

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

На правах рукописи

Колокольников Виталий Сергеевич



**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛИГОНОВ
НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант –
лауреат государственной премии,
доктор технических наук, профессор
Козлов Петр Алексеевич

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ	11
1.1. Современное состояние железнодорожной инфраструктуры.....	11
1.2. Задачи развития инфраструктуры.....	14
1.3. Развитие научной мысли.....	20
1.4. Развитие методов исследования.....	21
1.5. Требования к методам расчета.....	24
1.6. Обзор существующих методов моделирования транспорта.....	29
Выводы к главе 1.....	37
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ.....	38
2.1. Существующие принципиальные подходы.....	38
2.2. О пропускной способности станционных путей	40
2.3. О загрузке стрелок и пропускной способности горловин.....	43
2.4. Пропускная способность участков	45
2.5. Взаимодействие потока и элементов структуры	48
2.6. Взаимодействие «канал-канал».....	55
2.7. Взаимодействие «канал-бункер-канал».....	56
2.8. «Узкое место» в цепочке каналов обслуживания	59
2.9. Сущность протекающих в дуплексах процессов	63
2.10. Классификация дуплексов при расчете полигонов.....	66
2.11. Принципы оптимизации полигона.....	72
2.11.1. Главное условие оптимизации (главное ограничение).....	72
2.11.2 Стратегии оптимизации.....	73
2.11.3. Узкое место полигона.....	76
2.11.4. Технология и аппарат оптимизации.....	77
Выводы к главе 2.....	80
3 ПРИНЦИПЫ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛИГОНОВ.....	82

3.1 Задачи моделирования	82
3.2 Технология сравнения вариантов	85
3.3 Имитационная система ИМЕТРА как аппарат исследования полигонов.....	89
3.4. Основные подходы	91
3.4.1. Макромоделирование парков	91
3.4.2. Макромоделирование горловин	93
3.4.3. Макромоделирование участков	94
3.5. Проведение исследования	98
Выводы к главе 3.....	102
4 ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛИГОНОВ	103
4.1 Подготовка данных	103
4.2. Создание модели.....	107
4.2.1. Схема полигона в укрупнённой модели	107
4.2.2. Технология работы полигона в укрупнённой модели	111
4.3. Проведение экспериментов	115
4.4. Апробация имитационной системы	121
4.4.1 Исходные данные	121
4.4.2 Структура и технология работы полигона	121
4.4.3 Проведение расчетов	122
4.4.4 Верификация модели	123
4.4.5 Выдаваемые результаты.....	124
4.5. Результаты исследования полигона	131
Выводы к главе 4.....	155
5. ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ПОТОКА.....	156
5.1. Оптимизация по критерию «максимум пропускной способности»..	156
5.1.1. Участок без учета работы ограничивающих его станций.....	159
5.1.2. Участок с учетом работы ограничивающих его станций.....	162
5.2. Оптимизация по критерию «максимальная скорость пропуска потока.....	164

5.2.1. Увеличение количества функциональных каналов.....	164
5.2.1.1. Станции с большой емкостью бункера.....	164
5.2.1.2. Станции с малой емкостью бункера.....	170
5.2.2. Увеличение количества структурных каналов.....	174
5.3. Оптимизация пассажирского движения (маршрутной скорости по критерию минимизации количества составов).....	180
5.4. Комбинированные варианты оптимизации.....	190
5.5. Емкость распределенного бункера.....	198
Выводы к главе 5.....	203
6. ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ЗАТРАТАМ.....	204
6.1. Направления оптимизации.....	204
6.2. Оптимизация затрат на реконструкцию полигона.....	207
Выводы к главе 6.....	223
7. ПРОБЛЕМА ГАРМОНИЧНОГО СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ.....	224
7.1. Существующие подходы.....	224
7.1.1. Парк путей как объект исследования.....	224
7.1.2. Горловина как объект исследования.....	227
7.2. Структурирование горловины.....	230
7.3. Параметры взаимодействия парков и горловин. Содержательные предположения.....	235
7.4. Технология обоснования параметров взаимодействия.....	238
Выводы к главе 7.....	247
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	248
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	250
Приложение А. Структурно-технологическое исследование станции на подробной имитационной модели.....	269
Приложение Б. Акт внедрения результатов работы.....	300

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы и степень её разработанности. Президент страны поставил задачу разработать прорывные технологии в различных отраслях народного хозяйства. Это обязательно затронет транспорт, поскольку основная его задача – обеспечить экономические связи надежными и эффективными транспортными связями. Транспортная инфраструктура должна соответствовать этой задаче.

В проекте Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2035 года предусматривается *«ускоренное развитие отраслей экономики и сфер жизнедеятельности за счет опережающего развития транспортной инфраструктуры и видов транспорта»*.

Эффективная и надежная транспортная связь – это, в первую очередь, обеспечение вывоза и своевременная доставка всей предъявляемой к перевозке продукции. А для этого полигоны железных дорог должны иметь достаточную пропускную способность.

Однако следует констатировать, что развитие сети железных дорог не соответствует требованиям современной рыночной экономики [10]. Скорость продвижения грузопотоков в России в разы ниже, чем в развитых странах. Это означает омертвление в процессе перевозок громадных оборотных средств. Структурное развитие железнодорожной сети тоже явно недостаточно. По оценке института ИЭРТ сеть железных дорог на треть состоит из «узких мест» [2].

Проблема опережающего развития железнодорожного транспорта, и в особенности его транзитного потенциала, постоянно обсуждается на заседаниях объединенного ученого совета ОАО РЖД:

«Российские железные дороги динамично наращивают транзитный потенциал в последние годы – это результат внедрения технологий на основе целевых продуктов, таких как «Транссиб за 7 суток» или «Байкал-шаттл». Но анализ показывает, что большинство этих перевозок все-таки идет в среднеазиатские страны, что само по себе хорошо, однако огромный

Европейский рынок еще ждет от нас более эффективных, более дешевых и более скоростных перевозок контейнеров в направлении Дальнего Востока, Европы и обратно. Кроме того, остаются нерешенными проблемы организации массовых перевозок продуктов с Дальнего Востока в европейскую часть России» [112].

Но инфраструктурное развитие потребует огромных инвестиций. И здесь важную роль будет играть методология корректного расчета структурно-функциональных параметров полигонов. А в технологии расчета железнодорожных станций и участков, закрепленной в существующих инструкциях, принято поэлементное рассмотрение объектов, без учета их взаимодействия. Это приводит к серьезным ошибкам в инфраструктурных проектах.

Целостному подходу наиболее соответствует имитационное моделирование. Об этом говорится и в Транспортной стратегии до 2030 г.:

Необходимо «проведение имитационной экспертизы инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры, ... комплексное исследование на моделях функционирования проектируемых транспортных объектов с выдачей их реальной пропускной способности, "узких мест" и показателей работы» [1].

Целью исследования являлась разработка методологии расчета и структурно-функциональной оптимизации больших полигонов железнодорожного транспорта с использованием имитационного моделирования.

В качестве **объекта исследования** выбраны полигоны железнодорожного транспорта, **предметом исследования** является проблема расчета пропускной способности больших полигонов с определением «узких мест».

Задачи исследования. Реализация цели исследования потребовала решения следующих задач:

- анализ существующих теоретических подходов и технологии расчета полигонов железнодорожного транспорта с точки зрения их корректности;

- разработка структурно-технологического подхода как основы для отображения структурных элементов в модели полигона;
- разработка методологии макро моделирования станций, в том числе парков и горловин;
- разработка методологии макро моделирования участков для построения имитационной модели полигона;
- создание технологии моделирования больших полигонов, их исследования и расчета;
- разработка стратегии оптимизации полигонов на основе имитационного моделирования.

Научная новизна исследования. В диссертации разработана методология исследования, расчета и оптимизации больших полигонов железнодорожного транспорта с использованием имитационного моделирования. В том числе разработаны:

- теоретические принципы более корректного представления железнодорожных станций и участков в моделях их расчета. Показано, что основным расчетным элементом железнодорожных объектов не может являться «канал обслуживания» (существующие методики), а только канал вместе со связанным с ним бункером («дуплекс»). Величина бункера определяет уровень возможного использования канала. Показано, что станции и участки являются совокупными дуплексами. Все это принципиально меняет природу методов расчета;
- принципы эффективного структурно-функционального взаимодействия элементов железнодорожных станций. Расчетный полигон следует представлять не как последовательность каналов (существующий подход), а как цепочку дуплексов с вытекающими отсюда последствиями. Показано, что совокупными дуплексами являются не только станции, но и участки;

- принципы и технология макро моделирования больших полигонов, сформулированы требования к системам моделирования и построенным с их помощью моделям;

- методология двухэтапного расчета и оптимизации больших полигонов на основе имитационного моделирования. На первом этапе на макро модели полигона определяются основные его параметры и проблемные станции, на втором – на подробных моделях детально исследуются и оптимизируются проекты развития станций;

- разработаны основные стратегии структурно-функциональной оптимизации полигонов: по критериям «максимум пропускной способности», «максимальная скорость пропуска потока», «минимальные затраты».

