

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»  
РУТ(МИИТ)

На правах рукописи



Кравченко Артём Андреевич

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ  
МАНЁВРЕННОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ**

2.9.4. – Управление процессами перевозок (технические науки)

Диссертация на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
Бородин Андрей Федорович

Москва – 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
ГЛАВА 1. РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ И МАНЁВРЕННОСТИ ЕЁ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ .....	13
1.1 Развитие методов обеспечения манёвренности подразделений железнодорожной сети .....	13
1.1.1 Организация эксплуатационной работы подразделений железнодорожной сети в затруднённых условиях .....	13
1.1.2 Развитие системы управления вагонными парками .....	15
1.2 Анализ теоретических исследований по проблеме использования перевозочной мощности .....	19
1.2.1 Анализ исследований по проблеме избыточных вагонных парков, ёмкостей путевого развития .....	19
1.2.2 Анализ исследований по проблеме определения пропускных и перерабатывающих способностей элементов железнодорожной сети .....	22
1.3 Пути повышения уровня использования перевозочной мощности и манёвренности подразделений железнодорожной сети. Постановка задачи исследования .....	24
Выводы по главе 1 .....	29
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОКАЗАТЕЛИ МАНЁВРЕННОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ, И ИХ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ .....	31
2.1 Показатели манёвренности подразделений железнодорожной сети .....	31
2.2 Взаимозависимости коэффициента манёвренности и эффективности и результативности работы сети .....	34

2.3 Исследование диапазонов изменения факторов снижения участковой скорости грузовых поездов из-за наличия избыточных вагонных парков .....	40
2.4 Исследование диапазонов изменения факторов снижения показателей использования локомотивов грузового движения из-за наличия избыточных вагонных парков .....	45
Выводы по главе 2.....	49
<b>ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРОПУСКА ОБЪЁМОВ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ И ПОРОЖНИХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ .....</b>	<b>51</b>
3.1 Основные положения определения инфраструктурных возможностей.....	51
3.2 Порядок определения взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период .....	54
3.2.1 Железнодорожные пути необщего пользования .....	54
3.2.2 Железнодорожные станции выполнения грузовых операций и технические станции.....	56
3.2.3 Расчётные участки.....	60
3.3 Порядок определения взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности по направлениям следования вагонопотоков на расчётный период .....	62
3.3.1 Порядок определения допустимых размеров движения поездов и вагонопотоков с учётом потерь пропускной способности из-за отказов технических средств и технологических нарушений .....	62
3.3.2 Порядок определения допустимых размеров движения поездов и вагонопотоков с учётом заданий по отправлению поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов.....	63
3.3.3 Порядок оценки возможностей инфраструктуры общего пользования по пропуску прогнозного вагоно- и поездопотока.....	64

Выводы по главе 3.....	64
ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	66
4.1 Классификация мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях истощения инфраструктурных и графиковых ресурсов.....	66
4.2 Посуточная динамика неравномерности транспортных процессов и технически допустимых размеров движения.....	73
4.3 Технология расчетов по обоснованию применения мер воздействия на неравномерность транспортных процессов на основе имитационного макромоделирования работы железнодорожных полигонов и крупных узлов.....	97
Выводы по главе 4.....	103
ГЛАВА 5. ПРИМЕНЕНИЕ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАЗРАБОТАННЫХ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.....	104
5.1 Развитие комплекса взаимодействующих прикладных автоматизированных систем.....	104
5.1.1 Разработка подсистемы расчёта взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период.....	106
5.1.2 Разработка подсистемы расчёта взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности по направлениям следования вагонопотоков на расчётный период.....	113
5.1.3 Разработка подсистемы факторного анализа результатов расчёта в составе следующей функции.....	115
5.2 Перспективы развития разработанных научно-методических решений. Расчёт нормативного наличия парка гружёных и порожних вагонов.....	116

Выводы по главе 5.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	119
Список использованных источников .....	120
Приложение А. Влияние мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях исчерпания инфраструктурных и графиковых ресурсов .....	131

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Железнодорожный транспорт в современных условиях сталкивается с динамичной перенастройкой всех транспортно-логистических связей, высокой концентрацией транспортных потоков, необходимостью предоставления окон для реконструкции и ремонтов, необходимостью решения различных оперативных задач на лимитирующих направлениях.

Поэтому необходимо провести исследования, при которых возможно обеспечить эффективную работу транспортных систем в течение внутримесячных и оперативных изменений эксплуатационной обстановки и потребностей в перемещении грузов и пассажиров. При этом результаты исследований оценки возможностей элементов железнодорожной инфраструктуры должны использоваться в новых технологиях и цифровых инструментах планирования перевозок на годовом и месячном горизонтах и при динамическом планировании заявок на перевозку грузов ГУ-12, при согласовании уведомлений на перевозку порожних грузовых вагонов, не принадлежащих перевозчику.

**Степень разработанности темы исследования.** Научной основой диссертационного исследования являются труды в области эксплуатации железнодорожного транспорта, в том числе:

в области системы управления вагонными парками и регулирования перевозок: А.А. Шатохина [105], И.И. Васильева [20, 21], В.А. Соковича, Д.П. Заглядимова, Е.С. Сергеева и В.И. Аксенова [26], Е.С. Сергеева [82, 97], Е.П. Нестерова [64], А.И. Платонова и И.Г. Тихомирова [68, 76, 99], К.А. Бернгарда [9, 91], В.С. Климанова [35, 36], Р.Ф. Сайбаталова [79, 80] и др.;

по проблеме избыточных вагонных парков, ёмкостей путевого развития: И.И. Васильева [20, 21], Б.Д. Никифорова [66], Е.А. Сотникова [87, 88, 86], М.Н. Кудрявцева [51], К.Ю. Цеглинского [103], А.Н. О'Рурка [67], Ф.П. Кочнева и И.Б. Сотникова [47], А.Е. Гибшмана и Э.Д. Фельдман [22], А.Н. Фролова [102],

К.К. Тихонова [100], Е.П. Нестерова [64], В.П. Парфенова [71], П.В. Бартенева [7], В.И. Седова [81], И.Я. Аксенова [2], В.И. Аксенова [1], И.Б. Сотникова [89, 90, 96], Ф.В. Бахадирова [8], А.Ф. Бородина [10, 11, 12, 13, 14, 15, 79], Р.Ф. Сайбаталова [79, 80], Р.В. Лолуа [55] и др.

по проблеме использования и развития пропускных и перерабатывающих способностей элементов железнодорожной сети: П.П. Леонова и А.Ф. Лютца [54], В.А. Соковича и И.Н. Пошивайло [84], Б.М. Максимовича [57], И.И. Васильева [20, 21], Б.Д. Штанге [107], И.Г. Тихомирова [68, 99], П.В. Бартенева [7], К.К. Таля [92, 93, 94, 95], В.Д. Никитина [65], С.Д. Карейши [33], С.Г. Писарева [75], Г. Потгоффа [78], А.Н. Корешкова [46], А.В. Быкадорова [19], В.Я. Негрея [63], И.Т. Козлова [38], А.М. Пешкова [72, 73, 74], Е.В. Архангельского [4], П.А. Козлова [39, 40, 41, 62], Н.В. Кащеевой [34], В.С. Колокольникова [44], И.Г. Слободянюк [83], А.Э. Александрова [3], Е.Н. Тимухиной [98], О.В. Осокина [69] и др.

**Направлениями исследований** являются планирование, организация и управление транспортными потоками, технология транспортных процессов.

**Объектами исследования** являются транспортная сеть, структурные и линейные предприятия этой сети, транспортные потоки, системы управления на железнодорожном транспорте.

**Предмет диссертационного исследования** – перевозочные возможности транспортной инфраструктуры для пропуска объёмов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов.

**Целью диссертационного исследования** является разработка научно-методических решений по повышению уровня использования перевозочной мощности и манёвренности подразделений железнодорожной сети.

**Задачами диссертационного исследования** являются:

определение влияния избыточных вагонных парков на показатели манёвренности подразделений железнодорожной сети, и их взаимозависимостей;

определение комплекса эффективных мероприятий по повышению перевозочных возможностей транспортной инфраструктуры;

определение взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период;

определение порядка оценки возможностей инфраструктуры по пропуску определённого планируемого вагонопотока;

разработка рекомендаций по практическому применению разработанных теоретических положений.

**Научная новизна исследования** заключается в разработке нового научно обоснованного подхода к обеспечению перевозочных возможностей транспортной инфраструктуры на основе оценки манёвренности подразделений железнодорожной сети и обеспечивающего реализацию эффективных мер регулирования эксплуатационной работы, для чего:

исследованы и систематизированы взаимозависимости параметров, характеризующих динамику эксплуатационной работы в условиях изменения манёвренности подразделений железнодорожной сети;

разработаны классификация мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях исчерпания инфраструктурных и графиковых ресурсов, исходя из оценки их влияния на расчётные элементы использования пропускной и провозной способностей, а также технология расчётов по обоснованию применения этих мер на основе имитационного макро моделирования работы железнодорожных полигонов и крупных узлов;

разработаны методические решения по расчёту взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети и направлений следования вагонопотоков для динамического планирования грузовых перевозок и технического нормирования эксплуатационной работы.

**Теоретическая и практическая значимость исследования** заключается в возможности использования результатов в деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта. Разработанный в диссертационной работе математический аппарат позволяет выполнить сравнительный анализ



различных комбинаций мероприятий по воздействию на неравномерность транспортных процессов в условиях истощения инфраструктурных и графиковых ресурсов.

Определение взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период позволяет осуществлять техническое нормирование работы вагонных парков, а также элементов процесса формирования исходных данных для принятия решения о согласовании заявки на перевозку формы ГУ-12 либо в полном объёме, 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.

**Методы исследования, использованные в диссертации:**

изучение и анализ отечественных и зарубежных научных разработок по вопросам оценки влияния избыточных вагонных парков на эффективность и результативность работы железнодорожной сети, ёмкости и пропускной способности железнодорожной инфраструктуры;

статистические методы обработки данных;

структурно-функциональный анализ;

методы имитационного моделирования работы направлений и полигонов железнодорожной сети;

**Положения диссертации, выносимые на защиту:**

выполнен с использованием информационных ресурсов ОАО «РЖД» анализ динамики процессов и показателей эксплуатационной работы и взаимозависимостей их изменения в условиях снижения манёвренности подразделений железнодорожной сети;

исследованы диапазоны изменения факторов снижения участковой скорости грузовых поездов и использования локомотивов грузового движения из-за наличия избыточных вагонных парков;

сформирована научная гипотеза о влиянии мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях истощения

инфраструктурных и графиковых ресурсов, исходя из оценки их влияния на расчётные элементы использования пропускной и провозной способностей;

спланированы и проведены экспериментальные исследования для проверки гипотезы с применением статистических данных и имитационного моделирования;

разработаны методические положения для практического применения полученных теоретических результатов при планировании и нормировании перевозочного процесса;

разработаны постановки задач автоматизации расчётов возможностей железнодорожной инфраструктуры на основе указанных методических решений.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационного исследования реализованы:

в «Методике расчёта возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объёмов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов» утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 19.05.2022 г. № 1324/р [59];

при проектировании Автоматизированной системы «Разработка Генеральной схемы сети железных дорог» (АС РГСЖД), принятой в промышленную эксплуатацию в АО «ИЭРТ» (акт № 4 от 02.12.2021 г.);

при проектировании «АС ПРОГРЕСС в рамках реализации проекта Единой имитационной модели развития инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС. ЕИМ)», принятой в промышленную эксплуатацию в ОАО «РЖД» (акт № ГВЦ-809 от 24.03.2023 г.);

при проектировании «АСОВ в рамках реализации проекта Единой имитационной модели развития инфраструктуры ОАО «РЖД» (АСОВ. ЕИМ)», принятой в промышленную эксплуатацию в ОАО «РЖД» (акт № ГВЦ-808 от 24.03.2023 г.);

при проектировании «АС Паспорт НПС в рамках реализации проекта Единой имитационной модели развития инфраструктуры ОАО «РЖД» («АС Паспорт НПС. ЕИМ)», принятой в промышленную эксплуатацию в ОАО «РЖД» (акт № ГВЦ-862 от 29.03.2023 г.);

при проектировании «АС ПРОГРЕСС. Расчёт оценки функциональных возможностей элементов железнодорожной инфраструктуры по пропуску объёмов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов (АС ПРОГРЕСС. РВИ)», принятой в промышленную эксплуатацию в ОАО «РЖД» (акт № ГВЦ-2265 от 28.08.2023 г.).

**Достоверность и обоснованность научных положений и выводов** подтверждается использованием известных научных методов, современных методик сбора, обработки исходной информации, проверяемых данных транспортной статистики и информационных систем ОАО «РЖД»; формулировкой идеи диссертации на базе анализа прогрессивного опыта организации эксплуатационной работы подразделений железнодорожной сети; корректным применением разработанного математического аппарата, включая применение компьютерной имитационной системы, соответствующей требованиям действующих методик ОАО «РЖД»; согласованностью с положениями эксплуатационной теории и практики, логичной и последовательной структурой исследования с учетом ранее исследованных факторов и результатов предшествующих работ по рассматриваемой тематике; сравнением авторских данных с данными, полученными ранее в работах, посвящённых разработке технологии эксплуатационной работы полигонов и проведения имитационных исследований железнодорожной инфраструктуры; фактом использования результатов диссертационного исследования в нормативных документах и практике планирования перевозочного процесса сети ОАО «РЖД».

**Апробация работы.** Положения диссертации докладывались 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 пяти международных и всероссийских научно-практических конференциях:

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

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

Всероссийской научно-практической конференции «ТРАНСПОРТ: ЛОГИСТИКА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ», Россия, Екатеринбург, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», 18 мая 2023 г.;

II Международной научно-практической конференции «Кочневские чтения-2023: Современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 19–20 апреля 2023 г.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 6 печатных работах, в том числе 2 статьи опубликованы в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [48, 49, 50] подготовлены единолично.

Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [10, 11, 12], подготовленных в соавторстве: изменение показателей при затруднениях, вызванных внутренними и внешними причинами [12], исследование мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях истощения инфраструктурных и графиковых ресурсов [11], надёжность работы и манёвренность подразделений железнодорожной сети [10].

# **ГЛАВА 1. РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ И МАНЁВРЕННОСТИ ЕЁ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ**

## **1.1 Развитие методов обеспечения манёвренности подразделений железнодорожной сети**

### **1.1.1 Организация эксплуатационной работы подразделений железнодорожной сети в затруднённых условиях**

В работе железнодорожного транспорта наблюдались случаи особо длительных осложнений в эксплуатационной работе не только отдельных станций или участков, но и направлений (подразделений железнодорожной сети) следований вагонопотоков. Для таких режимов работы характерно скопление вагонного парка на станциях и участках, при котором возникают задержки поездов, временное отставание от движения, нарушение технологии тягового обслуживания, нарушение сроков доставки и надёжности. В отдельных случаях происходило полное прекращение движения поездов.

Наличие эксплуатационных затруднений способствовало развитию приёмов и методов их устранения, а также теоретическому обобщению производственной практики.

Описаны случаи возникновения затруднений в периоды ведения активных военных действий (работа Одесской железной дороги в период Русско-турецкой войны 1877 [8], военные действия в период 1914 – 1922, 1941 – 1945 [25, 35, 43, 52]) и массовых перевозок хлеба [8, 35]. Основными причинами возникновения затруднений железных дорог дореволюционной России являются несоответствие потребностей экономики страны в перевозках и техническое оснащение станций и участков, а также несовершенство систем управления и нормирования. А.Н. Фролов так высказался по этому поводу: «Основная причина замешательств кроется в том, что к железным дорогам предъявляются требования по перевозкам

свыше тех, которые отвечают их мощности. Всякие попытки заставить железные дороги перевести больше, чем они могут, приводят к обратным результатам – железные дороги перевозят меньше, чем они могли бы перевезти при нормальных условиях» [102].

В труде [37] серьёзное внимание уделено исследованию и обобщению опыта транспортного обеспечения крупнейших стратегических операций Великой Отечественной войны, организации эвакуационных перевозок с запада на восток.

В послевоенный период резко выросли затруднения на дорогах Поволжья, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Затруднения возникали из-за превышения предъявляемых к перевозке вагонов над пропускными способностями и перерабатывающими способностями участков и станций.

В период 50-60-х годов затруднения возникали по следующим причинам [35]:

- отсутствия ритмичного подвода разборочных поездов к узловым станциям, вследствие чего задерживались транзитные поезда;
- накопление в узлах транзитных вагонопотоков одного направления, вследствие чего задерживались транзитные поезда свободного направления;
- перенасыщения участков поездами из-за неудовлетворительной работы станций и узлов.

Затруднения в период 1970–1980-х годов имели стабильный характер [35]. В 1978–1984 гг. длительные сбои в движении грузовых поездов имели место на Транссибирской магистрали в восточном направлении из-за повышенного парка вагонов и неприёма Дальневосточной дорогой вследствие несвоевременной выгрузки вагонов в морских портах (продолжительность сбоев в движении из-за повышенного парка вагонов составляла 8–10 месяцев в году). Из-за несвоевременной выгрузки вагонов в порту Осетрово на подходах к станции Лена в летний период ежедневно на любой момент времени находились одновременно задержанными до пяти и более тысяч вагонов.

Результаты исследования манёвренности полигонов железнодорожной сети показали, что за период с 1996 по 2009 гг. количество отдельных пунктов

сократилось, при этом парк грузовых вагонов увеличивался темпами, кратно опережающими темпы прироста протяжённости приемо-отправочных и сортировочных путей станций [14].

Пандемия, вызванная коронавирусной инфекцией COVID-19, оказала негативное влияние на перевозочные ресурсы компании ОАО «РЖД». К середине февраля 2022 года вспышка «омикрона» привела к беспрецедентному росту заболеваемости среди локомотивных бригад, вследствие чего крупные промышленные предприятия столкнулись с рисками остановки работы [45].

### **1.1.2 Развитие системы управления вагонными парками**

Исследование развития системы управления вагонными парками с 1868 по 2019 г. проанализировано в кандидатской диссертации А.А. Шатохина [105].

Профессор Васильев И.И. сформулировал методологию регулирования вагонных парков [20].

Для цели устранения затруднений в эксплуатационной работе из-за несвоевременной переработке вагонов в узлах П.Я. Гордеенко указывал на необходимость согласования предъявляемых заданий с мощностью отдельных элементов [23].

В.И. Балч исследовал вопросы оперативного регулирования перевозок [5].

Работы В.И. Аксенова, Д.П. Заглядимова, Е.С. Сергеева, В.А. Соковича [1, 26, 85] посвящены исследованию необходимости применения регулировочных мероприятий, основанных на сравнении фактического наличия вагонных парков над плановыми или нормальными значениями.

В работе [82] Е.С. Сергеев сформулировал принципы разработки технического плана, сформулировал условия не превышения потребного парка над предельной величиной, зависящей от ёмкости путевого развития. Сформулированы принципы предотвращения образования затруднений в работе железнодорожного транспорта [82]:

- 1) контроль за погрузкой, наличием и приёмом гружёных вагонов;

2) установление нормативов пропускной и перерабатывающей способности регулируемых объектов;

3) установление нормы допустимого накопления поездопотока в адрес регулируемого объекта;

4) установление для каждого объекта регулирования нормальное плановое и максимальное наличие, определяемое пропускной способностью.

Е.П. Нестеров предложил оценивать манёвренность подразделений железнодорожной сети «коэффициентом насыщенности» – отношения наличного вагонного парка к развёрнутой длине главных и станционных путей [64].

В работах А.И. Платонова и И.Г. Тихомирова [76, 99] отмечена необходимость применения регулировочных мероприятий в случае нарушения взаимодействия парков и прилегающих участков.

Коллектив учёных ВНИИЖТ под руководством К.А. Бернгарда [9] разработали рекомендации организации подвода поездов к узлам и изменение очередности продвижения отдельных поездов.

Профессором К.А. Бернгардом составлена таблица основных регулировочных мероприятий, применяемых поездными диспетчерами [91].

В работах [31, 56] даны рекомендации применения регулировочных мероприятий на основе опыта поездных диспетчеров Западно-Сибирской и Южно-Уральской железных дорог.

В диссертации В.С. Климанова [35] исследован процесс управления и регулирования поездной работы на направлении. На первом этапе исследования определяются закономерности простоя вагонов в парке приёма и задержек по неприёму станцией от уровня насыщения парка (те же зависимости для парков отправления и взаимодействия участков и станций). На втором этапе статистические оцениваются пороговые значения вагонопотока, при котором возникают задержки по неприёму. На третьем этапе выявляется необходимый комплекс мероприятий по ликвидации или предупреждению затруднений на основе разработанного алгоритма.



В исследовании [80] Р.Ф. Сайбаталова серьёзное внимание уделено обобщению опыта и исследованию (разработке) комплекса мер по устранению затруднений в эксплуатационной работе полигонов железнодорожной сети.

Настоящее диссертационное исследование основывается на практическом опыте управления и учитывает применяемые регулировочные решения:

- интенсификацию выгрузки и развоза местного груза;
- вывоз поездов с сортировочных и грузовых станций;
- интенсификацию маршрутных перевозок;
- регулирование погрузки по назначениям;
- изменение размещения парков порожних вагонов;
- изменение направления транзитных вагонопотоков;
- изменение подвода поездов;
- интенсификацию сдачи вагонов с полигона;
- вывод порожних вагонов, не участвующих в перевозочном процессе, в отстой на станции с незагруженной путевой ёмкостью или на пути необщего пользования;
- ограничение поступления вагонов на полигон.

Существующая практика планирования и организации эксплуатационной работы, основываемая на сопоставлении наличной и потребной перевозочных возможностей подразделений железнодорожной сети, не даёт приемлемых результатов. Традиционный подход с включением в расчёты коэффициентов неравномерности движения также не решает данную проблему, так как природа транспортной неравномерности весьма многофакторна. В простом случае, когда железнодорожный участок или направление имеет значительный резерв пропускной способности, для устойчивой поездной работы достаточно принять потребные размеры грузового движения максимального месяца, увеличенные на полтора среднеквадратичных отклонения. Однако, в большинстве случаев возникают как резервы, так и дефициты возможностей инфраструктуры на плановый период (рисунок 1.1), что обусловлено изменением доступных

мощностей в связи с предстоящим объёмом ремонтных и строительных работ, количеством курсирующих пассажирских поездов, а также изменением объёмных параметров грузовой базы и её распределения по направлениям сети. При этом среднемесячные потребности в перевозках не превышают среднемесячных значений пропускной способности [11].



Рисунок 1.1 – Сопоставление суточной неравномерности образования поездопотоков и возможностей инфраструктуры

Поэтому необходимо провести исследования, при которых возможно обеспечить эффективную работу транспортных систем в течение внутримесячных и оперативных изменений эксплуатационной обстановки и потребностей в перемещении грузов и пассажиров. При этом результаты исследований оценки возможностей элементов железнодорожной инфраструктуры должны использоваться:

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

при динамическом моделировании загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» в целях применения расчётных параметров автоматизированной системе «Динамическая модель загрузки инфраструктуры», используемой при согласовании заявок на перевозку грузов (в части принятия решения о согласовании заявки либо в полном объёме, 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) [11].

## 1.2 Анализ теоретических исследований по проблеме использования перевозочной мощности

### 1.2.1 Анализ исследований по проблеме избыточных вагонных парков, ёмкостей путевого развития

Профессор Е.А. Сотников количественный уровень манёвренности подразделений железнодорожной сети предложил оценивать коэффициентом манёвренности [86]:

$$\alpha_{\text{ман}} = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{факт}}}{P_{\text{max}} - P_{\text{техн}}} * 100\%$$

$$0 \leq \alpha_{\text{ман}} \leq 100\%,$$

где  $P_{\text{факт}}$  – фактический рабочий парк грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, на путях железнодорожной инфраструктуры общего пользования;

$P_{\text{техн}}$  – наибольший технически допустимый (рациональный) рабочий парк грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, на путях железнодорожной инфраструктуры общего пользования, при котором станции полигона обеспечивают беспрепятственный прием поездов;

$P_{\text{max}}$  – рабочий парк грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, на путях железнодорожной инфраструктуры общего пользования, при превышении которого все поезда на полигоне следуют с задержками на подходах к техническим и грузовым станциям.

Коэффициент манёвренности принимает значения от 0 до 1, при этом возможны 3 сценария:

– если выполняется неравенство  $P_{\text{факт}} \leq P_{\text{техн}} < P_{\text{max}}$ , то  $\alpha_{\text{ман}} = 1$ . В этом случае все поезда следуют по полигону беспрепятственно;

– если выполняется неравенство  $P_{\text{техн}} < P_{\text{max}} \leq P_{\text{факт}}$ , то  $\alpha_{\text{ман}} = 0$ . В этом случае все поезда следуют по полигону с задержками на подходах к техническим и грузовым станциям;

– если выполняется неравенство  $P_{\text{техн}} < P_{\text{факт}} < P_{\text{max}}$ , то в этом случае только часть поездов следуют по полигону с задержками на подходах к техническим и грузовым станциям.

Таким образом, **коэффициент манёвренности характеризует доли вагонопотоков, следующих с задержками и беспрепятственно** [49].

Однако по значениям  $\alpha_{\text{ман}} = 0,87\%$  или  $0,33\%$  невозможно понять степень «плачевности ситуации», а тем более её причину; невозможно оценить, как отработало подразделение и какому из них надо помогать ресурсами.

Поскольку многолетняя практика показывает недостижимость идеального значения, необходимо найти множество минимальных значений коэффициента манёвренности, являющихся технологически допустимыми и экономически обоснованными. В работе [79] определено, что допустимое значение коэффициента манёвренности подразделений железнодорожной сети зависит от четырёх факторов:

– надёжности выполнения графика движения пассажирских поездов (в отношении опозданий пассажирских поездов из-за неудовлетворительной организации грузового движения);

– надёжности выполнения сроков доставки грузов и порожних вагонов, не принадлежащих перевозчику (в том числе при перевозках с согласованным временем отправления и прибытия, устанавливаемым договором);

– надёжности обеспечения принятых заявок на перевозки грузов погрузочными ресурсами;

– надёжности обеспечения вывоза поездов с технических и грузовых станций тяговыми ресурсами.

Важно знать не только технически допустимые и эффективные значения коэффициента манёвренности, но и способы повышения манёвренности подразделений железнодорожной сети [49].

Исследование влияния наличия избыточных парков на эффективность и результативность работы сети системно проанализированы в кандидатской диссертации Р.Ф. Сайбаталова [80]. Автором проведён анализ теоретических исследований И.И. Васильева [20, 21], Б.Д. Никифорова и Е.А. Сотникова [66, 87, 88, 86], М.Н. Кудрявцева [51], К.Ю. Цеглинского [103], А.Н. О'Рурка [67], Ф.П. Кочнева и И.Б. Сотникова [47], А.Е. Гибшман и Э.Д. Фельдмана [22], А.Н. Фролова [102], К.К. Тихонова [100], Е.П. Нестерова [64], В.П. Парфенова [71], П.В. Бартенева [7], В.И. Седова [81], И.Я. Аксенова [2], В.И. Аксенова [1], И.Б. Сотникова [89, 90, 96], Ф.В. Бахадирова [8], А.Ф. Бородина [13, 14, 15, 79]. После анализа методов оценки ёмкости и пропускной способности железнодорожной инфраструктуры автором сделаны выводы, что предотвращение эксплуатационных затруднений требует восстановления и поддержания баланса мощности железнодорожной инфраструктуры, перевозочных ресурсов (тягово-энергетических и вагонного парка), методов управления движением.

В рамках исследования [80] Р.Ф. Сайбаталовым на основе систематизации современных факторов и результатов имитационного моделирования разработана методика размещения на заданном путевом развитии вагонных парков, участвующих и не участвующих в перевозочном процессе.

Сформулирован порядок вычисления потерь пропускной и перерабатывающей способности при высоком уровне заполнения путевого развития вагонным парком при помощи имитационного моделирования и аналитическими расчётами. Исследован механизм действия факторов, определяющих потери пропускной способности перегонов при избыточном насыщении участков поездами. Исследовано влияние избыточных вагонных парков на потребность в локомотивах и локомотивных бригадах грузового движения.

В исследовании для ликвидации затруднений в работе портовых и пограничных станций [55] впервые предложено резервирование ёмкостей для временного размещения вагонов, ожидающих освобождения грузовых фронтов. Целесообразность резервирования ёмкостей путевого развития основывается на технико-экономическом сравнении общих приведённых затрат, связанных с сооружением и эксплуатацией резервных станций дополнительными приведёнными расходами, которые обусловлены накоплением избыточного вагонного парка. Станция разъезд 9 км Северо-Кавказской железной дороги – пример резервирования ёмкостей.

В Имитационной ресурсной модели использования инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС) ежемесячно выполняются расчёты по оценке возможностей обеспечения плановых объёмов перевозок на предстоящий месяц с учётом пропускных и перерабатывающих способностей инфраструктуры ОАО «РЖД» (в т.ч. объёмов ремонтных и строительно-монтажных работ) и обеспечения тяговыми ресурсами [13].

В соответствии с утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 12 ноября 2015 г. № 2668р «Методикой расчёта показателей работы вагонных парков, позволяющих осуществлять мониторинг, анализ и оценку влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети» ежемесячно выполняются расчёты по оценке влияния избыточности вагонных парков на эффективность и результативность работы сети.

### **1.2.2 Анализ исследований по проблеме определения пропускных и перерабатывающих способностей элементов железнодорожной сети**

Правильное определение возможностей инфраструктуры является важным элементом при прогнозировании эксплуатационной обстановки, разработке мероприятий по усилению инфраструктуры на перспективу и т.д.

Каждый элемент железнодорожной сети оказывает влияние на результирующие значения пропускной и перерабатывающей способностей.

Проблемы определения пропускных и перерабатывающих способностей железнодорожных станций исследуются в работах П.П. Леонова и А.Ф. Лютца [54], В.А. Соковича и И.Н. Пошивайло [84], Б.М. Максимовича [57], И.И. Васильева [21], Б.Д. Штанге [107], И.Г. Тихомирова [68.], П.В. Бартенева [7], К.К. Таля [92, 93, 94, 95], В.Д. Никитина [65], С.Д. Карейши [33], С.Г. Писарева [75], Г. Потгоффа [78], А.Н. Корешкова [46], А.В. Быкадорова [19], В.Я. Негрея [63], И.Т. Козлова [38], А.М. Пешкова [72, 73, 74], Е.В. Архангельского [4], Х.М. Лапицкого [53], Н.И. Федотова [101], А.М. Баранова [6] и др., а также различных версий Инструкций по расчёту пропускной и провозной способностей железных дорог.

Профессором П.А. Козловым при определении пропускной способности устройств предложен способ имитационного моделирования [39, 40, 41, 62]. С использованием имитационных систем ИСТРА и ИМЕТРА расширено исследование в работах Н.В. Кащеевой [34], В.С. Колокольникова [44], И.Г. Слободянюк [83] и др.

Профессором А.Э. Александровым разработана методология моделирования транспортных систем в зависимости от поставленной задачи, свойств моделируемой системы и характера использования модели [3].

Е.Н. Тимухиной разработана методология оценки функциональной надёжности железнодорожных станции и определение возможностей её повышения при технологических сбоях методом имитационного моделирования [98].

О.В. Осокиным технология автоматизированного построения интеллектуальных имитационных моделей для расчёта железнодорожных станций и узлов [69].

И.П. Бурнашовым исследованы вопросы увеличения пропускной способности и организации работы станций и участков на грузонапряжённых двухпутных линиях [18, 16, 17].

В настоящее время порядок определения пропускных и перерабатывающих способностей элементов железнодорожной сети устанавливается Инструкцией

по расчёту пропускной и провозной способностей железных дорог, утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 4 марта 2022 г. № 545/р [29] и Методикой расчёта перерабатывающей способности станции, во взаимосвязке с перерабатывающими возможностями грузовых фронтов, мест общего и необщего пользования, на которых осуществляется грузовая работа, утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 18 марта 2019 г. № 503/р.

Проводимые ежемесячные расчёты оценки возможностей инфраструктуры на предстоящий месяц основываются на среднемесячных данных и не учитывают в полной мере неравномерность транспортных потоков. В анализе влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети показатели определяются в целом по дороге. Такое укрупнение полигонов и усреднение за месяц носит не способно адекватно отразить текущее положение дел. При одной и той же величине фактического рабочего парка изменение показателей может существенно отличаться.

Поскольку внутримесячная неравномерность имеет большой диапазон необходимо понимать возможности и потребности посуточно с детализацией на каждом расчётном элементе сети. Основные принципы расчёта инфраструктурных возможностей должны базироваться на [61] и [60].

### **1.3 Пути повышения уровня использования перевозочной мощности и манёвренности подразделений железнодорожной сети.**

#### **Постановка задачи исследования**

Анализ теоретических исследований и практический опыт организации эксплуатационной работы позволяет сделать вывод, что эксплуатационные затруднения, возникающие в работе подразделений железнодорожной сети, имеют причинно-следственные связи (рисунок 1.2). Неудовлетворительная организация эксплуатационной работы, отказы технических средств, плановые ремонтные работы путевого хозяйства и технических устройств приводят к появлению избыточного вагонного парка внутри элемента железнодорожной инфраструктуры



[24, 32]. Чаще всего появлению избыточного парка способствует следующая ситуация: после временного или достаточно продолжительного снижения пропускной или перерабатывающей способности какого-либо устройства (канал) происходит накопление парка в ёмкости перед устройством (бункер). Или наоборот, снижение ёмкости и как следствие снижение пропускной или перерабатывающей способности устройства. Результаты эксплуатационной работы комбинации канала и бункера (дуплекс) оказывают влияние на смежные каналы и бункеры. Сущность протекающих в дуплексах процессов системно исследована в диссертации В.С. Колокольникова [44].

Возникновение эксплуатационного затруднения при отсутствии необходимых резервов путевого развития вызывает неуправляемую неравномерность потоков и «сковывает» работу следующей цепочки элементов подразделения железнодорожной сети: погрузочно-выгрузочные терминалы/промышленные предприятия – путь необщего пользования – грузовая станция примыкания – прилегающий участок или соединительный путь – сортировочная станция – прилегающий участок – участковая станция проведения технических операций – прилегающий участок – стык подразделения – смежное подразделение железнодорожной сети.

Для «расцикливания» и преодоления затруднений и предотвращения их в дальнейшей работе необходимо разработать решения по повышению уровня использования перевозочной мощности и манёвренности подразделений железнодорожной сети.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

определить влияния избыточных вагонных парков на показатели манёвренности подразделений железнодорожной сети, и их взаимозависимостей;

определить комплекс эффективных мероприятий по повышению перевозочных возможностей транспортной инфраструктуры;

определить взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период;

определить порядок оценки возможностей инфраструктуры по пропуску определённого планируемого вагонопотока;

разработать рекомендации по практическому применению разработанных теоретических положений.

Указанные выше задачи исследования следует структурировать по схеме, представленной на рисунке 1.3.





Рисунок 1.3 – Структура решения задачи повышения уровня использования перевозочной мощности и манёвренности подразделений железнодорожной сети

## Выводы по главе 1

1. Опыт организации эксплуатационной работы подразделений железнодорожной сети позволяет сделать вывод, что затруднения в работе являются следствием диспропорции потребностей в перевозках и возможностей инфраструктуры. Задержки в работе подразделений железнодорожной сети возникают из-за превышения:

- размеров движения над пропускными и перерабатывающими способностями;
- размеров рабочего парка над ёмкостью путевого развития;
- объёмов поездной и манёвровой работы над эксплуатируемыми парками локомотивов и явочной численностью локомотивных бригад.

2. Эксплуатационные затруднения, возникающие в работе подразделений железнодорожной сети, имеют причинно-следственные связи. С учётом результатов предыдущих исследований составлена схема развития затруднений в работе подразделения железнодорожной сети.

3. Существующая практика планирования и организации эксплуатационной работы, основываемая на сопоставлении наличной и потребной перевозочных возможностей подразделений железнодорожной сети, не даёт приемлемых результатов. Традиционный подход с включением в расчёты коэффициентов неравномерности движения также не решает данную проблему, так как природа транспортной неравномерности весьма многофакторна. Поэтому необходимо провести исследования, при которых возможно обеспечить эффективную работу транспортных систем в течение внутримесячных и оперативных изменений эксплуатационной обстановки и потребностей в перемещении грузов и пассажиров.

4. Для решения задачи повышения уровня использования перевозочной мощности и манёвренности подразделений железнодорожной сети необходимо учитывать взаимосвязь ряда факторов, таких как влияние избыточных вагонных парков на показатели манёвренности подразделений железнодорожной сети,

и их взаимозависимостей, а также взаимозависимости функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети.

## ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОКАЗАТЕЛИ МАНЁВРЕННОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ, И ИХ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ

### 2.1 Показатели манёвренности подразделений железнодорожной сети

Профессором Е.А. Сотниковым определены показатели, влияющие на манёвренность подразделений железнодорожной сети. При этом природа каждого показателя многофакторна:

Значения **фактического рабочего парка** грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, на путях железнодорожной инфраструктуры общего пользования  $P_{\text{факт}}$  зависят от изменения объёмных параметров грузовой базы и её распределения по направлениям сети, а также оперативных изменений эксплуатационной обстановки.

**Наибольший технически допустимый (рациональный) рабочий парк** грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, на путях железнодорожной инфраструктуры общего пользования, при котором **станции полигона обеспечивают беспрепятственный приём поездов**  $P_{\text{техн}}$  зависит от соблюдения ряда условий на станциях и участках.

#### *Железнодорожная станция отправления*

В соответствии с [60], на станциях назначения должны соблюдаться условия:

$$\sum N_{\text{приб}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{приб}}^{\text{пор}} \leq N_{\text{т.м}}, \quad (2.1)$$

где  $\sum N_{\text{приб}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{приб}}^{\text{пор}}$  – общий объём гружёных и порожних вагонов, подлежащих приёму станцией назначения в сутки расчётного периода;

$N_{\text{т.м}}$  – технически допустимые размеры местных вагонопотоков (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 приёмсдаточными операциями на станции примыкания)  $N_{\text{т.марш.}}^{\text{под}}$ ;

$$\sum N_{\text{выгр}} \leq N_{\text{выгр.}j}^{\text{ст}}, \quad (2.2)$$

$$\sum N_{\text{погр}} \leq N_{\text{погр.}j}^{\text{ст}}, \quad (2.3)$$

где  $\sum N_{\text{выгр}}, \sum N_{\text{погр}}$  – общий объём вагонов, подлежащих выгрузке (погрузке) на определённой станции назначения в сутки расчётного период;

$N_{\text{выгр.}j}^{\text{ст}}, N_{\text{погр.}j}^{\text{ст}}$  – перерабатывающая способность станции по выгрузке (погрузке);

$$\sum N_{\text{выгр}} \leq N_{\text{выгр.}j}^{\text{н}}, \quad (2.2)$$

$$\sum N_{\text{погр}} \leq N_{\text{погр.}j}^{\text{н}}, \quad (2.3)$$

где  $\sum N_{\text{выгр}}, \sum N_{\text{погр}}$  – общий объём вагонов, подлежащих выгрузке (погрузке) на определённой станции назначения в сутки расчётного период;

$N_{\text{выгр.}j}^{\text{н}}, N_{\text{погр.}j}^{\text{н}}$  – перерабатывающая способность железнодорожного пути необщего пользования, обслуживающего грузополучателя  $j$  по выгрузке (погрузке);

Числовым выражением инфраструктурных возможностей является перерабатывающая способность того или иного элемента, определяемая в соответствии с [29].

### ***Участки в пути следования***

$$\sum N_{\text{уч}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{уч}}^{\text{пор}} \leq N^{\text{ГДП}}, \quad (2.4)$$

где  $\sum N_{\text{уч}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{уч}}^{\text{пор}}$  – общий объём гружёных и порожних вагонов, подлежащих пропуску по расчётному участку назначения в сутки расчётного периода;

$N^{\text{ГДП}}$  – технически допустимые размеры вагонопотоков на участке (в том числе действующего графика движения поездов, в том числе вследствие действия различных ограничений по пропуску вагонов (наличие технологических «окон» для проведения ремонтных и строительных работ, действующих предупреждений, локомотивов и локомотивных бригад);



$$\sum N_{\text{уч}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{уч}}^{\text{пор}} \leq N_{\text{ст}}, \quad (2.5)$$

где  $\sum N_{\text{уч}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{уч}}^{\text{пор}}$  – общий объём гружёных и порожних вагонов, подлежащих пропуску по расчётному участку назначения в сутки расчётного периода;

$N_{\text{ст}}$  – технически допустимые размеры вагонопотоков на станциях выполнения технических операций (согласно действующему плану формирования поездов и плану маршрутизации).

Определение возможности участка или направления по пропуску поездопотока выполняется построением прогнозного графика движения поездов. Автоматическое построение должно удовлетворять требованиям [27]. Построение прогнозного графика грузовых поездов выполняется с учётом следующих условий:

- предоставления нормативных технологических «окон» для текущего содержания инфраструктуры;
- предоставления технологических «окон» для ремонтных и строительных работ;
- действующих ограничений скоростей;
- назначения пассажирских поездов неежедневного обращения;
- суточной неравномерности грузового движения в течение месяца.

