которые отличаются от существующих методов применением гибридного имитационного комплекса;

разработаны методические положения технологии разработки типового имитационного модуля сортировочной станции и железнодорожных развязок и соединительных ветвей, позволяющие повысить эффективность разработки имитационной макромоделей.

**Теоретическая и практическая значимость.** Сформулированные в диссертации научные выводы, теоретические и практические результаты могут быть использованы в деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта. Гибридное имитационное моделирование процесса пропуска поездопотоков в условиях прогнозируемых ограничений пропускной и провозной способностей позволяет рассмотреть и сравнить между собой различные варианты организации перевозок в рассматриваемый период. Предлагаемые в диссертационном исследовании алгоритмы определения надёжности сортировочного комплекса; расчёта длины формируемых составов поездов; расчёта рисков неосвоения объемов перевозок с учётом длительности ремонтно-путевых работ; расчёта технически допустимых размеров движения поездов в оконные сутки с учётом технологии работы хозяйственных поездов; надёжности расчётной технологии тягового обслуживания полигона позволяют детально оценить элементы планируемой технологии эксплуатационной работы. Установление данных параметров делает возможным определение экономических составляющих варианта организации работы для последующего выбора эффективного варианта.

**Методы исследования, использованные в диссертации:**

изучение и анализ отечественных и зарубежных научных разработок по вопросам по вопросам организации эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети;

статистические методы обработки данных;

структурно-функциональный анализ;

методы математического моделирования работы полигонов железнодорожной сети;

методы технико-экономического сопоставления вариантов.

**Положения диссертации, выносимые на защиту:**

методика создания гибридного модельного комплекса, состоящего из двух подсистем, служащих для определения зависимостей расчётных величин и прогнозирование ресурсов по вариантам;

технология разработки типового имитационного модуля сортировочной станции и железнодорожных развязок и соединительных ветвей;

методические положения расчёта рисков неосвоения объемов перевозок с учётом длительности ремонтно-путевых работ;

методические положения расчёта надёжности варианта технологии тягового обслуживания полигона в условиях длительных ограничений с применением имитационных экспериментов, учитывающая структуру поездопотоков на полигоне и их влияние на пропуск поездов;

технология расчёта надёжности работы комплекса расформирования сортировочной станции с расчётом зависимостей с применением имитационных экспериментов, где основной переменной величиной принят коэффициент занятости по времени путей парка приёма, который рассматривается в качестве регулирующего элемента системы;

методические положения расчёта технически допустимых размеров движения поездов на участках в оконные сутки с учётом технологии работы хозяйственных поездов, позволяющего повысить качество расчета количества снимаемых грузовых поездов ремонтно-строительными «окнами».

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационного исследования реализованы в научно-исследовательских работах:

переработка Инструктивных указаний по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» (утверждены распоряжением ОАО «РЖД» №2872/р от 29.12.2018 г.);

разработка Порядка применения экономической оценки для автоматизированного расчета плана формирования грузовых поездов (утвержден распоряжением ОАО «РЖД» №1825/р от 26.08.2020);

разработка разделов «Организации движения» предпроектной документации развития Восточного полигона, подходов к портам Северо-Западного бассейна и Северного широтного хода;

подготовка оценки возможных рисков неосвоения объемов перевозок грузов в рамках сценарного развития инфраструктуры и выполнения программы вывода инфраструктуры ОАО «РЖД» на нормативный уровень до 2030 и 2035 года;

разработка Техничко-технологической модели управления перевозочным процессом в направлении портов Азово-Черноморского бассейна на перспективу до 2025 года (утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №2235/р от 27.12.2019) и Техничко-технологической модели управления перевозочным процессом в направлении портов Северо-Запада на перспективу до 2025 года (утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №2238/р от 27.12.2019);

развитие автоматизированных систем Имитационная ресурсная модель использования инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС), Программное обеспечение технологии организации вагонопотоков (АСОВ) Подсистема автоматизированного расчёта сетевого плана формирования грузовых поездов с

учётом вариативности экономических параметров СПФ-2, АС ПРОГРЕСС в рамках реализации проекта Единой имитационной модели развития инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС. ЕИМ), АСОВ в рамках реализации проекта Единой имитационной модели развития инфраструктуры ОАО «РЖД» (АСОВ. ЕИМ).

**Достоверность и обоснованность научных положений и выводов** подтверждается тем, что для экспериментальных работ результаты получены с применением компьютерной имитационной и потоковой систем, соответствующих требованиям действующих методик ОАО «РЖД»; показана воспроизводимость результатов в условиях различных потоков и для различных вариантов технологии эксплуатационной работы; теория построена на известных, проверяемых данных и фактах, согласуется с опубликованными экспериментальными данными других авторов по рассматриваемой проблематике; идея базируется на анализе отечественной практики организации эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети; использованы сравнения авторских данных с данными, полученными ранее в работах, посвящённых разработке технологии эксплуатационной работы полигонов и проведения имитационных исследований железнодорожной инфраструктуры; использованы известные научные методы, современные методики сбора, обработки исходной информации, проверяемые данные транспортной статистики и информационных систем ОАО «РЖД».

**Апробация работы.** Результаты исследований, составляющих основное содержание работы, доложены на заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)), учёного совета акционерного общества «Институт экономики и развития транспорта» (АО «ИЭРТ»), а также на одиннадцати международных и всероссийских научно-практических конференциях:

Седьмой научно-практической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018)», Россия, Москва, АО «НИИАС», 14 ноября 2018 г.;

II-й Национальной научно-практической конференции «Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность», Россия, Москва, РУТ(МИИТ), 19 апреля 2019 г.;

12-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD' 2019), Россия, Москва, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 1–3 октября 2019 г.;

Третьей международной научно-практической конференции «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2019)», Россия, Санкт-Петербург, 23-25 октября 2019 г.;

Восьмой научно-практической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019)», Россия, Москва, АО «НИИАС» 21 ноября 2019 г.;

V-й международной научно-практической онлайн-конференции «Транспортное планирование и моделирование», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 16-17 апреля 2020 г.;

Международной научно-практической конференции «Тихомировские чтения: синергия технологии перевозочного процесса», Беларусь, Гомель, БелГУТ, 10-11 декабря 2020 г.;

Международной научно-практической конференции «Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 22-23 апреля 2021 г.;

I международная научно-практическая конференция «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт», Россия, Щербинка, АО «ВНИИЖТ», 26-27 августа 2021 г.;

14-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD' 2021), Россия, Москва, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 27-29 сентября 2021 г.;

Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление», Россия, Екатеринбург, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», 18 мая 2023 г.

**Публикации.** Материалы, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 20 печатных работах в том числе 6 в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ, 1 статья – в периодических изданиях, индексируемых единой международной базой научных материалов Scopus, получено 5 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационное исследование изложено на 209 страницах, включает 69 иллюстраций, 26 таблиц. Диссертация включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы (219 наименований), 4 приложения.