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке принципов эффективного структурно-функционального взаимодействия в сложных потоковых системах и методологии оптимизации сложных систем с использованием имитационного моделирования.

Практическая значимость. Разработанная в диссертации *методология* даст возможность:

- выполнять имитационную экспертизу больших проектов развития транспортной инфраструктуры, более корректно оценивать будущие параметры проектируемых объектов;

- осуществлять структурно-функциональную оптимизацию больших полигонов по предложенным стратегиям.

Все это позволит существенно сократить неоправданные инвестиционные потери и даст возможность более корректно и обоснованно разрабатывать проекты развития транспортной инфраструктуры.

Методология и методы исследования базируются на использовании аппарата оптимизации, теории случайных процессов, теории множеств, имитационного моделирования и теории принятия решений. **Методической основой** явились труды ведущих учёных отрасли в области расчёта транспортных систем, технологии работы транспорта, методов их моделирования и оптимизации: В.М.Акулиничева, А.Э.Александрова,

В.И.Апатцева, А.П.Батурина, А.Ф.Бородина, Н.П.Бусленко, И.П.Владимирской, А.С.Гершвальда, Ю.В.Дьякова, Ю.И.Ефименко, П.А.Козлова, В.А.Кудрявцева, А.В.Кутыркина, Б.А.Лёвина, В.Я.Негря, В.И.Некрашевича, А.Т.Осьминина, Ю.О.Пазойского, В.А.Персианова, В.Ю.Пермикина, А.П.Петрова, Н.В.Правдина, С.М.Резера, Е.А.Сотникова, И.Б.Сотникова, Е.Н.Тимухиной, Е.М.Тишкина, Н.А.Тушина, А.К.Угрюмова, Н.С.Ускова, Д.Р.Фалкерсона, Л.Р.Форда, Н.Н.Шабалина, В.А.Шарова, М.И.Шмулевича, а также разработки ведущих научных организаций отрасли.

Результаты исследования, выносимые на защиту:

- структурно-функциональный подход при отображении структурных элементов в моделях;
- новый минимальный расчетный элемент «дуплекс» вместо обычно применяемого «канал обслуживания»;
- технология макро моделирования станций и участков;
- технология построения на имитационных моделях больших полигонов железнодорожного транспорта;
- методология исследования, расчета и оптимизации больших полигонов с использованием имитационного моделирования.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации обсуждались и были одобрены на следующих конференциях:

- пятая научно-техническая конференция с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование», Москва: ОАО «НИИАС», 2016;
- вторая международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей», Ростов-на-Дону, 07-08.02.2018;
- международная научно-практическая конференция «Высокоскоростные железные дороги – драйвер экономического роста», МИИТ, 30-31.05.2018;

- международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ-образование», МИИТ, 29.11-02.12.2018;

- международная научно-техническая конференция РУТ (МИИТ) «Тенденции развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом», Москва, 20-21.11.2019.

Положения, разработанные в диссертации, вошли в основу утвержденной в ОАО «РЖД» «Методики 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» [6].

Имитационная система ИМЕТРА, разработанная по описанным в диссертации принципам, используется в Институте экономики и развития транспорта (ИЭРТ) для оценки эффективности проектов развития железнодорожных узлов и полигонов (приложение Б).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 42 работы, в том числе 27 – в ведущих изданиях из перечня, рекомендованного ВАК при Минобрнауки России, 2 – в изданиях индексируемых SCOPUS.

Структура и объём диссертации. Работа содержит 299 страниц машинописного текста, включая рисунки и таблицы. Структура диссертации включает: введение, 7 глав основного текста, заключение, список использованной литературы (181 наименование), приложение.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ

1.1. Современное состояние железнодорожной инфраструктуры

Основная задача транспорта – обеспечение связей экономического взаимодействия эффективными и надежными транспортными связями.

Эффективная связь предполагает высокую скорость доставки грузов и низкие затраты. Надежная – означает безусловное выполнение перевозок при колебании потоков в рыночной экономике по величине и направлению. Это значит, что транспортная инфраструктура хорошо развита и имеет резервы пропускной способности.

Посмотрим, насколько соответствует этим требованиям сеть железных дорог России.

Скорость доставки грузов никак нельзя назвать удовлетворительной. Она составляет около 300 км/сутки, в то время как в развитых странах в 4 раза выше. При такой скорости продвижения грузопотоков международный транспортный коридор с востока на запад не может быть конкурентным.

Густота железных дорог в сравнении с этим показателем в экономически развитых странах тоже не может быть названа удовлетворительной (таблица 1.1).

При этом роль железных дорог в транспортном обеспечении страны весьма высока (рисунок 1.1) и грузооборот с развитием экономики будет расти (рисунок 1.2). Кроме этого, будет меняться и технология перевозок. В частности, будет возрастать тяжеловесное движение, а это потребует соответствующей реконструкции станций [2].

Таблица 1.1. Параметры сети железных дорог в разных странах

Государство	Длина железных дорог (км)	Электрифицировано (км)	Плотность покрытия (км путей на 1000 кв. км. территории)
 США	224 792	< 1 600	23,79
 Китай	121 000	42 000	9,74
 Индия	115 000	21 015	19,26
 Россия	87 157	50 000	5,45
 Канада	46 552		4,68
 Германия	43 468		117,35
 Австралия	38 445	2 940	
 Аргентина	35 897		
 ЮАР	31 000		
 Франция	29 901	15 140	53,40
 Бразилия	29 817		
 Япония	27 182		62,21
 Италия	24 179		65,49
 Украина	22 300	9 752	35,87
 Польша	19 627		71,36
 Великобритания	15 754	5 429	67,21
 Мексика	15 389		8,88
 Казахстан	15 372	4 300	
 Испания	15 064	8 760	30,74
 Швеция	12 821	7 918	25,85
 Иран	11 106	146	
 Турция	10 991		
 Румыния	10 784	3 971	45,42
 Чехия	9 487		119,68
 Индонезия	8 529	550	

Динамика долей железнодорожного и трубопроводного транспорта в структуре грузооборота, %, 1990-2018 годы



Рисунок 1.1. Доля железной дороги в грузообороте всех видов транспорта, % (по данным Росстат)

Грузооборот по видам транспорта, трлн т-км, 2014-2019 годы

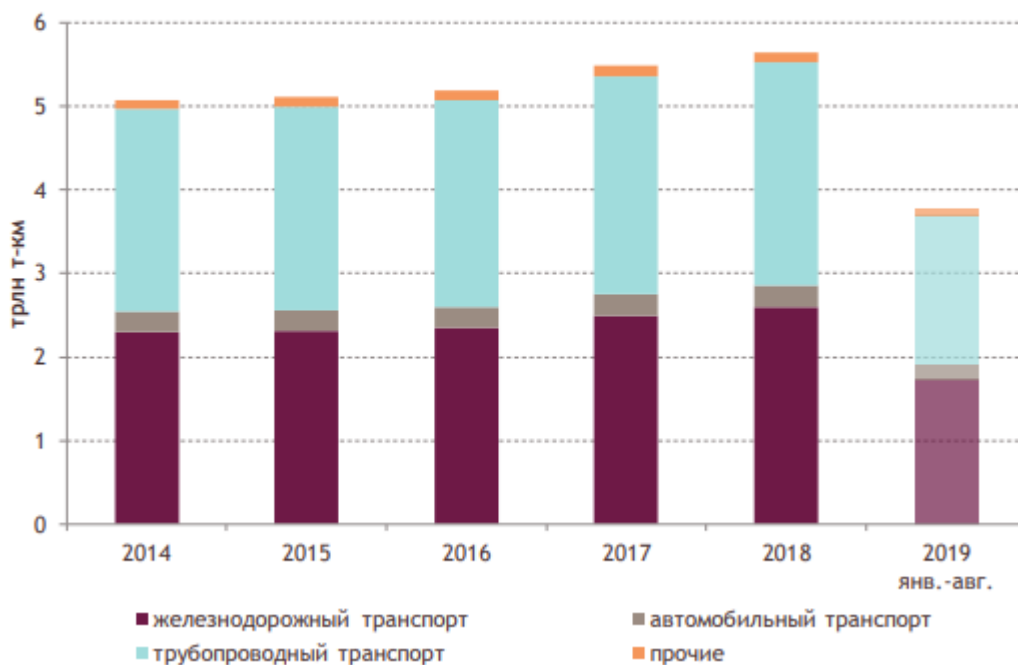


Рисунок.1.2. Рост грузооборота железнодорожного транспорта (по данным Росстат)

Что касается пассажирского транспорта, то и здесь сравнение не в нашу пользу. Транспорт не может обеспечить требуемую подвижность населения, в России она в 2,5 раза ниже, чем в ЕС и в 4 раза ниже, чем в США.