### ***Железнодорожная станция отправления***

На станции отправления должны соблюдаться следующие условия:

$$\sum N_{\text{отпр}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{отпр}}^{\text{пор}} \leq N_{\text{т.м}}, \quad (2.6)$$

где  $\sum N_{\text{отпр}}^{\text{гр}} + \sum N_{\text{отпр}}^{\text{пор}}$  – общий объём гружёных и порожних вагонов, подлежащих приёму станцией отправления в сутки расчётного периода;

$N_{\text{т.м}}$  – технически допустимые размеры местных вагонопотоков (в том числе маршрутизированные, передаваемые с железнодорожного пути необщего пользования без технических операций на станцию примыкания  $N_{\text{т.марш}}^{\text{просл}}$ , либо со сменой поездных локомотивов и приемосдаточными операциями на станции примыкания)  $N_{\text{т.марш}}^{\text{под}}$ ;

$$\sum N_{\text{погр}} \leq N_{\text{погр},j}^{\text{СТ}}, \quad (2.7)$$

где,  $\sum N_{\text{погр}}$  – общий объём вагонов, подлежащих погрузке на определённой станции отправления в сутки расчётного периода;

$N_{\text{погр},j}^{\text{СТ}}$  – перерабатывающая способность станции по погрузке;

$$\sum N_{\text{погр}} \leq N_{\text{погр},j}^{\text{Н}}, \quad (2.8)$$

где  $\sum N_{\text{погр}}$  – общий объём вагонов, подлежащих погрузке определённым грузоотправителем в сутки расчётного периода;

$N_{\text{погр},j}^{\text{Н}}$  – перерабатывающая способность железнодорожного пути необщего пользования, обслуживающего грузополучателя  $j$  по погрузке;

Числовым выражением инфраструктурных возможностей является перерабатывающая способность того или иного элемента, определяемая в соответствии с [29].

Рабочий парк грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, на путях железнодорожной инфраструктуры общего пользования, при превышении которого **все поезда на полигоне следуют с задержками на подходах к техническим и грузовым станциям**  $P_{\text{max}}$  по результатам множественных имитационных расчётов принимается равным [126]:

$$P_{\text{max}} = \frac{P_{\text{техн}}}{0,65}, \quad (2.9)$$

## 2.2 Взаимозависимости коэффициента манёвренности и эффективности и результативности работы сети

Методика [61] определяет порядок анализа и оценки влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети ежемесячно. В настоящем диссертационном исследовании с использованием информационных ресурсов ОАО «РЖД» за период с 2018 по 2022 г. определены взаимозависимости фактических показателей манёвренности железных дорог и показателей эксплуатационной работы, натуральных показателей, экономических показателей деятельности ОАО «РЖД» (рисунок 2.1).

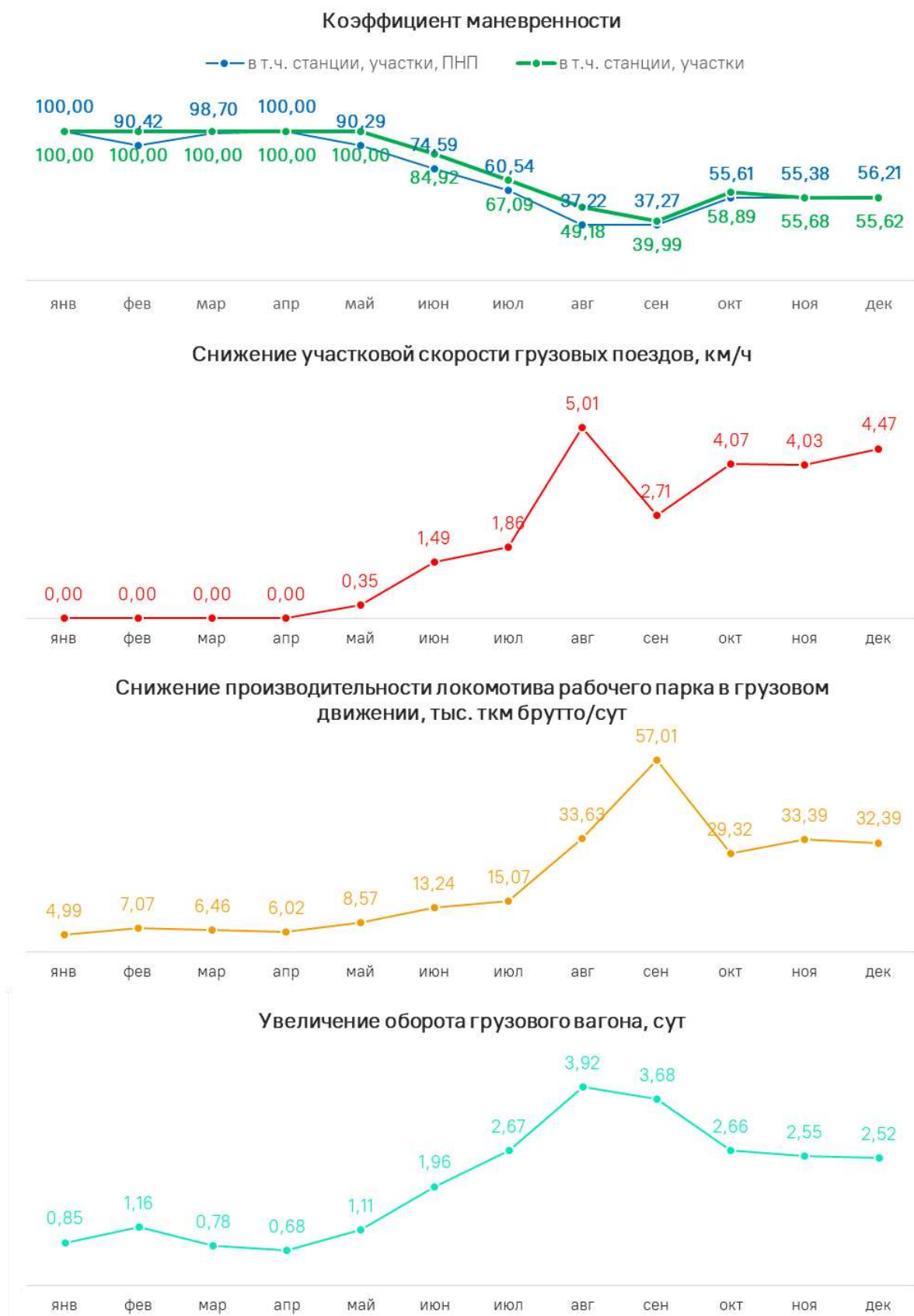


Рисунок 2.1 – Взаимозависимость значений фактического показателя манёвренности железной дороги и показателей эксплуатационной работы, натуральных показателей, экономических показателей деятельности ОАО «РЖД»

## Количество временно отставленных поездов



## Потери тяговых ресурсов



## Итоговые стоимостные показатели для ОАО «РЖД»

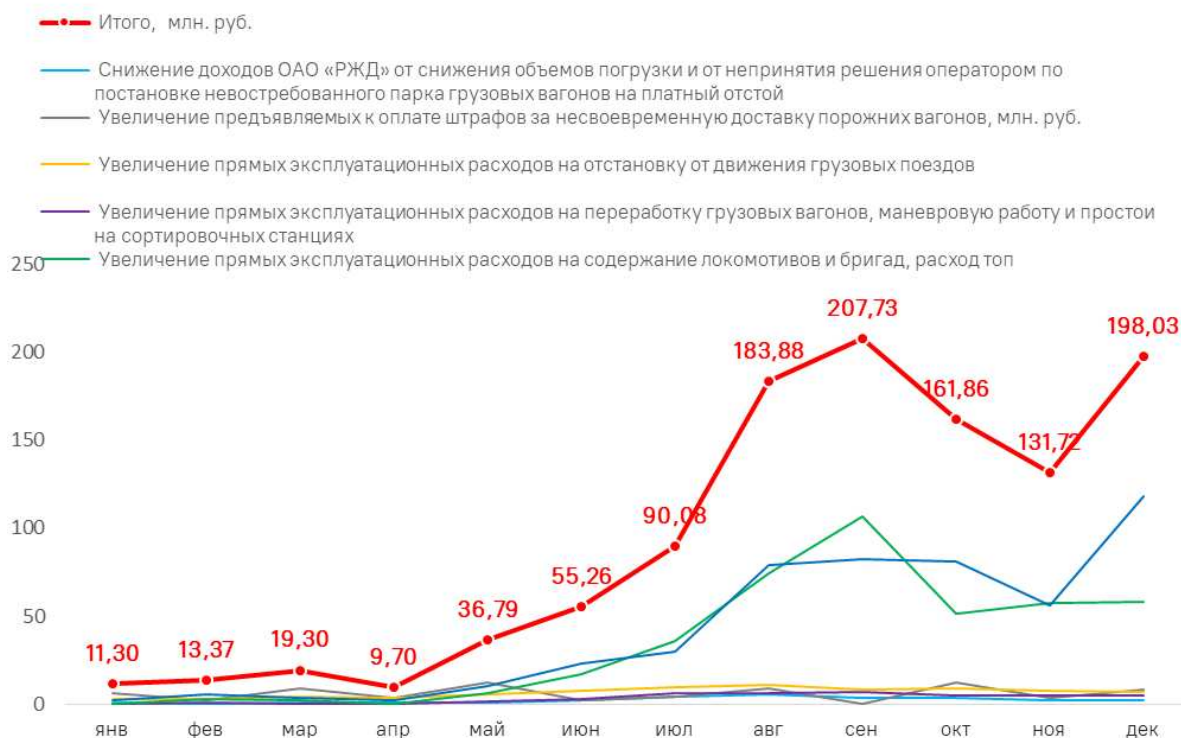


Рисунок 2.1 – Взаимозависимость значений фактического показателя манёвренности железной дороги и показателей эксплуатационной работы, натуральных показателей, экономических показателей деятельности ОАО «РЖД»  
(продолжение)

Влияние наличия избытка фактического вагонного парка сверх технологически допустимого парка на каждый конкретный показатель – зависимость индивидуальная для каждой железной дороги, поэтому невозможно сделать однозначный вывод, что каждые 100 вагонов приводят к ухудшению показателя на фиксированную величину. Однако для каждой дороги существует величина наличия избытка фактического вагонного парка сверх технологически допустимого парка, при которой происходит резкое ухудшение значений показателей (рисунок 2.2, где представлены данные по одной из железных дорог сети ОАО «РЖД» за 60 месяцев) [48].

Также отсутствие избытка фактического вагонного парка сверх технически допустимого парка не гарантирует улучшение показателей эффективности и результативности эксплуатационной работы. Зафиксированы случаи значительного резерва до технологически допустимого парка и существенных отклонений показателей эффективности и результативности эксплуатационной работы, что обусловлено наличием затруднений, вызванных внешними и внутренними причинами и превышения нормального наличия отдельных струй вагонопотоков (рисунок 2.3) [48].

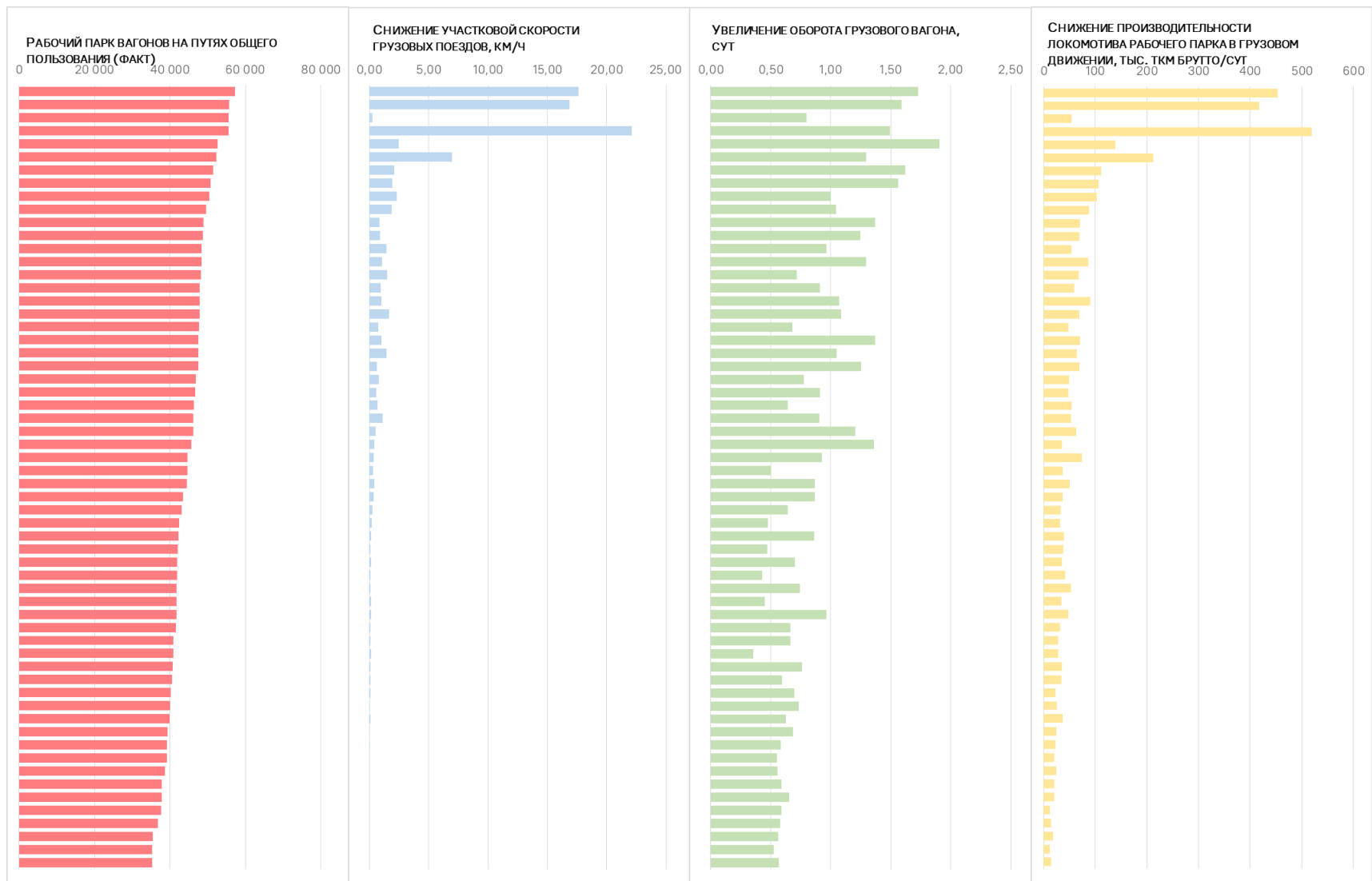


Рисунок 2.2 – Влияние избыточности вагонных парков на показатели использования перевозочных ресурсов – участковую скорость движения поездов, производительность локомотива, оборот грузового вагона

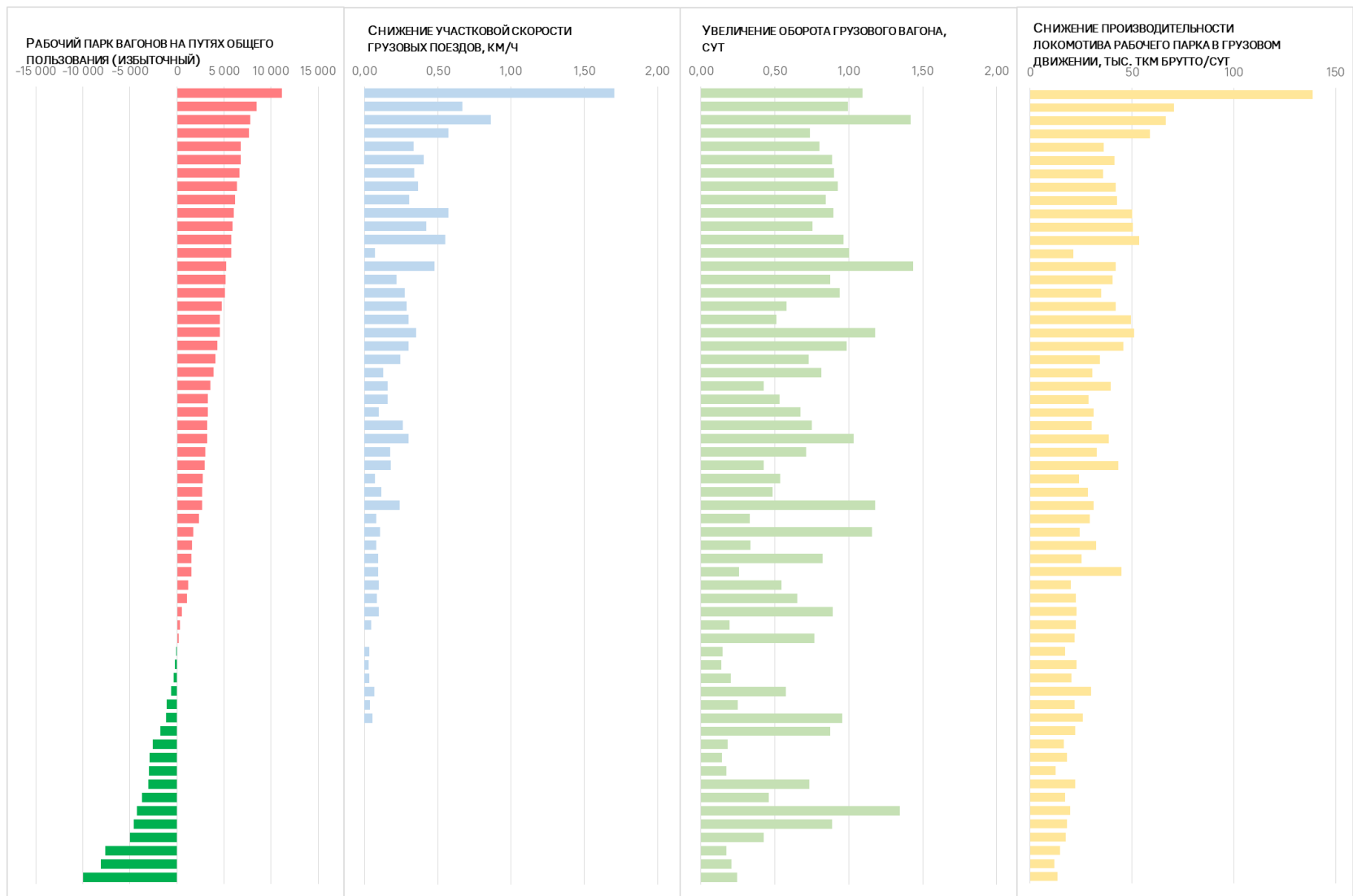


Рисунок 2.3. – Существенные отклонения показателей эффективности и результативности эксплуатационной работы в зависимости от разности фактического и технологически допустимого вагонного парка

### 2.3 Исследование диапазонов изменения факторов снижения участковой скорости грузовых поездов из-за наличия избыточных вагонных парков

Избыток фактического рабочего парка вагонов сверх технологически необходимого (потребного) парка приводит к снижению участковой скорости грузовых поездов, снижению производительности локомотива рабочего парка в грузовом движении, увеличению оборота вагона.

В методике [61] определён порядок расчёта снижения участковой скорости грузовых поездов **при задержках на подходах к конечным станциям участков по неприёму:**

$$\Delta V_{\text{уч}}^{(1)} = \frac{V_{\text{уч.ф.}} * \sum nt_{\text{непр}} * m}{\frac{S_{\text{в}} * P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.ф.}}} - \sum nt_{\text{непр}} * m}, \quad (2.10)$$

где  $V_{\text{уч.ф.}}$  – фактическая участковая скорость грузовых поездов, вычисленная по данным отчёта ДО-8ВЦ;

$\sum nt_{\text{непр}}$  – поездо-часы задержек поездов по неприёму станций;

$m$  – средний состав грузового поезда на регионе  $j$ , физических вагонов;

$S_{\text{в}}$  – среднесуточный пробег вагона грузового парка, км;

$P_{\text{раб}}$  – рабочий парк среднечасовой, вагонов в среднем в сутки (расчётная величина), вагонов.

В конкретных эксплуатационных условиях поездо-часы неприёма  $\sum nt_{\text{непр}}$  распределяются на две составляющие: 1) простои на участке с локомотивами и локомотивными бригадами по неприёму станциями; 2) простои поездов, задерживаемых в продвижении (на технических либо на промежуточных станциях без локомотивных бригад и без локомотивов. Первая составляющая поездо-часов задержек подлежит учёту в участковой скорости грузовых поездов, вторая составляющая в участковой скорости учитываться не должна. Таким образом, необходимо исследовать диапазоны изменения факторов снижения участковой скорости уточнить порядок её расчёта из-за влияния избыточного вагонного парка.



**Максимальное** снижение участковой скорости не может быть больше разницы между графической и фактической:

$$\Delta V_{\text{уч } j}^{(2)} = V_{\text{уч НГДП } j} - V_{\text{уч факт. } j}, \quad (2.11)$$

$$V_{\text{уч факт.}(j)} = \frac{S_{\text{в}(j)} \theta(j)}{t_{\text{дв}(j)} + t_{\text{пр}(j)}}. \quad (2.12)$$

Следовательно, снижение участковой скорости грузовых поездов **при задержках на подходах к конечным станциям участков по неприёму**  $\Delta V_{\text{уч.}j}^{(1)}$  не может быть больше **максимального** снижения участковой скорости  $\Delta V_{\text{уч.}j}^{(2)}$

Результирующее снижение участковой скорости:

$$\Delta V_{\text{уч}} = \min \{ \Delta V_{\text{уч}}^{(1)}; \Delta V_{\text{уч}}^{(2)} \} \geq 0. \quad (2.13)$$

Если  $\Delta V_{\text{уч}}^{(1)} < \Delta V_{\text{уч}}^{(2)}$ , то количество задерживаемых в продвижении груженых поездов в среднем в сутки  $\sum n_{\text{з.гр.}j} = 0$  и поездо-часы их задержки  $\sum nt_{\text{з.гр}} = 0$ .

Если  $\Delta V_{\text{уч}}^{(1)} \geq \Delta V_{\text{уч}}^{(2)}$ , и  $\Delta V_{\text{уч}}^{(2)} > 0$ , то вычисляются поездо-часы **дополнительно** задерживаемых в продвижении гружёных поездов из-за неприёма станциями в среднем в сутки данного месяца  $\sum nt_{\text{з.гр}}$ , формула определения которых имеет следующий вывод.

$$\Delta V_{\text{уч}} = \frac{V_{\text{уч.ф.}} * \sum nt_{\text{непр}} * m}{\frac{S_{\text{в}} * P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.ф.}}} - \sum nt_{\text{непр}} * m}, \quad (2.14)$$

$$\frac{S_{\text{в}} * P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.ф.}}} - \sum nt_{\text{непр}} * m = \frac{V_{\text{уч.ф.}} * \sum nt_{\text{непр}} * m}{\Delta V_{\text{уч}}}, \quad (2.15)$$

$$\frac{S_{\text{в}} * P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.ф.}}} = \frac{V_{\text{уч.ф.}} * \sum nt_{\text{непр}} * m}{\Delta V_{\text{уч}}} + \sum nt_{\text{непр}} * m, \quad (2.16)$$

$$\frac{S_{\text{в}} * P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.ф.}}} = \sum nt_{\text{непр}} \left[ \frac{V_{\text{уч.ф.}} * m}{\Delta V_{\text{уч}}} + m \right], \quad (2.17)$$

$$\frac{S_{\text{в}} * P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.ф.}}} = \sum nt_{\text{непр}} \left[ \frac{V_{\text{уч.ф.}} * m + \Delta V_{\text{уч}} * m}{\Delta V_{\text{уч}}} \right], \quad (2.18)$$

$$\sum nt_{\text{непр}} = \frac{S_{\text{в}} * P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.ф.}}} * \frac{\Delta V_{\text{уч}}^1}{V_{\text{уч.ф.}} * m + \Delta V_{\text{уч}} * m}, \quad (2.19)$$

$$\sum nt_{\text{непр}}^{(2)} = \frac{(V_{\text{уч.НГДП}} - V_{\text{уч. факт}}) S_{\text{в}} P_{\text{раб}}}{V_{\text{уч.НГДП}} V_{\text{уч. факт}} m}, \quad (2.20)$$

$$\sum nt_{з.гр} = \sum nt_{непр.} - \frac{(V_{уч.НГДП} - V_{уч. факт})S_{в}P_{раб}}{V_{уч.НГДП}V_{уч. факт}m}. \quad (2.21)$$

Если  $\Delta V_{учj}^{(2)} < 0$ , то  $\Delta V_{уч} = 0$ . Поездо-часы **дополнительно** задерживаемых в продвижении гружёных поездов из-за неприёма станциями  $\sum nt_{з.гр} = \sum nt_{непр.}$

Количество дополнительно задерживаемых в продвижении гружёных поездов из-за неприёма станциями в среднем в сутки данного месяца:

$$\sum n_{з.гр} = \frac{\sum n_{з.гр}}{t_3}. \quad (2.22)$$

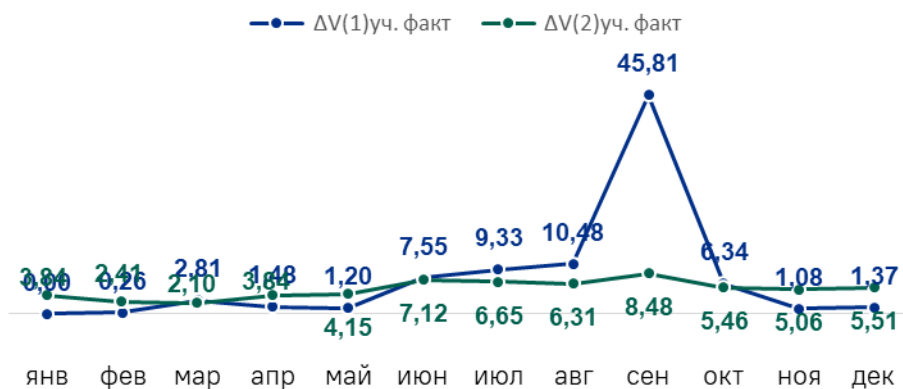
Средний простой отставленного поезда на дороге (по отчёту формы ДО-5ВЦ) за месяц:

$$t_3 = \frac{\sum nt_{з.ДО-5}}{\sum n_{з.ДО-5}} = \frac{n_{ост}^{ДО-5} * 24 * K_{дней}}{\frac{\sum n_{зад}^{ДО-5} + \sum n_{подн}^{ДО-5}}{2}}. \quad (2.23)$$

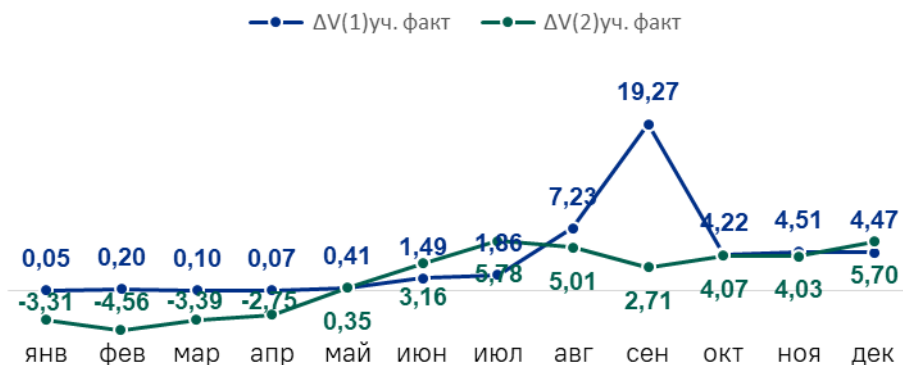
На это число задерживаемых поездов рассчитывается дополнительная потребность в локомотивах и локомотивных бригадах, учитываемая в снижении производительности локомотива.

Так, в 2022 году превышение  $\Delta V_{уч,j}^{(1)}$  над  $\Delta V_{уч,j}^{(2)}$  имело место на четырёх железных дорогах: Северо-Кавказской, Юго-Восточной, Западно-Сибирской и Дальневосточной железных дорогах (рисунок 2.4). Результаты уточнённого порядка расчётов на рисунке 2.5) [48].

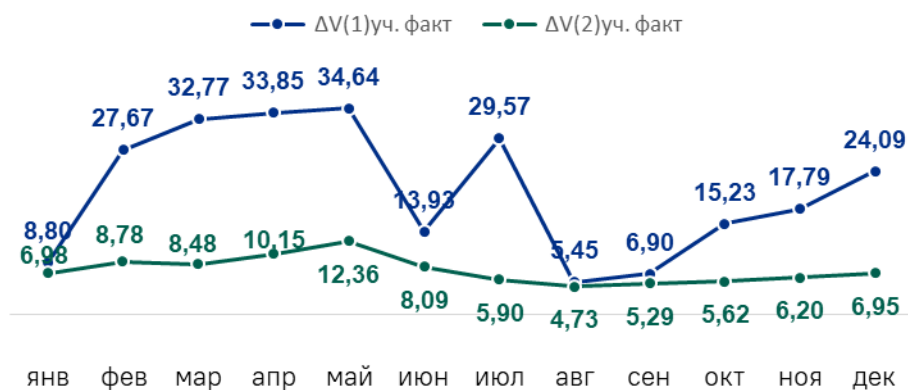
### Юго-Восточная железная дорога



### Северо-Кавказская железная дорога



### Западно-Сибирская железная дорога



### Дальневосточная железная дорога

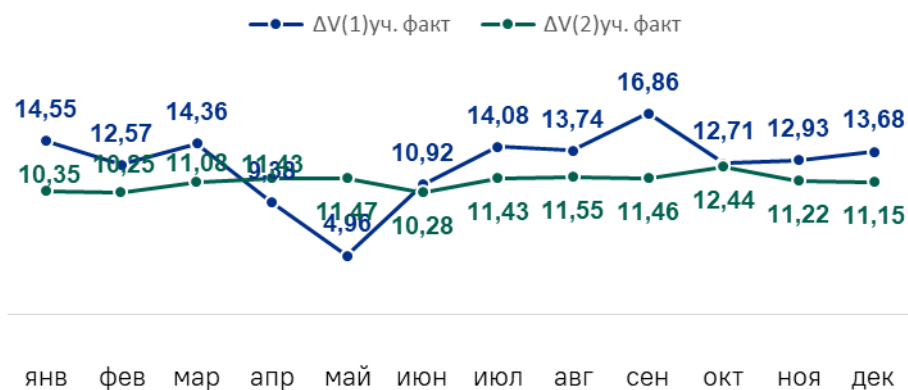


Рисунок 2.4 – Динамика изменения составляющих потерь участковой скорости из-за наличия избыточных вагонных парков за 2022 год

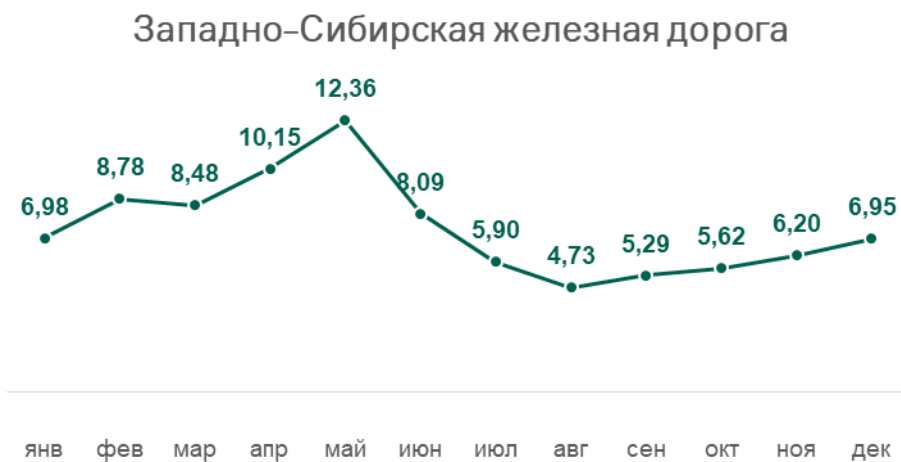


Рисунок 2.5 – Результирующая динамика снижения участковой скорости из-за наличия избыточных вагонных парков за 2022 год

## 2.4 Исследование диапазонов изменения факторов снижения показателей использования локомотивов грузового движения из-за наличия избыточных вагонных парков

Снижение показателей использования локомотивов грузового движения зависит от уровня заполнения ёмкости путевого развития, который характеризуется отношением фактического значения коэффициента вместимости к рациональному  $\varphi_{\text{факт}}/\varphi_{\text{рац}}$ . В зависимости от значений этого соотношения определяется процент грузовых поездов, задерживаемых по неприёму станцией, и длительность их задержек [61] (рисунок 2.6).

Число поездов, задерживаемых по неприёму станциями региона  $j$  за сутки:

$$\sum n_{\text{непр } j} = \sum n_{\text{приб } j} \cdot a_3 / 100. \quad (2.24)$$

Поездо-часы задержек поездов по неприёму станцией

$$\sum nt_{\text{непр } j} = a_3 \sum n_{\text{приб } j} \cdot t_3 / 60. \quad (2.25)$$

Число поездов, прибывающих в среднем в сутки на технические и грузовые станции региона  $j$ ,

$$\sum n_{\text{приб } j} = (\sum N_{\text{тр.бп } (ij)} + \sum N_{\text{пер } (ij)} + \sum N_{\text{м } (ij)}) / m_j, \quad (2.26)$$

где  $m_j$  – средний состав грузового поезда на регионе  $j$ , физических вагонов.

Дополнительная потребность в рабочем парке локомотивов грузового движения от снижения участковой скорости:

$$\Delta M_{\text{раб } j}^{\text{Уч}} = \sum nt_{\text{непр } j} / 24. \quad (2.27)$$

Дополнительная потребность в явочном контингенте локомотивных бригад грузового движения от снижения участковой скорости:

$$\Delta B_{\text{яв } j}^{\text{Уч}} = 30,4 \sum nt_{\text{непр } j} / 167,7. \quad (2.28)$$

Дополнительная потребность в рабочем парке локомотивов грузового движения от дополнительно задерживаемых в продвижении гружёных поездов из-за неприёма станциями:

$$\Delta M_{\text{раб } j}^{n_3} = \frac{\sum n_{\text{з.гр. } j} \cdot 12 \cdot 0,7}{24 \cdot K_{\text{дней}}}. \quad (2.29)$$

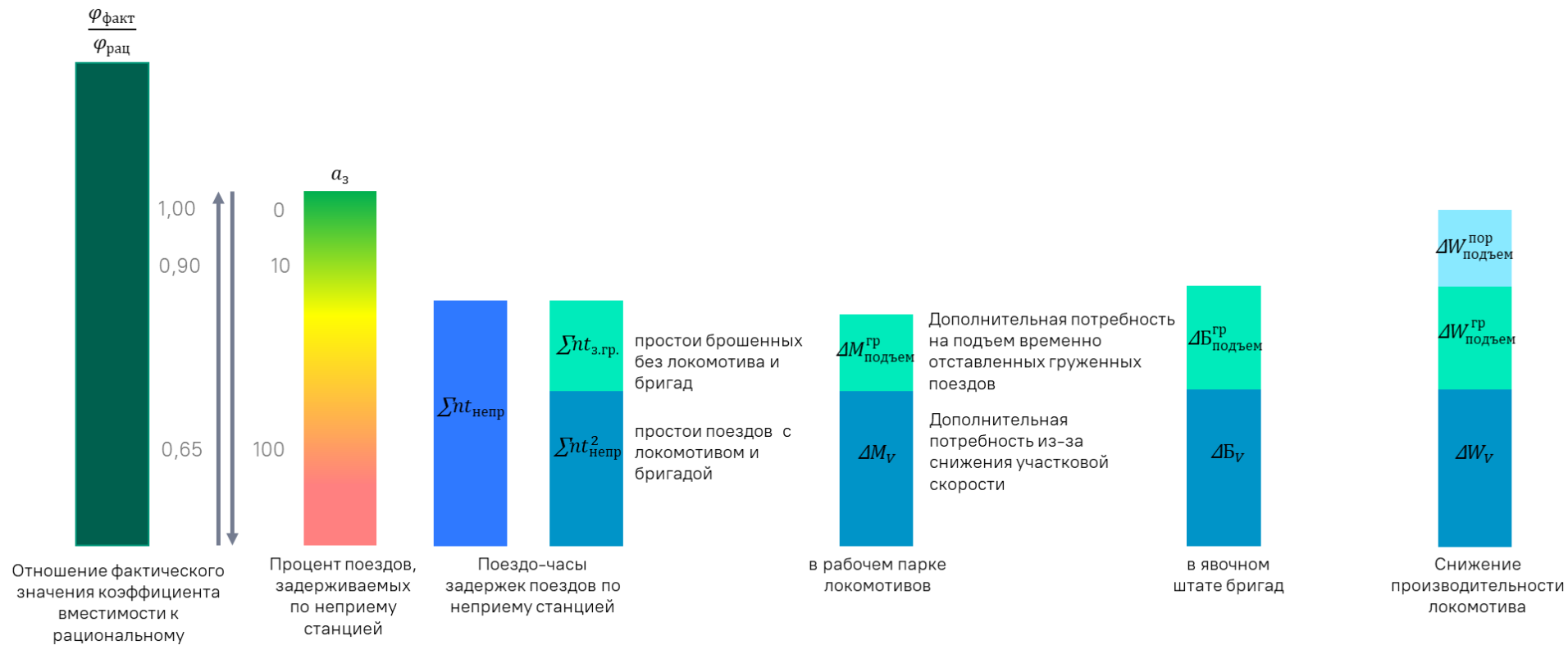


Рисунок 2.6 – Влияние заполнения путевого развития на снижение показателей использования локомотивов грузового движения

Дополнительная потребность в явочном контингенте локомотивных бригад грузового движения от дополнительно задерживаемых в продвижении гружёных поездов из-за неприёма станциями:

$$\Delta B_{\text{яв } j.}^{n_3} = \frac{\sum n_{\text{э.гр.}j.} * 240 * \frac{1+0,2}{V_{\text{уч.факт}}}}{167,7}. \quad (2.30)$$

Также возникает потребность в дополнительном рабочем парке локомотивов грузового движения на подъем временно отставленных порожних составов:

$$\Delta M_{\text{раб } j.}^{n_{\text{пор}}} = \frac{\sum n_{\text{подн. пор.}j.} * 12 * 0,7}{2 * 24 * K_{\text{дней}}}. \quad (2.31)$$

Дополнительная потребность в явочном контингенте локомотивных бригад грузового движения на подъем временно отставленных порожних составов:

$$\Delta B_{\text{яв } j.}^{n_{\text{пор}}} = \frac{\sum n_{\text{подн. пор.}j.} * 240 * \frac{1+0,2}{V_{\text{уч.факт}}}}{167,7}. \quad (2.32)$$

Снижение производительности локомотива рабочего парка в грузовом движении  $\Delta W_{\text{л.}j.}$ , тыс. ткм брутто/сут:

$$\Delta W_{\text{л.}j.} = \frac{0,001 \sum pl_{\text{бр.}j.} * \Delta M_{\text{раб } j.}}{(M_{\text{раб } j.} - \Delta M_{\text{раб } j.}) * M_{\text{раб } j.}}. \quad (2.33)$$

Результирующее значение снижения производительности

$$\Delta W_{\text{л.}j.} = \Delta W_{\text{л.}j.}^{V_{\text{уч}}} + \Delta W_{\text{л.}j.}^{n_3} + \Delta W_{\text{л.}j.}^{n_{\text{пор}}}. \quad (2.34)$$

На рисунке 2.7 представлены результирующие данные по расчётному снижению показателей использования локомотивов грузового движения из-за наличия избыточных вагонных парков за один месяц, рассчитанные с применением зависимостей (2.24 – 2.34).

Разработанные зависимости предназначены для корректировки алгоритмов и программ моделирования работы вагонных парков на инфраструктуре ОАО «РЖД» в составе АС ПРОГРЕСС [48].

Дорога	Снижение участковой скорости грузовых поездов, км/ч	Поездо-часы задержек поездов по неприему станций	Поездо-часы неприема из-за дополнительно задерживаемых в продвижении груженых поездов	Дополнительная потребность						Результатирующее снижение производительности локомотива, тыс. ткм брутто/сут
				В рабочем парке локомотивов			В явочном штате локомотивных бригад			
				от снижения участковой скорости	от дополнительно задерживаемых в продвижении груженых поездов из-за неприема станциями	на подъем временно отставленных порожных составов	от снижения участковой скорости	от дополнительно задерживаемых в продвижении груженых поездов из-за неприема станциями	на подъем временно отставленных порожных составов	
ОКТ	0,00	0,00	0,00	0	0	4	0	0	14	5,95
КЛГ	0,00	0,00	0,17	0	0	1	0	0	1	16,21
МОСК	0,00	0,00	0,00	0	0	3	0	0	11	3,86
ГОРЬК	0,38	48,37	0,00	2	0	3	9	0	9	14,16
СЕВ	0,00	0,00	0,00	0	0	1	0	0	4	2,56
С-КАВ	4,07	413,47	12,63	17	0	7	75	0	33	29,32
Ю-ВОС	5,46	263,07	32,21	11	1	4	48	1	12	37,13
ПРИВ	0,04	2,97	0,00	0	0	6	1	0	22	21,57
КБШ	1,20	110,33	0,00	5	0	5	20	0	16	23,51
СВЕРД	1,12	266,45	0,00	11	0	8	48	0	36	26,95
Ю-УР	3,03	245,17	0,00	10	0	4	44	0	11	47,21
З-СИБ	5,62	1465,35	830,95	61	1	4	266	1	10	162,90
КРАС	0,05	4,42	0,00	0	0	3	1	0	9	14,25
В-СИБ	0,00	0,00	0,00	0	0	4	0	0	15	9,62
ЗАБ	0,12	34,83	0,00	1	0	5	6	0	24	14,08
ДВОСТ	12,44	2150,15	32,55	90	1	10	390	1	45	171,19
СЕТЬ	0,29	549,27	0,00	23	0	64	100	0	253	4,03

Рисунок 2.7 – Снижения показателей использования локомотивов грузового движения  
из-за наличия избыточных вагонных парков



## Выводы по главе 2

1. Исследованы факторы, влияющие на значения коэффициента манёвренности подразделений железнодорожной сети. Значения **фактического рабочего парка** грузовых вагонов  $P_{\text{факт}}$  зависят от изменения объемных параметров грузовой базы и её распределения по направлениям сети, а также оперативных изменений эксплуатационной обстановки. Сформулированы условия обеспечения беспрепятственного приёма поездов станциями, стыковыми пунктами, а также обмена вагонами с путями необщего пользования, при соблюдении которых определяется **наибольший технически допустимый (рациональный) рабочий парк**  $P_{\text{техн}}$  грузовых вагонов. По результатам множественных имитационных расчётов установлена зависимость Рабочего парка грузовых вагонов, при превышении которого **все поезда на полигоне следуют с задержками на подходах к техническим и грузовым станциям**  $P_{\text{max}}$  от  $P_{\text{техн}}$ .