## Содержание работы

**Во введении** приведены: актуальность темы исследования; степень ее разработанности; цели и задачи исследования; научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы; методы исследования; положения, выносимые на защиту; степень достоверности и апробация результатов.

**В первой главе** выполнено рассмотрение отечественной практики организации эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети. Анализ внутригодовой неравномерности погрузки, размеров пассажирского движения и объемов проведения ремонтно-строительных работ показал, что данные факторы вызывают затруднения и время их наступления возможно спрогнозировать. Данные факторы, являются неотъемлемой частью работы железных дорог, и существует необходимость баланса перевозки грузов, пассажиров, ремонта и строительства инфраструктуры, по которой производится перевозка. Разработка верхнеуровневых технологических режимов в условиях прогнозируемых ограничений может быть применена именно благодаря бесшовности в рамках полигонных и сквозных принципов.



Проведен анализ теоретических исследований по вопросам организации эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети, в ходе которого выявлена проблема необходимости научного обоснования технологии работы полигонов в условиях длительных прогнозируемых ограничений в работе участков и направлений и именуется как вариантный технологический режим работы полигонов железнодорожной сети (далее – ВТР).

Формализованное описание постановки задачи исследования выражается следующим образом.

Указанные на рисунке 1 переменные выступают либо как управляемые переменные в многокритериальной задаче, либо как система ограничений в однокритериальной задаче.

В данном диссертационном исследовании надлежит:

- 1) выбрать методы исследования рассматриваемых величин;
- 2) разработать методику определения их численных значений;
- 3) разработать технологию их взаимоувязки в едином процессе обоснования эффективных параметров эксплуатационной работы.

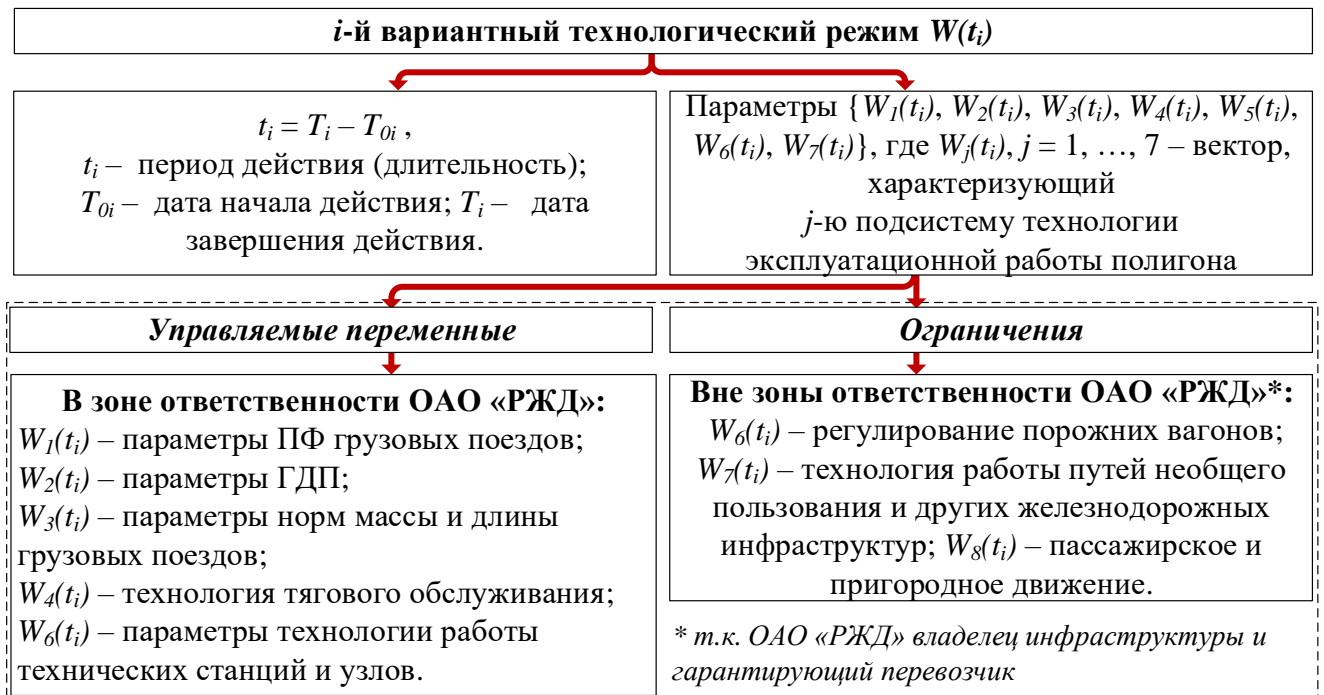


Рисунок 1 – Формализованное описание постановки задачи исследования

**Вторая глава** диссертации посвящена исследованию технико-технологических параметров и взаимосвязей в эксплуатационной работе полигонов железнодорожной сети.

ВТР разрабатывается в условиях действия прогнозируемых ограничений в работе полигонов. К особенностям условий эксплуатационной работы, при которых рациональна разработка ВТР, отнесены сезонные и технологические изменения. На основе анализа причин в первой главе и величины внутригодовой неравномерности условия, при которых возможно рассмотрение разработки ВТР, классифицированы по следующим критериям: 1) причины ограничений; 2) условия эксплуатационной работы; 3) продолжительность действия.

В качестве условий перехода от нормативной технологии эксплуатационной работы ( $W^H(t_i)$ ) к другому (вариантному) технологическому режиму ( $W^{вмп}(t_i)$ ) предлагаются следующие неравенства:

$$W(t_i) = \begin{cases} W^H(t_i), & \text{если } \begin{cases} P^H \geq P_i \\ E^H \leq E_i^{втр} + E_i^{\text{пер на втр}} \end{cases} \\ W^{втр}(t_i) \end{cases}, \quad (1)$$

где  $P^H$  – ресурсы сети по нормативной технологии;

$P_i$  – требуемые ресурсы для варианта потоков;

$E^H$  – затраты на работу по нормативной технологии;

$E_i^{втр}$  – затраты на работу по вариантному технологическому режиму;

$E_i^{\text{пер на втр}}$  – затраты на переход к вариантному технологическому режиму.