В развитии высокоскоростного движения мы также за пределами сравнения (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3. Протяженность дорог для высокоскоростного движения в разных странах (на 2018 год)

1.2. Задачи развития инфраструктуры

Проблема развития сети железных дорог активно обсуждается на самых разных уровнях. Так, например: «устранение всех узких мест путем реконструктивных мероприятий являлось бы вариантом пропорционального развития перевозочных мощностей, приводящим к избыточной потребности в инвестициях и к повышенным расходам в последующей эксплуатации.

Методологически сформулирован подход к комплексному решению проблемы развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов, включающему инвестиции в развитие

инфраструктуры, изменение численности и структуры локомотивного и вагонного парка, улучшение технологии управления движением (снижения доли непроизводительного использования подвижного состава и мощности инфраструктуры) (рисунок 1.4)» [20].



Рисунок 1.4. Схема мониторинга и оценки рисков развития железнодорожной инфраструктуры (по данным ИЭРТ)

Проблема обсуждается на заседаниях Объединенного ученого совета ОАО РЖД с привлечением ученых ведущих институтов, а также практиков. В одном из решений совета говорится о «формировании научных задач по созданию интегральной евроазиатской транспортной системы при обеспечении ключевой роли железнодорожного транспорта в контексте развития международных транспортных коридоров на перспективу до 2030 года» [9]. Там же отмечается «необходимость разработки перспективной многовариантной топологии развития сети железных дорог с учетом новых технологий и инновационных видов техники». При этом, как указано в документе, «долгосрочное развитие международных транспортных коридоров и транспортных логистических центров нуждается в научно-методическом обеспечении. Необходима разработка научных критериев развития международных транспортных коридоров и транспортных

логистических центров для определения целей их модернизации и необходимой технологической базы». Отмечается так же, что «высокие темпы роста перевозок привели к недостатку пропускной способности отдельных направлений сети, особенно на восточном полигоне. Рекомендуется провести аналитическое и технологическое моделирование перевозочного процесса при различных вариантах целевой модели».

Необходимость интенсивного развития транспортной инфраструктуры осознается и на государственном уровне. Разработана Транспортная стратегия Российской Федерации, Государственная программа «Развитие транспортной системы России» и программы развития отдельных видов транспорта (рисунок 1.5).

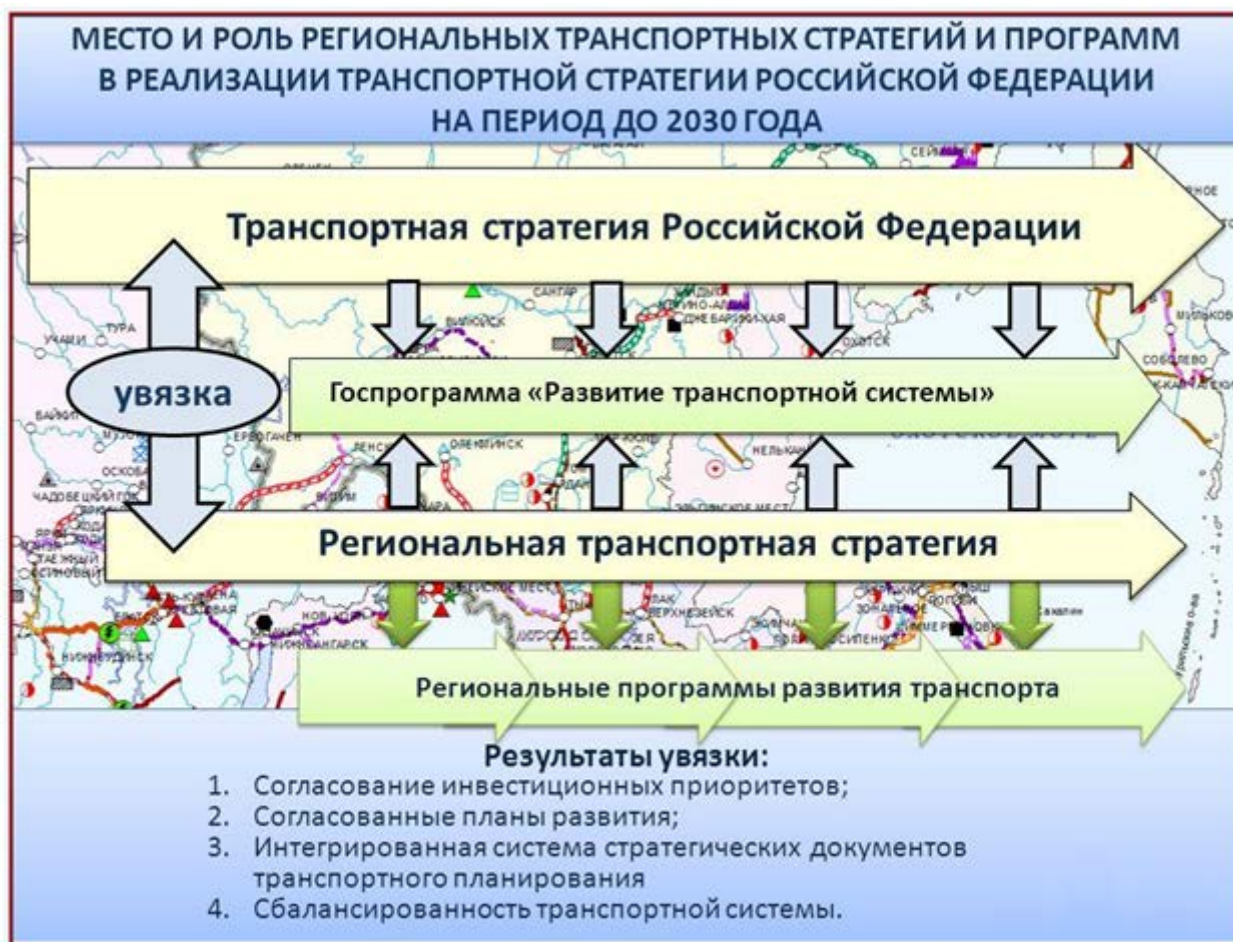


Рисунок 1.5. Программы развития транспортной инфраструктуры (по данным ИЭРТ)

Институтом экономики и развития транспорта определены «узкие места» на сети дорог – имеющиеся (рисунок 1.6) и будущие, вызываемые планируемым ростом грузопотока.



Рисунок 1.6. «Узкие места» сети РЖД (по данным ИЭРТ)

Реконструкция железнодорожной сети производится постоянно и в нее вкладываются огромные инвестиции. Вот как представляются основные направления развития железнодорожной инфраструктуры по разработкам ИЭРТ [10].

«На подходах к портам Северо-Западного бассейна и Арктической зоны России предусмотрено 10 основных инфраструктурных проектов: организация скоростного движения пассажирских поездов на участке Санкт-Петербург – Буловская; строительство вторых железнодорожных путей и электрификация участка Выборг – Приморск – Ермилово; усиление пропускной способности Волховстрой – Мурманск; комплексная реконструкция участка Мга – Веймарн и подходов к портам на южном берегу Финского залива; усиление пропускной способности направления Дмитров –

Сонково – Мга; развитие направления Вологда – Коноша – Обозерская – Беломорск; развитие направления Мга – Волховстрой – Котельнич».

Наиболее капиталоемкий проект – создание железнодорожного Северного широтного хода Обская – Коротчаево.

Общая капиталоемкость мероприятий в период 2017–2025 гг. составит порядка 461,4 млрд. руб. Реализация проектов развития железнодорожной инфраструктуры Северо-Западного региона позволит обеспечить прогнозируемые на 2025 г. объемы перевозок грузов в сообщении с портами региона в объеме 165,7 млн. т, что на 41,0 млн. т превышает уровень 2015 г.

В настоящее время на территории Южного региона завершаются проекты по выводу из консервации и реконструкции участка Морозовская – Волгодонская (2017–2018 гг., стоимость – 1,6 млрд. руб.), продолжается реализация крупнейшего комплексного проекта Южного региона «Развитие и обновление железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна» [22]. Стоимость проекта – 118,1 млрд. руб.

Кроме того, в границах полигона предусматривается реализация проекта электрификации участка Ртищево – Кочетовка, строительство 2-го пути на участке Чилипси – Кривенковская. Суммарный объем инвестиций в реализацию мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры на территории Южного региона на период до 2025 г. оценивается размере 207,2 млрд. руб. в прогнозных ценах. Реализация проектов развития железнодорожной инфраструктуры Южного региона позволит обеспечить прогнозируемые на 2025 г. объемы перевозок грузов в сообщении с портами Азово-Черноморского бассейна в объеме 138,3 млн. т, что на 58,5 млн. т превышает уровень 2016 г.

В настоящее время в ОАО «РЖД» начато рассмотрение вопроса по специализации железнодорожных линий на пассажирские и грузовые направления. В качестве пилотных проектов на территории Южного региона

можно выделить специализированный грузовой ход из центра (от БМО) в порты Юга (Новороссийск) через Рязань – Ртищево – Саратов – Волгоград и специализированные пассажирские хода: Москва – Курск – Белгород, а также Москва – Юг (Адлер) через Ожерелье – Елец – Лиски – Журавка – Ростов – Краснодар.