2. Проведён анализ и оценка влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети за период с 2018 по 2022 г. С использованием информационных ресурсов ОАО «РЖД» за период с 2018 по 2022 г. определены взаимозависимости фактических показателей манёвренности железных дорог и показателей эксплуатационной работы, натуральных показателей, экономических показателей деятельности ОАО «РЖД».

3. Влияние наличия избытка фактического вагонного парка сверх технологически допустимого парка на каждый конкретный показатель – зависимость индивидуальная для каждой железной дороги. Для каждой дороги существует величина наличия избытка фактического вагонного парка сверх технологически допустимого парка, при которой происходит резкое ухудшение значений показателей. Также отсутствие избытка фактического вагонного парка сверх технически допустимого парка не гарантирует улучшение показателей эффективности и результативности эксплуатационной работы. Зафиксированы случаи значительного резерва до технологически допустимого парка и существенных отклонений показателей эффективности и результативности

эксплуатационной работы, что обусловлено наличием затруднений, вызванных внешними и внутренними причинами и превышения нормального наличия отдельных струй вагонопотоков.

4. В конкретных эксплуатационных условиях поездо-часы неприёма распределяются на две составляющие: 1) простои на участке с локомотивами и локомотивными бригадами по неприёму станциями; 2) простои поездов, задерживаемых в продвижении (на технических либо на промежуточных станциях без локомотивных бригад и без локомотивов. Первая составляющая поездо-часов задержек подлежит учёту в участковой скорости грузовых поездов, вторая составляющая в участковой скорости учитываться не должна. Таким образом, был уточнён порядок расчёта снижения участковой скорости из-за влияния избыточного вагонного парка, определены количество и поездо-часы **дополнительно** задерживаемых в продвижении гружёных поездов из-за неприёма станциями в среднем в сутки.

5. С учётом факторов снижения участковой скорости были исследованы диапазоны изменения факторов снижения показателей использования локомотивов грузового движения из-за наличия избыточных вагонных парков.

### **ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРОПУСКА ОБЪЁМОВ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ И ПОРОЖНИХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

#### **3.1 Основные положения определения инфраструктурных возможностей**

Современная динамика транспортных потоков, практика планирования и организации эксплуатационной работы с учётом вагонных парков, не принадлежащих перевозчику и значительной степенью неопределённости эксплуатационной обстановки требует определения инфраструктурных возможностей каждого элемента железнодорожной сети посуточно. Для поддержания достаточного уровня манёвренности необходимо определять не только значения наибольшего технически допустимого (рационального) рабочего парка, но и:

- допустимые размеры движения поездов;
- допустимые размеры вагонопотоков транзитных вагонов с переработкой и без переработки на технических станциях и местных вагонов на путях общего и необщего пользования;
- допустимые размеры эксплуатируемых и неэксплуатируемых парков грузовых вагонов в границах выделенных элементов железнодорожной сети (станций выполнения грузовых операций, железнодорожных путей необщего пользования, технических станций, расчётных участков) и выделенных участков железнодорожной сети;
- допустимое количество составов грузовых поездов, которое по возможностям путевого развития может быть задержано в продвижении [12].

При расчёте возможностей инфраструктуры принимаются во внимание:

- значительная степень неопределённости эксплуатационной обстановки, предстоящей на момент выполнения планируемых перевозок. Указанная неопределённость учитывается методами оперативного планирования поездной

и грузовой работы и диспетчерского руководства движением поездов и станционными процессами, которые не являются предметом настоящей диссертационной работы;

– значительная степень неопределённости порожних вагонопотоков, требующая резервирования инфраструктурных ресурсов для их организации, продвижения и размещения. Указанная неопределённость учитывается методами статистической обработки данных о перемещениях порожних вагонов за предшествующий период в сопоставимых условиях [12].

Основные принципы расчёта инфраструктурных возможностей должны базироваться на положениях [61] и [60]. При этом следует учитывать внутримесячные изменения мощности инфраструктурных ресурсов при проведении ремонтных работ и сезонных пассажирских перевозок.

Должны вычисляться:

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

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

Расчёт инфраструктурных возможностей должен устанавливать функциональные взаимосвязи:

– технически допустимого (рационального) рабочего парка грузовых вагонов  $P_{\text{техн}}$ , участвующих в перевозочном процессе, при котором станции полигона обеспечивают беспрепятственный приём поездов, от размеров движения грузовых поездов  $n_{\text{т}}$ , поездов/сут., и перерабатываемых вагонопотоков  $N_{\text{т}}$ , вагонов/сут.;

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

Расчёт возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объёмов перевозок грузов должен производиться в сроки, установленные Порядком сквозного производственного планирования объёмов работ и потребности в ресурсах филиалов ОАО «РЖД», утверждённым распоряжением ОАО «РЖД» от 25 ноября 2020 г. № 2603/р[77]:

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

– на месяц с посуточной детализацией допустимых размеров движения поездов 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 способности сети железных дорог общего пользования и железнодорожных путей необщего пользования [12].

**Результаты оценки функциональных возможностей элементов железнодорожной инфраструктуры необходимо учитывать:**

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

при динамическом моделировании загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» в целях применения расчётных параметров в автоматизированной системе «Динамическая модель загрузки инфраструктуры», используемой при согласовании заявок на перевозку грузов (в части принятия решения о согласовании заявки либо в полном объёме, 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) [70].

### 3.2 Порядок определения взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период

#### 3.2.1 Железнодорожные пути необщего пользования

По железнодорожному пути необщего пользования определяются:

- результирующая перерабатывающая способность  $N_{НОП}^*$ , вагонов/сут в соответствии с положениями [60];
- технологические сроки оборота вагонов, технологические нормы погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов  $t_{гр}$ , ч.

Технически допустимый (рациональный) эксплуатируемый рабочий парк вагонов:

$$P_{техн.ноп} = (N_{погр.ноп}^* + N_{выгр.ноп}^*) k_{рем} (t_{гр} + t_{пу} + t_{псо}) / (24 k_{сд}), \quad (3.1)$$

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

$t_{гр}$  – 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;

$t_{псо}$  – длительность одной приёмсдаточной операции, ч;

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

$k_{сд}$  – коэффициент двояких операций;

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

$$k_{\text{рем}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_{\text{устр}}} (D_{\text{пл.пер}} \cdot N_{\text{НОП}}^i) + \sum_{i=n_{\text{устр}}+1}^{i=n_{\text{устр}}^{\text{рем}}} ((D_{\text{пл.пер}} - D_{\text{рем } i}) \cdot N_{\text{НОП}}^i)}{\sum_{i=1}^{i=n_{\text{устр}}+n_{\text{устр}}^{\text{рем}}} (D_{\text{пл.пер}} \cdot N_{\text{НОП}}^i)}, \quad (3.2)$$

где  $D_{\text{пл.пер}}$  – количество дней в плановом месяце, сут.;

$D_{\text{рем } i}$  – период ремонта устройства  $i$  в плановом месяце, сут.;

$n_{\text{устр}}$  – количество устройств (мест погрузки, выгрузки) в соответствии с Классификатором мест проведения грузовых и коммерческих операций на путях общего и необщего пользования без ограничений по ремонтным работам;

$n_{\text{устр}}^{\text{рем}}$  – количество устройств (мест погрузки, выгрузки), планируемых к выключению из работы на период производства ремонтных работ в предстоящем периоде;

$N_{\text{НОП}}^i$  – перерабатывающая способность устройства  $i$  по лимитирующему элементу железнодорожной инфраструктуры в соответствии с положениями [60], вагонов/сут.

При отсутствии расчёта по формуле (3.2) принимать  $k_{\text{рем}} = 1$ .

Допустимая величина ёмкости 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 с применением [61] и [60]. При отсутствии такого детального анализа  $\Delta P_{\text{НОП}}^{\text{нэп}}$  устанавливается по фактическим данным вагонных моделей как:

$$\Delta P_{\text{НОП}}^{\text{нэп}} = \max(P_{\text{НОП}}^{\text{нэп}}(k) - P_{\text{НОП}}^{\text{з}}(k)) \geq 0, \quad (3.3)$$

где  $P_{\text{НОП}}^{\text{нэп}}(k)$  – наличие вагонов неэксплуатируемого рабочего парка на железнодорожном пути необщего пользования на временном срезе  $k$ ,  $k = 1, \dots, K$ ;

$P_{\text{НОП}}^3(k)$  – наличие вагонов, на инфраструктуре ОАО «РЖД», не поданных на железнодорожный путь необщего пользования по ответственности его владельца, на временном срезе  $k$ .

При этом в качестве  $\Delta P_{\text{НОП}}^{\text{НЭП}}$  принимается наибольшее значение, относительно которого разность  $(P_{\text{НОП}}^{\text{НЭП}}(k) - P_{\text{НОП}}^3(k))$  не снижается в течение пяти суток подряд.

### 3.2.2 Железнодорожные станции выполнения грузовых операций и технические станции

По железнодорожным станциям определяются технически допустимые размеры вагонопотоков, вагонов/сут, при которых обеспечивается беспрепятственный приём 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 приёмосдаточными операциями на станции примыкания)  $N_{\text{Т.марш}}^{\text{под}}$ .

На двусторонних сортировочных станциях и на станциях других типов, где приёмоотправочные парки жёстко специализированы для поездов чётного и нечётного направлений, технически допустимые размеры вагонопотоков определяют отдельно по каждой системе (направлению).

Технически допустимые размеры вагонопотоков определяются по данным расчётов, выполненных согласно разделам 3 и 6 [29], по формуле:

$$N_{\text{Т}} = n_{\text{огр}} \gamma_{\text{огр}} m_{\text{физ}}, \quad (3.4)$$

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



$\gamma_{огр}$  – средневзвешенный допустимый коэффициент использования пропускной способности станции для вагонопотока соответствующей категории согласно Инструкции по расчёту пропускной и провозной способностей железных дорог;

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

Формула (3.4) учитывает максимальную пропускную способность элементов станционной инфраструктуры за вычетом бюджета времени, необходимого:

- для движения пассажирских поездов;
- технического обслуживания устройств;
- нормативного уровня отказов технических средств в соответствии с положениями [29];
- уборки снега;
- погашения неравномерности поездопотоков и станционных процессов.

Для расчётов на определённый планируемый месяц расчётная величина технически допустимых размеров вагонопотоков:

$$N_{т.пл} = \left( N_{т} - \Delta N_{т}^{закр} \frac{D_{закр}}{D_{мес}} \right) \frac{\sum_s k_{ок(s)} \delta_{ок(s)} D_{ок(s)}}{D_{мес}} + \Delta N_{отм.пс}, \quad (3.5)$$

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

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

$k_{ок(s)}$  – коэффициент снижения пропускной способности станции из-за увеличения времени занятия путей в дни предоставления технологических «окон» категории  $s$  на прилегающих участках (для однопутных участков  $k_{ок(s)} = 1$ ; для двухпутных участков  $k_{ок(s)} = 0,9$  при продолжительности технологического «окна» 3–4 ч, 0,8 при продолжительности технологического «окна» 5–6 ч и 0,7 при более

длительных технологических «окнах» и круглосуточных закрытиях одного из главных путей);

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

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

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

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

$$\Delta N_{отм.пс} = \sum_{r=1}^R \Delta n_{пс(r)} \frac{t_{пс.пост}}{t_{зан}} m_{по}, \quad (3.6)$$

где  $t_{пс.пост}$  – время перерыва в использовании путей из-за пропуска одного пассажирского поезда (для однопутного участка с автоблокировкой 15 мин., не оборудованного автоблокировкой 21 мин.; для двухпутного участка с автоблокировкой 10 мин., не оборудованного автоблокировкой 17 мин.);

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

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

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

Технически допустимый (рациональный) эксплуатируемый рабочий парк вагонов на станции  $P_{техн.ст}$  определяется в соответствии с пунктами 5.3 и 5.4 [61].

Технически допустимые размеры вагонопотоков станции  $N_{т.пл}$ , рассчитанные по формуле (3.5), сопоставляются с суммарным вагонопотоком, рассчитанным исходя из допустимого наличия вагонов рабочего парка на станции.

$$N_{\text{т.пл}}^* = \frac{24P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}}{t_{\text{ст}}}, \quad (3.7)$$

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

$$N_{\text{т.пл}} > N_{\text{т.пл}}^*, \quad (3.8)$$

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

$$t_{\text{ст}} \leq t_{\text{ст}}^* = \frac{24P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}}{N_{\text{т.пл}}}. \quad (3.9)$$

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

$$\Delta\Pi_{\text{по}} = \Pi'_{\text{по}} - \left\lceil \frac{\Sigma E'_{\text{по}}}{m_{\text{по}}} \times \frac{P_{\text{пл}}}{P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}}} \right\rceil \leq \Pi_{\text{отст}}^{\text{разр}}, \quad (3.10)$$

где  $\Pi'_{\text{по}}$ ,  $\Sigma E'_{\text{по}}$  – число приёмоотправочных путей и их суммарная вместимость, условных вагонов, с учётом выполнения условий определения Технически допустимого (рационального) эксплуатируемого рабочего парка вагонов на станции  $P_{\text{техн.ст}}$ , указанных выше;

$P_{\text{техн.по}}^{\text{пл}}$  – технически допустимое среднее наличие вагонов эксплуатируемого рабочего парка на приёмоотправочных 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;

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

Резерв ёмкостей 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  $\Delta\Pi_{\text{по}}$  :

$$\Delta P_{\text{нэп}} = \frac{E_{\text{в.ст}}^{\text{пл}}}{\omega} - P_{\text{пл}} \frac{E_{\text{в.ст}}^{\text{пл}} - E_{\text{отст}}}{P_{\text{техн.ст}}^{\text{пл}} \omega} - \Delta\Pi_{\text{по}} m_{\text{по}}, \quad (3.11)$$

где  $E_{в.ст}^{пл}$  – вместимость станции в условных вагонах, рассчитанная для планируемого месяца в соответствии с пунктом 5.3 [60], с учётом выполнения условий определения Технически допустимого (рационального) эксплуатируемого рабочего парка вагонов на станции  $P_{техн.ст}$ , указанных выше;

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

$\omega$  – отношение средневзвешенной длины физического вагона на рассчитываемой станции (по существующей структуре вагонного парка) к длине условного вагона,  $\omega = l_{ср.физ} / l_{усл}$ .

Снижение пропускной и перерабатывающей способности станции из-за дефицита вместимости путевого развития, вызванного избыточным парком грузовых вагонов, рассчитывается в соответствии с пунктом 6.1 [61]. По результатам корректируется величина  $n_{огр}$ , см. формулу (3.4).

### 3.2.3 Расчётные участки

Технически допустимые среднесуточные размеры движения грузовых поездов по участку в планируемом месяце

$$n_{т.уч}^{пл} = \frac{n_{гдп}^{max} - \Delta n_{ок}^{тек} - \Delta n_{ок}^{рем} - \Delta n_{огр} - \Delta n_{назн.пс}}{1 + 0,5(k_{н.сут} - 1)}, \quad (3.12)$$

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

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

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

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

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

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

$$\Delta n_{\text{ок}}^{\text{тек(рем)}} = \frac{\sum_s \Delta n_{\text{закр}}(s) D_{\text{ок}}(s)}{D_{\text{мес}}}, \quad (3.13)$$

где  $\Delta n_{\text{закр}}(s)$  – уменьшение допустимых размеров грузового движения в сутки предоставления технологического «окна» категории  $s$ , где  $s$  – вариант продолжительности технологического «окна» и места его проведения, пар поездов/сут.

Уменьшение допустимых размеров грузового движения в «оконные» дни (дни закрытия путей на перегонах) при отсутствии разработанного вариантного графика движения на участке определяют по формулам:

для двухпутного участка, пар поездов /сут.

$$\Delta n_{\text{закр}} = \max \{ (T_{\text{закр}} - 2)(n_{\text{гр}} / 22 - 1,75); 0 \}, \quad (3.14)$$

где  $n_{\text{гр}}$  – графиковые размеры грузового движения, пар поездов /сут.;

$T_{\text{закр}}$  – длительность закрытия перегона (пути) в течение суток, ч;

для однопутного участка, пар поездов /сут.

$$\Delta n_{\text{гр.закр}} = 0,9 (T_{\text{закр}} - 1)(n_{\text{гр}} / 23). \quad (3.15)$$

Изменение допустимых размеров грузового движения в зависимости от количества и категорий отменяемых из обращения пассажирских поездов на участках

$$\Delta n_{\text{назн.пс}} = \sum_{r=1}^R (\Delta n_{\text{пс}}(r) \varepsilon_{\text{пс}}(r)), \quad (3.16)$$

где  $\Delta n_{\text{пс}}(r)$  – количество некруглогодичных пассажирских поездов категории  $r$  (скоростных пассажирских поездов; пригородных, пригородных скорых поездов, пригородных скоростных поездов, остальных пассажирских,

включая следование пассажирских составов в пункты и из пунктов посадки пассажиров), назначаемых в обращение в планируемом месяце, пар поездов/сут.;

$\varepsilon_{пс}(r)$  – коэффициент съёма пассажирских поездов категории  $r$  на данном участке согласно [29].

При наличии прогнозного графика движения поездов, разработанного на плановый период, числитель формулы (3.12) принимается по данным прогнозного графика.

Технически допустимое наличие вагонов эксплуатируемого рабочего парка в поездах на участках в планируемом месяце

$$P_{\text{техн.уч}}^{\text{пл}} = \frac{2n_{\text{т.уч}}^{\text{пл}}L_{\text{уч}}m_{\text{уч}}}{24V_{\text{уч}}}, \quad (3.17)$$

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

$m_{\text{уч}}$  – средний состав грузового поезда на участке, рассчитанный на основе отчётов 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 в соответствии с пунктом 6.2 [61].

### **3.3 Порядок определения взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности по направлениям следования вагонопотоков на расчётный период**

#### **3.3.1 Порядок определения допустимых размеров движения поездов и вагонопотоков с учётом потерь пропускной способности из-за отказов технических средств и технологических нарушений**

Допустимые размеры движения поездов на планируемый месяц определяются по формуле:

$$n_{\text{пл}} = n_{\text{т.уч}}^{\text{пл}} \left( 1 - \frac{\sum nt_{\text{отс}} + \sum nt_{\text{тн}}}{\sum nt_{\text{общ}}} \right), \quad (3.18)$$

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

$\Sigma nt_{\text{общ}}$  – поездо-часы грузовых поездов по диспетчерским участкам с учётом движения по многопарковым станциям (по данным отчёта ДО-10).

Допустимые размеры вагонопотоков по участкам на планируемый месяц определяются по формуле:

$$N_{\text{пл}} = n_{\text{пл}} m_{\text{уч}}. \quad (3.19)$$

### **3.3.2 Порядок определения допустимых размеров движения поездов и вагонопотоков с учётом заданий по отправлению поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов**

Допустимые размеры движения поездов и вагонопотоков с учётом 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 по формуле:

$$n_{\text{пл}}^* = n_{\text{пл}} - \frac{1}{T_{\text{норм}}} \left( p_3 + \frac{\Delta P_{\text{изб}}^{\text{тр}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{мест}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{пор}}}{m_{\text{ДО-1}}} \right), \quad (3.20)$$

$$N_{\text{пл}}^* = N_{\text{пл}} - \frac{1}{T_{\text{норм}}} \left( p_3 m_{\text{ДО-1}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{тр}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{мест}} + \Delta P_{\text{изб}}^{\text{пор}} \right), \quad (3.21)$$

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.

### **3.3.3 Порядок оценки возможностей инфраструктуры общего пользования по пропуску прогнозного вагоно- и поездопотока**

Результирующая оценка возможностей инфраструктуры по пропуску определённого планируемого вагонопотока от станции отправления до станции назначения в определённый плановый период времени предусматривает:

а) определение пути следования вагонопотока в виде перечня станций выполнения технических операций и расчётных участков согласно технологии перевозочного процесса;

б) определение возможностей инфраструктуры по каждой станции выполнения технических операций, каждому расчётному участку, по станциям выполнения грузовых операций и путям необщего пользования, не занятым другими планируемыми корреспонденциями в рассматриваемый период времени;

в) определение результирующей оценки как минимального значения не занятых возможностей инфраструктуры в рассматриваемый период времени среди элементов, указанных в подпункте б, для пути следования, установленного в подпункте а.

### **Выводы по главе 3**

1. Для каждого элемента железнодорожной сети определён порядок вычислений значений инфраструктурных возможностей из условия обеспечения беспрепятственного приёма поездов грузовыми, техническими станциями, межгосударственными стыковыми пунктами. При этом значения рассчитываются посуточно с учётом инфраструктурных и перевозочных ресурсов:

*для железнодорожного пути необщего пользования с учётом:*

– снижения перерабатывающей способности в периоды производства ремонтных работ, планируемых ограничений грузовых операций;

*для железнодорожных станций выполнения грузовых операций и технических станций с учётом:*

– движения пассажирских поездов;



- технического обслуживания устройств;
  - нормативного уровня отказов технических средств согласно [29];
  - уборки снега;
  - погашения неравномерности поездопотоков и станционных процессов;
- для расчётных участков с учётом:*
- предоставления нормативных технологических «окон» для текущего содержания инфраструктуры;
  - предоставления технологических «окон» для ремонтных и строительных работ;
  - действующих ограничений скоростей;
  - назначения пассажирских поездов неежедневного обращения;
  - суточной неравномерности грузового движения в течение месяца.

2. В основе расчёта возможностей инфраструктуры по направлениям следования вагонопотоков на расчётный период лежат параметры нормативного графика движения поездов, которые корректируют с учётом плана предоставления «окон» для проведения ремонтных и строительных работ, «окон» по текущему содержанию пути, динамики изменения количества пассажирских поездов на плановый период, коэффициента надёжности инфраструктуры по данным систем КАСАНТ и КАСАТ, а также заданий по отправлению составов поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов.

3. Сформулирован порядок оценка возможностей инфраструктуры по пропуску определённого планируемого вагонопотока от станции отправления до станции назначения в определённый плановый период времени.

## **ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

### **4.1 Классификация мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях исчерпания инфраструктурных и графиковых ресурсов**

Обоснование мероприятий по развитию и использованию транспортной инфраструктуры и перевозочных ресурсов, основанное на сопоставлении наличной, потребной и проектной мощности транспортных систем, исчисляемой исходя из среднегодового баланса доступности для движения и годовых грузопотоков, не даёт практически приемлемых результатов. Принимаемые решения должны обеспечивать эффективную работу транспортных систем в течение всех сезонных и оперативных изменений эксплуатационной обстановки и потребностей в перемещении грузов и пассажиров, не создавая при этом избыточных инвестиционно-строительных мероприятий, нередко не осуществимых по условиям территориального планирования. Традиционный подход с включением в расчёты коэффициентов неравномерности движения также не решает данную проблему, так как природа транспортной неравномерности весьма многофакторна. В простом случае, когда железнодорожный участок или направление имеет значительный резерв пропускной способности, для устойчивой поездной работы достаточно принять в качестве потребных размеры грузового движения максимального месяца, увеличенные на полтора среднеквадратичных отклонения. Но в условиях исчерпания инфраструктурных и графиковых ресурсов, необходимости проведения окон по ремонту, строительству и реконструкции инфраструктуры **отклонение от средней величины поездопотока может привести к образованию избыточного вагонного парка** (рисунок 1.1) [10].

В нормальном режиме эксплуатационной работы величина рабочего парка вагонов не превышает допустимых значений  $P(t) \leq P_{\text{техн}}$ , и отклонения от установленной нормы  $P_{\text{план}}$  не вызывают задержек поездов по неприему станциями. Появление избыточного вагонного парка на подразделении железнодорожной сети может быть вызвано как внешними причинами (сгущённый подвод поездов, неприём поездов соседними подразделениями), так и внутренними (ограничения пропускных способностей участков и внутриузловых соединений из-за ремонтных работ, снижение перерабатывающих способностей сортировочных и грузовых устройств, дефицит тяговых ресурсов) [79].

В общем случае эксплуатационные затруднения, вызванные внешними причинами, развиваются по следующему сценарию (рисунок 4.1 А). В случае неприятия предупредительных регулировочных мер в период времени с  $t_1$  по  $t_2$  происходит накопление избыточного вагонного парка, что приводит к задержкам по неприёму поездов, а затем – к снижению результирующей пропускной способности из-за фактического исключения из работы части путевого развития. Фактические перевозочные возможности окажутся, как правило, ещё ниже из-за повышенного коэффициента потребности локомотивов на пару поездов. В период с  $t_3$  по  $t_4$  после регулировочных мероприятий значения рабочего парка вагонов снижаются, и допустимые размеры движения возрастают до прежних значений.

Возникновение каких-либо внутренних ограничений резко снижает допустимые размеры движения на подразделении (в момент времени  $t_1$ ), что приводит к росту рабочего парка вагонов (рисунок 4.1 Б). В период от  $t_3$  до  $t_5$  с задержками по неприёму следуют все грузовые поезда. В момент времени  $t_5$  происходит снятие ограничений и восстановление перевозочной мощности, однако вследствие накопленного избыточного вагонного парка только в момент времени  $t_6$  происходит восстановление допустимых размеров движения до прежних значений [12].

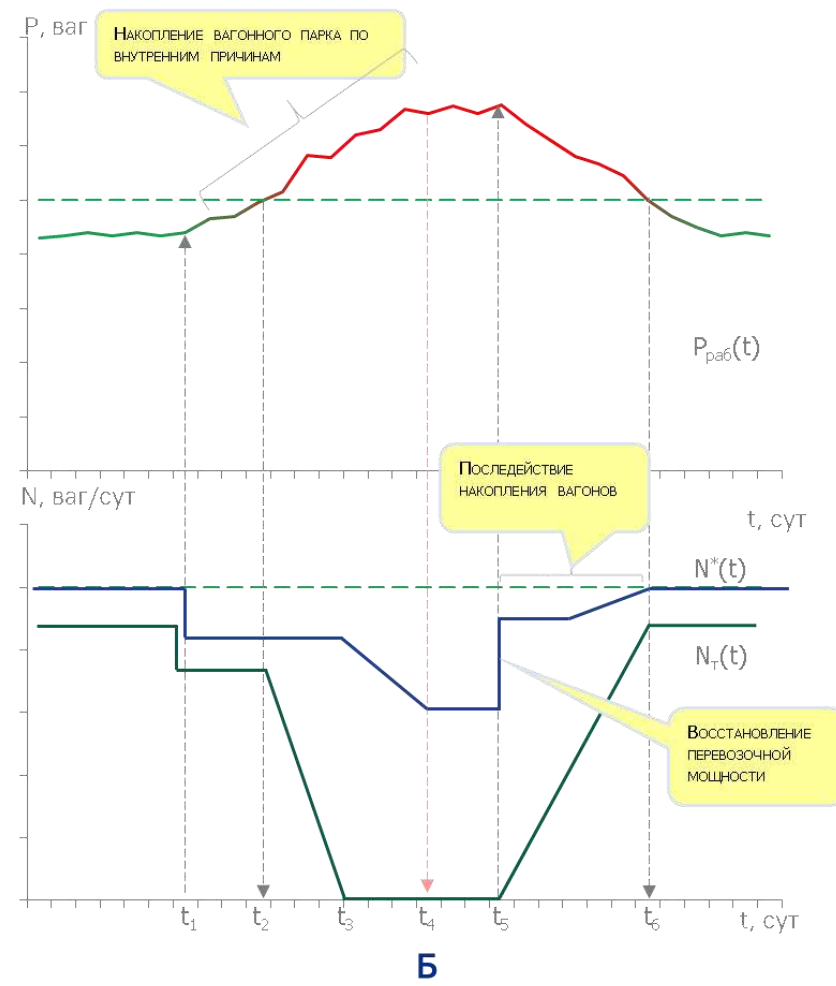
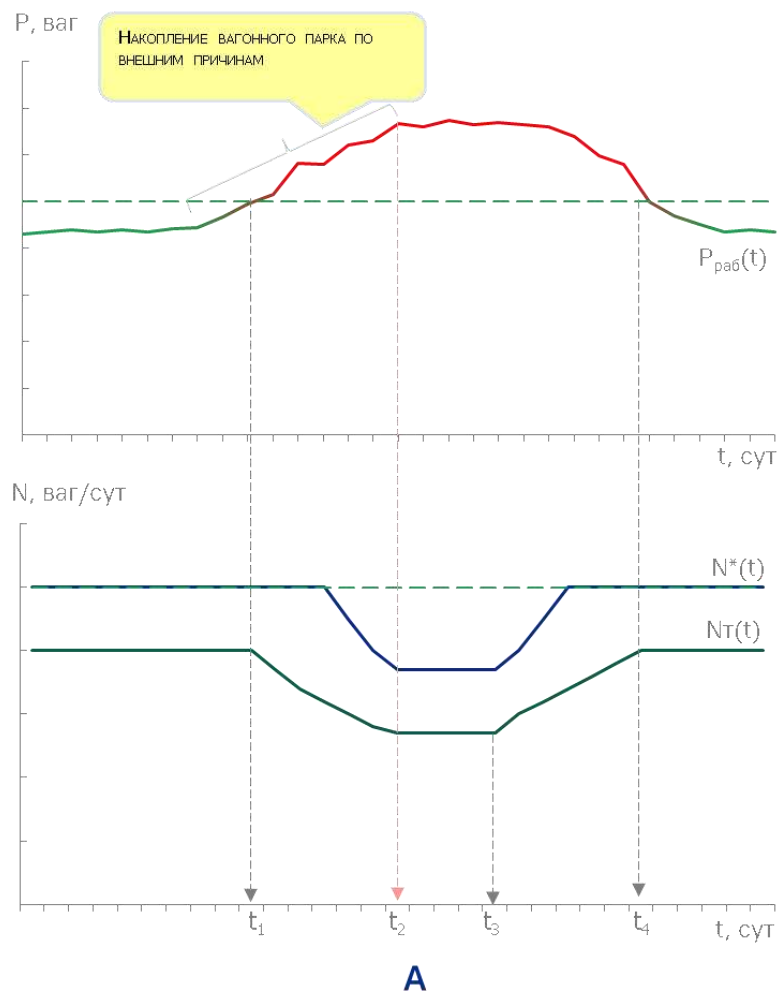


Рисунок 4.1 – Посуточная динамика рабочего парка вагонов  $P_{раб}(t)$ , результирующей пропускной способности  $N^*(t)$  и технически допустимого (без задержек по неприёму поездов) вагонопотока  $N_T(t)$  при затруднениях, вызванных внешними (А) и внутренними (Б) причинами

Поэтому необходимы решения на базе комплекса реконструктивных, технических, технологических и организационных мер, отрабатываемого посредством рассматриваемой гибридной технологии имитационных расчётов.

В исследовании АО «ВНИИЖТ» [106] проанализированы аспекты возрастания неравномерности движения в современных и перспективных условиях эксплуатации. Комплексные решения должны предусматривать механизмы, не только компенсирующие влияние неуправляемой («вредной») неравномерности, но и генерирования управляемой («полезной») неравномерности, улучшающей использование ресурсов и качество транспортного обслуживания. В таблице 4.1 показано влияние этих мер ( $\uparrow$  – увеличение,  $\downarrow$  – уменьшение) на составляющие формул (4.1–4.3).

Учёт влияния рассматриваемых эксплуатационных факторов при определении пропускной способности характеризует зависимость

$$n^* = n_H - (\Delta n_{\text{съема}} + \Delta n_{\text{необх}} + \Delta n_{\text{нер}}), \quad (4.1)$$

где  $n^*$  – технически возможный среднегодовой грузовой поездопоток, пар поездов/сут.;  $n_H$  – максимальная (теоретическая) пропускная способность по ограничивающему элементу (параллельный график движения), пар поездов/сут.;  $\Delta n_{\text{съема}}$  – съём пропускной способности поездами категорий, отличных от расчётной [7], пар поездов/сут.;  $\Delta n_{\text{необх}}$  – снижение пропускной способности по технически допустимому коэффициенту заполнения, формула (7.2) Методики [6], пар поездов/сут.;  $\Delta n_{\text{нер}}$  – снижение пропускной способности по коэффициенту неравномерности грузового движения, формула (8.4) Методики [6], пар поездов/сут. При этом реализуемая пропускная способность, пар поездов/сут.,

$$n_p = n^* + \Delta n_{\text{нер}}. \quad (4.2)$$

Учёт влияния эксплуатационных факторов при определении провозной способностей определяет соотношение

$$\Gamma^{**} = \Gamma - \Delta\Gamma, \quad (4.3)$$

где  $\Gamma$  – результирующая провозная способность полигона, млн. тонн/год, определяемая в зависимости от значений  $n^*$ ;  $\Delta\Gamma$  – часть провозной способности,

учитывающая влияние смежных участков (объективные потери из-за структуры корреспонденций), млн тонн/год;  $\Gamma^{**}$  – результирующая провозная способность с учётом ограничений на пути следования транспортного потока, млн тонн/год [11].

Таблица 4.1 – Классификация мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях истощения инфраструктурных и графиковых ресурсов

Меры воздействия	Содержание мер	Влияние на элементы расчёта						
		$n_n$	$\Delta n_{\text{съема}}$	$\Delta n_{\text{пер}}$	$R_{\text{техн}}, \alpha_{\text{ман}}, n^*$	$\Gamma$	$\Delta \Gamma$	$\Gamma^{**}$
1. Реконструктивные	1.1. Увеличение наличной пропускной способности перегонов, внутриузловых ходов и соединительных ветвей	↑			↑			↑
	1.2. Реконструкция промежуточных станций, обеспечивающая снижение потерь пропускной способности с пропуском поездов заданных (в том числе гибких) норм массы и длины составов		↓		↑	↑		↑
2. Технологические	2.1. Снижение потерь пропускной способности из-за влияния смежных устройств путём трансформации потоковой структуры и графика движения						↓	↑
	2.2. Освоение пикового поездообразования за счёт гибких (в сторону увеличения) норм массы и длины поездов			↓	↑	↑		↑
	2.3. Применение вариантных путей пропуска поездов и непарности движения				↑		↓	↑
	2.4. Технология организации вагонопотоков в поезда на инфраструктурах общего и необщего пользования, обеспечивающая эффективное использование лимитирующих транспортных объектов					↑	↓	↑

Продолжение таблицы 4.1

3. Организационно-технические	3.1. Согласованное оперативное планирование и заадресовка гружёных и порожних вагонов в соответствии с доступными инфраструктурными и графиковыми ресурсами			↓	↑		↓	↑
	3.2. Структура оперативного управления движением, обеспечивающая минимум потерь времени и затрат на координацию решений на стыках управляющих звеньев			↓	↑		↓	↑
4. Комплексные	4.1. Уменьшение коэффициентов съёма пропускной способности поездами различных категорий		↓		↑			↑
	4.2. Создание и использование регулирующих ёмкостей станционных парков на железнодорожных инфраструктурах общего и необщего пользования			↓	↑		↓	↑
	4.3. Технология тягового обслуживания, обеспечивающая реализуемость рассчитываемой системы поездной работы			↓	↑		↓	↑



## **4.2 Посуточная динамика неравномерности транспортных процессов и технически допустимых размеров движения**

### **Увеличение наличной пропускной способности перегонов, внутриузловых ходов и соединительных ветвей**

Увеличение наличной пропускной способности заключается в улучшении технического оснащения (ТСС → ПАБ → АБ → АБТЦ МШ) и/или строительстве дополнительных главных путей между станциями и межпарковыми соединениями (рисунок 4.2).

Применение данной меры заключается в повышении потребной пропускной способности, таким образом «пики» поездобразования не вызывают появление избыточного вагонного парка. Все последующие меры основываются на снижении потребной пропускной способности.

Сопоставление суточной неравномерности образования поездопотоков и возможностей инфраструктуры

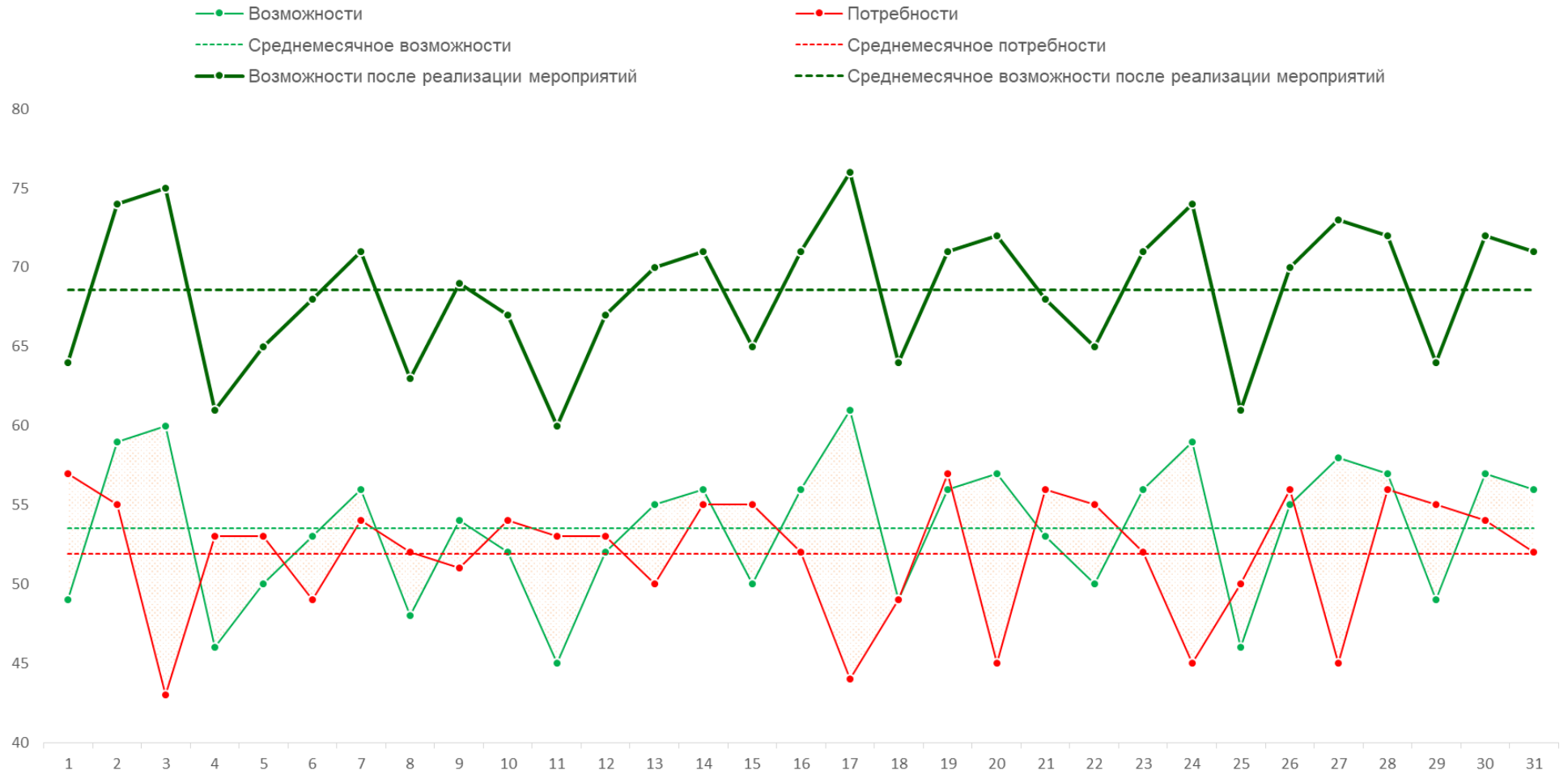


Рисунок 4.2 – Влияние строительства дополнительных главных путей на неравномерность транспортных процессов

**Реконструкция промежуточных станций,  
обеспечивающая снижение потерь пропускной способности с пропуском  
поездов заданных (в том числе гибких) норм массы и длины составов**

Реконструкция промежуточных станций заключается в увеличении пропускной способности горловин и/или строительстве дополнительных и/или удлинении приёмотправочных путей (рисунок 4.3).