Ресурсы по нормативной технологии включают в себя:

$$P^H = P_{ст}^H \left( st_1 \dots st_x(k_{назн}^H, N_{пер}^H, N_{тр}^H) \right) + P_{пер}^H \left( p_1 \dots p_x(n_{ГДП}) \right) + P_{лок}^H \left( urlb_1 \dots urlb_x(k_{п}, M) \right), \quad (2)$$

где  $P_{ст}^H \left( st_1 \dots st_x(k_{назн}^H, N_{пер}^H, N_{тр}^H) \right)$  – нормативные ресурсы по станциям  $st_1 \dots st_x$ , включающие в себя допустимое число формируемых назначений ( $k_{назн}^H$ ), технически допустимые размеры переработки вагонов ( $N_{пер}^H$ ) и обработки транзитных вагонов без переработки ( $N_{тр}^H$ );

$P_{пер}^H \left( p_1 \dots p_x(n_{ГДП}) \right)$  – нормативные ресурсы по перегонам  $p_1 \dots p_x$ , включающие графические размеры движения грузовых поездов ( $n_{ГДП}$ );

$P_{лок}^H \left( urlb_1 \dots urlb_x(k_{п}, M) \right)$  – нормативные ресурсы по участкам работы локомотивных бригад  $urlb_1 \dots urlb_x$ , включающие в себя коэффициент потребности локомотивов ( $k_{п}$ ) и рассчитываемый на его основе парк грузовых локомотивов ( $M$ ).

Требуемые ресурсы для варианта потоков, определяемые в ходе моделирования, включают в себя:

$$P_i = P_{ст} \left( st_1 \dots st_x(k_{назн}, N_{пер}, N_{тр}) \right) + P_{пер} \left( p_1 \dots p_x(n_{ГДП}) \right) + P_{лок} \left( urlb_1 \dots urlb_x(k_{п}, M) \right), \quad (3)$$

где  $P_{ст} \left( st_1 \dots st_x(k_{назн}, N_{пер}, N_{тр}) \right)$  – требуемые ресурсы по станциям  $st_1 \dots st_x$ , включающие в себя расчётные число формируемых назначений ( $k_{назн}$ ), расчётные размеры переработки вагонов ( $N_{пер}$ ) и обработки транзитных вагонов без переработки ( $N_{тр}$ );

$P_{пер} \left( p_1 \dots p_x(n_{ГДП}) \right)$  – требуемые ресурсы по перегонам  $p_1 \dots p_x$ , включающие расчётные размеры движения грузовых поездов ( $n_{ГДП}$ );

$P_{лок} \left( urlb_1 \dots urlb_x(k_{п}, M) \right)$  – требуемые ресурсы по участкам работы локомотивных бригад  $urlb_1 \dots urlb_x$ , включающие в себя расчётный коэффициент потребности локомотивов ( $k_{п}$ ) и рассчитываемый на его основе парк грузовых локомотивов ( $M_э^{потр}$ ).

Затраты на работу по нормативной технологии или ВТР, а также переходу к ВТР (перемещение локомотивов, локомотивных бригад и другого персонала и т.д.), включают в себя:

$$E^H(E_i^{\text{ВТР}}, E_i^{\text{пер на ВТР}}) = \sum_x^{st=1} (N_{\text{пер}} e_{\text{пер}} + N_{\text{тр}} e_{\text{тр}} + n_3 e_3) + \sum_x^{uch=1} \left( n_{\text{гр}} \frac{L_{\text{уч}}}{v_{\text{уч}}} e_{\text{п-ч}} + n_{\text{гр}} n_{\text{ост}} e_{\text{ост}} + n_{\text{рез}} \frac{L_{\text{уч}}}{v_{\text{уч}}} e_{\text{л-ч рез}} \right), \quad (4)$$

где  $st$  и  $uch$  – технические станции и участки, соответственно;

$N_{\text{пер}}, N_{\text{тр}}$  – число вагонов, преследующих станцию, с переработкой и без неё, вагонов/сутки;

$n_3$  – число задерживаемых поездов на подходе, поездов/сутки;

$e_{\text{пер}}, e_{\text{тр}}$  – удельные затраты на переработку одного вагона, прибывающего в разборочных и транзитных поездах, руб./вагон;

$e_{\text{ост}}$  – укрупненная расходная ставка остановки грузового поезда без учета времени стоянки, руб./поезд;

$n_{\text{гр}}, n_{\text{рез}}$  – число грузовых поездов и локомотивов резервом, поездов/сутки;

$L_{\text{уч}}$  – длина участка, км;

$v_{\text{уч}}$  – участковая скорость, км/час;

$n_{\text{ост}}$  – среднее число остановок поездов на участке, остановок/поезд;

$e_{\text{п-ч}}$  – укрупненная расходная ставка поездо-часа в грузовом движении, руб./поездо-час;

$e_{\text{л-ч рез}}$  – укрупненная расходная ставка локомотиво-часа одиночного следования локомотива, руб./локомотиво-час.

Исходными данными для разработки ВТР являются: директивный план-график проведения технологических окон, календарь обращения пассажирских поездов и «шахматка погрузки» на планируемый период.

В рамках разработки ВТР определяются параметры следующих управляемых переменных: плана формирования грузовых поездов; графика движения поездов; норм массы и длины грузовых поездов; технологии тягового обслуживания полигонов железнодорожной сети; технологии работы технических станций.

В условиях прогнозируемых ограничений станции могут быть объектом ограничения, из-за чего снижаются ее эксплуатационные возможности, либо возрастает нагрузка на станцию по переработке вагонопотоков и обработке поездов, что также может вызвать задержки по неприему.

Для формализации процесса разработки модели железнодорожного транспортного узла в рамках системы имитационного моделирования работы железнодорожных направлений и узлов предложена методика разработки типового имитационного модуля, учитывающего двойственную технико-технологическую природу узла (подразделения железнодорожной сети). Её характеризуют, с одной стороны, компоненты типовой инфраструктуры и железнодорожных операций и, с другой стороны, уникальные технико-технологические особенности. Методика позволяет ускорить разработку модели и повысить её качество. Описан порядок определения расчётных зависимостей в модели узла.

Основным показателем, характеризующим надёжность работы системы ( $H$ ), являются задержки ( $t_3$ ), возникающие при различных уровнях загрузки структуры.

Типовой модуль состоит из двух подсистем – инфраструктурной и технологической. Инфраструктурная часть включает в себя парки, перегоны и соединительные пути, технологическая – технологический процесс обработки потоков на станции, в узле и типовом модуле осуществляется управление очередями, содержащееся в технологии.

Основным структурным элементом типового модуля является парк железнодорожной станции, представленный бункером ( $n$ ), характеризующимся рядом параметров, представляемых в виде вектор-функции.

$$R_{\text{бунк}}(n) = A_1(x_1 \dots x_k(e; lok; br)) + A_2(c_1; c_2(ch)) + A_3(nz_1 \dots nz_x(e)) \quad (5)$$

где  $A_1(x_1 \dots x_k(e; lok; br))$  – группы путей парка ( $n$ ), объединённых общей горловиной, характеризующихся суммарной ёмкостью ( $e$ ), наличием бригад пункта технического обслуживания ( $br$ ) и локомотивом ( $lok$ );

$A_2(c_1; c_2(ch))$  – количество каналов ( $ch$ ) в горловинах ( $c_1; c_2$ ).

$A_3(nz_1 \dots nz_x(e))$  – ёмкость путевого развития ( $e$ ), предназначенная для работы с определённой категорией поездов по типу, длине, назначению плана формирования ( $nz_1 \dots nz_x$ ).