В Дальневосточном регионе реализуется проект «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей» [21]. Модернизация требует 562,4 млрд. руб. инвестиций, и позволит обеспечить к 2020 году вывоз полезных ископаемых с основных месторождений с приростом в объеме 66,8 млн. т в год дополнительно к уровню 2012 года.

Для целого ряда проектов требуется разработка технико-экономического обоснования. Активно развиваются порты [95]. Инвестиции в развитие железнодорожного транспорта колоссальны (таблица 1.2).

Таблица 1.2. План инвестиций в развитие ж.-д. транспорта с 2008 по 2030 гг. (млрд.руб)

	Пессимистичный сценарий	Оптимистичный сценарий
Развитие существующих объектов инфраструктуры	3025	3311
Строительство новых железнодорожных линий	2810	4228
Обновление подвижного состава	2663	3110

Из приведенного материала можно сделать вывод о том, что интенсивное развитие железнодорожной инфраструктуры связано с огромными инвестициями, поэтому высокие требования предъявляются к методам оценки проектных решений [23, 60].

1.3. Развитие научной мысли

Транспортная наука проходила развитие этапами. Это обусловило переплетение идей. Элементы организации потоков в грузовом движении относятся к концу 80-х – началу 90-х годов прошедшего столетия. Произошло выделение сборных, ускоренных и сквозных поездов. Первые научные работы относятся к началу нашего века. В 1901 г. А.Н. Фролов выполнил исследование, посвящённое проблемам организации вагонопотоков. Затем были опубликованы труды учёных В.Н. Образцова, С.Д. Карейши, А.В. Верховского, Б.Д. Воскресенского, И.И. Васильева, В.А. Соколовича, Е.А. Гибшмана [43, 125, 126]. Здесь еще переплетались вопросы эксплуатации и проектирования железных дорог. Однако с середины 20-х годов наметилось разделение исследований на две области. Под влиянием общего понимания, выработанного научной мыслью, зачастую слышались призывы проводить в транспортной науке целостный подход.

В области проектирования железнодорожных станций и узлов большой вклад внесли ученые: Образцов В.Н., Бартенев П.В., Земблинов О.В., Карейша С.Д., Ющенко Н.Р., Бузанов С.П., Никитин В.Д., Скалов К.Ю., Козин Б.С., Козлов И.Т., Шаульский Ф.И., Персианов В.А. и др. [18, 127, 143].

Учение об эксплуатации железных дорог развивали В.Н. Образцов, И.И. Васильев, А.И. Платонов, А.П. Петров, Ф.П. Кочнев, А.К. Угрюмов, В.М. Акулиничев, А.М. Макаровичин, В.В. Повороженко, А.А. Смехов, И.Б. Сотников, Е.Д. Сотников, Л.Н. Тулупов, Н.И. Федотов и др. [46, 109, 116, 147, 156]. С увеличением глубины понимания сущности транспортных процессов выводы ученых отдаляются от интуитивного уровня и все более становятся на прочную экономическую основу. Этой стороной транспорта занимались ученые: Т.С. Хачатуров, Б.Д. Хануков, И.В. Белов, В.И. Дмитриев, В.А. Дмитриев, В.А. Гибшман, А.А. Митаишвили и др. [например, 34, 118, 159].

1.4. Развитие методов исследования

Железнодорожные станции, узлы и, тем более, полигоны трудно поддаются расчёту, поскольку очень сильно связаны структурно и функционально. О полигонах, как объектах исследования, стали говорить только в последние 5 лет. Для увеличения их пропускных и провозных способностей внедряются разнообразные полигонные технологии [90, 111, 132, 162]. При этом научные работы по теме методологии исследования и расчета полигонов не выполнялись. Следовательно, подразумевается, что исследование полигонов не предусматривает никаких отличий от существующих методов расчета станций и участков. Оценка тех или иных изменений технологии и структуры на полигоне выполняется по существующим методикам расчета станций и участков, которые сами по себе дают приблизительные результаты, а полигон во взаимодействии не рассматривают вовсе [93, 94, 97].

К настоящему времени имеется опыт применения различных методологических подходов и моделей для расчёта и оптимизации транспортных систем [13, 16, 25, 31, 115, 123, 139, 150, 163, 175, 176]. Не всегда методы использовались корректно [41, 43, 153].

С середины сороковых годов прошлого столетия интенсивно развиваются методы оптимизации. Здесь выделяются ученые, которые оказали влияние на использование идеи оптимизации в транспортной науке – Л.В. Канторович, Е.С. Вентцель, Н.Н. Моисеев, Н.П. Бусленко, А.А. Бакаев, Дж. Данциг, Ф. Вулф, Р. Белман, Р. Акоф; М. Сасиени др. [12, 17, 24, 27, 33, 41, 121, 170]. Транспортная наука не могла остаться в стороне, и здесь также начали все более интенсивно использовать экономико-математические методы. Их выбор был обусловлен, в первую очередь, представлением об оптимуме на транспорте и уровнем разработанности для прикладного использования.

Критерием служил, как правило, минимум приведенных затрат. Внедрение рассчитанных «оптимумов» практически не наблюдалось вследствие больших принципиальных расхождений между моделью и действительностью. Однако такого рода формулы вошли в учебники. Следует отметить в то же время положительный вклад этого этапа. Создание аналогической модели требует более четкого и строгого представления о транспортных процессах. К аналитическим моделям в транспортной науке было вообще отношение не спокойное – то их слишком восхваляли за строгость оптимума и удобство в расчетах, то излишне ругали за чрезмерную абстрактность и формализм. Известно, что крайности сходятся и в общем-то, одна породила другую. С опытом применения роль этих моделей осознается отчетливей. Аналитические модели опираются на формализованные знания, а их на том уровне исследованности транспортных систем было немного. Следовательно, рекомендации моделей нельзя было непосредственно использовать на практике (в количественном виде). Модели служат, скорее углублению понимания взаимосвязи исследуемых процессов.

Развивалось математическое программирование – задачи транспортного типа, линейного, нелинейного и динамического программирования [16, 36, 46, 113, 117]. Достоинствами этих моделей являются наличие ограничений и дискретность. Первый фактор позволяет решать задачи условной оптимизации, когда необходимо учитывать ряд ограничений различного характера. Второй – облегчает использование цифровых ЭВМ.

В этих моделях транспорт понимается односторонне, как канал. Как реакция на излишнюю жесткость связи элементов в системе, требуемых «оптимумами» детерминированных моделей, с середины 60-х годов начинается бурное увлечение вероятностными моделями, в особенности на базе теории массового обслуживания [134, 144, 150, 158, 160 и др.]. Здесь в модели транспортной системы превалирует роль пассивного бункера (когда

внутренняя структура системы активно не перестраивается в зависимости от ситуации). Связи между элементами слабые, вероятностные. Это, по сути, другая крайность (антитезис).

Когда проблема наилучшего использования перерабатывающей и пропускной способности ощущалась очень остро, то большое количество исследований посвящалось этой проблеме [25, 26, 35, 37, 39, 48, 123, 139, 140, 141, 142, 145, 150, 161]. Значительный опыт накоплен и в вопросах определения потребности числа путей на станциях [38, 133, 165].

Необходимость получения более точных расчетов при низком уровне формализации знаний вызвала появление имитационного моделирования [24, 40, 120, 163, 165, 166]. Имитационные модели изначально ориентировались на использование ЭВМ и их эффективность повышалась с ростом возможностей цифровых машин. Транспортная наука энергично отреагировала на появление этого инструмента. Начиная с первой модели, предложенной проф. В.А. Персиановым и проф. Н.С.Усковым [137], исследования в этой области стали интенсивно развиваться вширь и вглубь [42, 63, 85, 136, 147, 148, 149, 151, 152, 154, 164], в том числе и за рубежом [167, 171, 172, 173, 178, 179].

В области расчёта и оптимизации транспортных систем весомое место занимает научная школа под руководством профессора П.А.Козлова [15, 30, 57, 62, 110, 124, 128, 130, 135, 155, 167]. Им введены ряд новых понятий для теоретического описания транспортных объектов и предложены методы их оптимизации.

Имитационные модели стоят особняком среди других математических аналогов действительности. Аналитические модели рассчитаны на решение некоторой задачи (чаще всего оптимизации) с использованием вполне определенного математического аппарата. Поэтому вся информация о системе должна быть представлена в терминах этого аппарата. Знания должны быть формализованы. А поскольку такого рода знаний о сложных

производственных системах на современном этапе немного, то аналитические модели по необходимости абстрактны. В имитационной модели максимально детально воспроизводится процесс функционирования изучаемого объекта. Можно сказать так: в имитационной модели отображается процесс, а в аналитической – результаты процесса. В имитационную модель можно внести любую информацию, лишь бы ее можно было каким-либо образом закодировать. Эти модели, правило, значительно полнее.

1.5. Требования к методам расчета

При оценке существующих и проектируемых транспортных объектов используется четыре основных метода расчёта их пропускной способности:

- аналитический (детерминированный и вероятностный);
- графоаналитический;
- имитационное моделирование.