Сопоставление суточной неравномерности образования поездопотоков и возможностей инфраструктуры

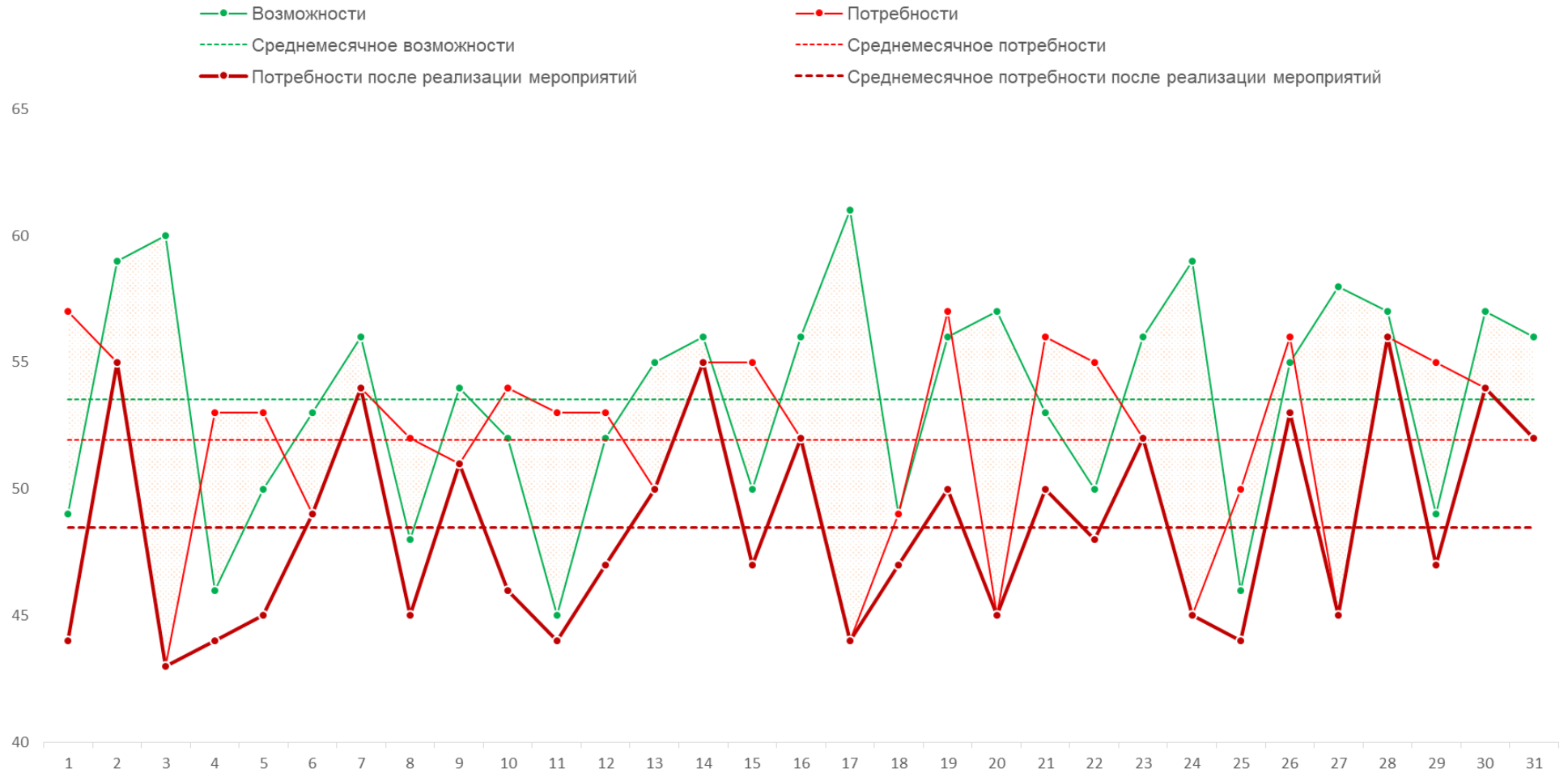


Рисунок 4.3 – Влияние реконструкции промежуточных станций на неравномерность транспортных процессов

**Снижение потерь пропускной способности  
из-за влияния смежных устройств путём трансформации  
поточковой структуры и графика движения**

Повышение провозной способности участка достигается за счёт изменения структуры корреспонденций, при которой смежные участки не оказывают негативного влияния (рисунок 4.4).

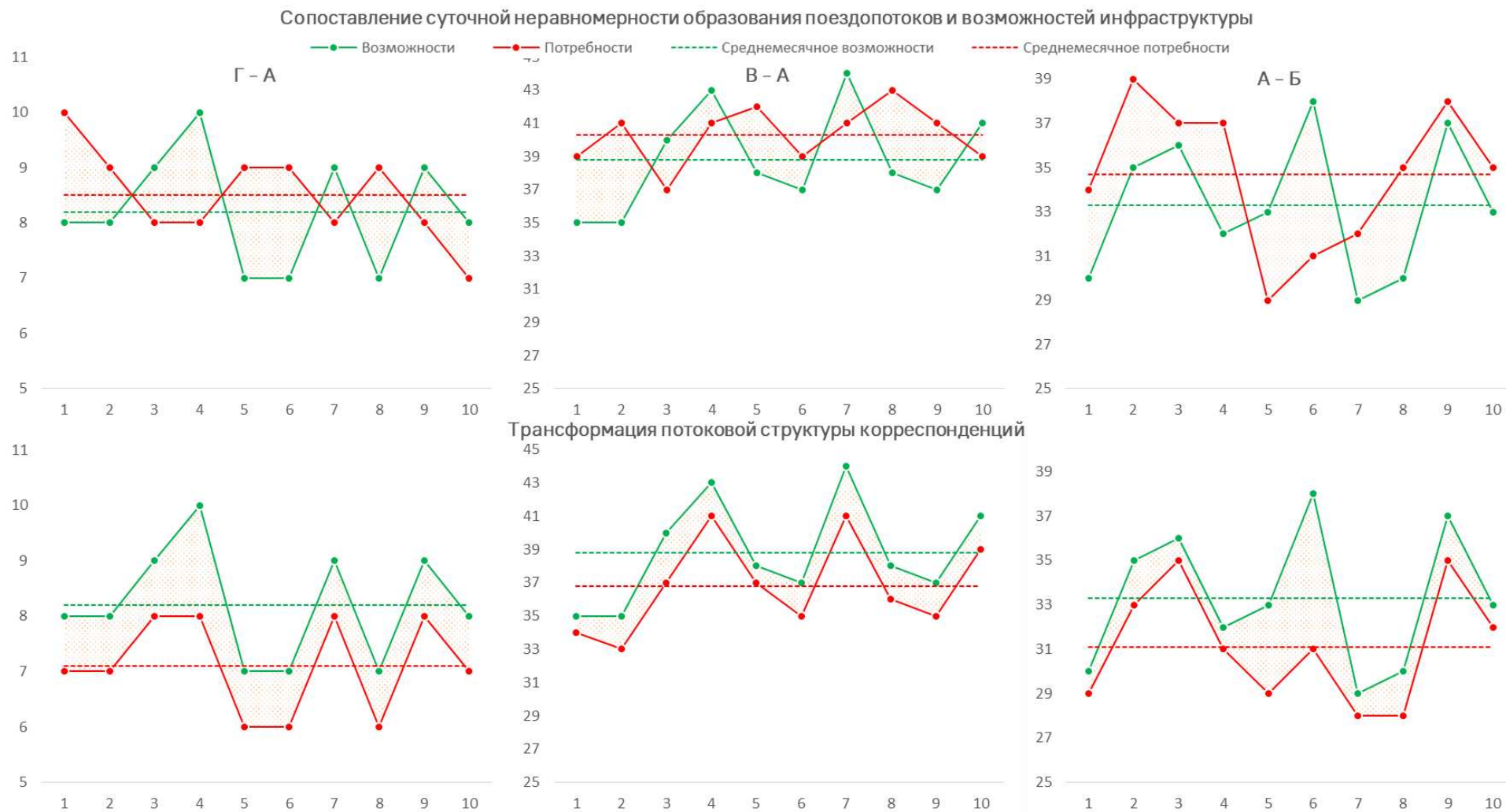


Рисунок 4.4 – Влияние трансформации потоковой структуры корреспонденций на неравномерность транспортных процессов

Снижение потерь пропускной способности из-за влияния смежных устройств путём трансформации потоковой структуры и графика движения достигается за счёт применения частично-пакетного ГДП на однопутных перегонах (увеличение  $\alpha_{\text{пак}}$ ).

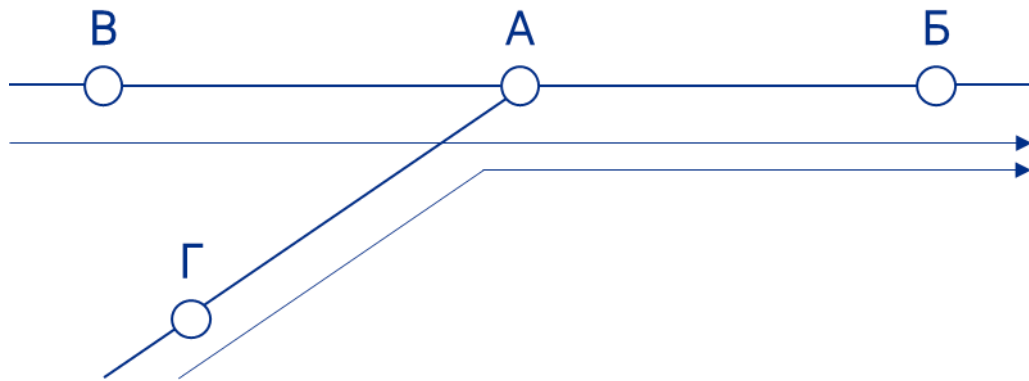


Рисунок 4.5 – Схема подразделения железнодорожной сети

На рисунке 4.5 представлена схема подразделения железнодорожной сети с интенсивным движением пассажирских поездов и независимыми друг от друга нормативными ГДП. Снижение потерь пропускной способности из-за влияния смежных устройств достигается за счёт уплотнения подвода поездов. На рисунке 4.6 представлены «зоны» пропуска поездов на смежных участках (красный – пассажирские поезда, зелёный – пригородные электропоезда, чёрный – грузовые, жёлтый – технологические «окна»). Изменение интервалов проследования пассажирских поездов приводит к увеличению возможности пропуска грузовых поездов (рисунок 4.7).

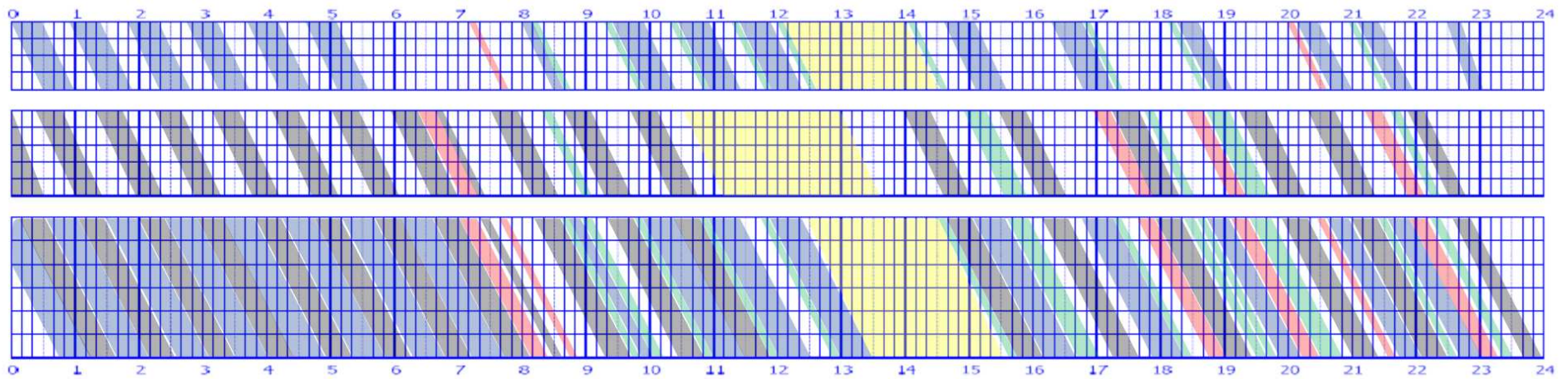


Рисунок 4.6 – Влияние смежных участков с независимыми друг от друга нормативными ГДП на пропуск поездов

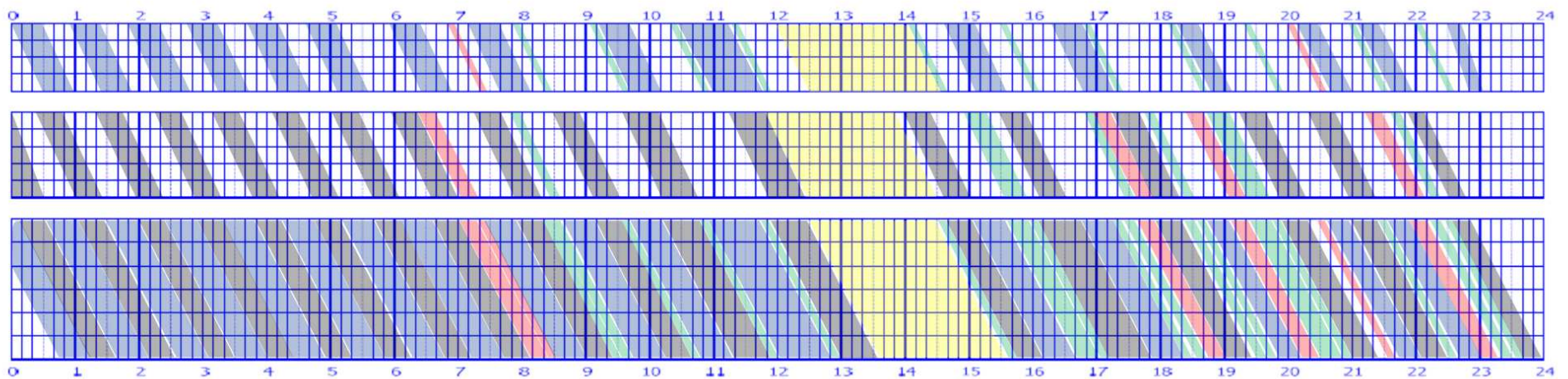


Рисунок 4.7 – Влияние трансформации графика движения поездов на неравномерность транспортных процессов



**Освоение пикового поездообразования за счёт гибких (в сторону увеличения)  
норм массы и длины поездов**

Снижение потребной пропускной способности достигается за счёт колебаний величины составов между унифицированной и максимальной нормами. Увеличение норм массы и длины поездов достигается за счёт использования существующих длинных путей на технических и промежуточных станциях. При фиксированной величине состава возникают как резервы, так и дефициты возможностей инфраструктуры на плановый период. Вождение поездов повышенной нормы массы и длины снижает потребную пропускную способность в «дефицитные» дни (рисунок 4.8).

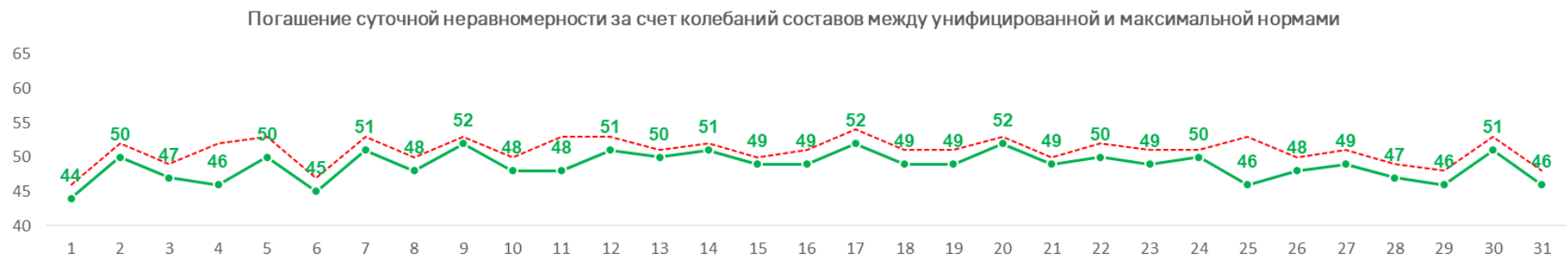
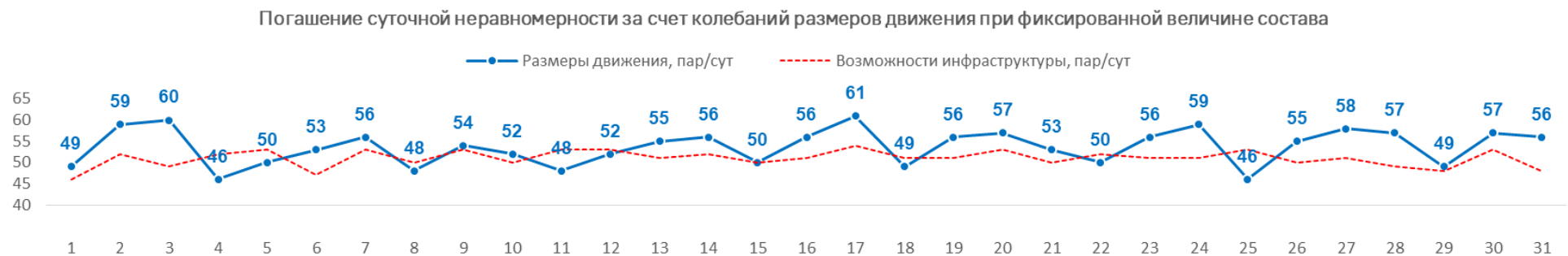


Рисунок 4.8 – Влияние вождения поездов гибких норм массы и длины на неравномерность транспортных процессов

### Применение вариантных путей пропуска поездов и непарности движения

Снижение потребной пропускной способности достигается за счёт пропуска части поездов параллельным ходом, таким образом пропускная способность лимитирующего элемента (группы элементов) снижается (рисунок 4.9). На рисунке 4.10 показано влияние применения вариантных путей пропуска поездов на неравномерность транспортных процессов.

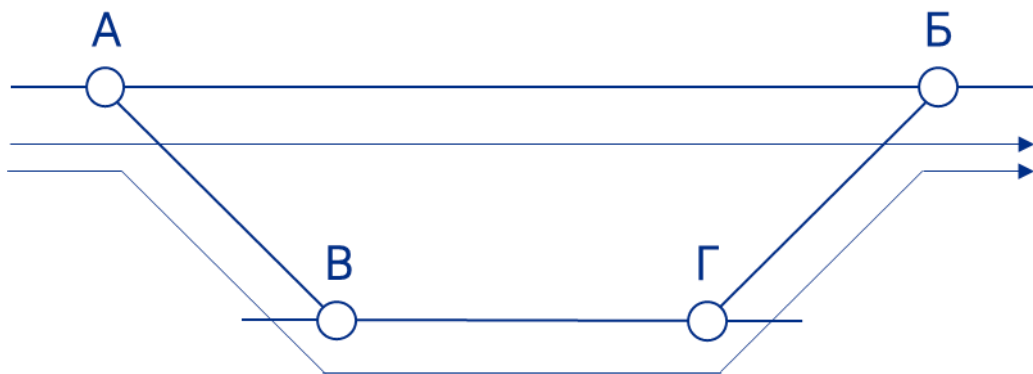


Рисунок 4.9 – Схема подразделения железнодорожной сети  
и направления следования вагонопотоков

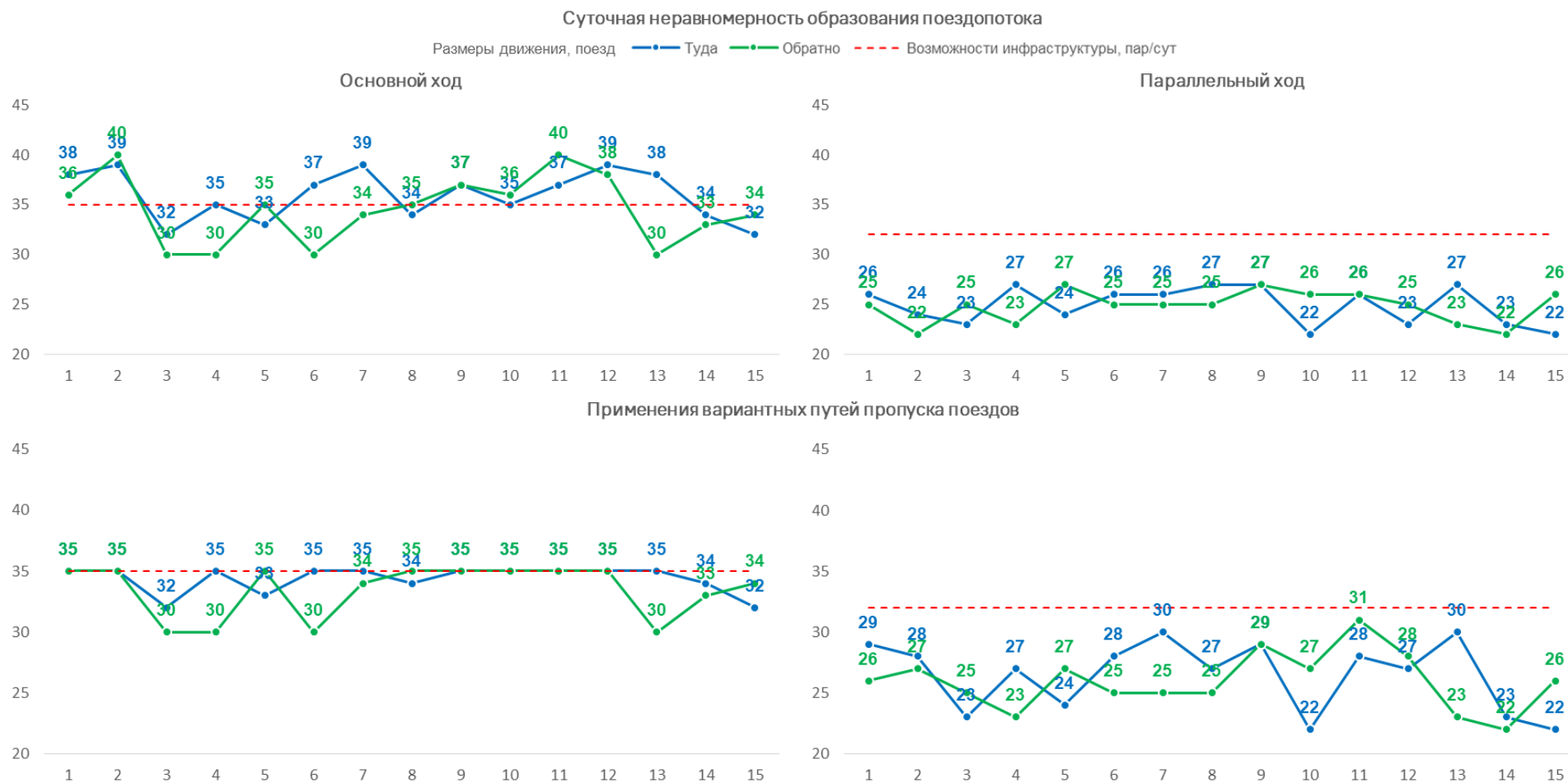


Рисунок 4.10 – Влияние применения вариантных путей пропуска поездов на неравномерность транспортных процессов

Применение непарности движения поездов заключается в возврате порожних поездов более длинными составами, за счёт чего происходит увеличение возможности пропуска грузенной части (рисунок 4.11). Порожние составы возвращаются более длинными составами (Б – Г – В – А), за счёт чего увеличиваются возможности пропуска грузенной части (А – Б). На рисунке 4.12 показано влияние применения непарности движения на неравномерность транспортных процессов.

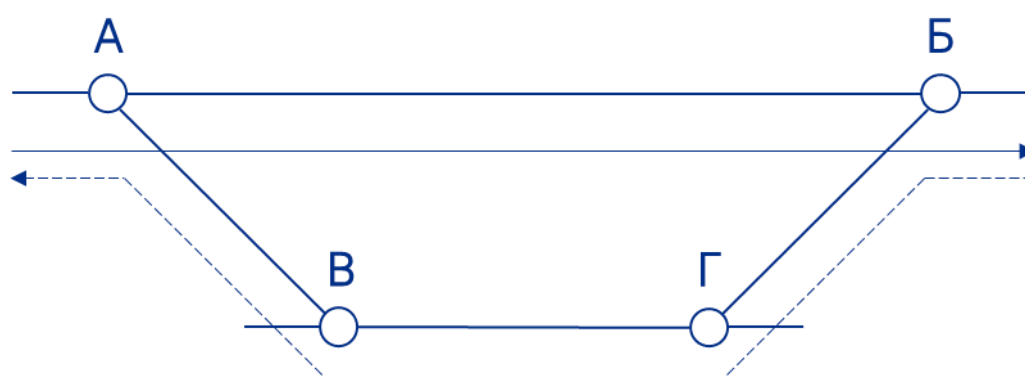


Рисунок 4.11 – Схема подразделения железнодорожной сети и направления следования вагонопотоков

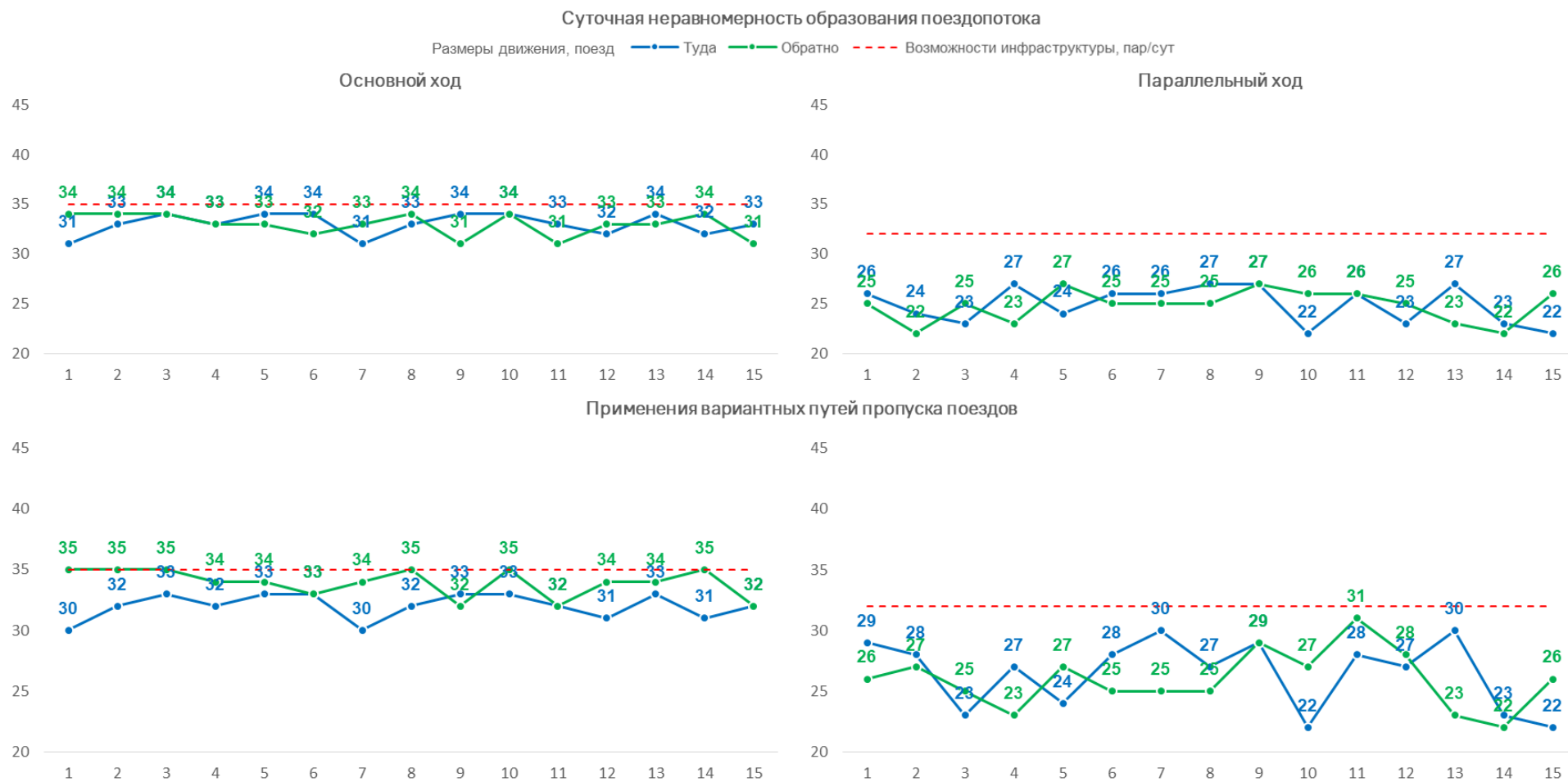


Рисунок 4.12 – Влияние применения непарности движения на неравномерность транспортных процессов

**Технология организации вагонопотоков в поездах  
на инфраструктурах общего и необщего пользования, обеспечивающая  
эффективное использование лимитирующих транспортных объектов**

Снижение потребной пропускной способности достигается за счёт пополнения маршрутов по согласованной технологии, устанавливающей допустимые назначения групп пополнения, а также станции прицепки и отцепки (рисунок 4.13).

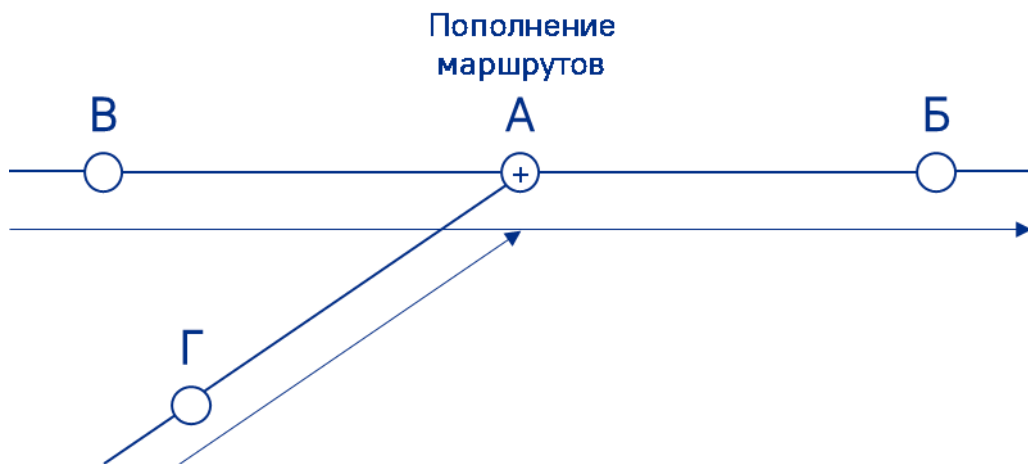


Рисунок 4.13 – Схема подразделения железнодорожной сети  
и направления следования вагонопотоков

На рисунке 4.14 показано влияние пополнения маршрутов по согласованной технологии на неравномерность транспортных процессов.

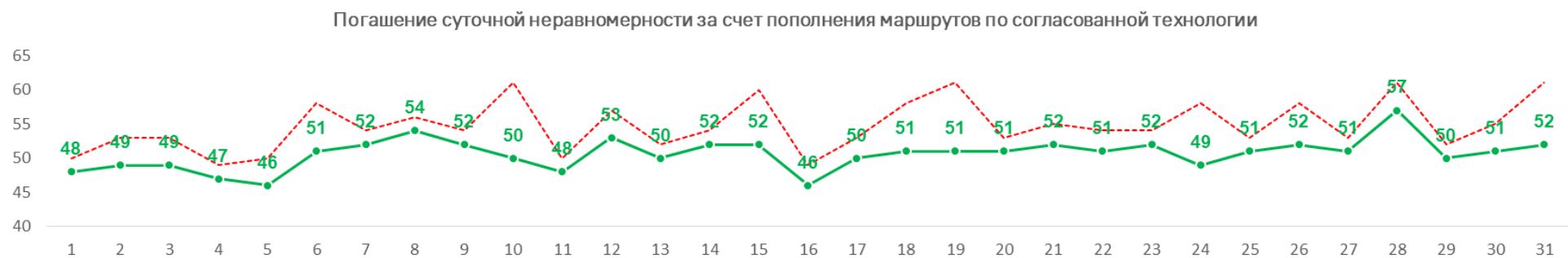


Рисунок 4.14 – Влияние пополнения маршрутов по согласованной технологии на неравномерность транспортных процессов



**Согласованное оперативное планирование и заадресовка  
грузёных и порожних вагонов в соответствии  
с доступными инфраструктурными и графиковыми ресурсами**

Снижение потребной пропускной способности достигается за счёт планирования предъявления груженых вагонов к перевозке. На лимитирующем направлении обеспечивается погрузка равномерно. Колебания погрузки направляют в другие адреса, где неравномерность будет компенсирована резервами пропускной способности (рисунок 4.15).

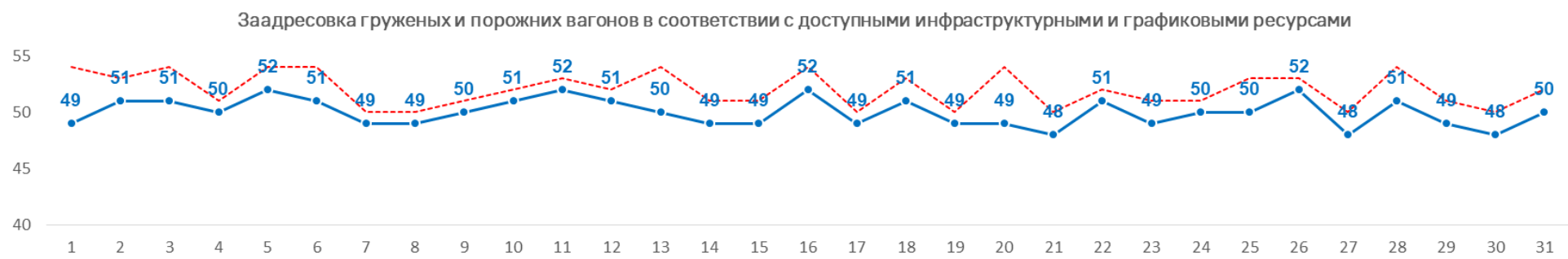


Рисунок 4.15 – Влияние заадресовки гружёных и порожних вагонов в соответствии с доступными инфраструктурными и графиковыми ресурсами на неравномерность транспортных процессов

**Структура оперативного управления движением,  
обеспечивающая минимум потерь времени и затрат  
на координацию решений на стыках управляющих звеньев**

На рисунке 4.16 представлен один из примеров неравномерного подвода поездов к технической станции. Для обеспечения переработки поездов без непроизводительных простоев и беспрепятственного продвижения поездов по участку темп прибытия поездов на станцию должен быть менее или равен темпу переработки вагонов на лимитирующем элементе (рисунок 4.17).

Также возможно организовать подвод поездов со значительно меньшим периодом, но только в течение определённого периода. Продолжительность этого периода определяется функциональной ёмкостью парка прибытия (рисунок 4.18). Уплотнение подвода поездов также применяется при трансформации и графика движения (см. рисунок 4.7).

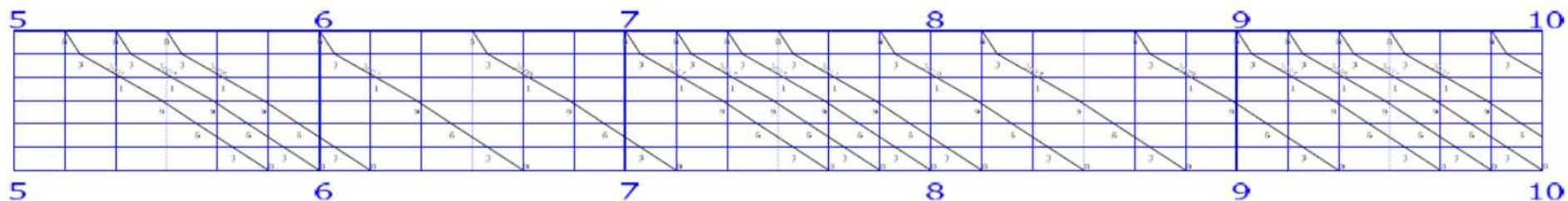


Рисунок 4.16 – Неравномерность поступления поездов на участок

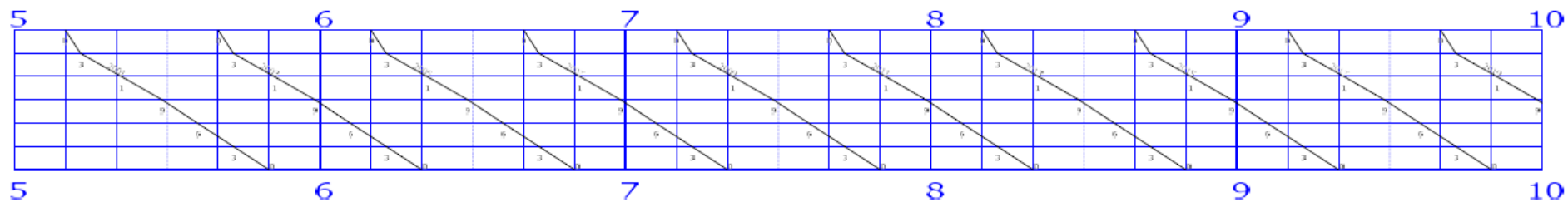


Рисунок 4.17 – Оперативное управление движением поездов, обеспечивающее равномерный подвод поездов

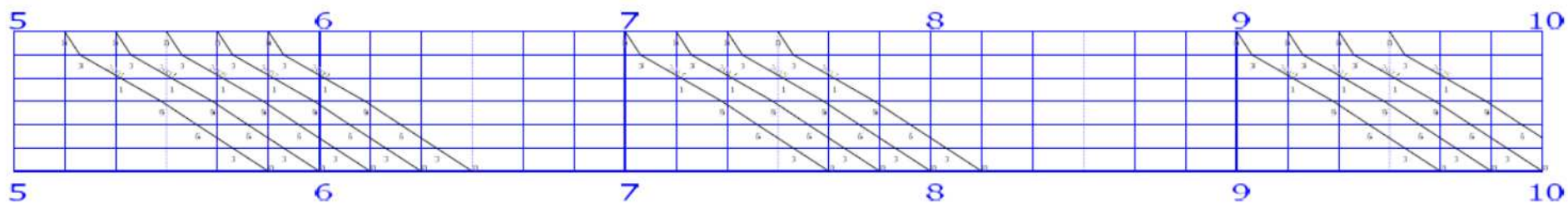


Рисунок 4.18 – Оперативное управление движением поездов, обеспечивающее подвод «сгущение – разряжение»

### Уменьшение коэффициентов съёма пропускной способности поездами различных категорий

Снижение потребной пропускной способности достигается за счёт:

- изменения порядка пропуска поездов на многопутных участках (рисунок 4.19);
- замедления пассажирских поездов (рисунок 4.20);
- ускорения порожних неполновесных контейнерных (рисунок 4.21).

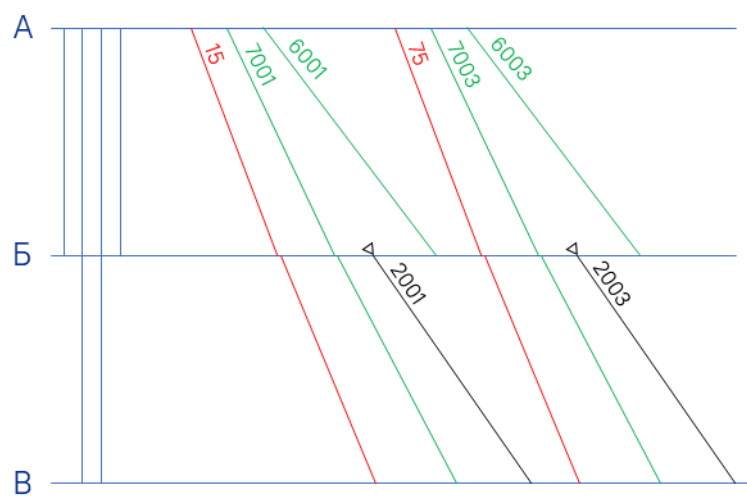


Рисунок 4.19 – Изменение порядка пропуска поездов  
на многопутных участках

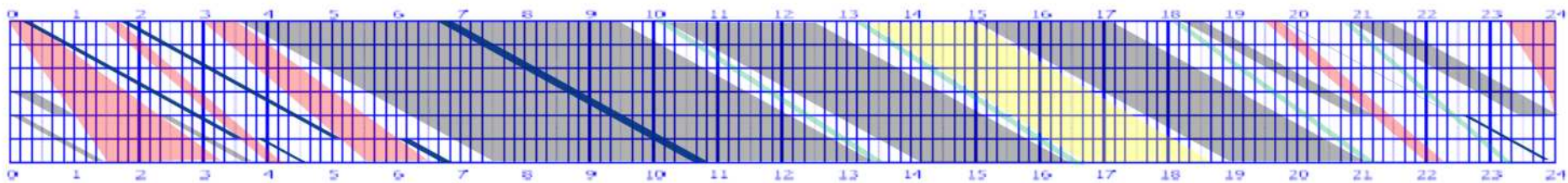


Рисунок 4.20 – Влияние обращения поездов различных категорий на неравномерность транспортных процессов

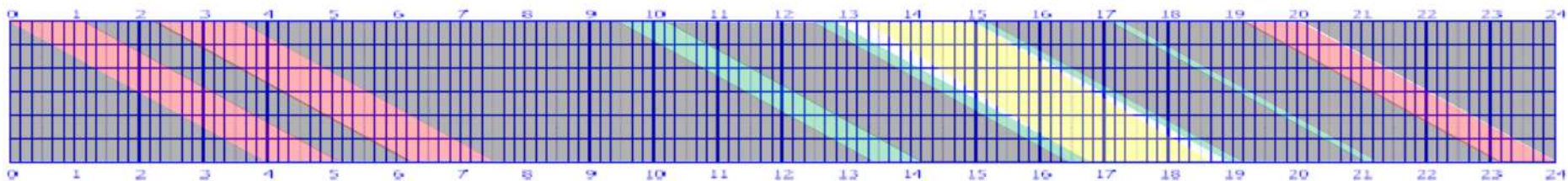


Рисунок 4.21 – Влияние уменьшения коэффициентов съёма пропускной способности пассажирских поездов

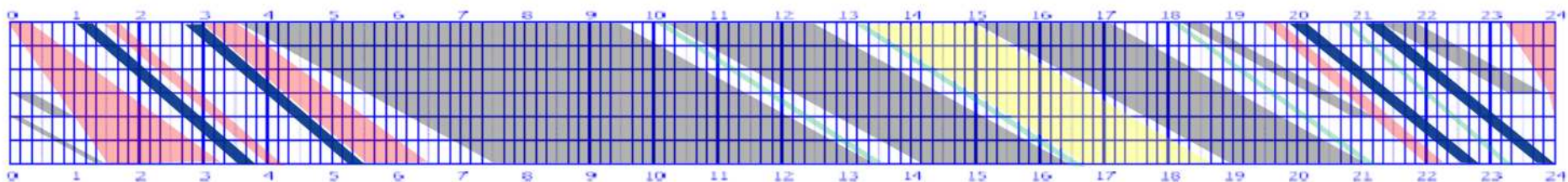


Рисунок 4.22 – Влияние ускорения порожних неполновесных контейнерных  
на неравномерность транспортных процессов

### **Создание и использование регулирующих ёмкостей станционных парков на железнодорожных инфраструктурах общего и необщего пользования**

Снижение потребной пропускной способности достигается за счёт строительства дополнительных приёмоотправочных путей для ожидания отправления. «Пики» образования вагонопотока компенсируются в дни с резервами возможностей инфраструктуры (рисунок 4.23). Регулирующие емкости станционных парков могут быть использованы при уплотнении подвода поездов (см. рисунок 4.7).