Бункеры между собой соединяются с помощью соединений (перегоны, соединительные пути).

$$R_{\text{соед}}(l) = A_1(kl(d)) \quad (6)$$

где  $A_1(kl(d))$  – соединение ( $l$ ), характеризующееся количеством каналов ( $d$ ) и направлением движения по ним ( $kl$ ).

Технология работы станций определяется на основе технологического процесса их работы методом формализации его элементов, основывающемся на укрупнении однородных групп операций (операции перемещения и без перемещения). Операция технологической цепочки в модели описывается:

$$R_{\text{техн}}(t) = A_1(x_1(p; k); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_4(b) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n) \quad (7)$$

где  $A_1(x_1(p; k); x_1)$  – орта, описывающая маршрут перемещения транспортной единицы или её дислокации, где  $x_1(p; k)$  – множество парков станции ( $p$ ), входящих в маршрут следования, и каналов в горловинах парков ( $k$ );  $x_2$  – множество соединительных путей и перегонов;

$A_2(t)$  – орта времени ( $t$ ) занятия элементов или выполнения операции  $A_1$ ;

$A_3(v)$  – орта локомотивов, используемых для перемещения, вида ( $v$ );

$A_4(b)$  – орта бригад ПТО вида ( $b$ ), обслуживающих транспортную единицу;

$A_5(n_1; n_2; \dots; n_n)$  – орта назначений ( $n$ ) (видов поездов разной нормы длины).

Операции технологической цепочки перемещения описываются:

$$R_{\text{пер}}(t) = A_1(x_1(p; k); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n) \quad (8)$$

Операции без перемещения имеют следующее описание вектор-функцией:

$$R_{\text{б.пер}}(t) = A_1(x_1(p); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_4(b) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n) \quad (9)$$

Элементы технологической цепочки характеризуют возможные условия, имитирующие диспетчерское руководство – управление очередями. В диссертации приведен порядок определения расчётных зависимостей в модели узла.

В работе рассматриваются типовые развязки, классифицирующиеся по зонам возникновения враждебности потоков: сонаправленное схождение/разделение потоков (в разных уровнях); замкнутые развязки, работающие с одним парком (в разных уровнях); развязки противоположно направленных потоков в одном

уровне; развязки противоположно направленных потоков в одном уровне (со шлюзовыми путями).

На основе анализа особенностей проведения ремонтно-строительных работ получен вывод, что при планировании параметров эксплуатационной работы в изменяемых условиях необходимо учитывать коэффициент снижения допустимых размеров движения грузовых поездов, зависящий от технической вооруженности участка и технологии пропуска поездов ( $\Omega$ ). Для этого проведены расчеты, в ходе которых была подтверждена корректность применения коэффициента  $\Omega$ , рассчитанного на основе данных об исполненных перевозках и «окнах».

**В третьей главе** представлены результаты разработки методических положений по обоснованию параметров вариантных технологических режимов эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети.

Для исследования ВТР на различных уровнях организации эксплуатационной работы (станция, участок, дорога или полигон) предлагается использование гибридного модельного комплекса, состоящего из двух подсистем, решающих задачи определения зависимостей расчётных величин («Система макро моделирования узлов и полигонов» (ИМЕТРА)) и прогнозирования ресурсов по вариантам («Имитационная ресурсная модель использования инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС)).

Разработка ВТР работы полигона в условиях действия длительного ограничения (до нескольких суток) начинается с определения продолжительности действия ограничения и места его действия (перегон, участок или железнодорожная техническая станция). Для модели ограничивающего элемента ( $M_{огр}$ ) задаются основные технические и технологические параметры: число главных путей ( $G_{гл(i,j)}$ ); средства сигнализации и связи ( $G_{сцб(i,j)}$ ); вид тяги ( $G_{тяг(i,j)}$ ); нормы массы и длины грузовых поездов ( $G_{мас(i,j)}$  и  $G_{длин(i,j)}$ ); продолжительность технологических «окон» ( $T_{ок(i,j,d)}$ ); размеры пассажирского движения ( $n_{пасс(i,j,d)}$ ), сохраняемых на участке; объемы движения местных поездов на участке ( $n_{мест(i,j,d)}$ ) (формула 10). Определение размеров грузового движения на основе остающейся пропускной способности участка в условиях ограничения ( $n_{груз(i,j,d)}$ ), с учетом принимаемой технологии работы в период ограничения (формула 11). Исходя из средней продолжительности «окон» на участке ( $T_{ок(i,j,d)}$ ) определяется величина снимаемой пропускной способности участка ( $n_{сним(i,j,d)}$ ) (формула 12). Число отклоняемых грузовых поездов ( $n_{откл(i,j,d)}$ ) зависит от плановых размеров движения ( $n_{план(i,j,d)}$ ) и остающейся пропускной способности (формула 13) (рисунок 2).

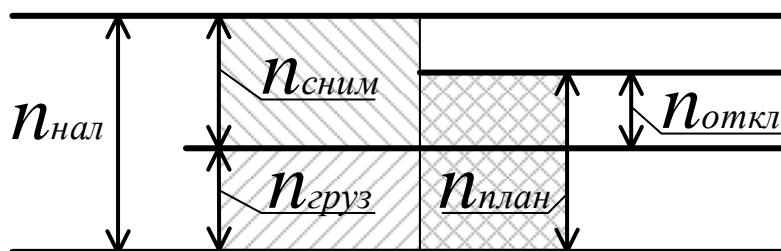


Рисунок 2 – Пропускная способность и размеры движения на участке

$$M_{огр} = \{ G_{гл(i,j)}; G_{сцб(i,j)}; G_{тяг(i,j)}; G_{мас(i,j)}; G_{длин(i,j)}; T_{ок(i,j,d)}; n_{пасс(i,j,d)}; n_{мест(i,j,d)} \}, \quad (10)$$

$$n_{\text{груз}}(i,j,d) = n_{\text{нал}}(i,j,d) - n_{\text{сним}}(i,j,d) = \sum n_{\text{груз}}(i,j,k,d) \varepsilon_k, \text{ [поездов/сут]} \quad (11)$$

$$n_{\text{груз}}(i,j,d) = n_{\text{нал}}(i,j,d) - n_{\text{сним}}(i,j,d) = \sum n_{\text{груз}}(i,j,k,d) \varepsilon_k, \text{ [поездов/сут]} \quad (12)$$

$$n_{\text{откл}}(i,j,d) = n_{\text{план}}(i,j,d) - n_{\text{груз}}(i,j,d), \text{ [поездов/сут]} \quad (13)$$

где  $i, j$  – номера технических станций, ограничивающих участок;

$d$  – продолжительность действия ограничения;

$k$  – категории грузовых поездов;

$n_{\text{нал}}(i,j,d)$  – наличная пропускная способность по участку  $i-j$ , поездов/сутки;

$n_{\text{откл}} \text{ груз}(i,j,d)$  – число отклоняемых поездов с участка  $i-j$ , поездов/сутки;

$\Omega$  – коэффициент снижения допустимых размеров движения грузовых поездов, зависящий от  $G_{\text{эл}}(i,j)$ ,  $G_{\text{сцб}}(i,j)$  и технологии пропуска поездов;

$\varepsilon_k$  – коэффициент съема категории ( $k$ ) грузовых поездов.