Можно выделить [135] четыре главных критерия, которым должен удовлетворять метод: «адекватно отображать и учитывать схему путевого развития станции, отображать технологию работы, реагировать на случайные процессы, учитывать управление в системе».

В [30] отмечено, что «ошибки, возникающие при их применении при решении тех или иных задач, вытекают из функциональных особенностей самих подходов». Наилучшим методом расчёта железнодорожных объектов на сегодняшний день является имитационное моделирование. Его преимущества заключаются в следующем:

- учитываются взаимосвязи, действующие в системе;
- отображается влияние структуры объекта на характер его функционирования;

– неявно задается целевая функция и ограничения.

Многokратно подтверждено [66, 71, 86, 91, 101, 155], что только корректно построенная имитационная модель способна правильно оценить структуру и технологию работы транспортных объектов (рисунок 1.7, таблица 1.3).

Проверка всех крупных проектов строительства и реконструкции, создание комплексных программ развития станций, узлов и полигонов должны выполняться при помощи имитационных моделей. О необходимости этого прямо говорится в [1]: «проведение имитационной экспертизы инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры, создание имитационных систем, комплексное исследование на моделях функционирования проектируемых транспортных объектов с выдачей их реальной пропускной способности, узких мест и показателей работы».



Рисунок 1.7. Отражение свойств транспортной системы различными методами

Таблица 1.3. Особенности использования различных методов расчета

Метод \ Свойства	Свойства						Результат
	Учёт внутренней структуры	Отображение управления	Учёт взаимодействия случайных процессов	Возможность проведения экспериментов	Определение узких мест		
Графический	+	-	°	-	+-	Занижение потребности	
Аналитический детерминированный	-	°	°	-	°	Занижение потребности	
Аналитический вероятностный	-	°	+	-	-	Завышение потребности	
Имитационное моделирование	++	++	++	+	++	Точное соответствие	

Для создания моделей транспортных объектов требуется соответствующий аппарат – имитационная система. Она предназначена для расчёта пропускных и перерабатывающих способностей станций и линий, исследования соответствия структуры и технологии моделируемых объектов, экспертизы проектов их развития. С помощью имитационной системы определяются технические и технологические показатели работы объектов, которые в увязке с экономическими критериями, дают возможность сравнения вариантов и определения наиболее эффективного из них.

К имитационной системе, используемой для проведения исследований железнодорожных станций и линий, предъявляются следующие требования [54, 64, 65, 76, 80, 89, 92, 99, 102, 129].

1. Имитационная система должна позволять технологу строить модели железнодорожных объектов, адекватно отображающие их основные свойства, в том числе:

- структуру (схему путевого развития со всеми технологическими устройствами);
- технологию работы (технологические операции и их взаимосвязи);
- взаимодействие случайных процессов (случайные колебания в параметрах входного потока и параметрах выполнения операций);
- диспетчерское управление (оценку ситуаций и процесс принятия решений от диспетчерского участка до ЦУП полигона).

2. Имитационная система должна быть ориентирована на использование технологом, а не программистом. Железнодорожная станция, узел или полигон работают не по некоторой «стандартной» технологии, предусмотренной технологическим процессом, а по управляемой диспетчерами – гибкой и адаптивной. Это значит, что диспетчер, в зависимости от сложившейся ситуации, может менять приоритетность и порядок выполнения операций, перераспределять имеющиеся маневровые и людские ресурсы и т.п. Варианты адаптивной технологии зависят от множества разных факторов, и различаются для конкретных условий разных станций. Адаптивную технологию может адекватно воспроизвести только опытный технолог. Поэтому к имитационной системе предъявляются следующие требования:

- система моделирования (интерфейс, документация, результаты расчетов) должна быть русскоязычная и адаптированная под условия и особенности работы российских железных дорог;
- аппарат моделирования должен использовать стандартные технологические (транспортные) понятия при описании элементов структуры путевого развития и технологических операций, а также при выдаче результатов;
- перечень выдаваемых результатов должен соответствовать принятому на железнодорожном транспорте набору критериев оценки станций, узлов и полигонов;

– имитационная система должна иметь достаточно полный набор процедур, обеспечивающих построение адаптивной технологии.

3. В системе моделирования должны выполняться требования технологичности и современности. Имитационная система должна:

– включать модуль автоматизированного построения, который выполняет основную работу по заданию исходных данных. Человек может делать слишком много случайных, трудно определяемых ошибок. Современные системы выполняют автоматически свыше 90% работы по построению этого массива;

– предусматривать возможность построения имитационных моделей существующих, реконструируемых и проектируемых объектов;

– предусматривать возможность автоматизированного получения исходных данных о схеме существующего на момент моделирования путевого развития, вместимости путей, расположения сигналов и т.п.;

– предусматривать возможность автоматизированного получения исходных данных о технологии работы объекта;

– автоматически формировать все возможные маршруты передвижений в технологических операциях при задании технологии и выбирать наилучший из маршрутов при выполнении расчета;

– автоматически учитывать занятость стрелочных секций при нахождении на них подвижного состава, не вмещающегося в пределах полезной длины пути;

– иметь электронный справочник, содержащий максимально возможный объём сведений о технологических процессах работы станций различного типа, узлов и участков, а также о нормативных параметрах выполнения операций. Это позволяет системе контролировать процесс построения моделей технологом и предупреждать возможные технологические ошибки;

- иметь подсистему воспроизведения расчёта (эксперимента) на схеме путевого развития с целью отображения передвижений и операций на путях в динамике, что даёт возможность наглядно проверить адекватность модели;
- обеспечивать развитый интерфейс и достаточно удобный сервис при работе с ней технолога.

1.6. Обзор существующих методов моделирования транспорта

В мире существует большое количество универсальных систем моделирования, многие из которых используются в России. Большинство систем имеют схожие возможности, наиболее часто упоминаемые и типичные – Arena, AnyLogic, eM-Plant Simulation, мультиагентные системы.

Система Arena [169] обладает развитым аппаратом для моделирования систем массового обслуживания. В таких системах единицы потока со случайными колебаниями в интенсивности идут по сети до пункта обслуживания. Обслуживание имеет случайный разброс, возникают очереди. Характеристика этих очередей является основным результатом моделирования.

Общим недостатком всех систем массового обслуживания является то, что движущаяся единица абстрактного потока не может отобразить сложную технологию работы железных дорог, где каждая операция имеет свой алгоритм выполнения.

Таким образом, отображение в системе Arena сложной структуры железнодорожных станций и участков, развитой технологии их работы, особенно функций адаптивного управления является нереализуемой задачей. Кроме того, все функции и документация системы Arena реализованы на английском языке.

Российская система моделирования Anylogic [44] имеет много общего с системой Arena, но более развита, особенно в области динамической

демонстрации процесса, в том числе трёхмерной – 3D. Система AnyLogic включает набор стандартных библиотек, в том числе для моделирования железнодорожных объектов. В этой библиотеке реализована визуализация некоторых операций, выполняемых на железной дороге. В динамике отображается движение вагонов, но внутри модели производится только обслуживание единиц потока. Расширение функциональности системы требует знания пользователем основ программирования.

Для использования в моделировании работы железнодорожного транспорта система Anylogic нуждается в адаптации. Кроме средств визуализации ей необходимо иметь дополнительные модули, позволяющие описывать в моделях особенности выполнения различных операций, отображать фактор диспетчерского управления, обрабатывать и анализировать результаты расчётов.

Мультиагентные системы (NetLogo, VisualBots, REPASt и др.) состоят из нескольких взаимодействующих агентов [174]. Для них характерны автономность (агенты действуют независимо), ограниченность представления (ни у одного из агентов нет представления о всей системе), децентрализация (нет агентов, управляющих всей системой). При указанных характеристиках сложно представить применение мультиагентных систем для моделирования работы объектов железнодорожного транспорта (станций, узлов, полигонов) из-за несоответствия их принципам организации работы железных дорог.

Однако существуют попытки разработки и применения специализированных мультиагентных систем для железнодорожного транспорта. Компанией «Разумные решения» создана мультиагентная система Smart Railways. Она предназначена для помощи диспетчерам в планировании железнодорожных перевозок в условиях постоянного изменения текущей ситуации (опоздания, поломки, ремонтные работы и др.)

Она позволяет решать вопросы прокладки «ниток» поездов, однако работа станций при этом не моделируется.

Универсальная система eM-Plant Simulation – визуальная объектно-ориентированная среда для построения имитационных моделей разнообразных объектов и процессов [181]. При моделировании объекты перемещаются по структуре, генерируя события при входе на объект и выходе из него. По результатам моделирования накапливается статистика – производительность, время использования, заполненность накопителей. Для оценки работы используются универсальные аналитические инструменты.

Как и другие универсальные системы моделирования, eM-Plant Simulation нельзя использовать без специального обучения. Этот аппарат не соответствует требованиям к системам железнодорожного транспорта, он является простой системой массового обслуживания и не может отображать сложную технологию работы железных дорог. Терминология и результаты реализованы на английском языке, ориентированы на особенности работы зарубежных потоковых систем.