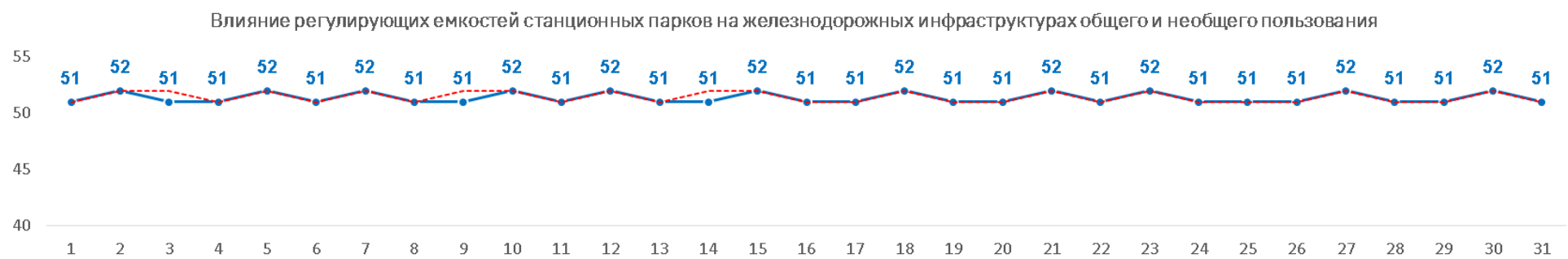


Рисунок 4.23 – Влияние регулирующих ёмкостей станционных парков на железнодорожных инфраструктурах общего и необщего пользования на неравномерность транспортных процессов



**Технология тягового обслуживания, обеспечивающая  
реализуемость рассчитываемой системы поездной работы**

Снижение потребной пропускной способности достигается за счёт:

- скользящих пунктов оборота локомотивов и/или локомотивных бригад;
- изменения величины резерва локомотивов для суточной неравномерности и оперативного регулирования;
- изменения вариантов секционности локомотивов на участке или толкание на лимитирующих перегонах, снижающих потери перевозочных ресурсов.

**4.3 Технология расчетов по обоснованию применения мер воздействия на  
неравномерность транспортных процессов на основе имитационного  
макромоделирования работы железнодорожных полигонов и крупных узлов**

Решения по повышению перевозочных возможностей транспортной инфраструктуры железнодорожных полигонов и крупных узлов должны приниматься на основе вариантных расчётов с созданием имитационных моделей. Комплексная имитационная модель должна удовлетворять требованиям проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий [58] в системе имитационного моделирования ИМЕТРА [42].

Технология расчётов по обоснованию применения мер воздействия на неравномерность транспортных процессов предусматривает следующие этапы:

1. Проведение имитационных расчётов с определением показателей существующего технического оснащения и технологии перевозочного процесса;
2. Аналитическая оценка возможности реализации мер воздействия на неравномерность транспортных процессов;
3. Проведение имитационных расчётов влияния комплекса мер воздействия на показатели перевозочного процесса;
4. Корректировка параметров комплекса мер воздействия в случае выхода контрольных показателей за пределы области допустимых значений;

5. Повторение цикла корректировок имитационной модели с целью определения комплекса мероприятий, при котором контрольные показатели не превышают допустимые значения.

В дни превышения входящего потока над возможностями инфраструктуры (рисунок 1.1) увеличивается продолжительность задержек поездов на технических и промежуточных станциях, дефициты тягового подвижного состава на одних станциях и резервы на других и т.д. В случае отсутствия достаточных резервов в последующие дни происходит заполнение инфраструктуры, при котором все поезда следуют с задержками по неприёму, что приводит к прекращению работы модели.

При этом для каждого варианта определяются значения задержек и загрузки каждого элемента подразделения железнодорожной сети; значения технически допустимого рабочего парка и рабочего парка, при превышении которого все поезда следуют с задержками на подходах к техническим и грузовым станциям. Для значений прогнозного вагонопотока определяется значение коэффициента манёвренности.

При реализации комплекса мероприятий должны соблюдаться следующие условия:

- наличие свободного пространства в плотной городской застройке для строительства дополнительных главных путей и/или удлинения дополнительных приёмоотправочных путей;

- наличие на технических станциях достаточного количества приёмоотправочных путей не менее длины поезда повышенной массы и/или длины;

- наличие на технических станциях вытяжных путей длиной, превышающей длину прицепляемой группы вагонов;

- соблюдение поездом повышенной массы графиковых времён хода;

- возможность трогания поезда повышенной массы при вынужденной остановке на перегонах с неблагоприятным профилем;
- наличие на промежуточных станциях приёмоправочных путей не менее длины поезда повышенной массы и/или длины для обгона и скрещения.
- наличия резерва пропускной способности параллельного хода для пропуска перспективного вагонопотока;
- наличия резерва перерабатывающей способности технических станций параллельного хода для пропуска перспективного вагонопотока;
- отсутствия необходимости изменения ПФП и ПФМ на технических станциях параллельного хода;
- соблюдение условий режима труда и отдыха локомотивных бригад;
- технологическая возможность попеременной смены локомотивных бригад у части поездопотока для снижения загрузки станций.

В случае выхода контрольных показателей за пределы области допустимых значений производится корректировка базовой модели в зависимости от меры воздействия (таблица 4.2).

В имитационной системе ИМЕТРА разработана макромодель полигона Дмитров – Сонково – Мга по определению влияние мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях исчерпания инфраструктурных и графиковых ресурсов (Приложение А).

Таблица 4.2 – Корректировка параметров комплекса мер воздействия в случае выхода контрольных показателей за пределы области допустимых значений

Содержание мер	Изменения, вносимые в имитационную модель		
	Инфраструктура	Технология обслуживания и перевозочные ресурсы	Входящий поток
1.1. Увеличение наличной пропускной способности перегонов, внутриузловых ходов и соединительных ветвей	Изменение типа соединений между станциями, продолжительности окон, времён хода поездов различных категорий		
1.2. Реконструкция промежуточных станций, обеспечивающая снижение потерь пропускной способности с пропуском поездов заданных (в том числе гибких) норм массы и длины составов	Изменение количества путей для выделенных назначений установленной длины; Увеличение количества каналов в горловинах.		
2.1. Снижение потерь пропускной способности из-за влияния смежных устройств путём трансформации потоковой структуры и графика движения		Изменение типа ГДП	Изменение времени появления и/или количества поездов за период времени

Продолжение таблицы 4.2

<p>2.2. Освоение пикового поездобразования за счёт гибких (в сторону увеличения) норм массы и длины поездов</p>		<p>Изменение норм массы и длины поездов</p>	<p>Изменение времени появления и/или количества поездов за период времени</p>
<p>2.3. Применение вариантных путей пропуска поездов и непарности движения</p>		<p>Изменение маршрута следования поездов</p>	<p>Изменение времени появления и/или количества поездов за период времени</p>
<p>2.4. Технология организации вагонопотоков в поезда на инфраструктурах общего и необщего пользования, обеспечивающая эффективное использование лимитирующих транспортных объектов</p>		<p>Изменение норм массы и длины поездов</p>	<p>Изменение времени появления и/или количества поездов за период времени</p>
<p>3.1. Согласованное оперативное планирование и заадресовка гружёных и порожних вагонов в соответствии с доступными инфраструктурными и графиковыми ресурсами</p>		<p>Изменение маршрута следования поездов</p>	<p>Изменение времени появления и/или количества поездов за период времени</p>

Продолжение таблицы 4.2

<p>3.2. Структура оперативного управления движением, обеспечивающая минимум потерь времени и затрат на координацию решений на стыках управляющих звеньев</p>			<p>Изменение времени появления или количества поездов за период времени.</p>
<p>4.1. Уменьшение коэффициентов съёма пропускной способности поездами различных категорий</p>	<p>Изменение времён хода поездов различных категорий</p>	<p>Изменение маршрута следования поездов</p>	
<p>4.2. Создание и использование регулирующих ёмкостей станционных парков на железнодорожных инфраструктурах общего и необщего пользования</p>	<p>Изменение количества путей для выделенных назначений, установленной длины</p>	<p>Изменение маршрута следования поездов</p>	<p>Изменение времени появления или количества поездов за период времени.</p>
<p>4.3. Технология тягового обслуживания, обеспечивающая реализуемость рассчитываемой системы поездной работы</p>		<p>Увеличение количества локомотивов, изменение станций смены локомотивных бригад</p>	

## Выводы по главе 4

1. В условиях истощения инфраструктурных и графиковых ресурсов, необходимости проведения работ по ремонту, строительству и реконструкции инфраструктуры определены решения на базе комплекса мер, воздействия на неравномерность транспортных процессов. Комплексные решения предусматривают механизмы, не только компенсирующие влияние неуправляемой («вредной») неравномерности, но и генерирования управляемой («полезной») неравномерности, улучшающей использование ресурсов и качество транспортного обслуживания.

2. Исследована посуточная динамика рабочего парка вагонов  $P_{\text{раб}}(t)$ , результирующей пропускной способности  $N^*(t)$  и технически допустимого (без задержек по неприёму поездов) вагонопотока  $N_T(t)$  при затруднениях, вызванных внешними и внутренними причинами.

3. Сформирована научная гипотеза о влиянии мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях истощения инфраструктурных и графиковых ресурсов, исходя из оценки их влияния на расчётные элементы использования пропускной и провозной способностей.

4. Спланированы и проведены экспериментальные исследования для проверки гипотезы с применением статистических данных и имитационного моделирования.

## **ГЛАВА 5. ПРИМЕНЕНИЕ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАЗРАБОТАННЫХ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

### **5.1 Развитие комплекса взаимодействующих прикладных автоматизированных систем**

В рамках выполнения Плана мероприятий по реализации Методики расчёта возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объёмов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов, утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 19 мая 2022 г. № 1324/р [59] разработан и развивается комплекс взаимодействующих прикладных автоматизированных систем [11].

Работы по реализации Программы для ЭВМ должны включать разработку (рисунок 5.1):

1) подсистемы расчёта взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период;

2) подсистемы расчёта взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности по направлениям следования вагонопотоков на расчётный период;

3) подсистемы взаимодействия с АСУ;

4) подсистемы факторного анализа результатов расчёта;

5) функции визуализации.



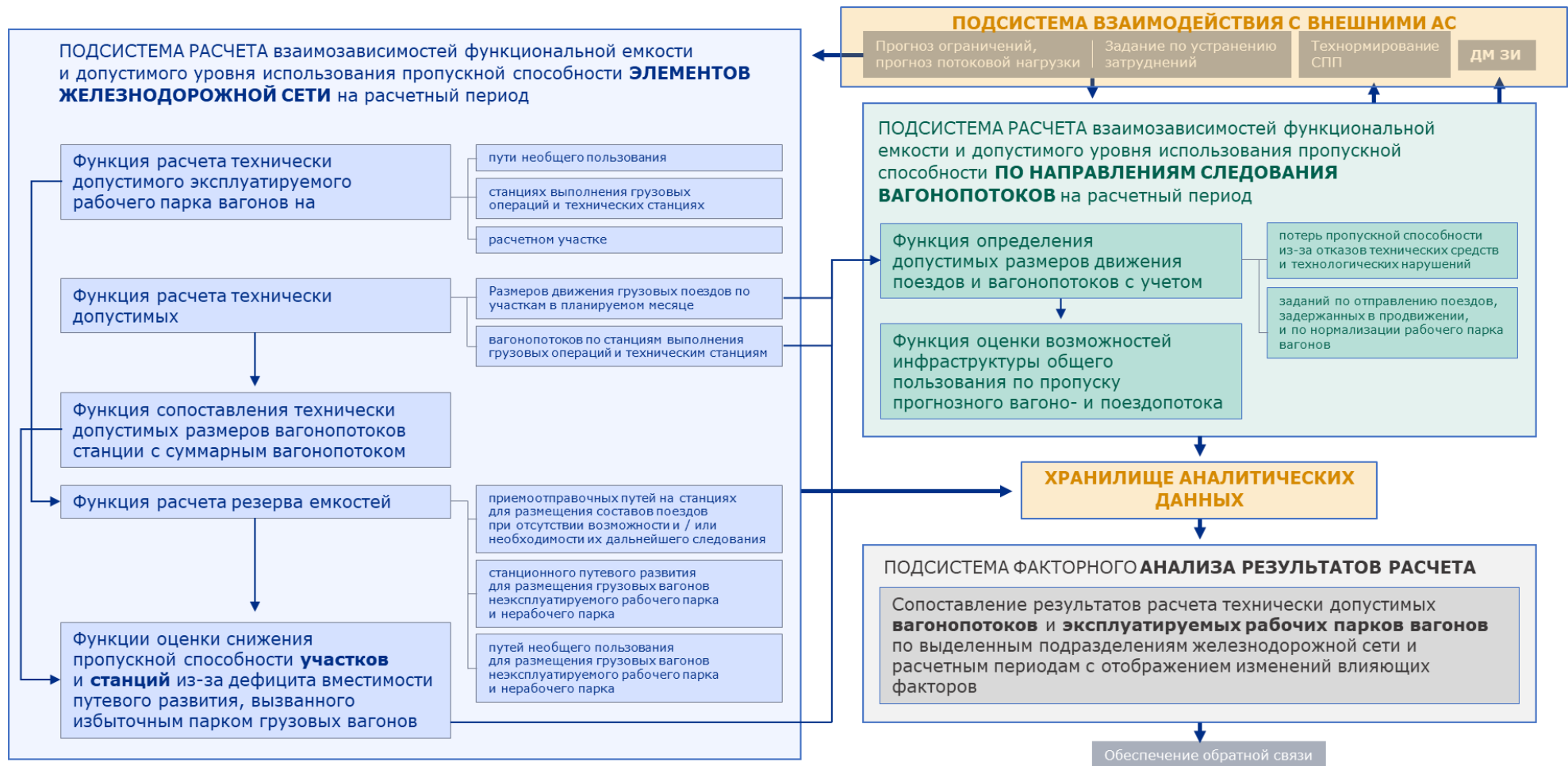


Рисунок 5.1 – Функциональная архитектура АС ПРОГРЕСС.РВИ

### **5.1.1 Разработка подсистемы расчёта взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети на расчётный период**

#### **Пути необщего пользования**

По железнодорожным путям необщего пользования определяются значения технически допустимого (рационального) эксплуатируемого и неэксплуатируемого рабочих парков вагонов.

Расчёт технически допустимого (рационального) эксплуатируемого рабочего парка вагонов пути необщего пользования должен производиться на основе пункта 3.2.1.

Данные о перерабатывающих способностях железнодорожных путей необщего пользования по погрузке, по выгрузке, по погрузке/выгрузке в увязке с периодом года импортируются из модуля «Инфраструктурные ограничения» АС ЭТРАН НП.

Данные о технологических сроках оборота вагона («Нахождение вагона на ПНП по норме», в размерности «мин. (код «Ж» для КОО-4)») импортируются из модуля «Договоры ЭП» АС ЭТРАН НП.

В результате по каждому договору ЭП определяются значения технически допустимого (рационального) эксплуатируемого рабочего парка вагонов (рисунок 5.2).

Технически допустимый рабочий парк на ПНП &gt; Сеть "ОАО" РЖД &gt; Московская дорога

## Московская дорога

Станция	Номер договора	Клиент	Род груза	Код груза	Рабочий парк, ваг	Перерабатывающая способность ПНП, ваг/сут	Нахождение вагона на плт по норме (код "Ж" для КОО-4), мин	Избыточн... парк, ваг
▼ Московская								
▼ АВИАЦИОННАЯ								
АВИАЦИОННАЯ	.10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	ГИПС, ИЗВЕСТЬ, МЕЛ	23 300	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	.10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	АНГИДРИТ (ШПАТ ПОЛЕВОЙ И ШПАТ ЛЕГКИЙ) В КУСКАХ И МОЛОТЫЙ	23 302	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	.10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	СТЕКЛО ЛИСТОВОЕ, НЕ ПОИМЕНОВАННОЕ В АЛФАВИТЕ	26 712	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	.10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	ДОЛОМИТ ДЛЯ СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	29 101	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	.10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	НАТРИЯ ГИДРОКСИД (ЕДКИЙ НАТР. СОДА КАУСТИЧЕСКАЯ), ТВЕРДЫЙ	48 213	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	ГИПС, ИЗВЕСТЬ, МЕЛ	23 300	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	АНГИДРИТ (ШПАТ ПОЛЕВОЙ И ШПАТ ЛЕГКИЙ) В КУСКАХ И МОЛОТЫЙ	23 302	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	СТЕКЛО ЛИСТОВОЕ, НЕ ПОИМЕНОВАННОЕ В АЛФАВИТЕ	26 712	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	ДОЛОМИТ ДЛЯ СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	29 101	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	10/4	ООО "ПИЛКИНГТОН ГЛАСС"	НАТРИЯ ГИДРОКСИД (ЕДКИЙ НАТР. СОДА КАУСТИЧЕСКАЯ), ТВЕРДЫЙ	48 213	5	19	360	0
АВИАЦИОННАЯ	1-10/1	Общество с ограниченной	ЗЕМЛЯ, ПЕСОК, ГЛИНА СТРОИТЕЛЬНЫЕ	23 100	4	19	282	0

Рисунок 5.2 – Технически допустимый (рациональный) эксплуатируемый рабочий парка вагонов пути необщего пользования

Допустимая величина ёмкости 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 с применением [61] и [60]. При отсутствии такого детального анализа  $\Delta P_{\text{НОП}}^{\text{нэп}}$  устанавливается по фактическим данным отчёта КОО-4ВЦ:

$$\Delta P_{\text{НОП}}^{\text{нэп}} = \frac{2K - Ж - З}{24D} \geq 0, \quad (5.1)$$

где  $K$  – из числа группы «З» на ПНП, ваг-час;

$Ж$  – Время нахождения вагона на ПНП по норме, ваг-час;

$З$  – Время нахождения вагона на ответственности организации на станции назначения, ваг-час.

АС ПРОГРЕСС РВИ | Расчет возможностей инфраструктуры | Показатели | Карта

Резерв емкости для НЭП и НРП | Сеть "ОАО" РЖД | Московская дорога

**Московская дорога**

← 06.07.2023

Станция	ОКПО	Клиент	Резерв емкости для НЭП и НРП
Московская			
АВИАЦИОННАЯ			
АВИАЦИОННАЯ	59354526	ООО "ТИЛКИНГТОН ГЛАСС"	13
АВИАЦИОННАЯ	89552695	Общество с ограниченной ответственностью "Рэйл Про"	44
АЗАРОВО			
АЗАРОВО	5472330	Открытое акционерное общество "Калужское предприятие железнодорожного транспорта"	13
АЗОТНАЯ			
АЗОТНАЯ	203815	ПАО "ДОРОГБУЖ"	323
АКУЛОВО			
АКУЛОВО	1547143	Общество с ограниченной ответственностью "Аппарель-Мск"	29
АЛЕКСАНДРОВ			
АЛЕКСАНДРОВ	22730029	Закрытое акционерное общество "АЛьяНС"	0
АЛЕКСАНДРОВ	61521160	Общество с ограниченной ответственностью "ЮТА-АвтоГаз"	0
АЛЕКСАНДРОВ	61353043	ООО "Вторчермет НЛМК Волга"	1
АЛЕКСАНДРОВ	59856446	ООО "ВАГОННОЕ ДЕПО ЖДЗ"	0

Рисунок 5.2 – Технически допустимый (рациональный) неэксплуатируемый рабочий парка вагонов пути необщего пользования

### Станции проведения технических и грузовых операций

Расчёт технически допустимого (рационального) эксплуатируемого рабочего парка вагонов по станциям выполнения грузовых операций и техническим станциям должен производиться на основе пункта 3.2.2 (рисунок 5.3).



Рисунок 5.3 – Технически допустимый (рациональный) эксплуатируемый рабочий парка вагонов на станциях проведения технических и грузовых операций

Расчёт технически допустимых вагонопотоков по станциям проведения технических и грузовых операций должен производиться на основе пункта 3.2.2 (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Технически допустимые вагонопотоки на станциях проведения технических и грузовых операций

Резерв приёмоотправочных путей на станциях  $\Delta\Pi_{\text{по}}$  для размещения составов поездов при отсутствии возможности и/или необходимости их дальнейшего следования определяется по формуле:

$$\Delta\Pi_{\text{по}} = \Pi'_{\text{по}} \left( 1 - \frac{Nt_{\text{б/п}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{с/п}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{м.иоп}}^{\text{ДО-6}} - \frac{Nt_{\text{б}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{м.отст.иоп}}^{\text{ДО-6}}}{\frac{\pi}{\text{брош}}}}{\varphi_{\text{рац.ст}}} \right) \geq 0, \quad (5.2)$$

где  $\Pi'_{\text{по}} - Nt_{\text{б/п}}^{\text{ДО-6}}$ ,  $Nt_{\text{б/п}}^{\text{ДО-6}}$  – число вагонов и вагоно-часы транзитных поездов без переработки;

$Nt_{\text{с/п}}^{\text{ДО-6}}$ ,  $Nt_{\text{с/п}}^{\text{ДО-6}}$  – число вагонов и вагоно-часы транзитных поездов с переработкой;

$N_{\text{м.иоп}}^{\text{ДО-6}}, Nt_{\text{м.иоп}}^{\text{ДО-6}}$  – число вагонов и вагоно-часы местных на инфраструктуре общего пользования;

$N_{\text{м.отст.иоп}}^{\text{ДО-6}}, Nt_{\text{м.отст.иоп}}^{\text{ДО-6}}$  – число вагонов и вагоно-часы местных в т. ч. в отстое на инфраструктуре общего пользования;

$\varphi_{\text{рац.ст}}$  – коэффициент вместимости путевого развития станций (допустимое значение).

Избыточный парк вагонов определяется по формуле:

$$P_{\text{изб.ст}} = \frac{Nt_{\text{б/п}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{с/п}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{м.иоп}}^{\text{ДО-6}} - \frac{Nt_{\text{б}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{м.отст.иоп}}^{\text{ДО-6}}}{\frac{\pi}{\text{брош}}}}{24 \cdot \varphi_{\text{рац.ст}}} - P_{\text{техн.ст}} \quad (5.3)$$

Снижение перерабатывающей способности станций определяется по формуле:

$$\Delta N_{\text{T}} = N_{\text{T}} \left( 1 - \frac{24 P_{\text{техн.ст}}}{Nt_{\text{б/п}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{с/п}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{м.иоп}}^{\text{ДО-6}} - \frac{Nt_{\text{б}}^{\text{ДО-6}} + Nt_{\text{м.отст.иоп}}^{\text{ДО-6}}}{\frac{\pi}{\text{брош}}}} \right) \geq 0, \quad (5.4)$$

где  $N_{\text{T}}$  – технически допустимые размеры вагонопотоков.

Расчёт резерва ёмкостей приёмотправочных путей на станциях для размещения грузовых вагонов неэксплуатируемого рабочего парка и нерабочего парка должен производиться на основе пункта 3.2.2. Данные по приёмотправочным путям станций, на которых по местным условиям (включая продольный профиль) разрешены отставление поездов от движения и отстой подвижного состава вне перевозочного процесса ведётся в АС ЦНСИ (АРМ ПСП) согласно приказов НЗ-1 (рисунок 5.5). Расчётные показатели станций проведения технических и грузовых операций приведены на рисунке 5.6.

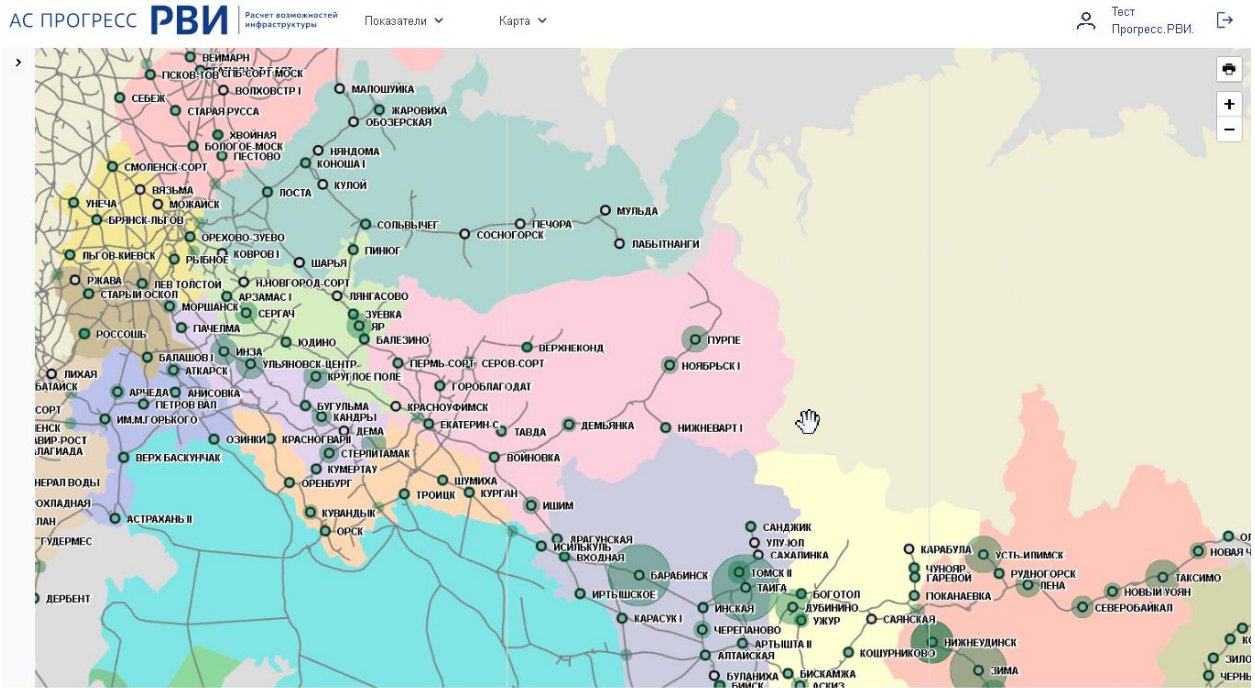


Рисунок 5.5 – Распределение приёмootправочных путей на станциях сети ОАО «РЖД» для размещения вагонов неэксплуатируемого рабочего парка и нерабочего парка

АС ПРОГРЕСС РВИ | Расчет возможностей инфраструктуры | Показатели | Карта | test -- |

Технически допустимый рабочий парк на станциях > Сеть "ОАО" РЖД > Октябрьская дорога

### Октябрьская дорога

22.08.2023

Станция	Сорт. система	Емкость, ваг	Техниче... допусти... рабочи... ваг	Технически допустимые размеры вагонопот...			Местные	Резерв приемоотправочных путей для отставления, ваг	Резерв приемоотправочных путей для НЭП и НРП, ваг	Избыточный парк, ваг	Снижение перерабатывающей способности, ваг/сут			
				Транзит прослед...	Транзит ... перера...	Транзит с перера...					Транзит прослед...	Транзит ... перера...	Транзит с перера...	Местные
▼ Октябрьская														
АВТОВО		1 155	304	0	0	5	808	19	0	0	0	0	0	0
АПАТИТЫ		3 603	1 021	0	3 613	1 015	14	0	30	50	0	169	47	0
БАБАЕВО		3 619	809	0	13 567	312	4	0	60	114	0	1 633	37	0
БЕЛОМОРСК		2 206	720	0	5 832	1 086	0	0	0	121	0	810	150	0
БЕРЕЗКИ		2 079	498	6 023	1 077	990	258	3	150	0	0	0	0	0
БОЛОГОЕ-МОСКОВСКОЕ		4 281	1 565	0	19 400	475	9	34	36	0	0	0	0	0
БОРОВИЧИ		640	76	0	0	0	380	1	7	0	0	0	0	0
БРОНКА		455	165	0	0	634	0	9	0	0	0	0	0	0
БУДОГОЩЬ		463	109	0	1 521	63	0	0	26	0	0	0	0	0
БУСЛОВСКАЯ		840	291	1 331	570	657	0	9	16	0	0	0	0	0
ВЕЙМАРН		2 576	483	0	12 236	253	0	14	136	0	0	0	0	0
ВЕЛИКИЕ ЛУКИ		2 988	737	570	1 268	680	48	15	38	0	0	0	0	0
ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД		1 743	461	0	3 740	436	300	32	170	0	0	0	0	0

Рисунок 5.6 – Расчётные показатели станций проведения технических и грузовых операций

## Расчётные участки

Расчёт технически допустимых размеров движения грузовых поездов по участкам в планируемом месяце должен производиться на основе пункта 3.2.3.

Данные о размерах движения грузовых поездов импортируются из ВГДП ИСУЖТ ежедневно по мере готовности ВГДП. В случае отсутствия данных ВГДП рассчитывается снижение графических размеров грузового движения в связи с предоставлением «окон» на основе данных АС АПВО-2. При отсутствии данных в АС АПВО-2 размеры движения грузовых поездов принимаются согласно нормативному ГДП (рисунок 5.7).

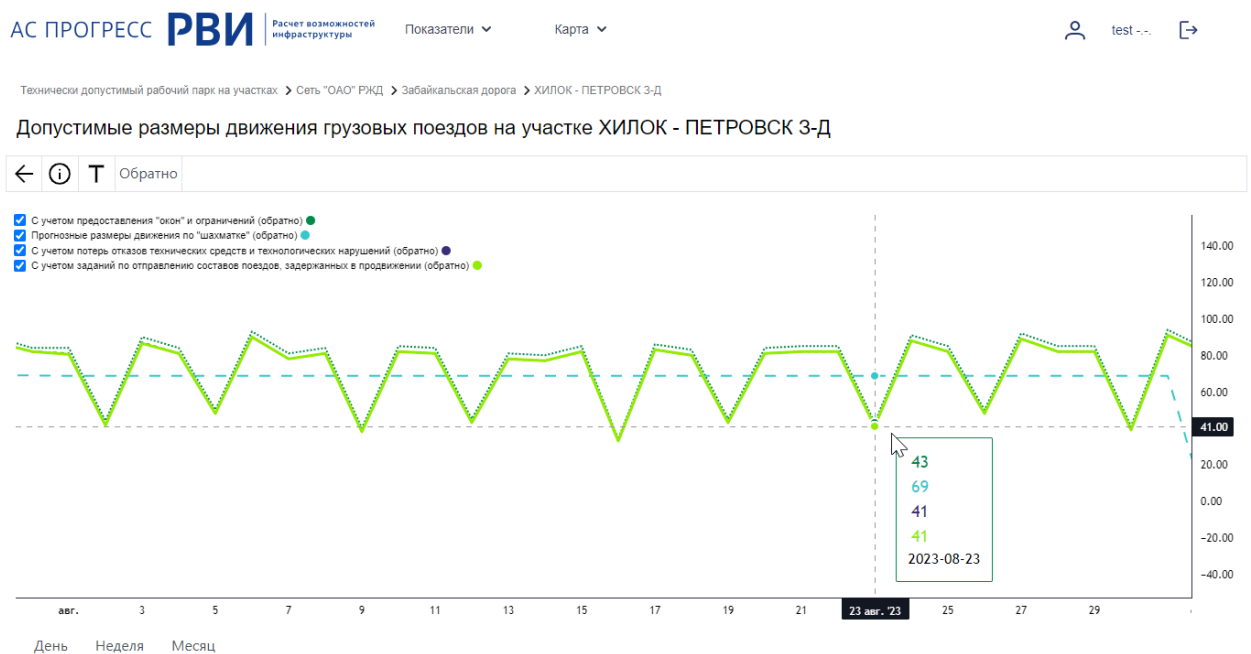


Рисунок 5.7 – Технически допустимые размеры движения грузовых поездов по участкам с учётом предоставления "окон" и ограничений в планируемом месяце

Расчёт технически допустимого (рационального) эксплуатируемого рабочего парка вагонов на расчётных участках должен производиться на основе пункта 3.2.3 и результатам функции расчёта технически допустимых размеров движения грузовых поездов по участкам в планируемом месяце (рисунок 5.8).



Технически допустимое наличие вагонов эксплуатируемого рабочего парка в поездах на участках в планируемом месяце

$$P_{\text{техн.уч}}^{\text{пл}} = \frac{(n_{\text{т.уч}}^{\text{туда}} + n_{\text{т.уч}}^{\text{обратно}}) L_{\text{уч}} m_{\text{уч}}}{24V_{\text{уч}}} \quad (3.17)$$

Средний состав грузового поезда на участке  $m_{\text{уч}}$  рассчитывается на основе отчетов ДО-1 и ЦО-1. Участковая скорость грузовых поездов  $V_{\text{уч}}$  при наличии вариантного ГДП импортируется из ВГДП ИСУЖТ, при отсутствии – из нормативного ГДП.

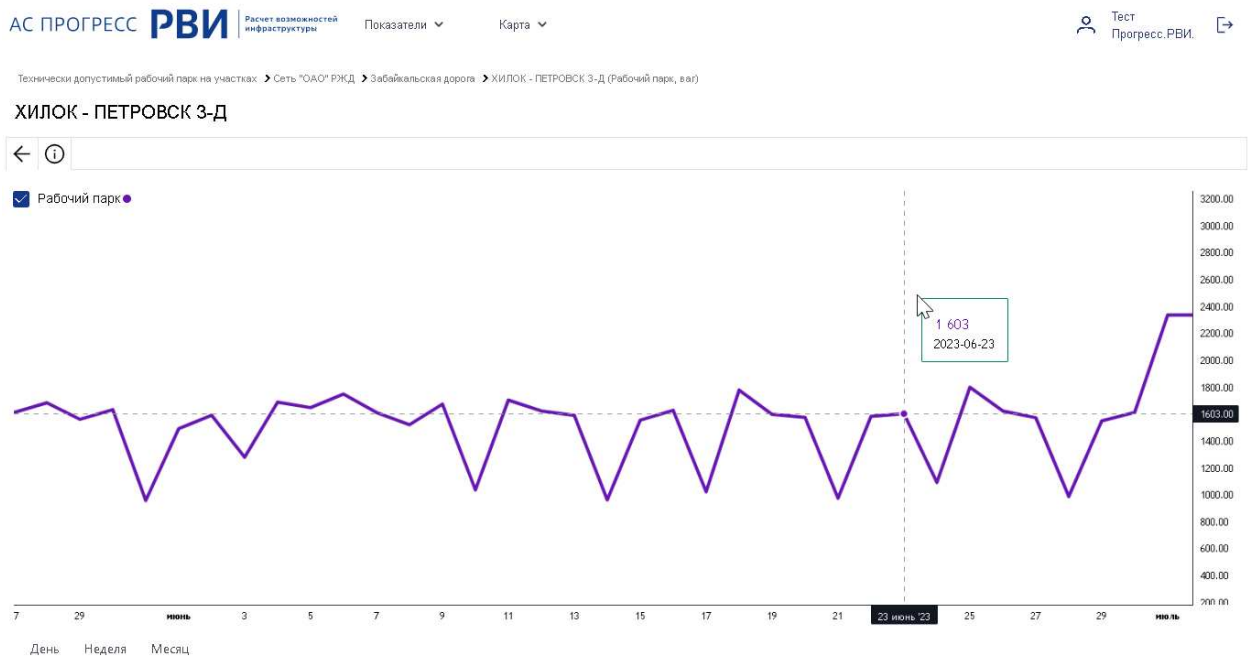


Рисунок 5.8 – Технически допустимый (рациональный) эксплуатируемый рабочий парка вагонов на участках

### 5.1.2 Разработка подсистемы расчёта взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности по направлениям следования вагонопотоков на расчётный период

Определение допустимых размеров движения поездов и вагонопотоков с учётом потерь пропускной способности из-за отказов технических средств и технологических нарушений должно производиться на основе пункта 3.3.1.

Среднесуточные поездо-часы задержек грузовых поездов по отказам технических средств  $\Sigma nt_{\text{отс}}$  (по данным АС КАСАНТ) и технологическим нарушениям  $\Sigma nt_{\text{тн}}$  (по данным АС КАСАТ) определяются за прошедший месяц на каждом перегоне и станции в т.ч. за Дирекцией управления движением, Дирекцией Тяги, Службой вагонного хозяйства, Дирекцией инфраструктуры, службой автоматики и телемеханики, службой электрификации и электроснабжения и прочими службами.

Поездо-часы грузовых поездов по диспетчерским участкам с учётом движения по многопарковым станциям  $\Sigma nt_{\text{общ}}$  определяются за прошедший месяц по данным отчёта ДО-10.

Определение допустимых размеров движения поездов и вагонопотоков с учётом заданий по отправлению поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов должно производиться на основе пункта 3.3.2.

Наличие составов поездов, задержанных в продвижении, на станциях в зоне влияния на рассматриваемый участок на начало планируемого месяца  $p_3$  определяется 24 числа текущего месяца по данным отчета ДО-5ВЦ. Решение о длительности периода нормализации поездной обстановки  $T_{\text{норм}}$  должно приниматься на основе распределения временно отставленных от движения поездов на станциях сети ОАО «РЖД» 24 числа текущего месяца.

В результате по каждому расчётному участку определяются технически допустимые размеры движения поездов с учётом запланированных «окон» и действующих ограничений (пунктирная линия), с учётом потерь пропускной способности из-за отказов технических средств и технологических нарушений (штрихпунктирная линия), а также с учётом заданий по отправлению поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов (жирная сплошная линия). При этом пунктирная и штрихпунктирная линии параллельны, т.к. предполагается снижение технически допустимых размеров на фиксированную величину в течение месяца. Снижение технически допустимых размеров с учётом

заданий по отправлению поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов происходит только на заданный период нормализации поездной обстановки (рисунок 5.9).

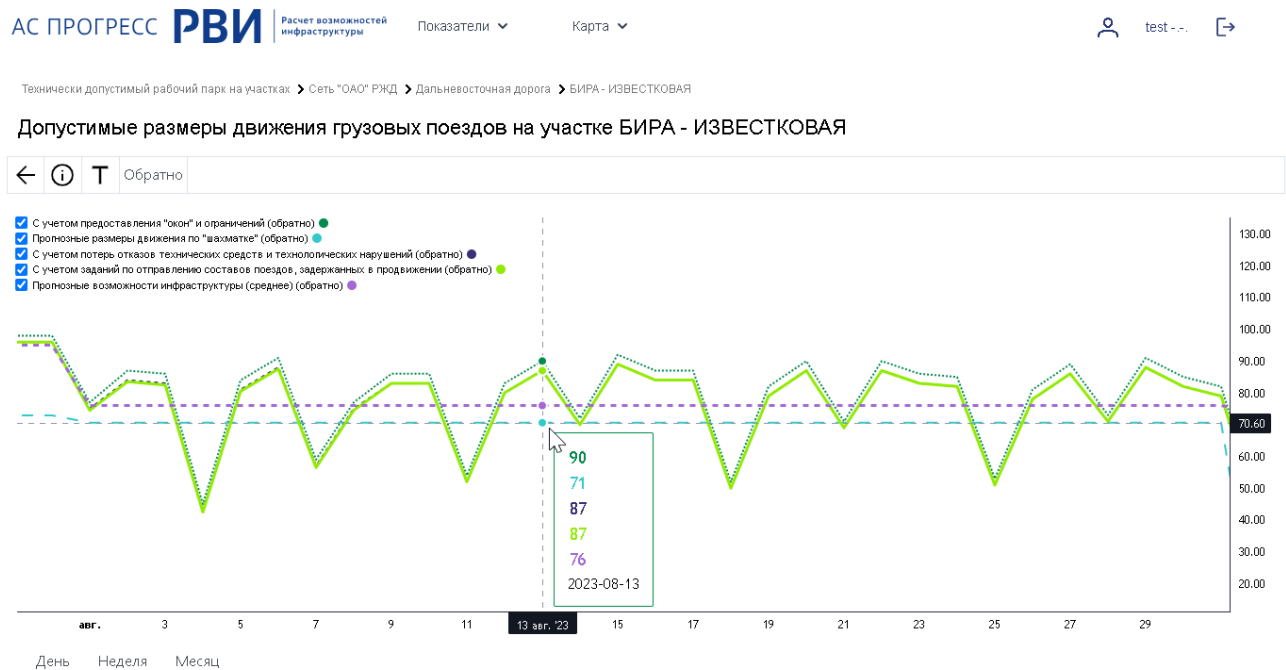


Рисунок 5.9 – Технически допустимые размеры движения с учётом отказов технических средств и технологических нарушений и заданий по отправлению поездов, задержанных в продвижении, и по нормализации рабочего парка вагонов

### 5.1.3 Разработка подсистемы факторного анализа результатов расчёта в составе следующей функции

На первом этапе эксплуатации АС ПРОГРЕСС.РВИ предполагается сопоставление результатов расчётов технически допустимых вагонопотоков и эксплуатируемых рабочих парков вагонов по выделенным подразделениям железнодорожной сети за расчётный период с фактическими данными согласно отчёту ДО-8ВЦ (рисунок 5.10).