На основе величины отклонения грузовых поездов ( $n_{\text{откл}}(i,j,d)$ ) выполняется решение задачи по распределению данного потока на сети неориентированного графа прилегающих участков. Решение задачи по распределению отклоняемого потока ( $n_{\text{откл}}(i,j,d)$ ) производится посредством гибридного модельного комплекса, где последовательно производятся расчёты показателей различных вариантов переключения потоков со сравнением их показателей. Модель в системе ИМЕТРА ( $M_1$ ) можно представить в виде вектор-функций (формула 14).

$$M_{1,m} = \{ R_{\text{бунк}}(n); R_{\text{соед}}(l) \Rightarrow R_{\text{неп}}(t); R_{\text{б.неп}}(t) \}, \forall m, M_1(m), \quad (14)$$

где  $m$  – подвариант модели;

$R_{\text{бунк}}(n)$  – парк железнодорожной станции, представленный бункером ( $n$ ), характеризующийся рядом параметров, представляемых в виде вектор-функции;

$R_{\text{соед}}(l)$  – соединения ( $l$ ) бункеров между собой (перегон, соединительные пути);

$R_{\text{неп}}(t)$  – операция ( $t$ ) технологической цепочки в модели с перемещением, описываемая вектор-функцией;

$R_{\text{б.неп}}(t)$  – операция ( $t$ ) технологической цепочки в модели без перемещения.

Модель полигона сети в АС ПРОГРЕСС ( $M_2$ ), включает в себя «совокупность взаимосвязанных сетевых моделей (графов), описывающих: сеть перегонов и отдельных пунктов ( $G_1$ ); сеть УОЛ и УРЛБ, выделенных технических и грузовых станций ( $G_2$ ); сеть назначений плана формирования поездов и отправительских маршрутов ( $G_3$ ); технологических объектов работы вагонного парка ( $G_4$ )». Графы после накладки расчётных корреспонденций вагонопотоков обретают поездопотоки ( $n_{i,j,k}$ ) и определяется загрузка элементов сети ( $\psi_{i,j}$ ); парки локомотивов ( $P_{i,j,k}$ ). В итоге рассчитываются зависящие эксплуатационные расходы на продвижение поездопотока ( $E_{\text{зав}}(m)$ ). Среди вариантов технологии работы в условиях длительного ограничения выбирается наиболее экономичный вариант при обеспечении устойчивого функционирования сети под которым в данной работе принимается надёжность рассчитываемых элементов, стремящаяся к 1,0 ( $H_{i,j} \Rightarrow 1,0$ ).

$$M_{2,m} = \{ G_1; G_2; G_3; G_4 \Rightarrow n_{i,j,k}; \psi_{i,j}; P_{i,j,k} \}, \forall m, M_2(m), \quad (15)$$

$$E_{\text{зав}}(m) \Rightarrow \min \wedge n_{\text{нал}}(i,j,d) \geq \subset n_{\text{груз}}(i,j,d); \subset \psi_{i,j} \leq \subset \psi_{\text{max } i,j} \quad (16)$$

Максимальная технологически допустимая загрузка элементов сети определяется расчётами в модели  $M_1$ , которая зависит от надёжности рассчитываемого элемента ( $H$ ) (формула 17):

$$M_1(m) = \{ \psi_{i,j}; H_{i,j} \}, H_{i,j} \Rightarrow 1, \quad (17)$$

В работе приведен алгоритм проведения разработки ВТР в условиях действия длительного ограничения с использованием гибридного имитационного модельного комплекса, включающего в себя автоматизированные системы ИМЕТРА и АС ПРОГРЕСС.

Для сокращения дефицитов инфраструктуры в сетевой потоковой модели предложена методика работы полуавтоматического переключателя путей следования назначений поездов. Для укрупненного анализа влияния «окон» (в условиях отсутствия директивного плана-графика) на пропускную способность участков предложена методика определения коэффициента отношения месячных размеров движения к максимальным для последующего уточнения реализуемой пропускной способности участков. Предложена классификация факторов, влияющих на исходные данные для расчета ПФП по причине, измерителю и объекту. Описана методика определения необходимости перерасчета сетевого ПФП. Разработана методика автоматизированного улучшения базового решения, позволяющая верифицировать результат автоматизированного расчета сетевого плана формирования. Предложен алгоритм расчёта областей включения с учётом действующей технологии развоза «местных» вагонопотоков, дополняющий существующий метод расчёта. Даны методические положения по расчету технологически допустимых размеров грузового движения в вагонах, для использования в сетевой потоковой модели.

Разработаны методические положения расчёта влияния объёмов проведения «окон» на полигоны. Расчеты производятся для железных дорог с определением лимитирующего сечения на полигоне (расчёт величины снижения допустимых размеров движения  $\Delta n_{\text{год}}$  производится по формуле 18).

$$\Delta n_{\text{год}} = \Delta n_{1\text{й год}} \times \frac{\sum N_{\text{год}}}{\sum N_{1\text{й год}}}, \quad (18)$$

где  $\sum N_{\text{год}}$  – суммарный объём проводимых окон на расчётный год, часов;

$\sum N_{1\text{й год}}$  – суммарный объём проводимых окон на первый год, часов.

Рассчитаны риски неосвоения перевозок ( $P$ ) для вариантов проведения ремонта инфраструктуры по существующей технологии и с учетом закупки высокопроизводительной техники (формула 19).

$$P = \Delta n * \alpha, \text{ если } \Delta n < 0, \quad (19)$$

где  $\alpha$  – коэффициент перевода поездопотока в грузопотоки в год.

Результаты расчётов приведены на рисунке 3, где для вариантов с увеличением выработки путевых машинных станций и без него приведена технически допустимая передача для стыкового пункта ( $n_{\text{год}}^{**} - \Delta n_{\text{год}}$ ) в сравнении с технически допустимыми размерами передачи без ремонтных «окон» ( $n_{\text{год}}^{**}$ ) и образованием поездопотока на стыковой пункт ( $n_{\text{обр}}$ ).

Параметры технологии тягового обслуживания при разработке ВТР разрабатываются в увязке с нормативной технологией. При направлении поездов кружностью внутри полигона требуется перераспределение тяговых ресурсов, что возможно рассчитать аналитически в зависимости от потребных объёмов перевозок, исходя из коэффициента потребности локомотивов.