Помимо универсальных систем моделирования, в мире имеется большой выбор специализированных программных продуктов, в том числе для использования на разных видах транспорта (автомобильном, городском, воздушном, морском) – PASSER, PROGO, SOAP84, Synchro, TEAPAC/NOSTOP, TRANSYT-7F, TSDWIN, TS/PPDraft, SATURN, TransCad, EMME/2, TRIPS, DRACULA, PARAMICS, VISSIM, AIMSUN, PTV и др. Однако ни один из специализированных инструментов, используемых для моделирования их работы, не подходит для отображения работы железных дорог. Это объясняется принципиально разной технологией функционирования различных видов транспорта.

Для железнодорожного транспорта также разработан ряд специализированных систем имитационного моделирования в России и за рубежом.

Система Avroga [149], созданная в институте Ленгипротранс, изначально разрабатывалась для оценки проектов развития станций. Она представляет собой программный комплекс для расчёта систем массового обслуживания, например, для расчёта числа путей в парке приёма при неравномерном прибытии поездов. Она позволяет определять загрузку элементов, «узкие» места станций. Однако Avroga не обладает развитым интерфейсом, не позволяет полно и достоверно моделировать работу станций (в частности процессы накопления), имеет ограниченный набор отчётных форм и поэтому не может быть рекомендована для широкого использования.

Система моделирования ИСУЖТ ТС разработана для анализа, моделирования и оптимизации технологии работы железнодорожных станций. Она позволяет в электронном виде хранить информацию, содержащуюся в техническо-распорядительном акте и технологическом процессе станций сети. ИСУЖТ ТС отвечает необходимым требованиям специализированной имитационной системы для железнодорожного транспорта. Она позволяет достоверно моделировать работу существующих железнодорожных станций сети и проводить последующий качественный анализ. В системе имеется развитый интерфейс, подсистема автоматизированного формирования модели. Преимуществом системы является её включённость в общую информационную сеть РЖД и возможность автоматической загрузки исходных данных.

При этом остаётся нерешённым вопрос о возможности использования системы для исследования проектов развития новых и реконструируемых станций, особенно больших полигонов [32]. Отсутствует практика моделирования подобных объектов в системе ИСУЖТ ТС.

АПК ЭЛЬБРУС [122] представляет собой математическую модель, которая автоматически строит график движения поездов с учётом всех актуальных условий пропуска и заданных параметров поездопотока. Алгоритм построения прогнозного графика нацелен на достижение максимального энергосберегающего эффекта.

Несмотря на свои возможности, система Эльбрус не относится к имитационным системам, позволяющим моделировать работу станций. В системе Эльбрус процессы расформирования, накопления, формирования и др. не отображаются.

Автоматизированная система ПРОГРЕСС (Прогноз Ресурсов Сети) – ресурсная модель [19], предназначенная для оценки возможностей реализации перевозочного процесса на основе информации об использовании пропускной способности участков, вместимости путей и перерабатывающей способности станций с учётом тяговых ресурсов и работы парка грузовых вагонов. АС ПРОГРЕСС – модель, используемая для укрупнённого расчёта параметров железнодорожной сети по пропуску прогнозных потоков.

В системе некорректно используется термин «имитационная», поскольку в ней не производится расчётов в динамике. Параметры сети рассчитываются в среднем на заданный период времени без проверки возможности пропуска потоков с учётом всех факторов, действующих в реальности. Возможности АС ПРОГРЕСС не позволяют исследовать с её помощью реализуемость проектных решений по развитию инфраструктуры железных дорог и определению рациональной технологии работы.

АС Модель создана с целью повышения качества процессов планирования производственной деятельности ОАО «РЖД» за счёт формирования норм и нормативов на принципах оптимизации; увязки всех процессов планирования производственной деятельности сети железных дорог в рамках единой модели; повышения качества первичных данных. В

системе используется метод последовательного применения оптимизационных и имитационных моделей. Оптимизационная модель даёт расчёты, которые необходимо отдельно проверять с точки зрения технологической выполнимости полученного решения, поэтому получаемое в ней решение должно быть далее подвергнуто технологической экспертизе на имитационной модели. Однако в имитационной модели этой системы планируется производить расчёты на основе заданных пропускных способностей, а не определять их с помощью модели. Кроме того, имитационная часть АС Модель ещё не разработана. Таким образом, АС Модель не может быть использована для моделирования работы транспортных объектов. При этом она может быть полезной для оценки пропускных и перерабатывающих способностей по критериям, отличным от технологических показателей (минимальной себестоимости, энергоснабжения, тяговой обеспеченности и др.)

Система моделирования OpenTrack [177] – это инструмент планирования и моделирования железнодорожных станций. Разработан в швейцарском федеральном техническом институте дорожного планирования и транспортных систем в Цюрихе.

OpenTrack позволяет моделировать движение поездов на станции по установленному расписанию, отображает передвижение поездов в соответствии с ограничениями СЦБ. Пользователь может наблюдать за работой модели в анимационном режиме, который показывает движение поездов и позволяет отслеживать занятость путей. После моделирования программа выдаёт данные для анализа в виде диаграмм, графиков поездов, диаграмм занятия путей и статистических сведений. Данная система в основном предназначена для обнаружения конфликтов расписания при оперативной работе и маршрутов следования поездов в потоке.

Существенным недостатком OpenTrack является отсутствие русской версии продукта.

Система моделирования Villon [180] создана компанией Simcon в содружестве с университетом Жилины (Словакия). Система обладает более универсальными возможностями моделирования, чем система OpenTrack, позволяет моделировать не только работу железнодорожных станций, но и других объектов (терминалов, складов, портов, промышленных объектов и др.) В системе Villon используется агентное моделирование. По принципам работы система ближе всего к российской универсальной системе Anylogic, но в отличие от неё, имеет большее количество инструментов для отображения специфики работы железных дорог. Однако ей присущи общие проблемы агентного подхода – отсутствие учёта централизованного диспетчерского управления в железнодорожных системах. Также у Villon отсутствует русская версия продукта.

Имитационная система ИСТРА [59, 64, 67, 128, 135] предназначена для детального моделирования железнодорожных станций и транспортных узлов. Имеет подсистему автоматизированного построения модели, пользователю не требуется знать программирование. Система учитывает влияние случайного разброса в продолжительности операций, структуре потоков, а также диспетчерское управление. ИСТРА имеет широкий набор инструментов с поясняющими подсказками. Выдаёт большой набор показателей работы станции/узла (простои вагонов, загрузка элементов, «узкие» места и т.д.), а также графические отчёты (графики исполненной работы, цветовые схемы станции, работу станции/узла в динамике).

Система ИСТРА позволяет проводить оценку различных вариантов выполнения текущей работы; определять лучшие варианты при строительстве и реконструкции; рассчитывать реальную перерабатывающую

способность станции/узла; выявлять «узкие места» путевого развития и технологии работы и др.

Имитационная система ИМЕТРА разработана для укрупнённого моделирования направлений и полигонов транспортной сети, а также сверх крупных узлов. Моделирование больших объектов стало возможным за счёт отказа от подробного отображения в моделях структуры путевого развития. Вместо этого объекты отображаются укрупнённо – в виде парков и горловин, с описанием их функциональных возможностей. ИМЕТРА позволяет производить оценку вариантов развития транспортной инфраструктуры; разработку рациональной технологии транспортного обслуживания; оценку этапности развития инфраструктуры. По результатам расчётов система выдаёт широкий набор результатов в графическом и табличном виде (график загрузки элементов инфраструктуры, график исполненного движения, пропускную способность станций, загрузку парков, горловин, терминалов и задержки из-за них, полный и расчленённый по элементам простой, состояние полигона в любой момент времени и др.).

Выводы к главе 1

1. Железнодорожная инфраструктура будет интенсивно развиваться. Задача эта весьма дорогостоящая, так что проектные решения должны проходить тщательную проверку.

2. Существующие методы расчета теоретически не всегда корректны и практически могут грешить существенными ошибками.

3. Единственным корректным аппаратом здесь может служить имитационное моделирование.

4. Имитационная система для создания моделей должна соответствовать ряду требований:

- включать модуль автоматизированного построения, который выполняет основную работу по заданию исходных данных;

- предусматривать возможность построения имитационных моделей существующих, реконструируемых и проектируемых объектов;

- предусматривать возможность автоматизированного получения исходных данных о схеме и технологии работы объекта;

- автоматически формировать все возможные маршруты передвижений в технологических операциях при задании технологии и выбирать наилучший из маршрутов при выполнении расчета;

- автоматически учитывать занятость стрелочных секций при нахождении на них подвижного состава, не вмещающегося в пределах полезной длины пути;

- иметь подсистему воспроизведения расчёта (эксперимента) на схеме путевого развития с целью отображения передвижений и операций на путях в динамике, что даёт возможность наглядно проверить адекватность модели;

- обеспечивать развитый интерфейс и достаточно удобный сервис при работе с ней технолога.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ

2.1. Существующие принципиальные подходы

При расчете пропускной способности станций и участков расчетным элементом является, как правило, некоторый канал (структурный или функциональный). Структурный – это когда поток перемещается по элементу (например, сортировочная горка), функциональный – когда на элементе происходит преобразование потока без перемещения (например, обработка состава по прибытии. Входит поток необработанных составов, выходит поток обработанных). Канал – это устройство, которое поток проходит без накопления (положительного или отрицательного). Проще говоря, сколько вошло, столько же и вышло.