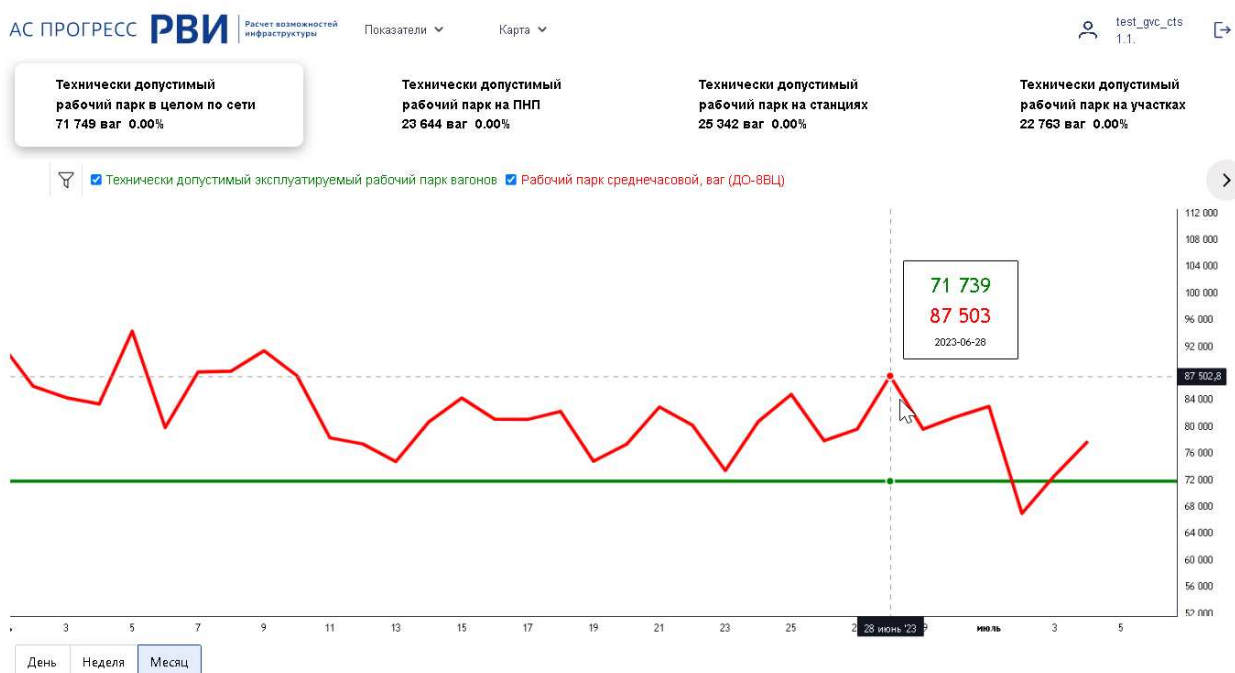


Рисунок 5.10 – Сопоставление результатов расчётов технически допустимого эксплуатируемого рабочего парка и фактических значений по железной дороге ОАО «РЖД»

## 5.2 Перспективы развития разработанных научно-методических решений. Расчёт нормативного наличия парка гружёных и порожних вагонов

В настоящее время расчёт нормативного наличия парка грузовых вагонов производится на основании [30].

Для повышения адресности и качества нормирования парка грузовых вагонов разработана Инструкция по расчёту нормативного наличия парка гружёных и порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, принадлежащих ОАО «РЖД», и примыкающих к ним путям необщего пользования, следующих в установленных назначениях, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2022 г. № 3471р [28], на основании которой к расчёту принимается каждая планируемая к перевозке корреспонденция (дорога отправления – дорога назначения, грузоотправитель, грузополучатель, в т. ч. в детализации по номенклатурам груза).

Нормирование наличия вагонов на рейсе должно производиться по пути следования каждой вагонокорреспонденции согласно плану формирования грузовых поездов, плану маршрутных перевозок, нормативному и вариантному графику движения поездов с учётом поэлементного времени нахождения в движении, на технических станциях, под грузовыми операциями.

Учитывая большой объём расчётных корреспонденций (на припортовые станции их число составляет до 685 корреспонденций) процесс расчёта нормативов может быть выполнен только автоматизированным способом.

Применение новой системы нормативов поструйного наличия гружёных и порожних вагонов предусматривается в Центральной дирекции управления движением – филиале ОАО «РЖД» и её структурных подразделениях – Центре управления перевозками, региональных дирекциях управления движением, диспетчерских центрах управления движением, логистических центрах дирекций управления движением на припортовых железных дорогах во взаимодействии с владельцами железнодорожных путей необщего пользования, в том числе с операторами морских терминалов, операторами подвижного состава.

## Выводы по главе 5

1. Сформулированы функциональная структура, требования к архитектуре взаимодействия со смежными системами АС ПРОГРЕСС. Расчёт оценки функциональных возможностей элементов железнодорожной инфраструктуры по пропуску объёмов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов (АС ПРОГРЕСС. РВИ).

2. Разработаны постановки задач автоматизации расчётов взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети и направлениям следования вагонопотоков на расчётный период на основе указанных методических решений.

3. Дальнейшим развитием полученных в диссертации результатов должны стать автоматизация расчёта нормативного наличия парка гружёных и порожних вагонов на основе Инструкции по расчёту нормативного наличия парка гружёных и порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, принадлежащих ОАО «РЖД», и примыкающих к ним путям необщего пользования, следующих в установленных назначениях, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2022 г. № 3471р.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе исследования диапазонов изменения факторов снижения участковой скорости грузовых поездов и использования локомотивов грузового движения из-за наличия избыточных вагонных парков модернизированы положения методики анализа динамики процессов и показателей эксплуатационной работы и взаимозависимостей их изменения в условиях снижения манёвренности подразделений железнодорожной сети с использованием информационных ресурсов ОАО «РЖД».

2. Разработаны методические решения по расчёту взаимозависимостей функциональной ёмкости и допустимого уровня использования пропускной способности элементов железнодорожной сети и направлений следования вагонопотоков для динамического планирования грузовых перевозок и технического нормирования эксплуатационной работы.

3. Разработаны классификация мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях исчерпания инфраструктурных и графиковых ресурсов, исходя из оценки их влияния на расчётные элементы использования пропускной и провозной способностей, а также технология расчётов по обоснованию применения этих мер на основе имитационного макро моделирования работы железнодорожных полигонов и крупных узлов с использованием системы ИМЕТРА.

4. Разработаны постановки задач автоматизации расчётов возможностей железнодорожной инфраструктуры на основе указанных методических решений. Дальнейшим развитием полученных в диссертации результатов должны стать автоматизация расчета нормативного наличия парка груженых и порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, принадлежащих ОАО «РЖД», и примыкающих к ним путям необщего пользования, следующих в установленных назначениях.

**Список использованных источников**

1. Аксенов, В. И. Ёмкость путевого развития железных дорог и её резервы в условиях тепловозной и электровозной тяги / В. И. Аксенов // Труды ТашИИЖТ. – 1960. – Вып. 13. – С. 71.
2. Аксенов, И. Я. Теоретические основы расчёта ёмкости железных дорог / И. Я. Аксенов // Вестник ВНИИ. – 1957. – № 8. – С. 36–41.
3. Александров, А. Э. Расчёт и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методологи) : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : 05.22.08 / Александров Александр Эрнстович. – Екатеринбург, 2008. – 49 с.
4. Архангельский, Е. В. Теория и практика расчёта мощностей железнодорожных станций : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Архангельский Евгений Витальевич. – М., 1999. – 260 с.
5. Балч, В. И. Вопросы оперативного регулирования перевозок / В. И. Балч. – М. : Трансжелдориздат, 1953. – 156 с.
6. Баранов, А. М. Рациональная загрузка железнодорожных линий / А. М. Баранов, В. Е. Козлов, А. Д. Чернюгов; под общ. ред. канд. техн. наук Л. Ф. Пустовойтова. – М. : Транспорт, 1968. - 207 с.
7. Бартнев, П. В. Железнодорожные станции и узлы : Учебник для вузов ж.д. транспорта / П. В. Бартнев. – М. : Трансжелдориздат, 1953. – 504 с.
8. Бахадилов, Ф. В. Рациональное соотношение ёмкости путевого развития и размеров вагонного парка на сортировочных и участковых станциях : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Бахадилов Фуод Вадудович. – М., 1982. – 173 с.
9. Бернад, К. А. Передовые приёмы регулирования движения поездов и оборота локомотивов / К. А. Бернад, Г. А. Белоусов // Техника железных дорог. – 1951. – № 6. – С. 7–10.
10. Бородин, А. Ф. 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.

11. Бородин, А. Ф. 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.

12. Бородин, А. Ф. Повышение и использование перевозочной мощности полигонов сети : эффективные стратегия и тактика / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. А. Лаханкин [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 7. – С. 8–16.

13. Бородин, А. Ф. Проблемы разработки Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» / А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 8. – С. 34–42.

14. Бородин, А. Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учётом увеличения доли частных вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 8–19.

15. Бородин, А. Ф. Эффективно использовать станционные мощности / А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 6. – С. 37–43.

16. Бурнашов, И. П. О влиянии отказов технических средств на пропускную способность железнодорожных линий / И. П. Бурнашов // Сб. науч. тр. – Новосибирск : НИИЖТ, 1974. – Вып. 158. – С. 36–41.

17. Бурнашов, И. П. Повышение пропускной способности грузонапряженных линий / И. П. Бурнашов, Н. И. Федотов // Железнодорожный транспорт. – 1978. – № 12. – С. 16–20.

18. Бурнашов, И. П. Исследование вопросов увеличения пропускной способности и организации работы станций и участков на грузонапряженных двухпутных линиях : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Бурнашов Иван Петрович. – Новосибирск, 1977. – 191 с.

19. Быкадоров, А. В. Системное исследование технологии оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Быкадоров Александр Васильевич. – Новосибирск, 1981. – 385 с.

20. Васильев, И. И. Графики и расчёты по организации железнодорожных перевозок : учебное пособие / И. И. Васильев. – М. : Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941. – 575 с.

21. Васильев, И. И. Определение необходимой мощности отдельных элементов станции. Труды ЛИИЖТ. Вып. 140. / И. И. Васильев. – М. : Трансжелдориздат, 1949. – С. 67–93.

22. Гибшман, А. Е. Ещё об определении стоимости вагоно-часа и локомотиво-часа / А. Е. Гибшман, Э. Д. Фельдман // Железнодорожный транспорт. – 1973. – № 3. – С. 67–70.

23. Гордеенко, П. Я. Регулировка движения : Конспект лекций, прочит. в Петрогр. школе путей сообщения в 1918/19 г. / П. Я. Гордеенко. – Петроград : Петрогр. школа путей сообщения, 1919. – 5, 69 с.

24. Дмитренко, А. В. Организация перевозочного процесса при ограничениях в движении поездов на двухпутных линиях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Дмитриенко Алексей Васильевич. – М., 1997. – 35 с.

25. Железнодорожный транспорт в зеркале реформ (часть 3) [Электронный ресурс] // ГУДОК [сайт]. [2004]. URL : <https://gudok.ru/newspaper/?ID=773160> (дата обращения : 27.05.2022).

26. Заглядимов, Д. П. Организация движения на железнодорожном транспорте : Утв. УУЗ МПС в качестве учебника для ж.-д. техникумов / Д. П. Заглядимов, А. П. Петров, Е. С. Сергеев. – М. : Трансжелдориздат, 1947. – 596 с.

27. Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД», утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 19.01.2018 г. № 84р.

28. Инструкция по расчёту нормативного наличия парка гружёных и порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования,

принадлежащих ОАО «РЖД», и примыкающих к ним путям необщего пользования, следующих в установленных назначениях утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2022 г. № 3471р.

29. Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 04 марта 2022 г. № 545/р.

30. Инструкция по составлению месячных технических норм работы вагонных парков, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 30 декабря 2018 г. № 2819р.

31. Иоктон, А. И. Диспетчеры и резервы / А. И. Иоктон // Железнодорожный транспорт. – 1969. – № 5. – С.13–17.

32. Использование локомотивов в условиях ограничений в движении поездов / Всесоюз. НТО железнодорожников и трансп. строителей. – М. : Транспорт, 1990. – 43 с.

33. Карейша, С. Д. Железнодорожные станции / С. Д. Карейша. – М. : Транспечать НКПС, 1930. – 304 с.

34. Кащеева, Н. В. Интерактивное исследование железнодорожных станций : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Кащеева Наталья Вячеславовна. – Екатеринбург, 2014. – 140 с.

35. Климанов, В. С. Вопросы оперативного регулирования поездопотоков на направлении : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Климанов Владимир Семенович. – М., 1982. – 213 с.

36. Климанов, В. С. Об эффективности регулировочных мероприятий в условиях насыщения дорог поездопотоками / В. С. Климанов // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – № 4 – С. 5–8.

37. Ковалев, И. В. Транспорт в Великой Отечественной войне (1941–1945 гг.) / И. В. Ковалев. – М. : Наука, 1981. – 480 с.

38. Козлов, И. Т. Пропускная способность транспортных систем / И. Т. Козлов. – М. : Транспорт, 1985. – 214 с.

39. Козлов, П. А. Исследование на макромодели полигона при организации тяжеловесного движения / П. А. Козлов, И. О. Набойченко // Наука и техника транспорта. – 2016. – № 1. – С. 104–109.
40. Козлов, П. А. О методах расчёта систем железнодорожного транспорта / П. А. Козлов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 12. – С. 28–32.
41. Козлов, П. А. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. И. Сорокин // Транспорт Урала. – 2016. – № 3(50). – С. 3–8.
42. Козлов, П. А. Макромоделирование транспортных узлов / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. Ю. Пермикин, И. Г. Слободянюк // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 10. – С. 38–40.
43. Колдомасов, Ю. И. Маневренность железных дорог в ходе Великой Отечественной войны / Ю. И. Колдомасов // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 4. – С. 33–42.
44. Колокольников, В. С. Структурно-функциональная оптимизация полигонов на сети железных дорог : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Колокольников Виталий Сергеевич. – Екатеринбург, 2020. – 302 с.
45. Коренько, А. Уголь попал в заразный тупик [Электронный ресурс] / А. Коренько, С. Бурмистрова // РБК [сайт]. – 2022. Режим доступа : <https://www.rbc.ru/newspaper/2022/02/18/620cf57e9a79470d7a654870> (дата обращения : 27.05.2022).
46. Корешков, А. Н. Влияние простоев в ожидании формирования поездов на перерабатывающую способность сортировочного комплекта / А. Н. Корешков // Труды МИИТ. – Вып. 379. – 1974. – С. 128–145.
47. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1990. – 424 с.
48. Кравченко, А. А. Влияние избыточных вагонных парков на эффективность и результативность работы железнодорожной сети / А. А. Кравченко // Бюллетень учёного совета АО «ИЭРТ» за 2022 год. – М. : ИЭРТ, 2023. – Вып. 8. – Т. 2. – С. 59–71.

49. Кравченко, А. А. Методические подходы к оценке манёвренности подразделений железнодорожной сети и её обеспечению / А. А. Кравченко // Тихомировские чтения : Синергия технологии перевозочного процесса : Материалы Международной научно-практической конференции, Гомель, 10–11 декабря 2020 года; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2021. – С. 197–199.

50. Кравченко, А. А. Разработка научно-методических решений в области обеспечения манёвренности подразделений железнодорожной сети / А. А. Кравченко // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : Труды международной научно-практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2021 года / Отв. ред. А. Ф. Бородин, сост. Р. А. Ефимов. – М. : Российский университет транспорта, 2021. – С. 123–127.

51. Кудрявцев, М. Н. Движение поездов и работа станций / М. Н. Кудрявцев. – Челябинск : тип. Промкомбината, 1927. – 98 с.

52. Куманев, Г. А. На службе фронта и тыла : Ж.-д. транспорт СССР накануне и в годы Великой Отеч. войны, 1938–1945 / Г. А. Куманев. – М. : Наука, 1976. – 455 с.

53. Лапицкий, Х. М. Техничко-экономические показатели сортировочных станций. / Х. М. Лапицкий. – Ленинград : Ленгипротранс, 1970. – 243 с.

54. Леонов, П. П. Опыт нахождения пропускной способности железнодорожных станций / П. П. Леонов, А. Ф. Лютц // Техника и экономика путей сообщения. – 1924. – № 9–10.

55. Лолуа, Р. В. Методы организации взаимодействия станций при различных уровнях использования ёмкостей их путевого развития : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Лолуа Рита Владимировна. – М., 1986. – 159 с.

56. Макаев, Ф. К. Опыт оперативного планирования проездной работы : Из практики Зап.-Сиб. дороги / Ф. К. Макаев, Е. М. Вигдергауз, Ф. У. Грушевский. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – 46 с.

57. Максимович, Б. М. Пропускная способность железнодорожных линий / Б. М. Максимович. – М. : Трансжелдориздат, 1948. – 200 с.

58. Методика проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей с использованием аппарата математического моделирования, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 9 января 2018 г. № 2/р.

59. Методика расчёта возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объёмов перевозок грузов и порожних грузовых вагонов, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 19 мая 2022 г. № 1324/р.

60. Методика расчёта перерабатывающей способности станции, во взаимосвязке с перерабатывающими возможностями грузовых фронтов, мест общего и необщего пользования, на которых осуществляется грузовая работа, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 18 марта 2019 г. № 503/р.

61. Методика расчёта показателей работы вагонных парков, позволяющих осуществлять мониторинг, анализ и оценку влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 12 ноября 2015 г. № 2668р.

62. Мишарин, А. С. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / А. С. Мишарин, П. А. Козлов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 4. – С. 52–54.

63. Негрей, В. Я. Научные основы расчетов и проектирования железнодорожных станций и узлов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Негрей Виктор Яковлевич. – Ленинград, 1987. – 35 с.

64. Нестеров, Е. П. Некоторые вопросы регулировки движения : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Нестеров Евгений Петрович. – М., 1949. – 197 с.

65. Никитин, В. Д. О графоаналитических приёмах расчёта путей станции / В. Д. Никитин // Труды МИИТ. Вып. XII. – М. : Транспечать НКПС, 1929. – С. 295–308.

66. Никифоров, Б. Д. Проблема ёмкости железных дорог и регулирования вагонных парков / Б. Д. Никифоров, Е. А. Сотников // Вестник ВНИИЖТ. – 1981. – № 4. – С. 7–13.

67. О'Рурк, А. Н. Использование линий, перегонов и подвижного состава / А. Н. О'Рурк. – Ленинград : Прибой, 1931. – 232 с.

68. Организация движения на железнодорожном транспорте : учебное пособие; под общ. ред. И. Г. Тихомирова. – Минск : Высшая школа, 1969. – 488 с.

69. Осокин, О. В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Осокин Олег Викторович. – Екатеринбург, 2014. – 355 с.

70. Осьминин, А. Т. Динамическая модель загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» / А. Т. Осьминин, А. В. Кабанов // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 8. – С. 10–19.

71. Парфенов, В. П. Исследование вопросов развития железнодорожных станций : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Парфенов Виктор Прохорович. – Ленинград, 1967. – 31 с.

72. Пешков, А. М. Вероятностный метод расчёта пропускной способности парков технических станций / А. М. Пешков // Совершенствование технологии и условий железнодорожных перевозок. – Новосибирск, 1995. – С. 20–29.

73. Пешков, А. М. Оценка пропускной способности парка приема сортировочной станции / А. М. Пешков, О. В. Васильева // Повышение эффективности эксплуатационной работы железных дорог Урала и Сибири. – Новосибирск, 1988. – С. 56–64.

74. Пешков, А. М. Совершенствование методов расчета пропускной способности технических станций : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Пешков Алексей Матвеевич. – Новосибирск, 1992. – 22 с.

75. Писарев, С. Г. Пропускная способность двухпутных магистралей, станций и метрополитенов / С. Г. Писарев // Труды МИИТ, выпуск XX, JL, ОГИЗ-Гострансиздат. – 1932. – С. 255.

76. Платонов, А. И. Теория взаимодействия процессов на сортировочной станции : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Платонов Александр Ильич. – М., 1954. – 20 с.

77. Порядок сквозного производственного планирования объемов работ и потребности в ресурсах филиалов ОАО «РЖД», утвержденным распоряжением ОАО «РЖД» от 25 ноября 2020 г. № 2603/р.

78. Поттгофф, Г. Об определении числа путей на станциях / Г. Поттгофф // Железнодорожный транспорт. – 1958. – № 9. – С. 82–87.

79. Сайбаталов, Р. Ф. Вагонный парк, инфраструктуру и управление движением – к общему знаменателю / Р. Ф. Сайбаталов, А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 11. – С. 26–34.

80. Сайбаталов, Р. Ф. Методы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Сайбаталов Рашид Фердаусович. – Екатеринбург, 2021. – 231 с.

81. Седов, В. И. Установление ёмкости станций, участков и отдельных дорог / В. И. Седов // Техника железных дорог. – 1946. – № 10–11. – С. 18–19.

82. Сергеев, Е. С. Технический план работы железных дорог / Е. С. Сергеев. – М. : Трансжелдориздат, 1948. – 204 с.

83. Слободянюк, И. Г. Технология макромоделирования железнодорожных станций и узлов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Слободянюк Инна Геннадьевна. – Екатеринбург, 2019. – 20 с.

84. Сокович, В. А. Организация движения на железнодорожном транспорте : том 1 / В. А. Сокович, И. Н. Пошивайло. – М. : Трансжелдориздат, 1941. – 496 с.

85. Сокович, В. А. Планирование и регулирование железнодорожных перевозок / В. А. Сокович. – Ленинград : Воен.-трансп. акад. РККА им. Л. М. Кагановича, 1939. – 169 с.

86. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог : (Состояние, проблемы, перспективы) / Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1986. – 255 с.



87. Сотников, Е. А. О соотношении потребной ёмкости путевого развития и размеров вагонного парка для сортировочных систем / Е. А. Сотников, Ф. В. Бахадиров, Р. С. Мильман // Вестник ВНИИЖТ. – 1981. – № 1. – С. 8–12.

88. Сотников, Е. А. Определение рационального соотношения вместимости путей и размеров вагонного парка для грузовых станций / Е. А. Сотников, Д. Ю. Левин, Б. Ц. Бебчук, Г. М. Газиев // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – № 4. – С. 1–6.

89. Сотников, И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог : (Исслед. операций на станциях) / И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1976. – 270 с.

90. Сотников, И. Б. Оптимальное соотношение ёмкости станционных путей и рабочего парка вагонов / И. Б. Сотников, А. А. Выгнанов, Р. И. Шарипова // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 6. – С. 29–31.

91. Справочник эксплуатационника / под ред. Н. А. Гундобина. – М. : Транспорт, 1966. – 656 с.

92. Таль, К. К. О методике расчётов пропускной способности станций / К. К. Таль // Железнодорожный транспорт. – 1960. – № 12. – С. 47–51.

93. Таль, К. К. Основные вопросы применения методов моделирования для проектирования станций и узлов / К. К. Таль // Труды ЦНИИС. Вып. 47. – 1971. – С. 56–96.

94. Таль, К. К. Повышение пропускной способности стрелочных горловин / К. К. Таль // Вестник ЦНИИ. – 1956. – № 4. – С. 48–51.

95. Таль, К. К. Руководство по расчёту станций методом моделирования на БЭСМ-4 : монография / К. К. Таль. – М. : ЦНИИС, 1975. – 180 с.

96. Техничко-экономические расчёты в эксплуатации железных дорог (в примерах и задачах) / И. Б. Сотников, А. А. Выгнанов, Ф. С. Гоманков и др. ; под ред. И. Б. Сотникова. – М. : Транспорт, 1983. – 254 с.

97. Технический справочник железнодорожника. Том 13. Эксплуатация железных дорог / Отв. ред. тома Р. И. Робель. – М. : Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1956. – 740 с.

98. Тимухина, Е. Н. Повышение функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Тимухина Елена Николаевна. – Екатеринбург, 2012. – 44 с.

99. Тихомиров, И. Г. Теория взаимодействия в технологии сортировочных станций : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Тихомиров Иван Георгиевич. – М. – 23 с.

100. Тихонов, К. К. Определение стоимости вагоно-часа и локомотиво-часа / К. К. Тихонов // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 10. – С. 73–76;

101. Федотов, Н. И. Расчёт числа приемо-отправочных путей на участковых и сортировочных станциях / Н. И. Федотов // Вопросы проектирования железнодорожных станций. Тр. НИИЖТ, вып. 29. – Новосибирск, 1962. – С. 20–60.

102. Фролов, А. Н. К вопросу о взаимодействии сортировочных станций / А. Н. Фролов // Техника и экономика путей сообщения. – 1921. – № 8.

103. Цеглинский, К. Ю. Курс железных дорог. – Том 1. / К. Ю. Цеглинский. – М. : типолитография т-ва В. Чичерин, 1913. – 263 с.

104. Шабалин, Н. Н. Расчёт мощности сортировочных устройств / Н. Н. Шабалин // Железнодорожный транспорт. – 1967. – № 7. – С. 39–42;

105. Шатохин, А. А. Совершенствование управления парком грузовых вагонов в конкурентной среде : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Шатохин Андрей Андреевич. – М., 2019. – 149 с.

106. Шенфельд, К. П. Развитие методов управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в современных условиях / К. П. Шенфельд, Е. А. Сотников. – М. : ООО «Издательство «Научный мир», 2015. – 200 с.

107. Штанге, Б. Д. Железнодорожные станции и узлы / Б. Д. Штанге. – М. : Трансжелдориздат, 1952. – 199 с.

## Приложение А.

### **Влияние мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в условиях истощения инфраструктурных и графиковых ресурсов**

В имитационной системе ИМЕТРА разработана макромодель полигона Дмитров – Сонково – Мга на техническое оснащение объектов железнодорожной инфраструктуры и технологию организации эксплуатационной работы на 2022 год. Полигон Мга – Савелово – Дмитров – однопутный, общей протяженностью 651 км, частично оборудован автоматической блокировкой, электрифицирован (Мга – Будогощь, Савелово – Дмитров), частично оборудован полуавтоматической блокировкой, не электрифицирован (Будогощь – Савелово). Установленная длина грузового поезда на полигоне Мга – Савелово – Дмитров в нечетном направлении – 57 усл. ваг., в четном – 57 усл. ваг. На рассматриваемом участке расположены 40 отдельных пунктов.

Для полигона Мга – Сонково – Дмитров проведена последовательная серия экспериментов по определению влияния мер воздействия на неравномерность транспортных процессов в порядке возрастания трудности и вложения капитальных затрат.

Эксперименты на имитационной модели производились со следующими размерами движения:

1) размеры движения пассажирских и пригородных поездов и периодичность курирования принимались согласно НГДП 2022/2023, установленному для полигона;

2) размеры движения грузовых поездов со станции Кириши адрес припортовых станций Санкт-Петербургского железнодорожного узла – 7 пар поездов в сутки;

3) применение мероприятия «Освоение пикового поездообразования за счёт гибких (в сторону увеличения) норм массы и длины поездов» предполагает пропуск грузовых поездов длиной 71 у. в. – 10 пар поездов в сутки;

4) размеры движения грузовых поездов 57 у. в. – изменялось в диапазоне от 6 до 25 пар грузовых поездов в сутки в зависимости эксперимента.

По мерам воздействия на неравномерность транспортных процессов определена зависимость изменения технически допустимых размеров движения, изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона, изменения участковой скорости и рабочего парка вагонов от размеров движения грузовых поездов. Для потребных размеров движения поездов (максимальные размеры движения для каждого эксперимента) определены «узкие места» полигона Дмитров – Мга с задержками по элементам.

#### **Снижение потерь пропускной способности из-за влияния смежных устройств путём трансформации потоковой структуры и графика движения**

Проведено имитационное моделирование организации эксплуатационной работы полигона Мга – Сонково – Дмитров при существующем техническом оснащении и действующей технологии для пакетного и непaketного графика движения поездов.

В ходе экспериментов последовательно изменялись размеры движения грузовых поездов с 15 до 25 пар установленной длиной 57 усл. ваг.

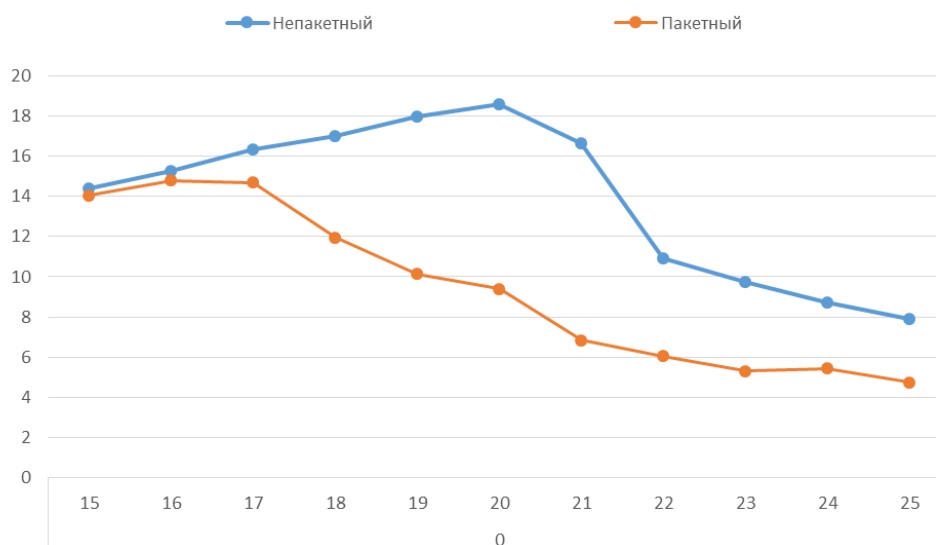


Рисунок А.1 – Зависимость изменения технически допустимых размеров движения поездов на полигоне Дмитров – Мга для различных типов ГДП

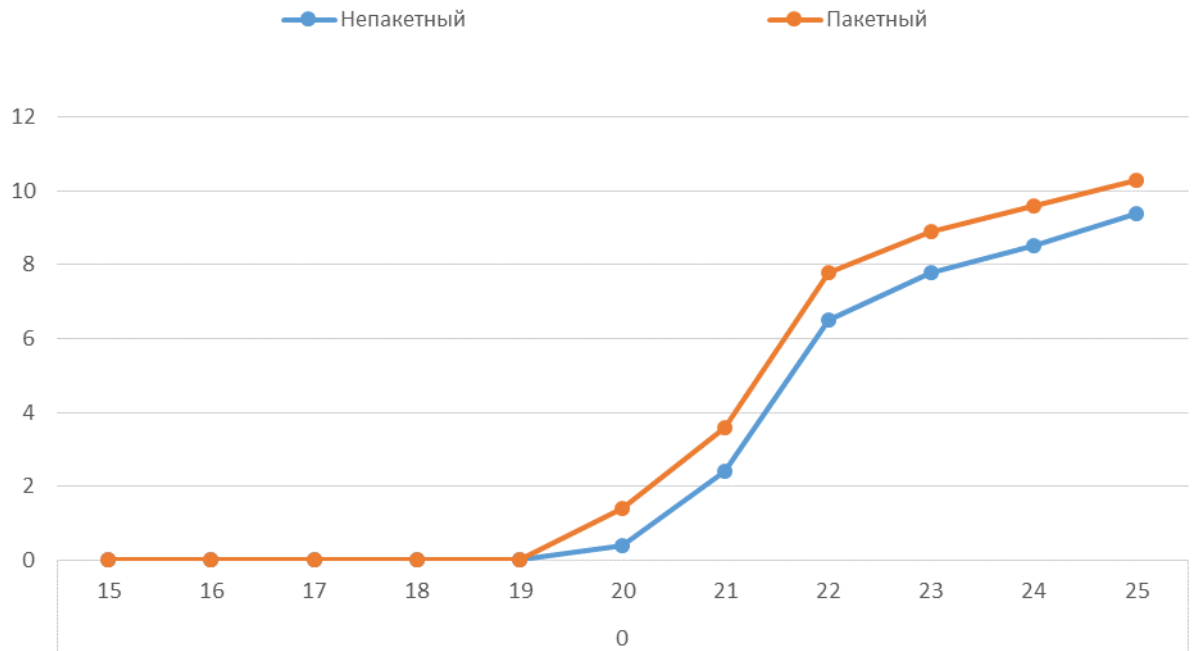


Рисунок А.2 – Зависимость изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона Дмитров – Мга для различных типов ГДП

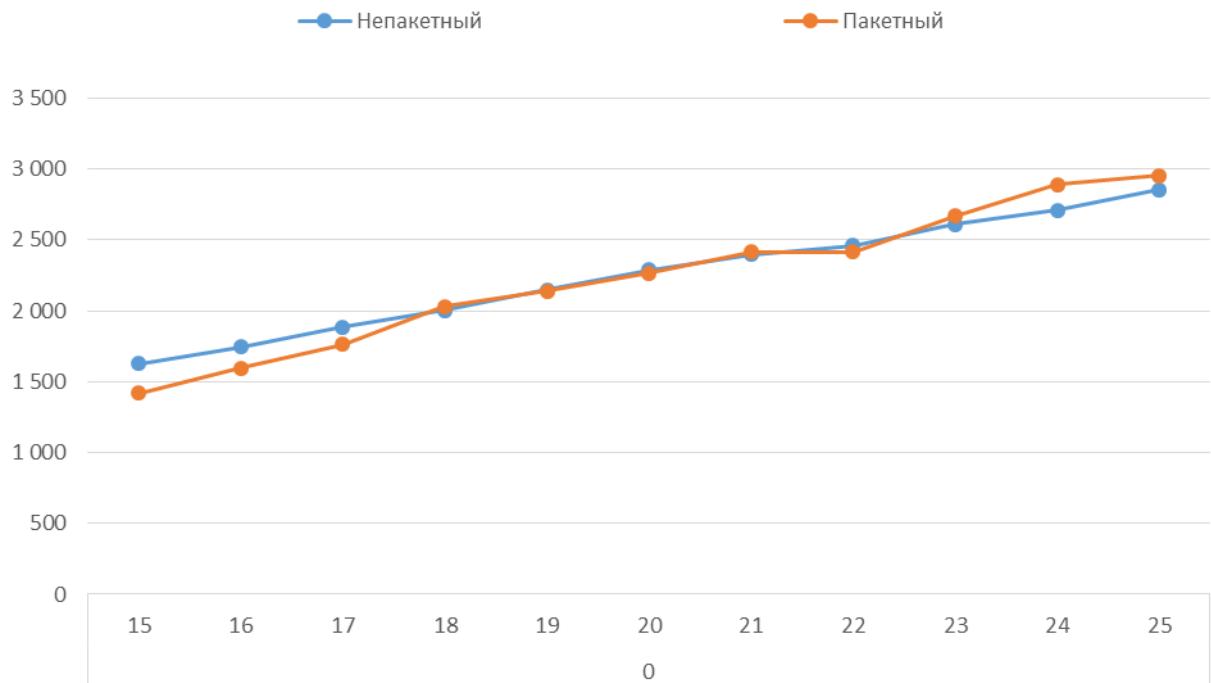


Рисунок А.3 – Зависимость изменения рабочего парка на полигоне Дмитров – Мга для различных типов ГДП

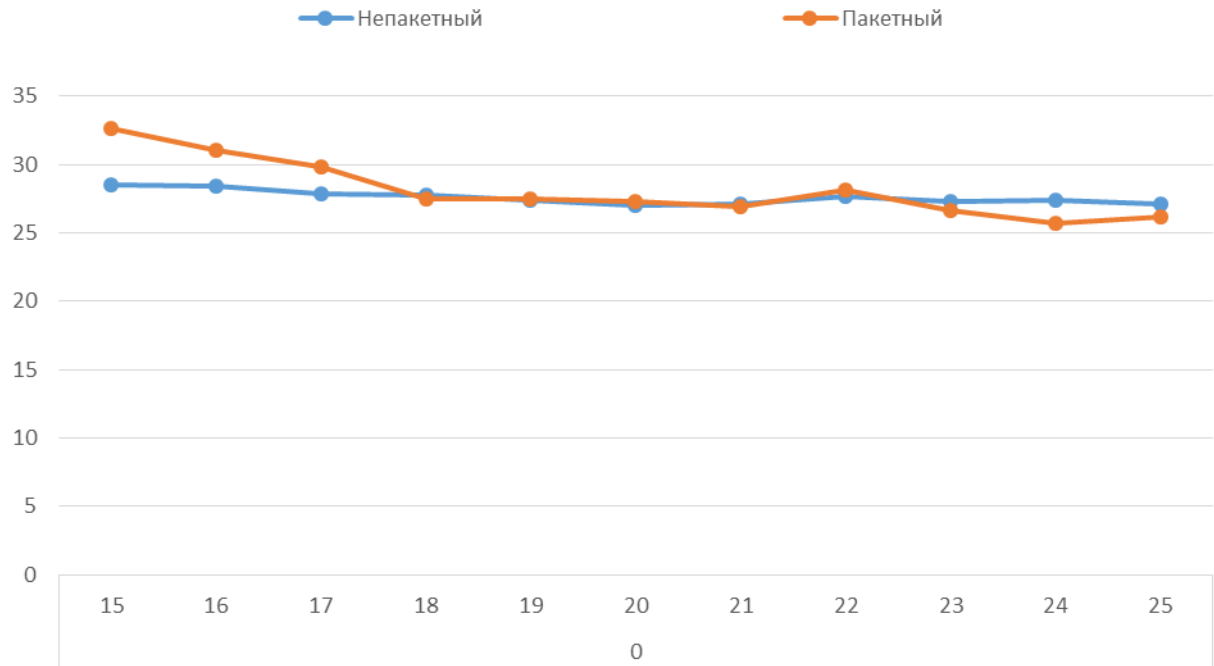


Рисунок А.4 – Зависимость изменения участковой скорости на полигоне Дмитров – Мга для различных типов ГДП

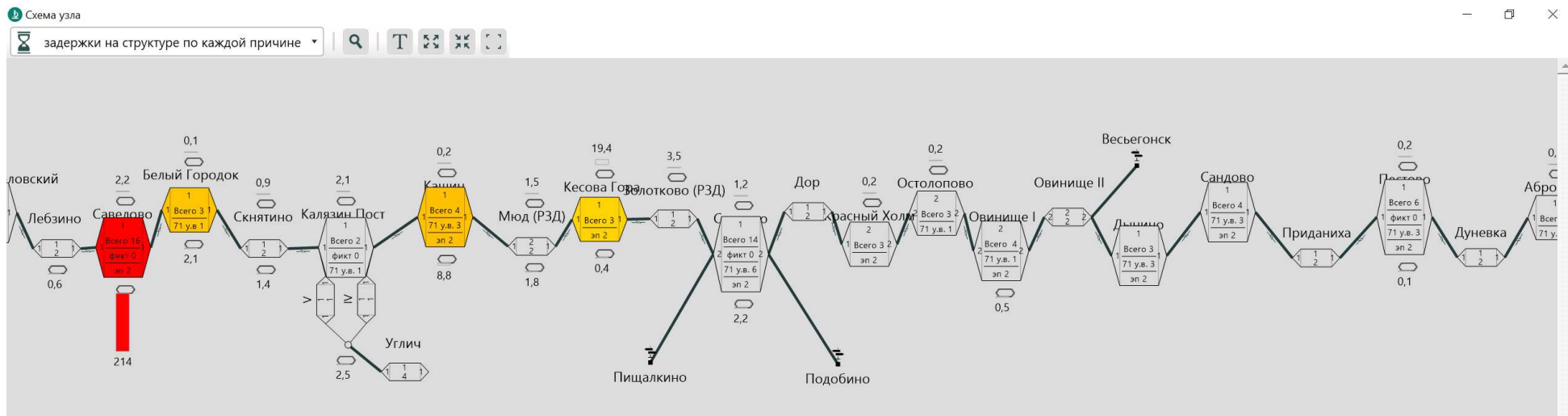


Рисунок А.5 – Узкие места полигона Дмитров – Мга до применения мер воздействия на неравномерность

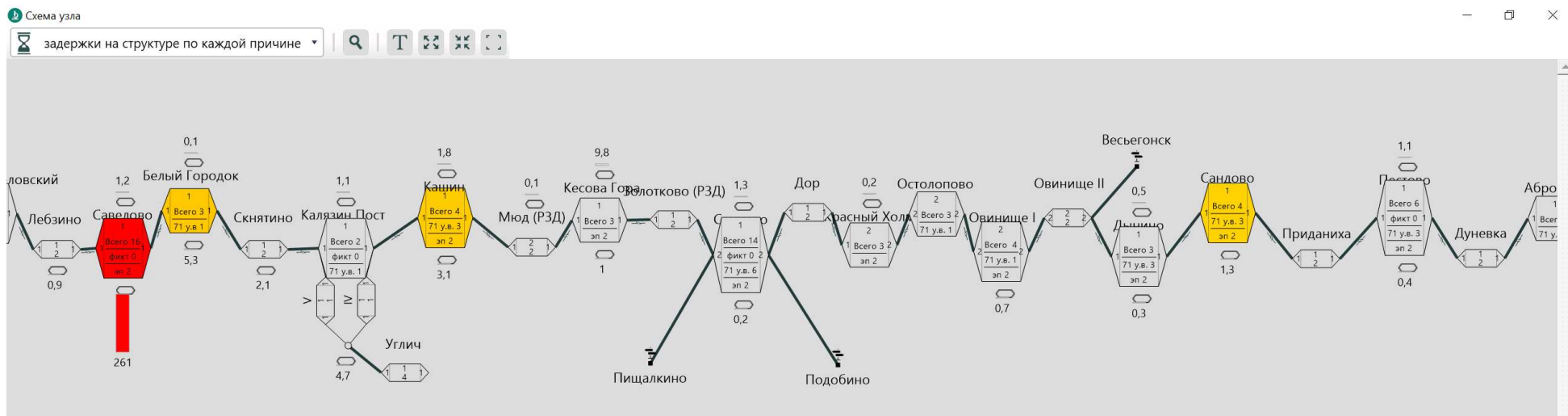


Рисунок А.6 – Узкие места полигона Дмитров – Мга после изменения типа ГДП

### Освоение пикового поездообразования за счёт гибких (в сторону увеличения) норм массы и длины поездов

Проведено имитационное моделирование организации эксплуатационной работы полигона Мга – Сонково – Дмитров в соответствии с разработанным планом мероприятий по инфраструктурному развитию и организации движения поездов 71 усл ваг для различных типов ГДП.