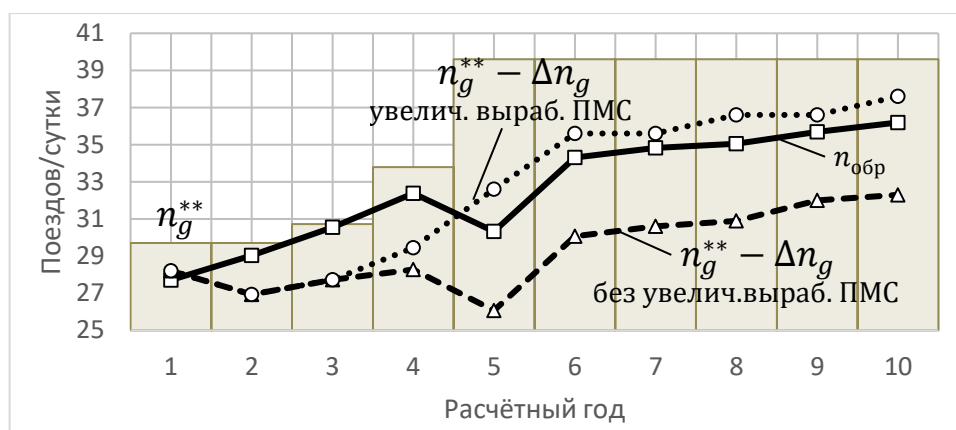


Рисунок 3 –Изменение технически допустимых размеров передачи по стыковому пункту полигона

Сравнение вариантов отклонения поездопотоков предлагается проводить на основе коэффициента надёжности расчётной технологии тягового обслуживания полигона для УРЛБ ( $H_{р.тяг.}$ ) по формуле 20:

$$H_{р.тяг.} = 1 - \frac{(\alpha_{задерж} n_{задерж} + n_{отст.})}{n_{потр}}, \quad (20)$$

где  $n_{задерж}$  – среднесуточное число задержанных поездов на технических станциях в ожидании локомотива, поездов/сутки;

$\alpha_{задерж}$  – доля поездов, задержки которых привели к негативным последствиям (неприём или невывоз других поездов техническими станциями, оставление от движения без локомотивов);

$n_{отст.}$  – среднесуточное число несданных / непринятых на полигон поездов из-за отсутствия обеспечения локомотивами и бригадами, поездов/сутки;

$n_{потр}$  – потребное к перевозке среднесуточное число поездов, поездов/сутки.

Имитационное моделирование работы полигона при использовании рассчитанного числа локомотивов на участках для определения коэффициента надёжности рассматриваемой технологии тягового обслуживания полигона для УРЛБ ( $H_{р.тяг.}$ ) проводилось со снятием показателей  $n_{задерж}$  и  $n_{отст.}$ ,  $\alpha_{задерж}$ . Величина  $\alpha_{задерж}$  определяется подсчётом операций: неприём или невывоз поездов техническими станциями, оставление от движения без локомотивов.

В условиях вариативности направлений погрузки, планов эксплуатационной работы, ограниченности в механизированных средствах путевых машинных станций возникает потребность в выполнении расчетов технически допустимых размеров движения поездов по участкам. Зачастую, когда ВГДП отсутствуют (например, при изменении географии погрузки или среднесрочном планировании) расчёты технически допустимых размеров движения поездов в оконные сутки ( $n_{ок}$ ) выполняются с использованием коэффициента снижения допустимых размеров движения грузовых поездов ( $\Omega$ ), зависящего от технической вооруженности участка и технологии пропуска поездов.

Коэффициент  $\Omega$  может рассчитываться в зависимости от продолжительности «окна», но в таком случае технология подвода и вывода хозяйственных поездов с места проведения работ учитывается косвенно, так как подвод вывод хозяйственных поездов производится в период до и после проведения «окна»,



размеры движения в течение которого остаются неизменными. Предлагается усовершенствование формулы расчета  $n_{ок}$  с добавлением в неё переменной  $n_{хоз}$ :

$$n_{ок} = n_{ГДП} - \frac{n_{ГДП} \times T_{ок} \times \Omega}{24} - n_{хоз}, \text{ если } T_{ок} \neq 0 \wedge n_{ВГДП} = \emptyset, \quad (21)$$

где  $n_{хоз}$  – число ниток хозяйственных поездов для подвода/вывода путевой техники к месту проведения работ.

Число ниток хозяйственных поездов зависит от продолжительности проведения «окна»:

$$n_{хоз} = \begin{cases} n_{хоз}^{ПОДВ} + n_{хоз}^{ВЫВ}, & \text{если } T_{ок} < 1 \text{ сут.}; \\ n_{хоз}^{ПОДВ}, & \text{если } T_{ок} = 1 \text{ сут.} \wedge d_{ок} = T_{ок}; \\ n_{хоз}^{ВЫВ}, & \text{если } T_{ок} = 1 \text{ сут.} \wedge d_{ок} = T_{ок} + 1 \rightarrow n_{ок} = n_{ГДП} - n_{хоз}; \\ n_{хоз}^{ПОДВ}, & \text{если } T_{ок} > 1 \text{ сут.} \wedge d_{ок} = 1; \\ n_{хоз}^{ВЫВ}, & \text{если } T_{ок} > 1 \text{ сут.} \wedge d_{ок} = T_{ок}, \end{cases} \quad (22)$$

где  $n_{хоз}^{ПОДВ}$  – число ниток хозяйственных поездов для подвода путевой техники к месту проведения работ, ниток;

$n_{хоз}^{ВЫВ}$  – число ниток хозяйственных поездов для вывода путевой техники с места проведения работ, ниток;

$d_{ок}$  – номер оконного дня.

Разработана модель типового имитационного модуля сортировочной станции, предложены принципы расчёта показателей, надежности и величины задержек в модели. Основной переменной величиной при исследовании параметров комплекса расформирования сортировочной станции принят коэффициент занятости по времени путей парка приёма ( $\delta$ ). Предложен вариант решения технико-экономической задачи для определения эффективности изменения технологии работы станции.

Предложены принципы расчета фактической эксплуатационной надежности работы комплекса расформирования сортировочной станции, которая определяется в зависимости от коэффициента  $\delta$ . Даны формулы расчета числа задерживаемых поездов в сутки и общего времени задержек поездов на подходах к станции в течение суток, с учетом замедления и последующего разгона.

**В четвёртой главе** представлены результаты теоретических изысканий и практической проверки методических положений по обоснованию ВТР.

Дана функциональная (рисунок 4) и информационная (рисунок 5) структура гибридного модельного комплекса, используемого для оценки вариантов технологии в условиях прогнозируемых ограничений. На её основе описаны постановки задач на программирование Предиктивной бизнес-модели грузовых перевозок ОАО «РЖД» (АС ПБМ), введённой в промышленную эксплуатацию в 2020 году.