В бункере ситуация другая. Может войти больше, чем вышло (положительное накопление), или выйти больше, чем вошло (отрицательное накопление).

Бункер перед каналом преобразует поток из случайного в управляемый, тем самым повышая возможный уровень полезного использования канала. Так что действительной минимальной расчетной единицей на полигоне является комбинация бункера и канала (рисунок 2.1).

Рассмотрим некоторые утверждения инструкции по расчету пропускной способности [5].

Утверждение 1. Отдельные части станции можно и следует рассчитывать по отдельности, не учитывая эффект взаимодействия. В Инструкции утверждается: «пропускная способность какого-либо устройства может быть правильно установлена только в том случае, если при расчете не учитывается возможное ее ограничение пропускной способностью соседних устройств» [5, п. 2.1.4].

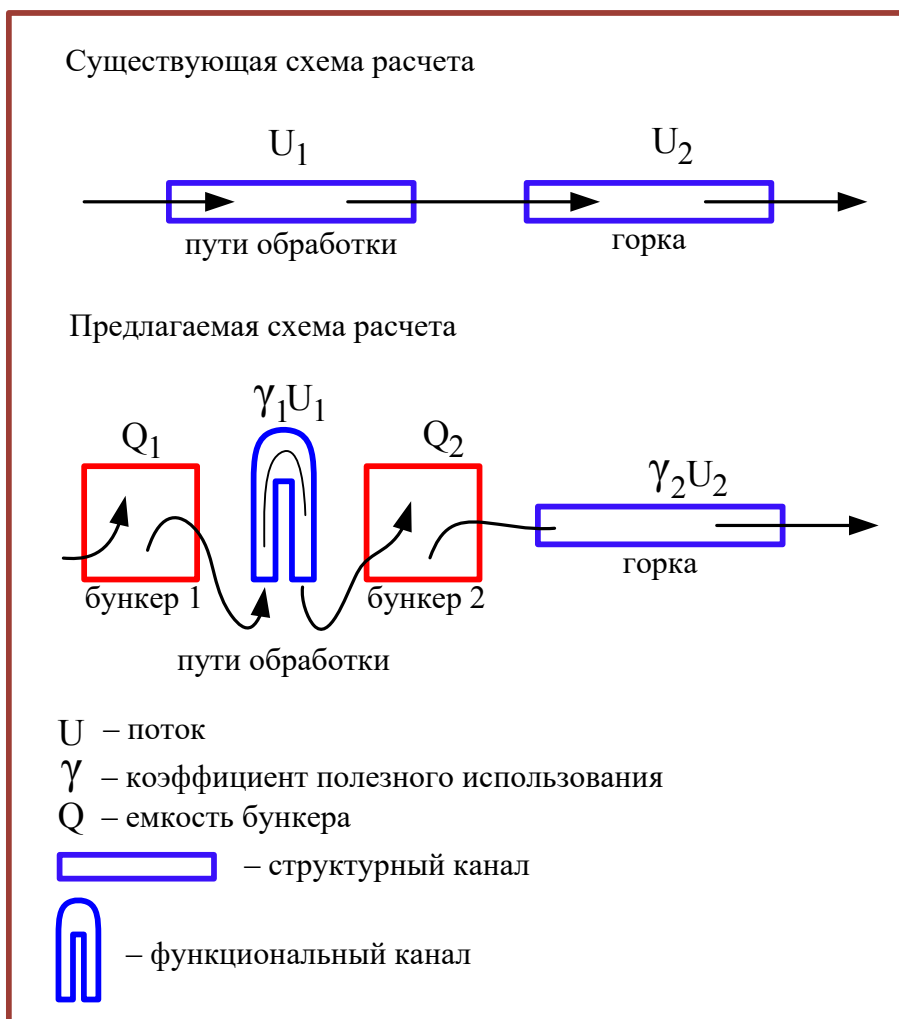


Рисунок 2.1. Схемы расчета предгорочного парка

Далее там же устанавливается следующий «*порядок расчета пропускной и перерабатывающей способности станции:*

– *определяется пропускная (перерабатывающая) способность отдельных станционных устройств;*

– *устанавливается результирующая пропускная способность станции отдельно по каждому из примыкающих направлений, соответствующая устройству, имеющему наименьшую ее величину» [5, п. 2.1.7].*

По-видимому, логика здесь такая. Пусть соединены два некоторых канала. У одного пропускная способность 10 единиц, у второго – 8. Второй будет мешать определить параметры первого. А если у обоих 10, значит, и в

совокупности будет 10? Это заблуждение, при взаимодействии на станции меняются параметры обеих частей.

Утверждение 2. Горловину может представлять одна, наиболее загруженная стрелка. *«При этом больше будет уверенность в том, что пропускная способность горловины определена действительно по наиболее загруженной стрелке»* [5, с. 82].

Утверждение 3. Элемент (стрелка или путь) может быть загружен на 100%. В Инструкции [5, с. 80] считается, что, скажем, при занятости наиболее загруженной стрелки на 70% горловина имеет резерв пропускной способности в 30%.

Утверждение 4. Используемую в расчетах занятость пути можно корректно определить по полезной загрузке и поправочному коэффициенту. *«В условиях внутрисуточной неравномерности..., разной продолжительности выполнения операций..., влияния смежных устройств.. и действия других факторов станционные пути должны обеспечивать устойчивую работу станции... Влияние указанных факторов оценивается технически необходимой долей пропускной способности ρ »* [5, с.57–58].

Получается, что так много совершенно различных факторов описываются всего лишь одним коэффициентом. Этот показатель устанавливает, по сути, соотношение между полезной и полной занятостью путей. Далее будет показано, что при должной проверке все приведенные утверждения не выдерживают критики.

2.2. О пропускной способности станционных путей

Еще в 1981 г. выпущено «Руководство по проектированию железнодорожных станций и узлов» [47], в котором говорится следующее:

«Пропускная способность станционных устройств определяется числом поездов

$$N = \frac{1440m - \sum T_{\text{пост}}}{t_{\text{зан}}}, \quad (2.1)$$

где m – число параллельно работающих однородных элементов рассчитываемого устройства (например, путей в парке);


$t_{\text{зан}}$ – время занятия пути одним поездом;

$T_{\text{пост}}$ – время занятия устройства в течение суток выполнением постоянных операций, мин».

В актуальной Инструкции подход остался, по сути, тем же. Но теперь определяется коэффициент загрузки пути операциями принятого технологического процесса, а пропускная способность определяется при его 100% загрузке. То есть путь рассматривается как функциональный канал. Но предположим, что в некоем парке 8 путей и обработку осуществляют две бригады. Даже при 100%-ной их загрузке каналами могут быть лишь два пути, остальные будут резервными (бункерами). Вот как, например, по результатам моделирования загружены пути в парке на одной из технических станций (рисунок 2.2). Пропускная способность парка по Инструкции рассчитывается неверно.

Рассчитать технологическое время можно. Но как определить задержки и непроизводительные простои? Например, характер загрузки двух аналогичных парков на разных станциях значительно различается (рисунки 2.2 и 2.3). Во втором случае доля полезной занятости в два раза меньше.

Таким образом, каждый парк (и станцию на полигоне) правильнее рассматривать, как объединенный канал-бункер (назовем его дуплекс) (рисунок 2.4), а весь полигон – как цепочку взаимосвязанных дуплексов. Только следует иметь в виду, что один и тот же путь станции может часть времени работать как канал (во время выполнения на этом пути технологических операций), и часть времени – как бункер (во время непроизводительного простоя). Как канал в это время могут работать смежные пути.