В ходе экспериментов последовательно изменялись размеры движения грузовых поездов с 6 до 12 пар установленной длиной 57 усл. ваг. Размеры движения поездов 71 усл. ваг. – 10 пар для всех экспериментов.

В пакетном графике движение всех грузовых поездов осуществлялось «пакетами». В частично пакетном – в первом варианте грузовые поезда длиной 71 усл. ваг. следовали «пакетами», грузовые поезда длиной 57 усл. ваг. – обычным порядком; во втором варианте грузовые поезда длиной 57 усл. ваг. следовали «пакетами», грузовые поезда длиной 71 усл. ваг. – обычным порядком.

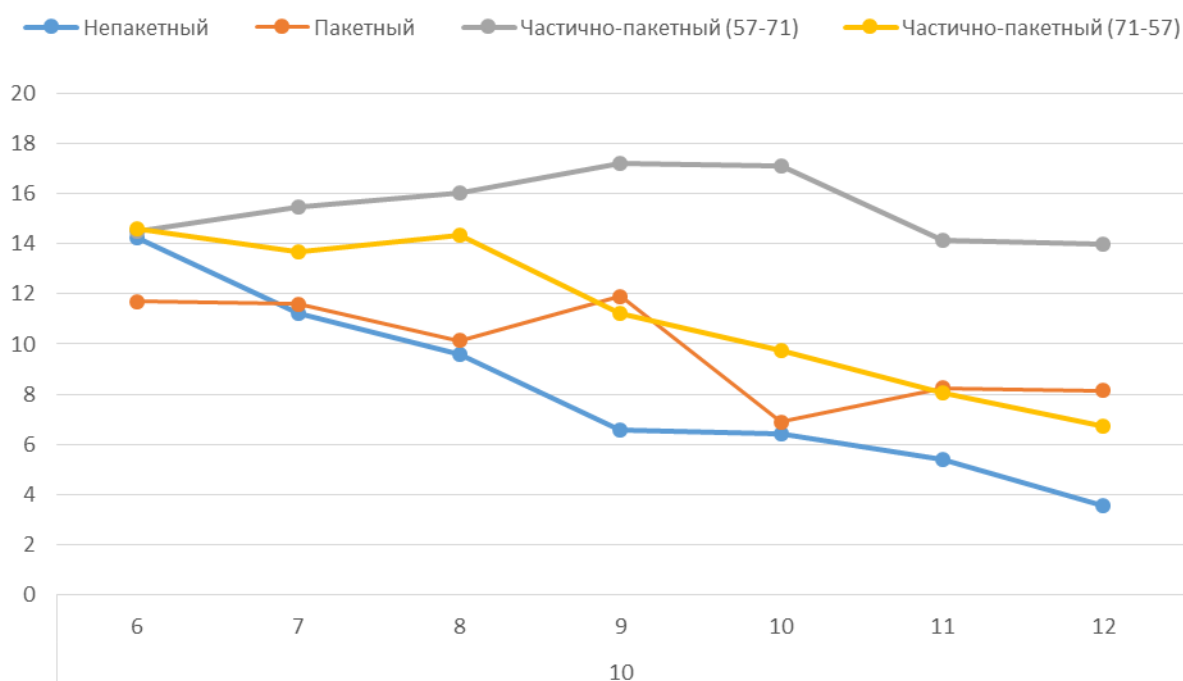


Рисунок А.7 – Зависимость изменения технически допустимых размеров движения грузовых поездов в т.ч. с увеличением нормы массы и длины на полигоне Дмитров – Мга



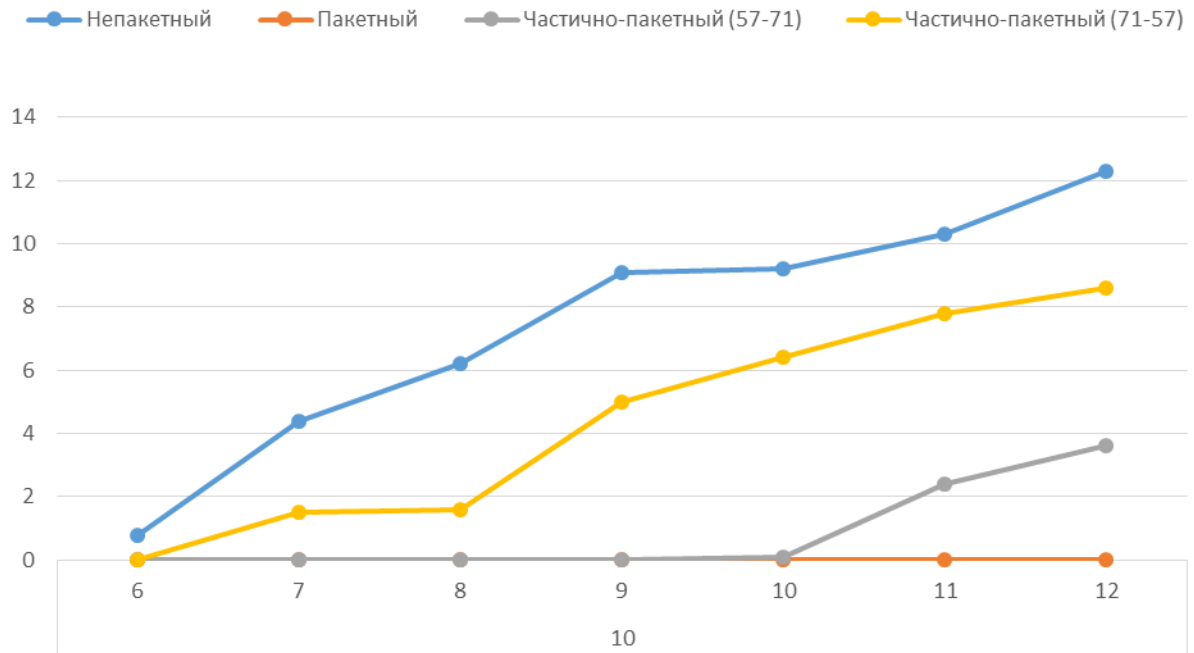


Рисунок А.8 – Зависимость изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона Дмитров – Мга в т.ч. с увеличением нормы массы и длины грузовых поездов

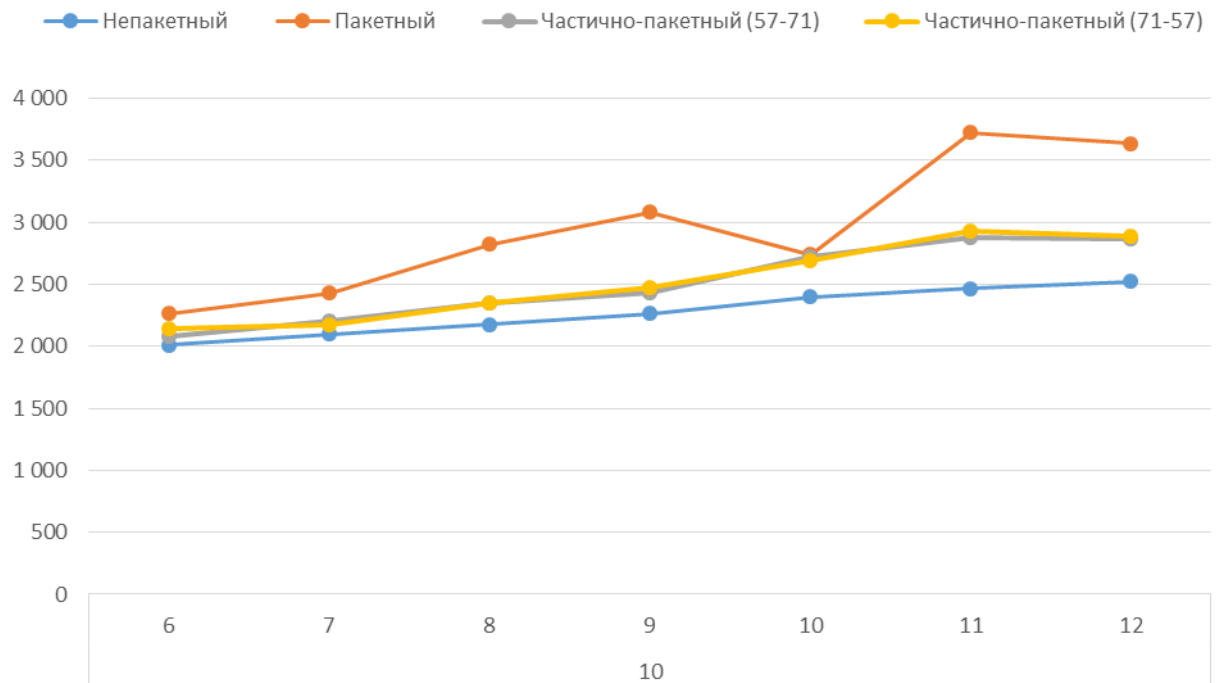


Рисунок А.9 – Зависимость изменения рабочего парка на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с увеличением нормы массы и длины грузовых поездов

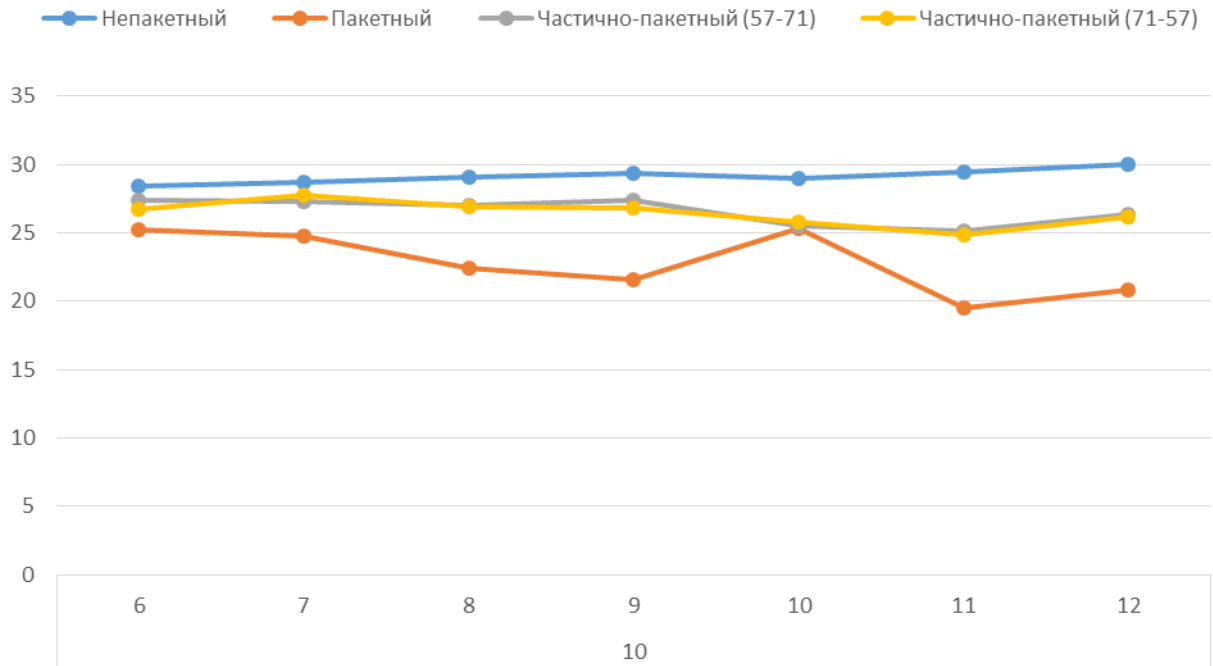


Рисунок А.10 – Зависимость изменения участковой скорости на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с увеличением нормы массы и длины грузовых поездов

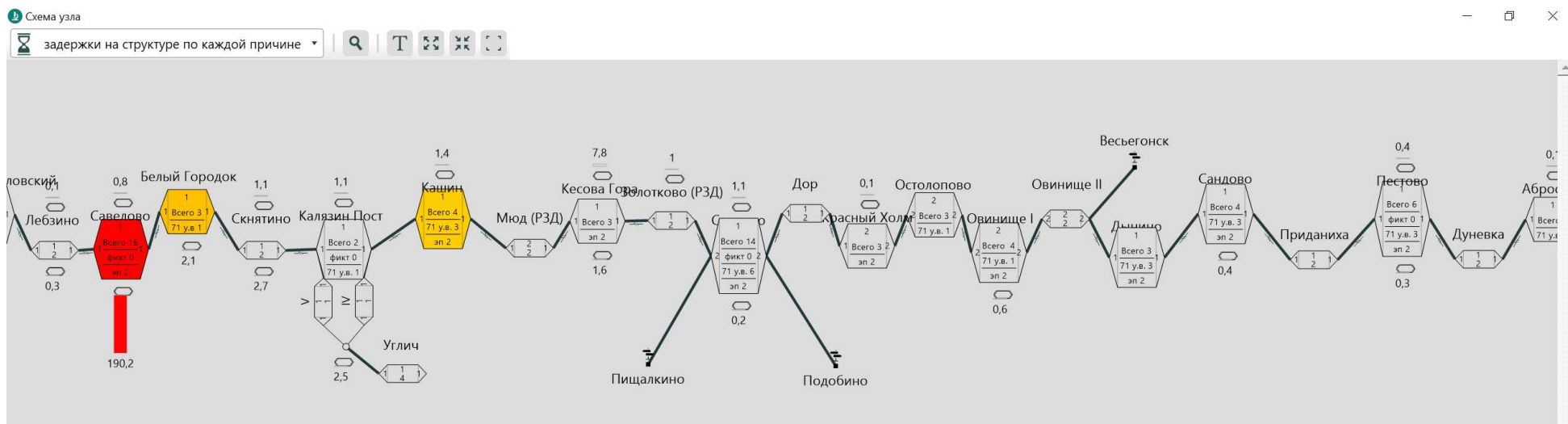


Рисунок А.11 – Узкие места полигона Дмитров – Мга после применения гибких норм массы и длины

**Реконструкция промежуточных станций, обеспечивающая снижение потерь пропускной способности с пропуском поездов заданных (в том числе гибких) норм массы и длины составов**

Проведено имитационное моделирование организации эксплуатационной работы полигона Мга – Сонково – Дмитров в соответствии с разработанным планом мероприятий по инфраструктурному развитию и организации движения поездов 71 усл. ваг. для частично-пакетного ГДП и дополнительным строительством одного приемоотправочного пути на станциях:

1. Савелово;
2. Савелово, Белый городок;
3. Савелово, Белый городок, Калязин Пост;
4. Савелово, Белый городок, Калязин Пост, Овинище I.

В ходе экспериментов последовательно изменялись размеры движения грузовых поездов с 6 до 16 пар установленной длиной 57 усл. ваг.

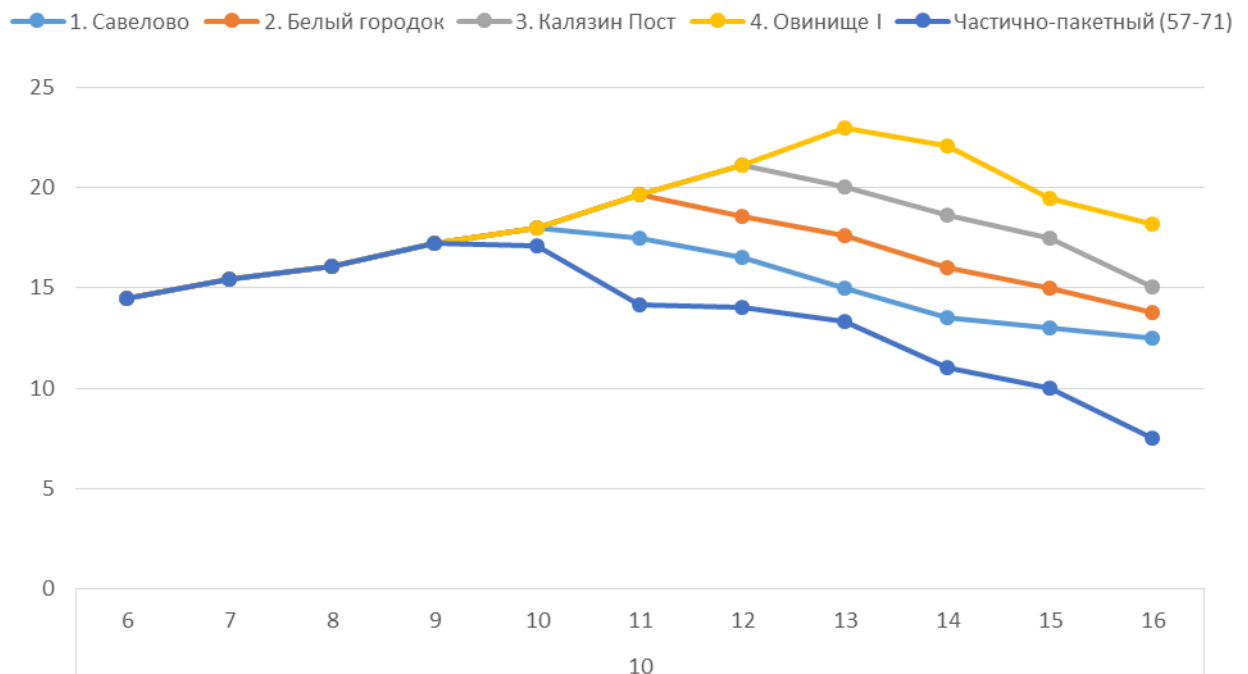


Рисунок А.12 – Зависимость изменения технически допустимых размеров движения грузовых поездов на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с реконструкцией промежуточных станций

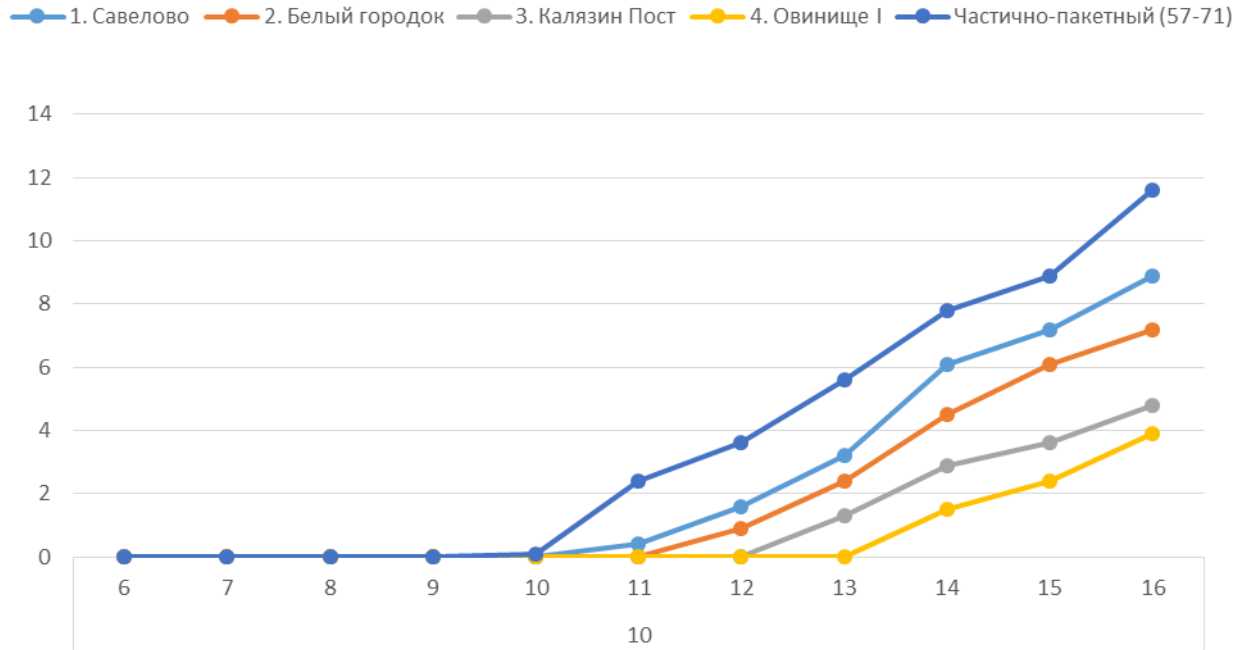


Рисунок А.13 – Зависимость изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона Дмитров – Мга в т.ч. с реконструкцией промежуточных станций

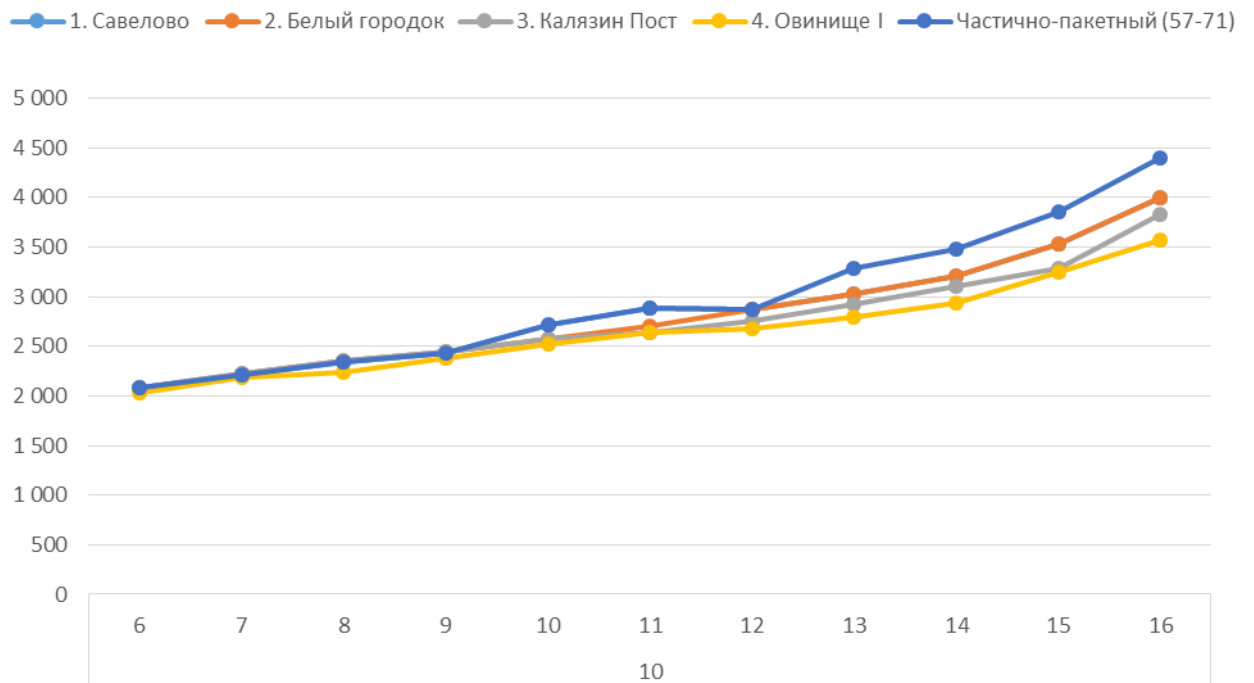


Рисунок А.14 – Зависимость изменения рабочего парка на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с реконструкцией промежуточных станций

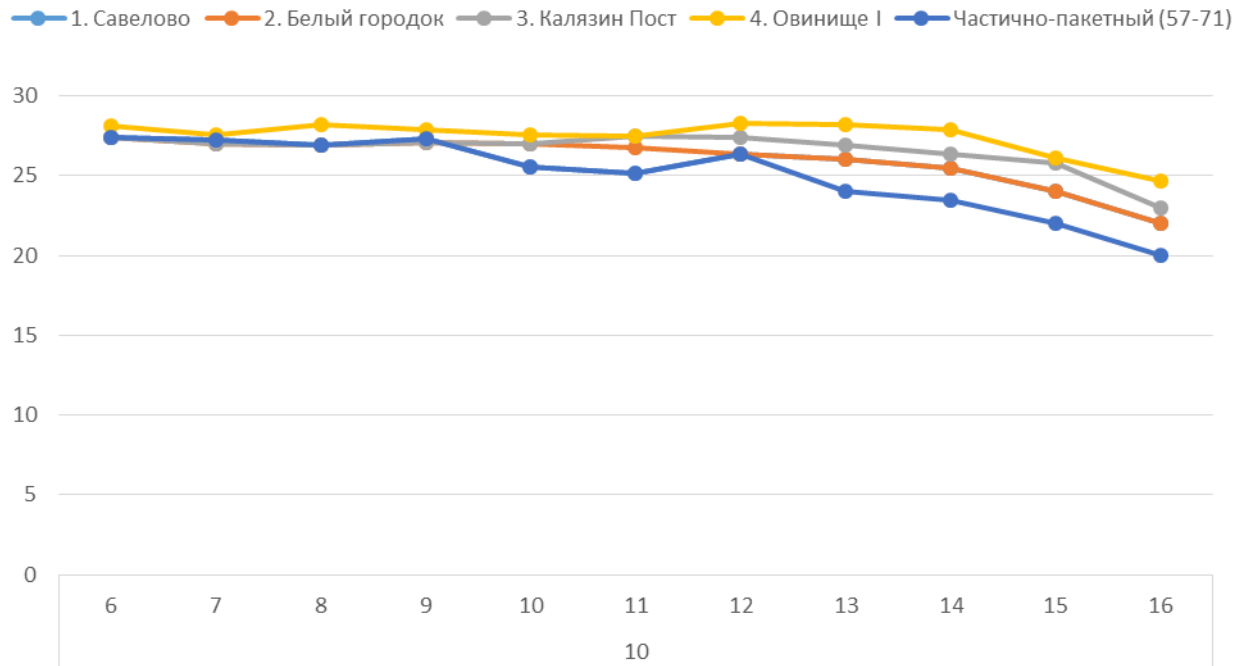


Рисунок А.15 – Зависимость изменения участковой скорости на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с реконструкцией промежуточных станций

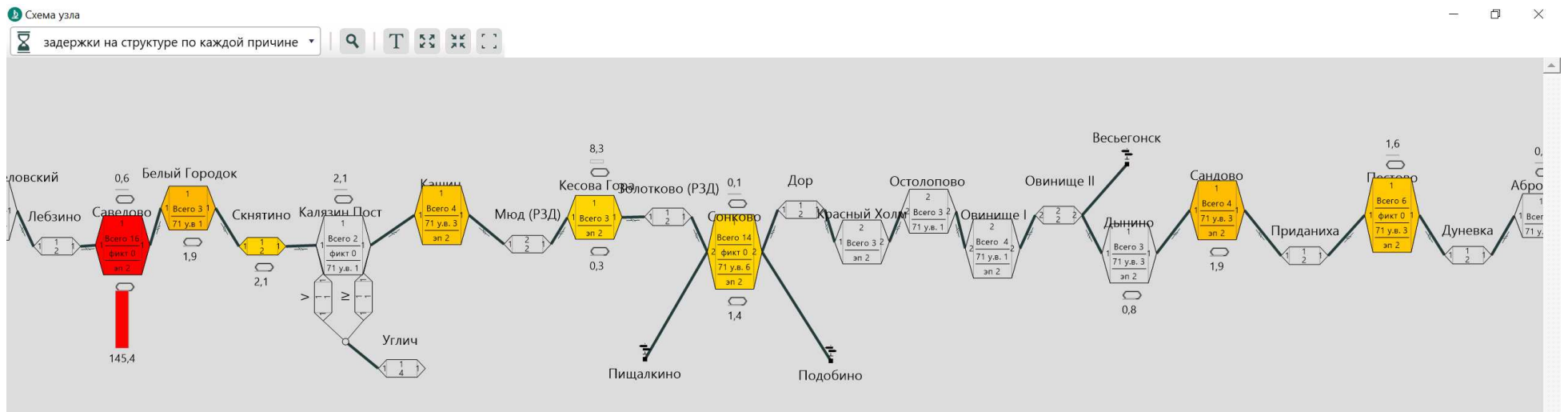


Рисунок А.16 – Узкие места полигона Дмитров – Мга после строительства дополнительных приемоотправочных путей на промежуточных станциях

## Уменьшение коэффициентов съема пропускной способности поездами различных категорий

Проведено имитационное моделирование организации эксплуатационной работы полигона Мга – Сонково – Дмитров в соответствии с разработанным планом мероприятий по инфраструктурному развитию и организации движения поездов 71 усл. ваг. для частично-пакетного ГДП, дополнительным строительством одного приемоотправочного пути на станциях (Савелово, Белый городок, Калязин Пост, Овинище I) и уменьшением коэффициентов съема пропускной способности пригородными поездами на участках Мга – Будогощь и Дмитров – Вербилки.

В ходе экспериментов последовательно изменялись размеры движения грузовых поездов с 6 до 16 пар установленной длиной 57 усл. ваг.

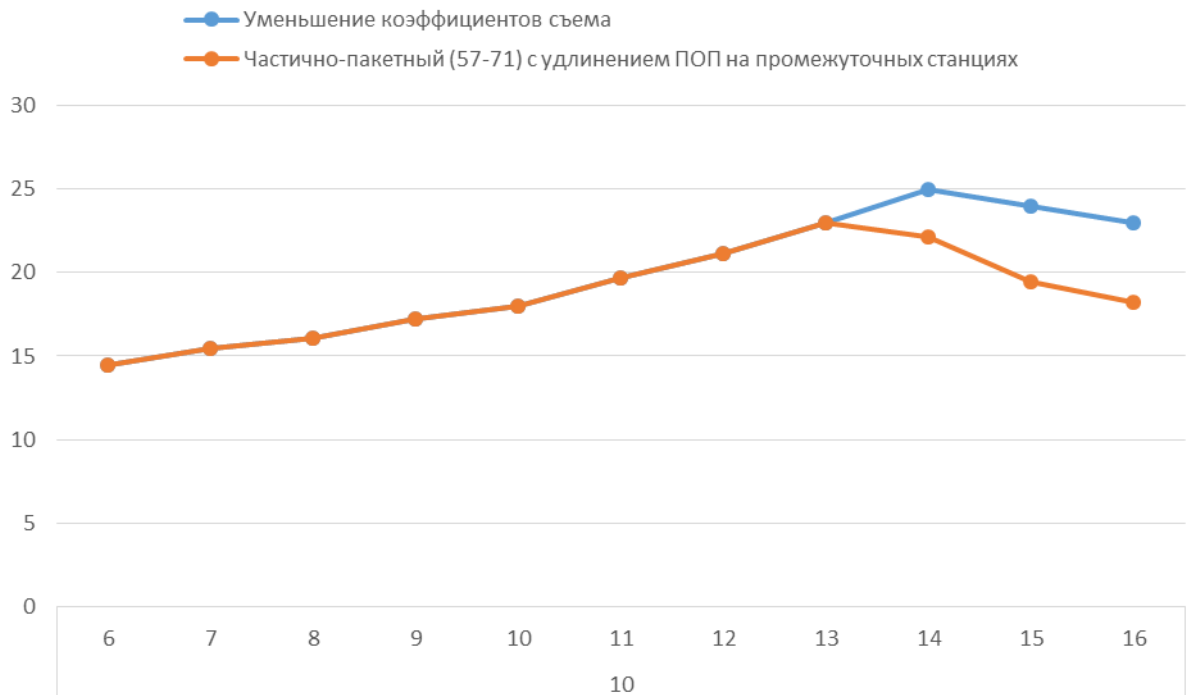


Рисунок А.17 – Зависимость изменения технически допустимых размеров движения грузовых поездов на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с уменьшением коэффициента съема пропускной способности пригородными поездами





Рисунок А.18 – Зависимость изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона Дмитров – Мга в т.ч. с уменьшением коэффициента съема пропускной способности пригородными поездами

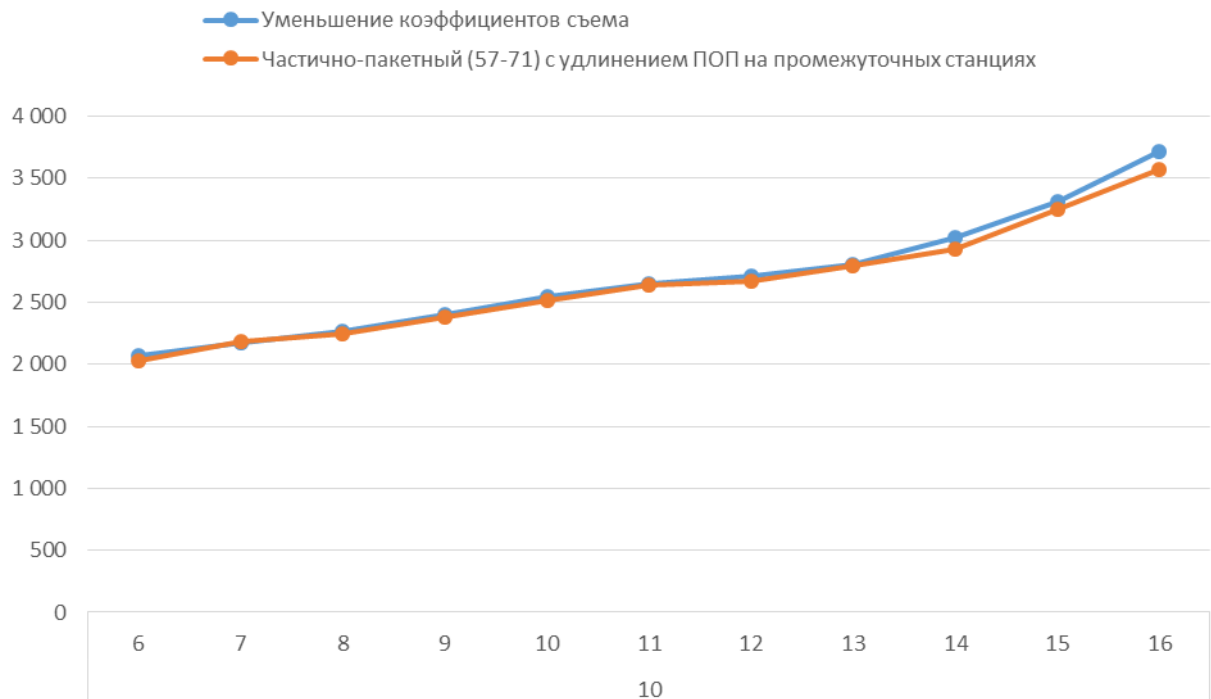


Рисунок А.19 – Зависимость изменения рабочего парка на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с уменьшением коэффициента съема пропускной способности пригородными поездами

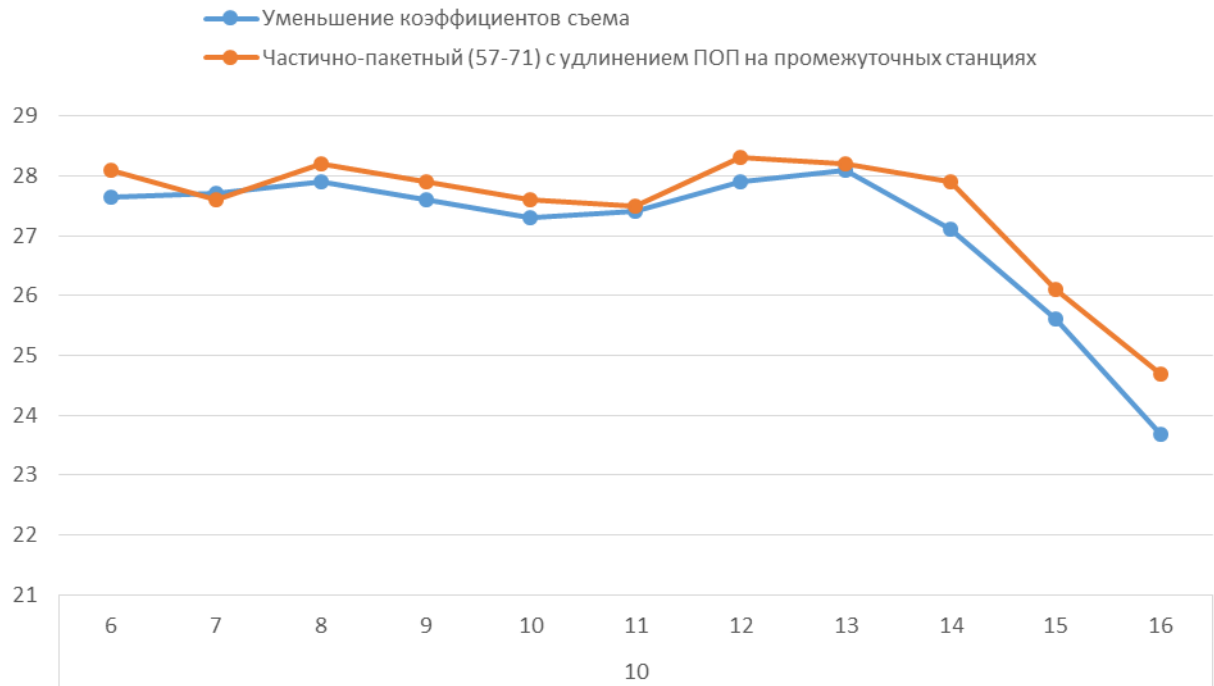


Рисунок А.20 – Зависимость изменения участковой скорости на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с уменьшением коэффициента съёма пропускной способности пригородными поездами

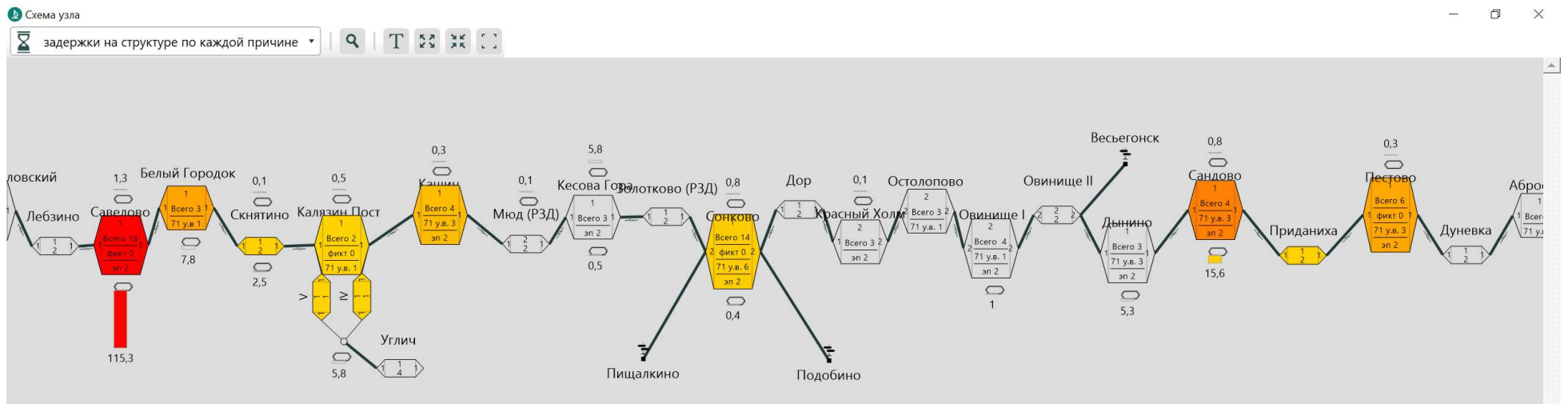


Рисунок А.21 – Узкие места полигона Дмитров – Мга после изменения коэффициентов съёма пропускной способности

## **Создание и использование регулирующих емкостей станционных парков на железнодорожных инфраструктурах общего и необщего пользования**

Проведено имитационное моделирование организации эксплуатационной работы полигона Мга – Сонково – Дмитров в соответствии с разработанным планом мероприятий по инфраструктурному развитию и организации движения поездов 71 усл. ваг. для частично-пакетного ГДП, дополнительным строительством одного приемоотправочного пути на станциях (Савелово, Белый городок, Калязин Пост, Овинище I), уменьшением коэффициентов съема пропускной способности пригородными поездами на участках Мга – Будогощь и Дмитров – Вербилки и дополнительным строительством одного приемоотправочного пути на станциях:

1. Савелово;
2. Савелово, Сонково;
3. Савелово, Сонково, Хвойная;
4. Савелово, Сонково, Хвойная, Будогощь.