На основе технологии разработки гибридного имитационного комплекса с использованием имитационной модели исследованы возможности изменения технологии работы направления Коноша II – Обская Северной ж.д. в условиях



Рисунок 4 – Функциональная структура гибридного модельного комплекса



Рисунок 5 – Информационная структура гибридного модельного комплекса

проведения ремонтно-строительных окон и назначении летних пассажирских поездов. Подтверждено увеличение надежности элементов инфраструктуры, увеличение участковой скорости, снижение простоя по техническим станциям, а также снижение зависящих эксплуатационных расходов на один вагон по предложенному варианту увеличения нормы длины поезда до 71 у.в.

Рассчитано число ниток хозяйственных поездов для технически допустимого числа грузовых поездов по участкам и подтверждена необходимость учета данных поездов при расчете технически допустимого числа грузовых поездов. Точность прогнозирования в АС ПРОГРЕСС для рассматриваемого полигона повысилась в среднем на 3,1 поезда в сутки.

Приведен пример результатов расчетов в рамках сквозного производственного планирования в месячном разрезе в АС ПРОГРЕСС.

Разработана имитационная модель, с помощью которой актуализированы зависимости надежности комплекса расформирования сортировочной станции от загрузки парка приёма станции с учётом условий враждебности поездопотоков на подходе к станции, а также комплекса формирования с учётом взаимодействия транзитного парка и парка отправления, вошедшие в Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД».

Выполнена постановка задачи по определению необходимости расчёта плана формирования грузовых поездов по событиям в системе СПФ-2.

## Заключение

В диссертационном исследовании:

1. Сформулированы основные факторы, при которых рационален переход к разработке вариантных технологических режимов работы полигонов железнодорожной сети (далее – ВТР). Такими факторами являются долгосрочные

прогнозируемые ограничения в эксплуатационной работе, выражающиеся в неравномерности объемов погрузки, пассажирских поездов и проведения ремонтно-строительных «окон». ВТР применяются, когда выполняются условия перехода от нормативной технологии эксплуатационной работы к вариантному технологическому режиму.

2. Определены составляющие ВТР, которыми являются параметры: плана формирования грузовых поездов; графика движения поездов; директивного плана технологических «окон»; норм массы и длины грузовых поездов; технологии тягового обслуживания; технологии работы технических станций и узлов.

3. Для исследования параметров ВТР разработана технология построения, функциональная и информационная структура гибридного модельного комплекса, включающего в себя потоковую (АС ПРОГРЕСС) и имитационную (ИМЕТРА) модели, решающего задачи определения зависимостей расчётных величин структурных элементов полигонов и сравнения ключевых параметров работы полигонов и характеристик взаимодействия элементов при вариантных технологических режимах.

4. Предложено оценивать технологию тягового обслуживания полигона при разработке ВТР уровнем надежности, показатели которого определяются в имитационной модели по разработанной методике.

5. Реализовано применение методов обоснования ВТР в ходе: разработки модуля расчета сетевого плана формирования поездов по событиям;

расчета технически допустимого числа грузовых поездов в АС ПРОГРЕСС; развития методов сквозного производственного планирования в АС ПРОГРЕСС и АС ПБМ;

актуализации зависимости надёжности комплекса расформирования сортировочной станции в Инструктивных указаниях по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД».

### **Основное содержание работы изложено в следующих публикациях.**

*В изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Сапегин, С.В. Нормирование показателей работы сортировочных станций / С. В. Сапегин, Е. О. Дмитриев, А. С. Петров // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 9. – С. 28-33.

2. Бородина, Е.В. Организация местной работы в Московском железнодорожном узле в условиях организации диаметального движения пригородно-городских поездов / Е. В. Бородина, Е. О. Дмитриев, Г. Г. Горбунов, Е.А. Алексевнин // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 1(85). – С. 33-44.

3. Дмитриев, Е.О. Тяговое обеспечение поездной работы при изменениях эксплуатационной обстановки / Е.О. Дмитриев, А.А. Сухов, А.С. Петров, Е.А. Алексевнин // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – №2 (86). – С. 58-66.

4. Левин, Д.Ю. Оптимизация местной работы / Д.Ю. Левин, И.Н. Шапкин, Е.О. Дмитриев // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 9. – С. 38-44.

5. Бородин, А.Ф. Оценка баланса провозной способности полигонов сети железных дорог / А.Ф. Бородин, В.В. Панин, М.А. Агеева, А.Ю. Соколов, С.Ю.

Кириллова, Е.О. Дмитриев, А.А. Кравченко // 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. Бородин, А.Ф. Повышение и использование перевозочной мощности полигонов сети: эффективные стратегия и тактика / А.Ф. Бородин, В.В. Панин, Е.А. Лаханкин, А.Ю. Соколов, Е.А. Лаханкин, Е.О. Дмитриев, А.А. Кравченко // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 7. – С. 8-16. – EDN RZTHWU.

*В изданиях, индексируемых Scopus:*

7. V. Panin, P. Novikov, A. Podorin, E. Lakhankin and E. Dmitriev, "Predictive Modeling of Railway Transportation for the Medium-Term Period with Forecasting of Production and Economic Indicators," 2021 14th International Conference Management of large-scale system development (MLSD), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/MLSD52249.2021.9600121.

*Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:*

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613437 Российская Федерация. "Имитационная ресурсная модель использования инфраструктуры ОАО "РЖД" (АС ПРОГРЕСС) очередь 2019 г.": № 2020612121 : заявл. 28.02.2020 : опубл. 16.03.2020 / М. А. Агеева, А. Ф. Бородин, Е. О. Дмитриев [и др.] ; заявитель ОАО «РЖД».

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613265 Российская Федерация. "Имитационная ресурсная модель использования инфраструктуры ОАО "РЖД" (АС ПРОГРЕСС). Подсистема Предиктивная бизнес-модель грузовых перевозок ОАО "РЖД" (АС ПБМ). Очередь 2019 г.": № 2020612137 : заявл. 28.02.2020 : опубл. 12.03.2020 / М. А. Агеева, А. Ф. Бородин, Е. О. Дмитриев [и др.] ; заявитель ОАО «РЖД».

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666866 Российская Федерация. "Имитационная ресурсная модель использования инфраструктуры ОАО "РЖД" (АС ПРОГРЕСС). Подсистема "Предиктивная бизнес-модель грузовых перевозок ОАО "РЖД" (АС ПБМ) в части расчета показателей сквозного производственного планирования (АС ПРОГРЕСС. АС ПБМ расчет СПП)" : № 2021665666 : заявл. 07.10.2021 : опубл. 21.10.2021 / М. А. Агеева, А. Ф. Бородин, Е. О. Дмитриев [и др.] ; заявитель ОАО «РЖД».

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665106 Российская Федерация. "Имитационная ресурсная модель использования инфраструктуры ОАО "РЖД" (АС ПРОГРЕСС) очередь 2020 г" (АС ПРОГРЕСС Оч. 2020) : № 2021664110 : заявл. 09.09.2021 : опубл. 20.09.2021 / М. А. Агеева, А. Ф. Бородин, Е. О. Дмитриев [и др.] ; заявитель ОАО «РЖД».