В ходе экспериментов последовательно изменялись размеры движения грузовых поездов с 6 до 18 пар установленной длиной 57 усл. ваг.

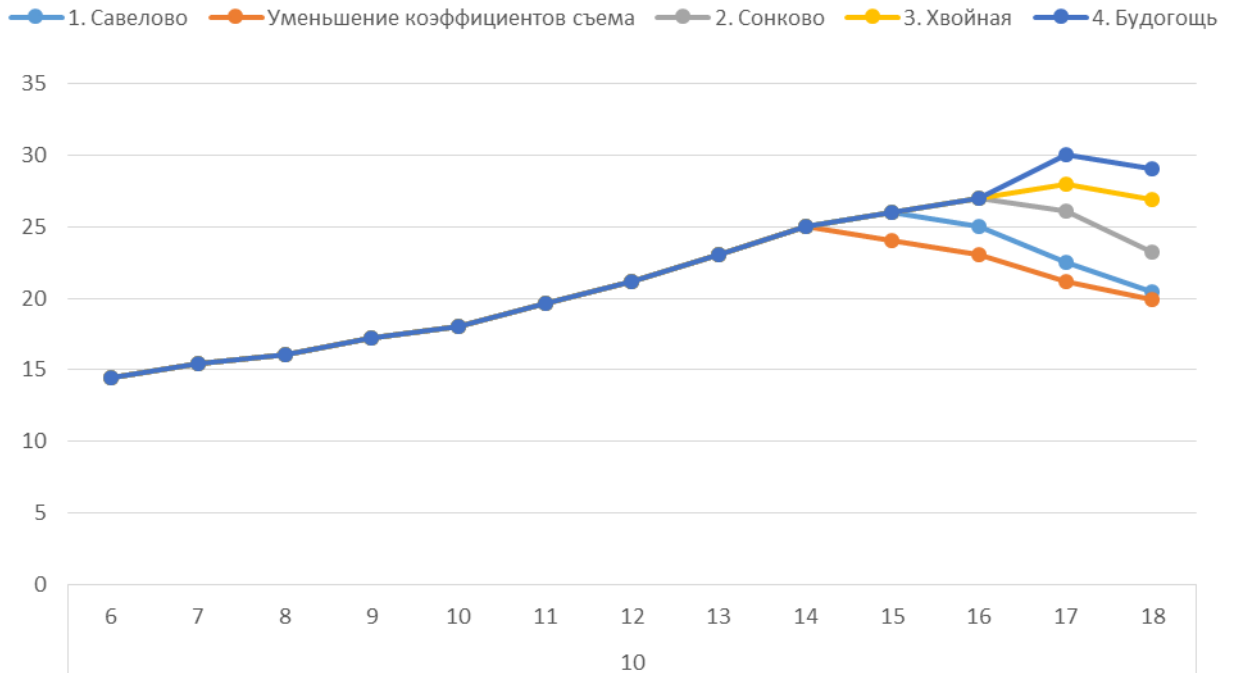


Рисунок А.22 – Зависимость изменения технически допустимых размеров движения грузовых поездов на полигоне Дмитров – Мга в т. ч. с созданием и использованием регулирующих емкостей станционных парков

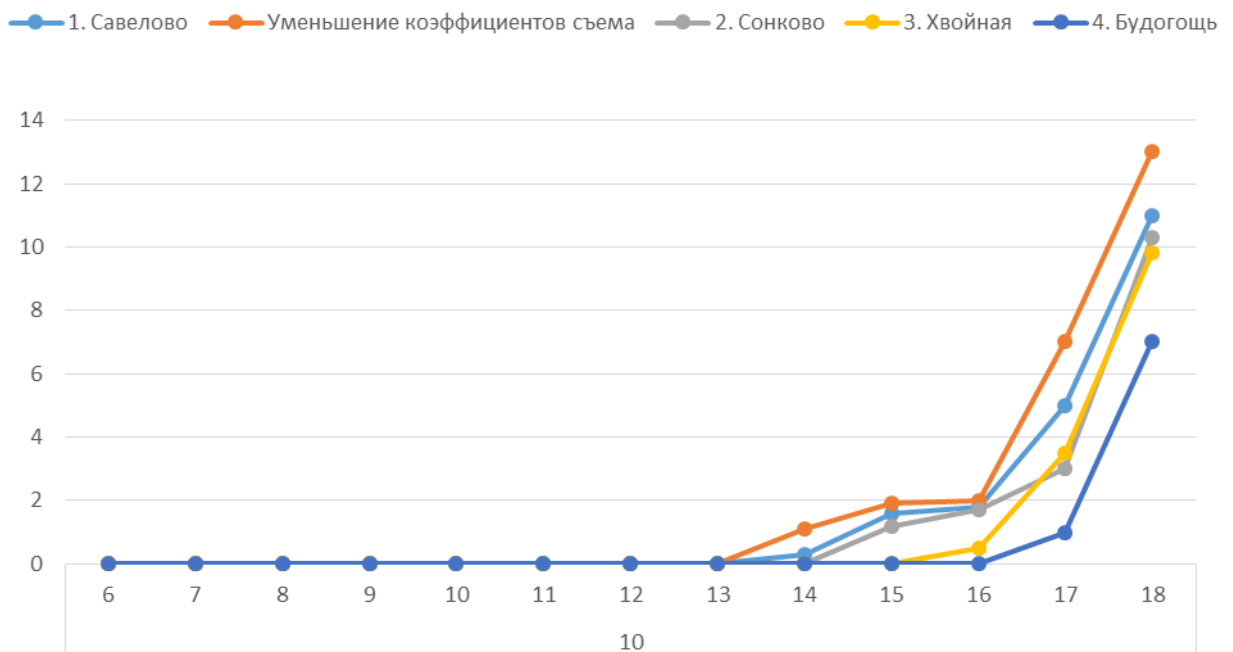


Рисунок А.23 – Зависимость изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона Дмитров – Мга в т. ч. с созданием и использованием регулирующих емкостей станционных парков

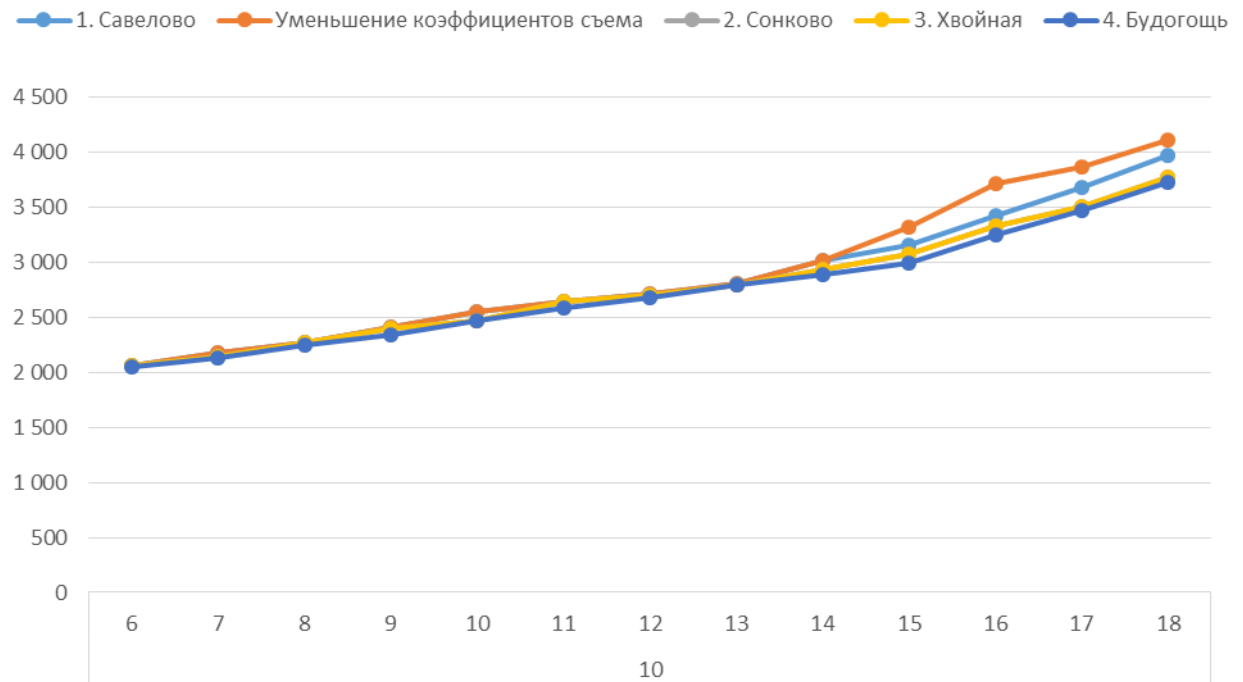


Рисунок А.24 – Зависимость изменения рабочего парка на полигоне Дмитров – Мга в т. ч. с созданием и использованием регулирующих ёмкостей станционных парков

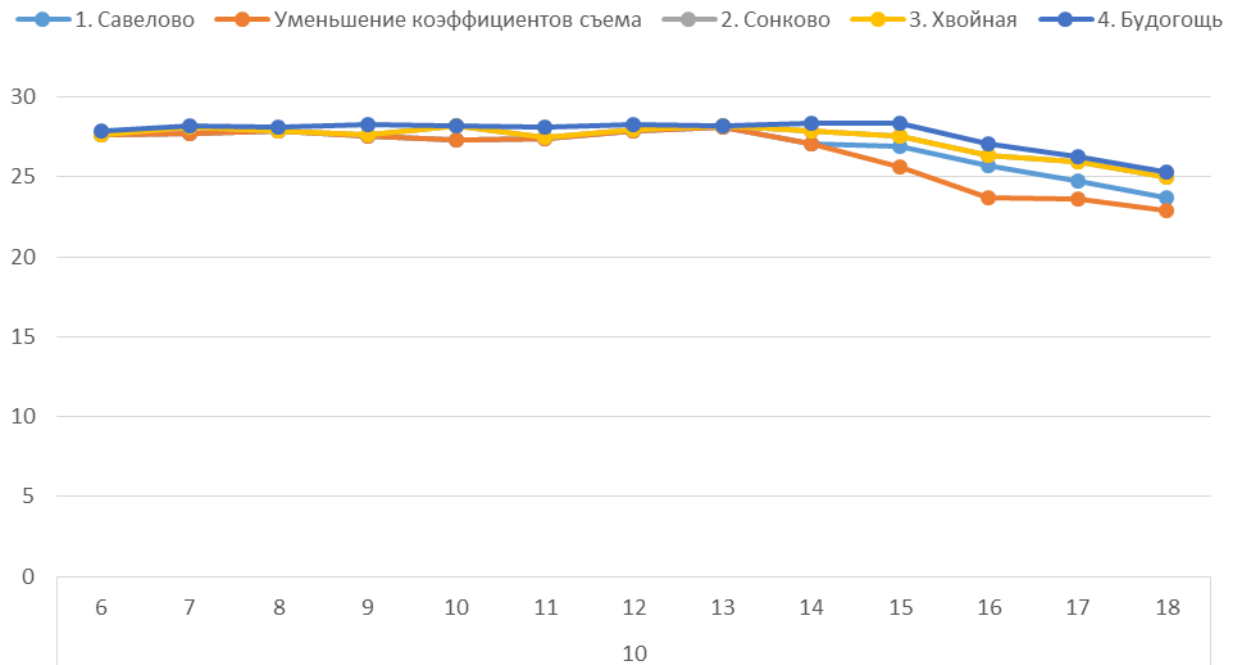


Рисунок А.25 – Зависимость изменения участковой скорости на полигоне Дмитров – Мга в т. ч. с созданием и использованием регулирующих ёмкостей станционных парков

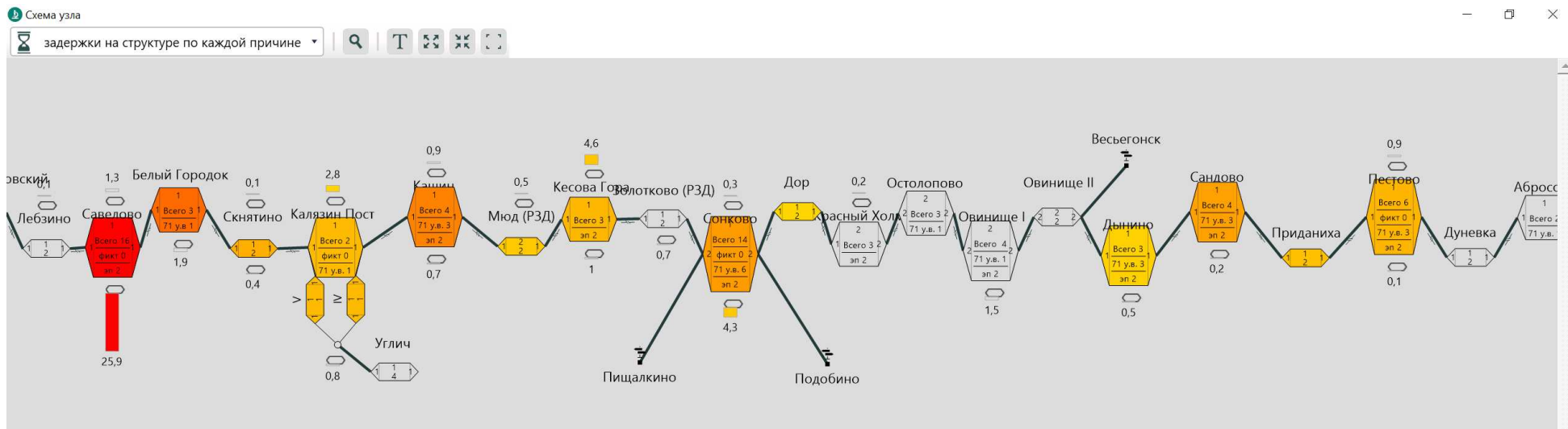


Рисунок А.26 – Узкие места полигона Дмитров – Мга после создания и использования регулирующих ёмкостей станционных парков

### Технология тягового обслуживания, обеспечивающая реализуемость рассчитываемой системы поездной работы

Проведено имитационное моделирование организации эксплуатационной работы полигона Мга – Сонково – Дмитров в соответствии с разработанным планом мероприятий по инфраструктурному развитию и организации движения поездов 71 усл. ваг. для частично-пакетного ГДП, дополнительным строительством одного приемоотправочного пути на станциях (Савелово, Белый городок, Калязин Пост, Овинище I, Сонково, Хвойная, Будогощь), уменьшением коэффициентов съема пропускной способности пригородными поездами на участках Мга – Будогощь и Дмитров – Вербилки.

В ходе экспериментов последовательно изменялись размеры движения грузовых поездов с 6 до 18 пар установленной длиной 57 усл. ваг.

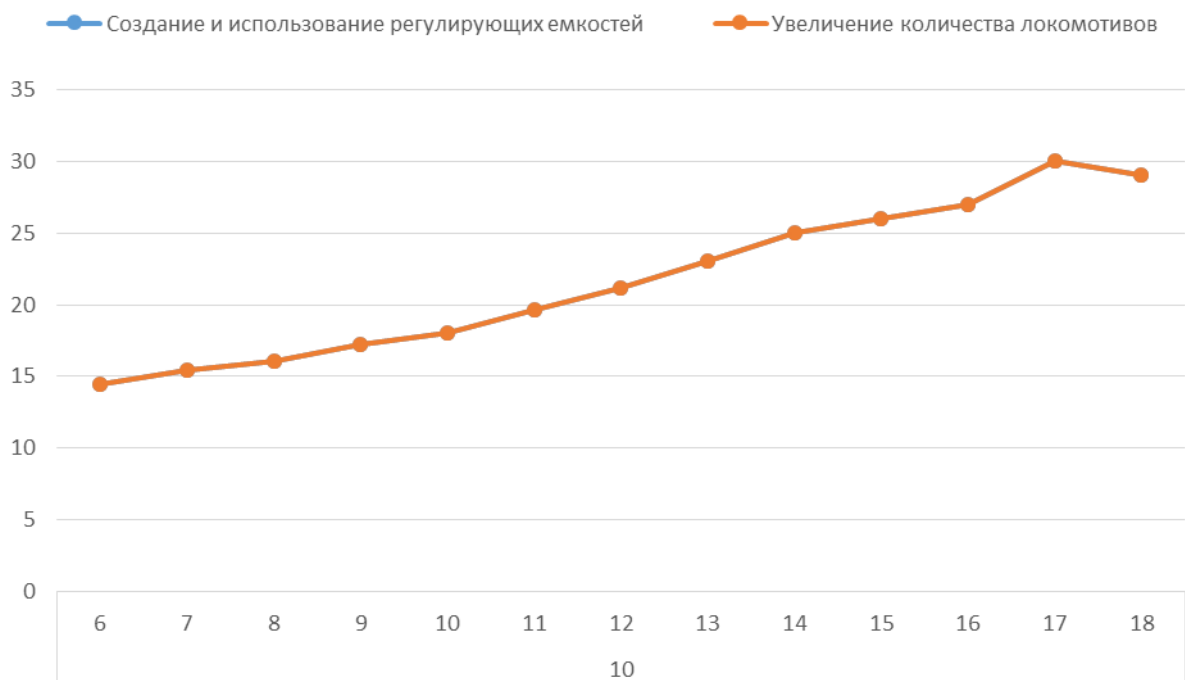


Рисунок А.27 – Зависимость изменения технически допустимых размеров движения грузовых поездов на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с увеличением парка локомотивов грузового движения





Рисунок А.28 – Зависимость изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона Дмитров – Мга в т.ч. с увеличением парка локомотивов грузового движения

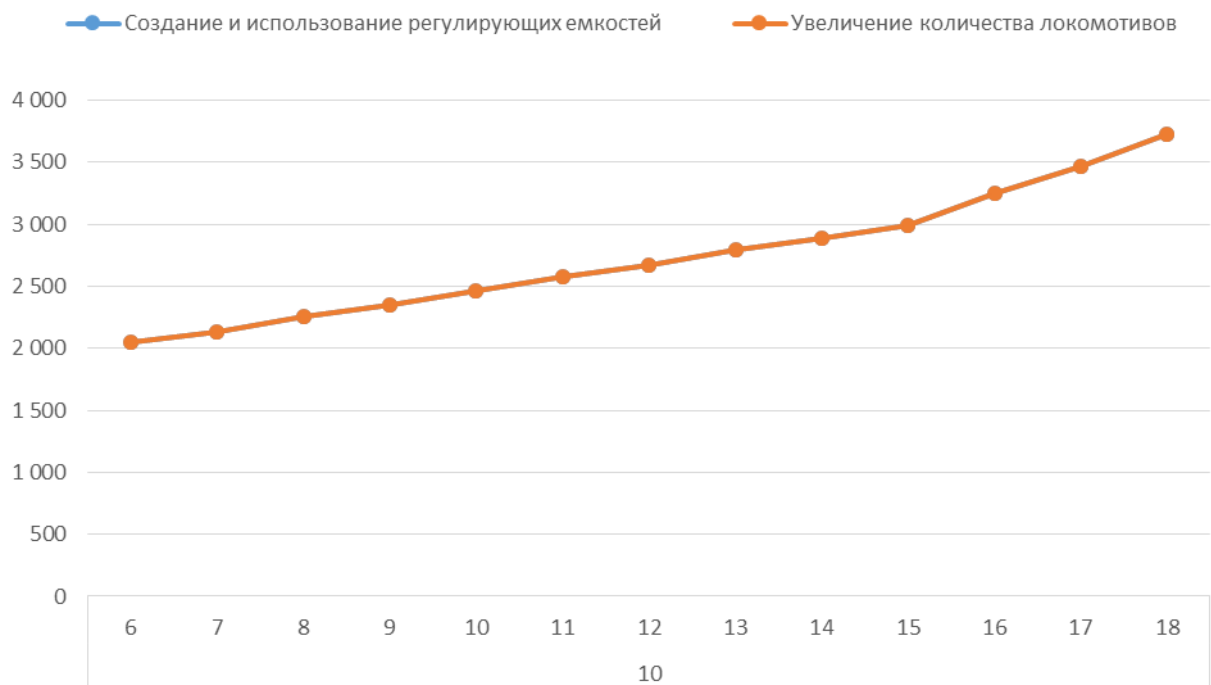


Рисунок А.29 – Зависимость изменения рабочего парка на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с увеличением парка локомотивов грузового движения

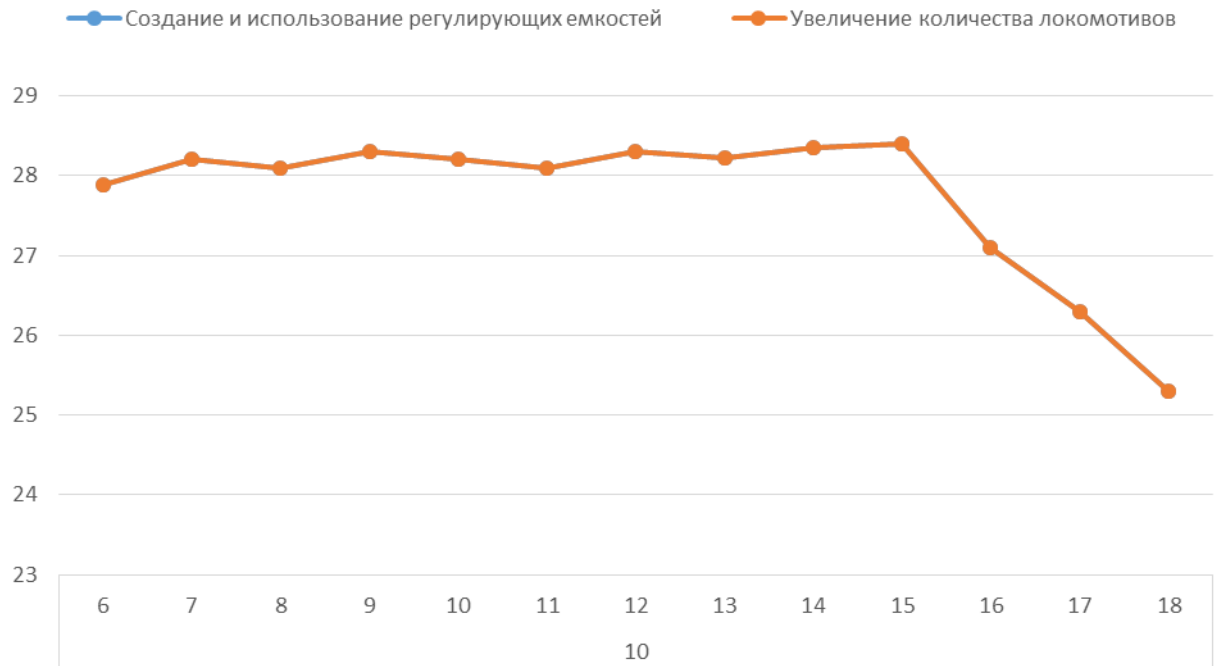


Рисунок А.30 – Зависимость изменения участковой скорости на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. с увеличением парка локомотивов грузового движения

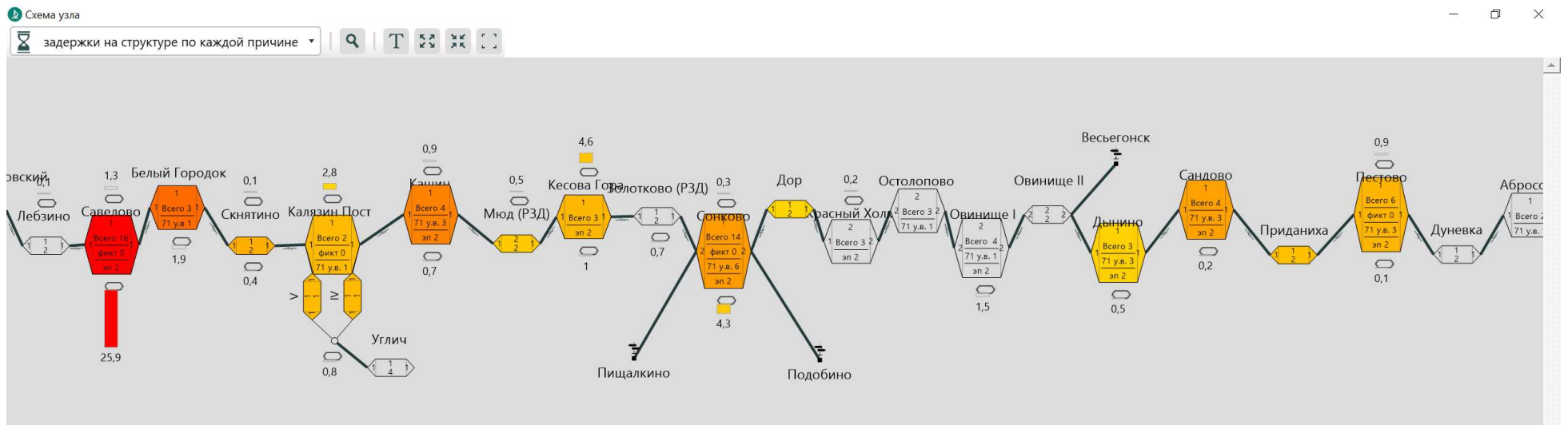


Рисунок А.31 – Узкие места полигона Дмитров – Мга после изменения технологии тягового обслуживания

### **Увеличение наличной пропускной способности перегонов, внутриузловых ходов и соединительных ветвей**

Проведено имитационное моделирование организации эксплуатационной работы полигона Мга – Сонково – Дмитров в соответствии с разработанным планом мероприятий по инфраструктурному развитию и организации движения поездов 71 усл. ваг. для частично-пакетного ГДП, дополнительным строительством одного приемоотправочного пути на станциях (Савелово, Белый городок, Калязин Пост, Овинище I, Савелово, Сонково, Хвойная, Будогощь), уменьшением коэффициентов съема пропускной способности пригородными поездами на участках Мга – Будогощь и Дмитров – Вербилки и строительством дополнительных главных путей на перегонах:

1. Белый Городок – Скнятино;
2. Белый Городок – Скнятино, Калязин пост – Кашин;
3. Белый Городок – Скнятино, Калязин пост – Кашин, Кашин – Мюд;
4. Белый Городок – Скнятино, Калязин пост – Кашин, Кашин – Мюд,

Приданиха – Пестово.

В ходе экспериментов последовательно изменялись размеры движения грузовых поездов с 6 до 25 пар установленной длиной 57 усл. ваг.

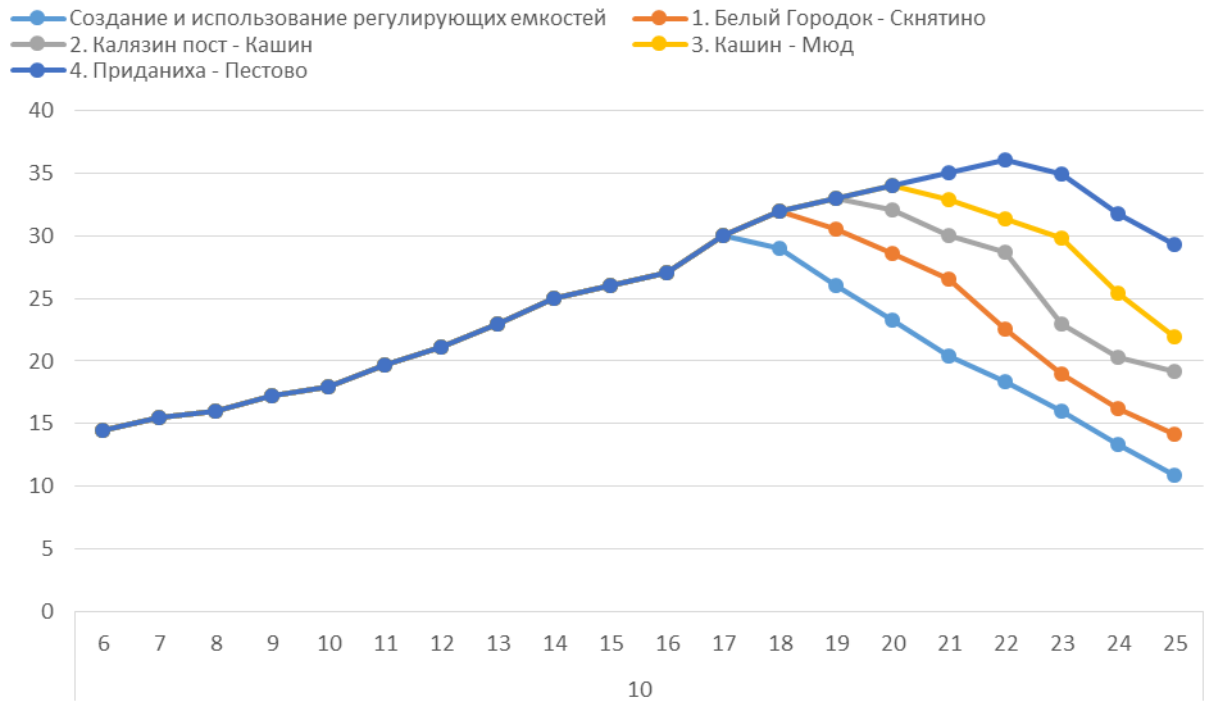


Рисунок А.32 – Зависимость изменения технически допустимых размеров движения грузовых поездов на полигоне Дмитров – Мга в т.ч. со строительством вторых главных путей

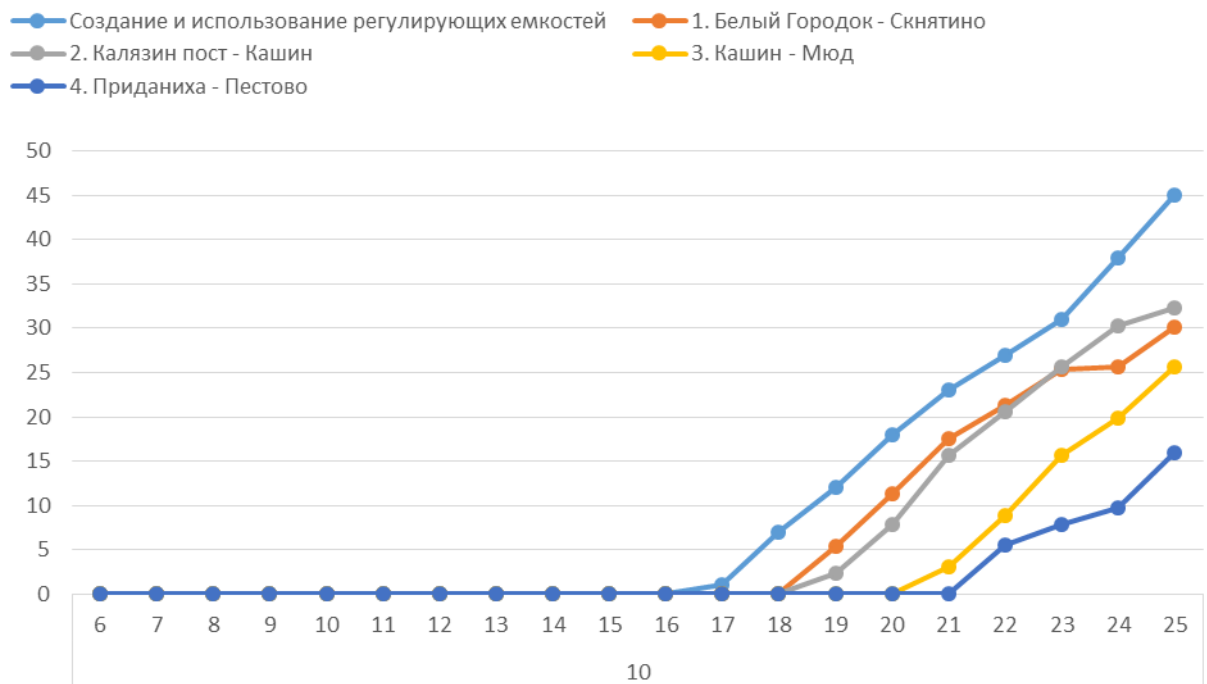


Рисунок А.33 – Зависимость изменения количества непринятых поездов по стыкам полигона Дмитров – Мга

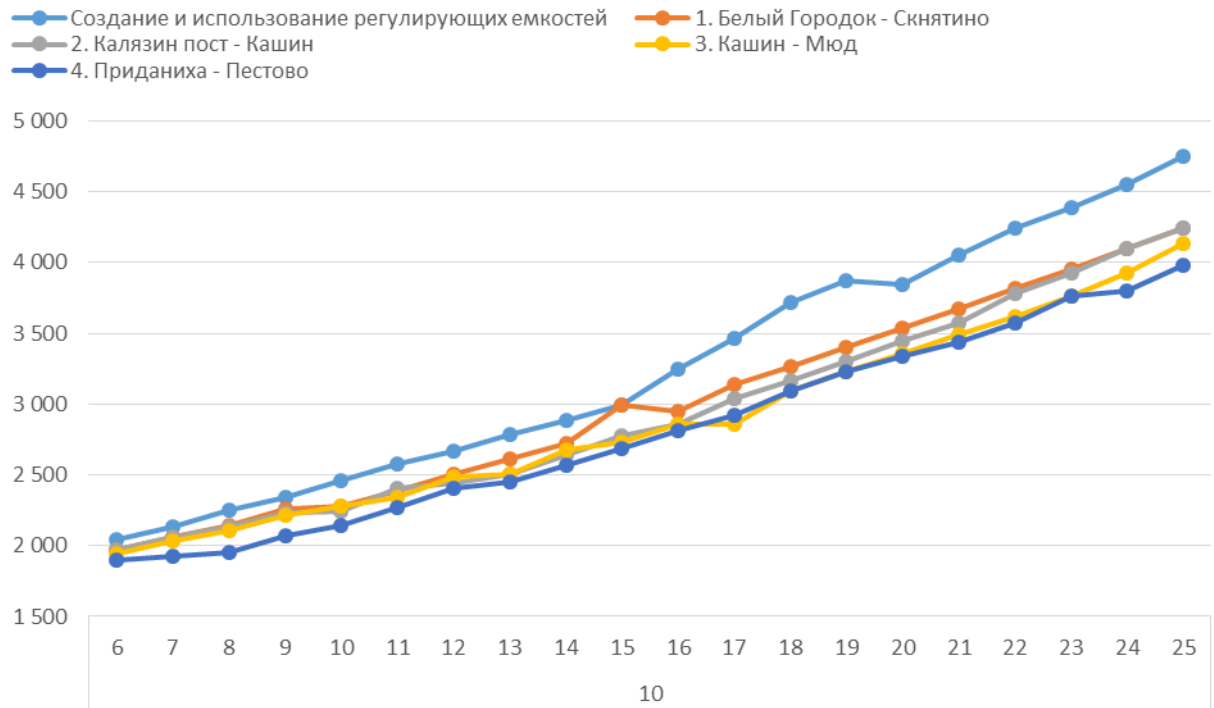


Рисунок А.34 – Зависимость изменения рабочего парка на полигоне Дмитров – Мга

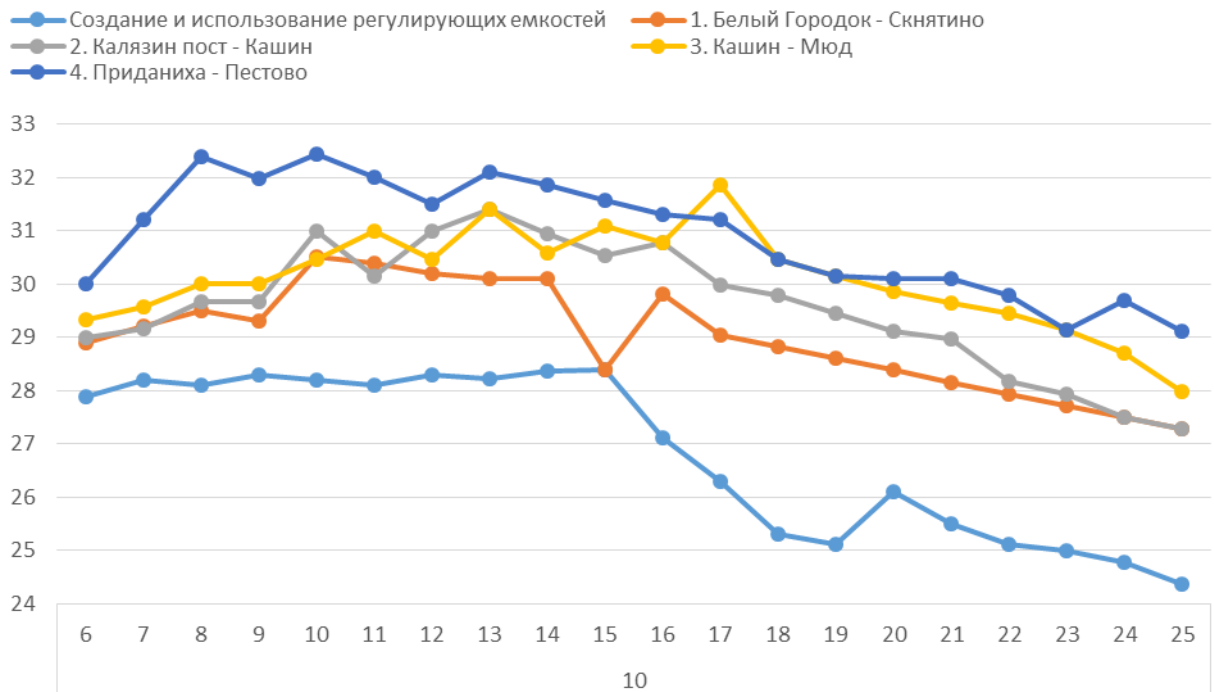


Рисунок А.35 – Зависимость изменения участковой скорости на полигоне Дмитров – Мга

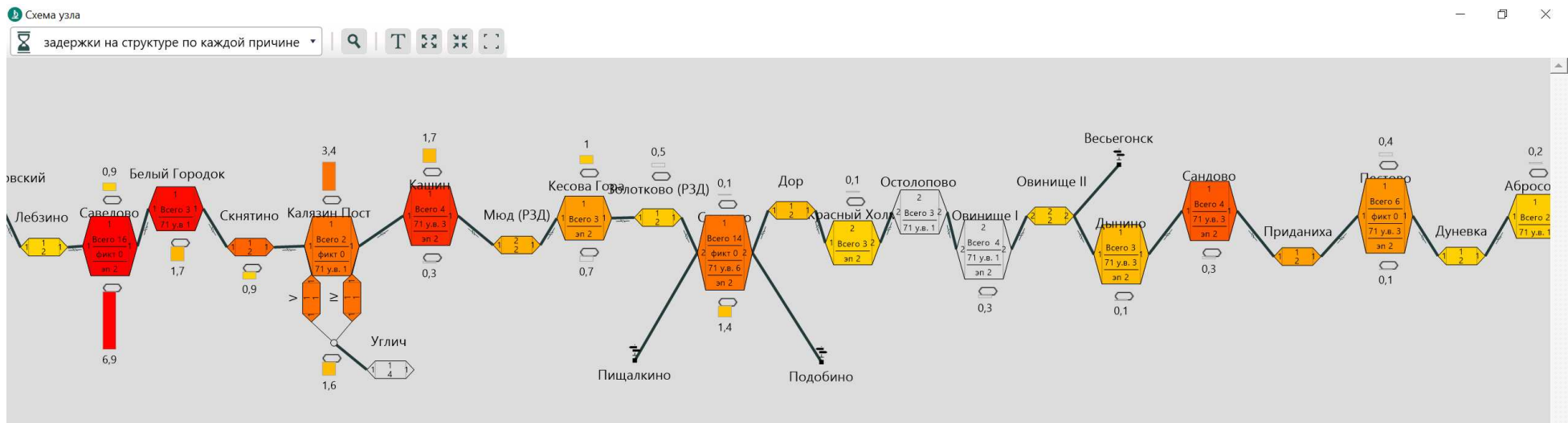


Рисунок А.36 – Узкие места полигона Дмитров – Мга после строительства дополнительных главных путей

По результатам имитационного моделирования выявлен комплекс мероприятий, обеспечивающий освоение потребных размеров движения (10 пар поездов повышенной массы и длины 71 усл. ваг. и 25 пар поездов 57 усл. ваг.):

- применение частично-пакетного ГДП, при котором поезда длиной 71 усл. ваг. следовали «пакетами», грузовые поезда длиной 57 усл. ваг. – обычным порядком;

- строительство одного приемоотправочного пути на станциях Савелово, Белый городок, Калязин Пост, Овинище I, Савелово, Сонково, Хвойная, Будогощь;

- уменьшение коэффициентов съема пропускной способности пригородными поездами на участках Мга – Будогощь и Дмитров – Вербилки;

- строительством главных путей на перегонах Белый Городок – Скнятино, Калязин пост – Кашин, Кашин – Мюд, Приданиха – Пестово.

Последовательная реализация мероприятий показала снижение количества непринятых поездов по стыкам полигона, а также суммарного количества задержек по каждому элементу инфраструктуры (числовые значения на интерактивной схеме полигона Дмитров – Мга).