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681093 Российская Федерация. "Программное обеспечение технологии организации вагонопотоков (АСОВ) очередь 2021" (АСОВ очередь 2021) : № 2022666464 : заявл. 07.09.2022 : опубл. 09.11.2022 / А. Ф. Бородин, Е. О. Дмитриев, Е. Н. Лазарева [и др.] ; заявитель ОАО «РЖД».

*В других изданиях:*

13. Дмитриев, Е.О. Опыт и эффективность применения автоматизированных систем и баз данных в задачах развития железнодорожных направлений / Е.О. Дмитриев, А. С. Петров, Г. Г. Горбунов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018): Труды седьмой научно-технической конференции, Москва, 14 ноября 2018 года. – Москва: АО "НИИАС", 2018. – С. 193-195.

14. Дмитриев, Е.О. Принципы построения гибридного модельного комплекса для исследования вариантных технологических режимов эксплуатационной работы / Е. О. Дмитриев // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019): труды Восьмой научно-технической конференции, Москва, 21 ноября 2019 года. – Москва: АО "НИИАС", 2019. – С. 91-95.

15. Петров, А.С. Типовые модули имитационного расчета крупных железнодорожных узлов / А. С. Петров, Е. О. Дмитриев, К. Ю. Николаев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019): Материалы двенадцатой международной конференции, Москва, 01–03 октября 2019 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Москва: ИПУ РАН, 2019. – С. 696-699. – DOI 10.25728/mlsd.2019.1.0696. – EDN IZJJAC.

16. Дмитриев, Е.О. Расчётные параметры инструктивных указаний по организации вагонопотоков / Е. О. Дмитриев, А. С. Петров // Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность: Сборник материалов II-й Национальной научно-практической конференции, Москва, 19 апреля 2019 года / Редколлегия: В.А. Козырев, Г.В. Черняева. – Москва: РУТ, 2019. – С. 68-75.

17. Прокофьева, Е.С. Технологическое взаимодействие участников перевозочного процесса при организации перевозок / Е. С. Прокофьева, В. В. Панин, Е. О. Дмитриев // Транспортное планирование и моделирование: Сборник трудов V Международной научно-практической онлайн-конференции, Москва, 16–17 апреля 2020 года. – Москва: РУТ, 2020. – С. 138-141.

18. Дмитриев, Е.О. Об оценке мероприятий по развитию полигонов железнодорожной сети с учетом вариантных технологических режимов эксплуатационной работы / Е.О. Дмитриев // Третья международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (Санкт-Петербург, 23-25 октября 2019 г.): сборник трудов: в 2-х частях / под ред.: А.А. Краснощека, П.К. Рыбина – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. – Ч. 1: Развитие транспортной инфраструктуры и управление перевозками. – С. 80-89.

19. Дмитриев, Е.О. Методы обоснования вариантных технологических режимов работы полигонов железнодорожной сети / Е. О. Дмитриев // Бюллетень ученого совета АО "ИЭРТ". – 2021. – № 6. – С. 26-38.

20. Дмитриев, Е.О. О факторах, влияющих на параметры директивного плана технологических окон при разработке вариантных технологических режимов эксплуатационной работы / Е. О. Дмитриев // Фёдор Петрович Кочнев - выдающийся организатор транспортного образования и науки в России: Труды

международной научно-практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2021 года / Отв. редактор А.Ф. Бородин, сост. Р.А. Ефимов. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 93-98.

21. Агеева, М.А. Новое в расчетах интенсификации перевозок в условиях инфраструктурного развития полигонов сети железных дорог / М. А. Агеева, А. Ф. Бородин, Е. О. Дмитриев [и др.] // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт: Сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ», Российская Федерация, Щербинка, 26–27 августа 2021 года / АО "ВНИИЖТ". – Российская Федерация, Щербинка: АО "ВНИИЖТ", 2021. – С. 4-12.

22. Панин, В.В. Предиктивное моделирование железнодорожных перевозок на среднесрочный период с прогнозированием производственных и экономических показателей / В. В. Панин, П. О. Новиков, А. А. Подорин, Е.А. Лаханкин, Е.О. Дмитриев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): Труды Четырнадцатой международной конференции, Москва, 27–29 сентября 2021 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Москва: ИПУ РАН, 2021. – С. 1028-1036. – DOI 10.25728/9803.2021.57.89.001.

23. Новиков, П.О. Решение задач автоматизированного расчета нормативной технологии организации вагонопотоков, оперативного управления и логического контроля / П.О. Новиков, Р.В. Шиндеров, А.Л. Щепанов, А.А. Сухов, Е.О. Дмитриев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021) : Труды Четырнадцатой международной конференции, Москва, 27–29 сентября 2021 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Москва: ИПУ РАН, 2021. – С. 1020-1027. – DOI 10.25728/8091.2021.47.36.001.

24. Дмитриев, Е.О. О методических принципах имитационного моделирования работы перегонов и станций в рамках расчета наличной пропускной способности перегонов и станций и допустимого уровня его использования / Е.О. Дмитриев // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 122-126.

25. Бородин, А.Ф. Опыт применения в прикладных разработках и пути развития системы имитационного моделирования железнодорожных узлов и направлений / А. Ф. Бородин, К. Ю. Николаев, Е. О. Дмитриев [и др.] // Бюллетень ученого совета АО "ИЭРТ". – 2023. – № 8-1. – С. 14-34. – EDN ONCZOS.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [14, 18, 19, 20, 24] подготовлены единолично.

Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [1-7, 13-17, 21-23, 25] и программах для ЭВМ [8-12], подготовленных в соавторстве: классификация факторов эксплуатационных затруднений на станции и описание конкретных примеров затруднений, влияющих на норму простоя по станции [1], положения технологии местной работы в Московском железнодорожном узле, математические расчёты элементов технологии [2, 4], определение надёжности варианта тягового обслуживания [3], принципы расчёта количества ниток грузовых поездов в период проведения «окон», определение длины составов грузовых поездов по участкам [7-11, 22, 23], критерии автоматизированного перерасчета и

анализа ПФП, методика расчета областей включения [12], технология разработки типового имитационного модуля сортировочной станции, железнодорожных развязок и соединительных ветвей [15], технология расчёта надёжности работы комплекса расформирования с расчётом зависимостей с применением имитационных экспериментов [16, 25], методика разработки имитационной модели в увязке с другими базами данных для сравнения вариантов развития полигона [13], расчёт примеров применения методики на фактических данных для прогнозирования допустимых размеров выгрузки в портах [17], методические принципы расчёта рисков неосвоения объемов перевозок с учётом длительности ремонтно-путевых работ [5, 6, 21].

**Дмитриев Егор Олегович**

**МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ВАРИАНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПОЛИГОНОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ**

2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Подписано в печать «30» октября 2023 г.

Формат 60×84 1/16

Объем усл. печ. л. 1,4

Тираж 100 экз.

Заказ 843

Издательство УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66