название	графически	технолс	задержк	вагонами
5в п. парка Парк В		17:10	0:43	1:34
1в п. парка Парк В		15:23	0:18	2:44
6в п. парка Парк В		12:00	0:42	4:18
2в п. парка Парк В		13:50	0:32	2:01
9в п. парка Парк В		10:34	0:43	1:17
7в п. парка Парк В		8:41	0:27	2:37
8в п. парка Парк В		8:04	0:14	0:55

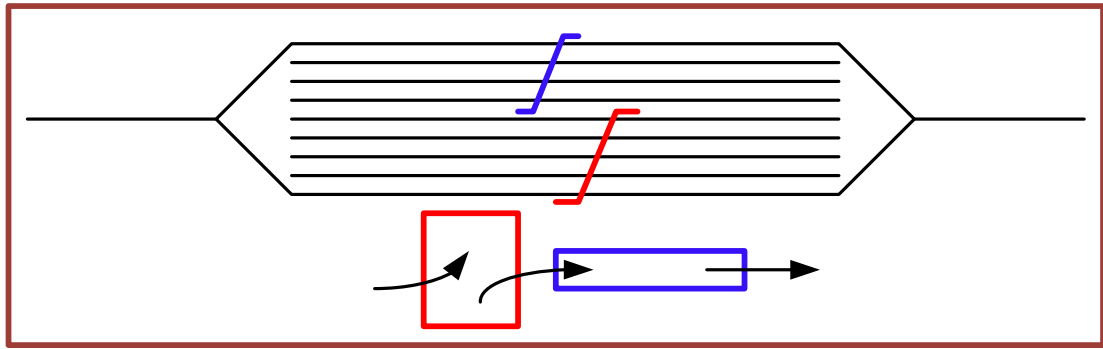
Зеленым – по технологии, красным – задержками, желтым – вагонами

Рисунок 2.2. Занятость путей в приемо-отправочном парке ст. Новолипецк

название	графически	технолог	задержк	вагонами
31 п. парка Парк Б		8:34	9:37	2:52
35 п. парка Парк Б		10:17	7:33	3:03
28 п. парка Парк Б		7:35	10:46	2:31
27 п. парка Парк Б		9:25	8:08	2:37
34 п. парка Парк Б		10:06	8:32	1:23
30 п. парка Парк Б		8:44	9:41	0:56
37 п. парка Парк Б		9:27	6:11	2:47

Зеленым – по технологии, красным – задержками, желтым – вагонами

Рисунок 2.3. Занятость путей в приемо-отправочном парке Б ст. Агрыз



Синим – пути обработки (канал), красным – резервные (бункер)

Рисунок 2.4. Парк как канало-бункер (дуплекс)

2.3. О загрузке стрелок и пропускной способности горловин

При укрупненном рассмотрении станция состоит из парков, соединенных горловинами. Структура парка довольно простая. Горловина, напротив, представляется множеством стрелок, на которое наложены пересекающиеся операции. И оценить качественно и количественно горловину до сих пор не удавалось. Поэтому в расчетах принимался вынужденно упрощенный способ – представителем горловины стала одна стрелка, наиболее загруженная. И число операций при 100%-й загрузке этой стрелки и будет предельной пропускной способностью горловины.

Логически такой способ воспринимался правдоподобно. Но проверка на моделях показала [75, 83], что 100%-ной загрузки стрелок достичь невозможно из-за возникновения структурных и технологических потерь (рисунок 2.5).

Технологические – это когда горловина простаивает из-за отсутствия готовой технологической операции (например, не обработан состав, нет свободного локомотива). Структурные возникают, когда рассматриваемый элемент не может быть занят в данный момент, так как создают задержку другие участвующие в операции элементы.



Рисунок 2.5. Полезная загрузка стрелок и структурно-технологические потери

По той же логике считалось, что при 100%-ной занятости наиболее загруженной стрелки на 100% занята и горловина, то есть дополнительных передвижений быть не может. Однако и это не так, поскольку в горловине могут быть передвижения без участия этой стрелки.

Методическое руководство [47] предлагает определять задержки в горловине так: «*время задержек у пересечений маршрутов в одном уровне*

$$T = \frac{n_1 n_2 (t_1 + t_2)^2}{2 \cdot 1440}, \quad (2.2)$$

где n_1, n_2 – размеры передвижений по соответствующим маршрутам за сутки;

t_1 и t_2 – время занятия пересечения поездом соответствующего маршрута, мин;

1440 – число минут в сутках».

При проверке возникла трудность – практически нельзя найти стрелку, через которую проходит только два маршрута. Пришлось выделить две подгруппы и каждую заменить операцией одного типа с усредненными параметрами [79]. Проверка показала полное несовпадение (рисунок 2.6).

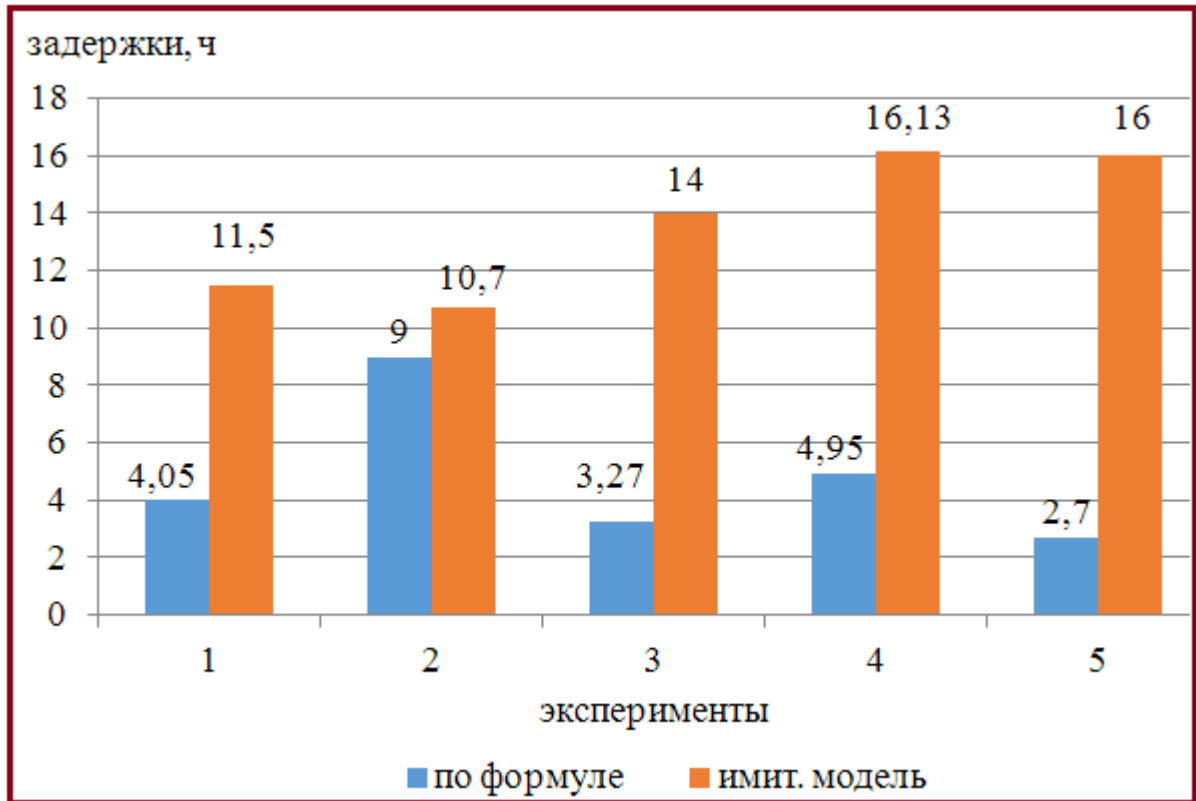


Рисунок 2.6. Задержки из-за стрелок в горловинах разных станций

Итак, наибольшая загрузка стрелки не означает предельной загрузки горловины, а пропускная способность стрелки и горловины понятия не тождественные. Так что отдельная стрелка не может объективно представлять горловину. Нужны новые подходы.

2.4. Пропускная способность участков

Пропускная способность участка в действующей Инструкции определяется по отдельным перегонам: *«расчет пропускной способности выполняется по каждому перегону, а определение результирующей*

пропускной способности участка производится по ограничивающему перегону. Ограничивающим называется перегон, имеющий наименьшую пропускную способность из всех перегонов участка» [5].

Строятся упрощенные схемы пропуска поездов по однопутному (рисунок 2.7) и двухпутному (рисунок 2.8) перегонам и по ним определяются пропускная способность всего участка. Функционирование участка с простоями поездов на промежуточных станциях по неприятию техническими значительно сложнее, и поэтому его нельзя сводить к этим простым схемам.

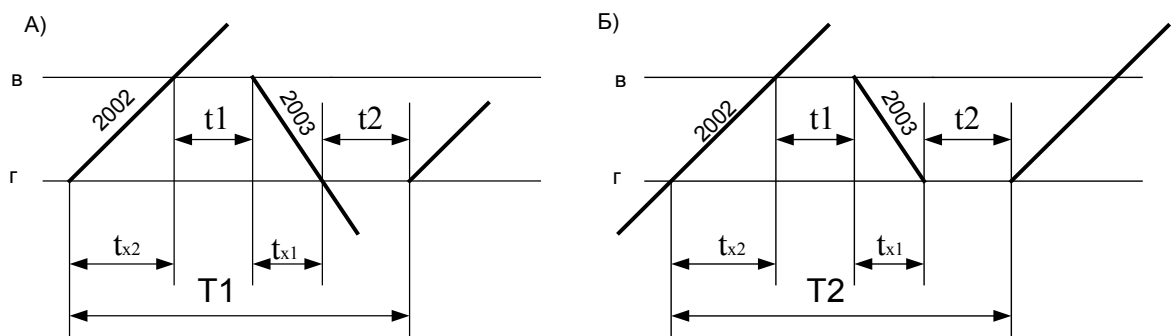


Рисунок 2.7. Примеры расчетных схем для определения пропускной способности однопутного перегона

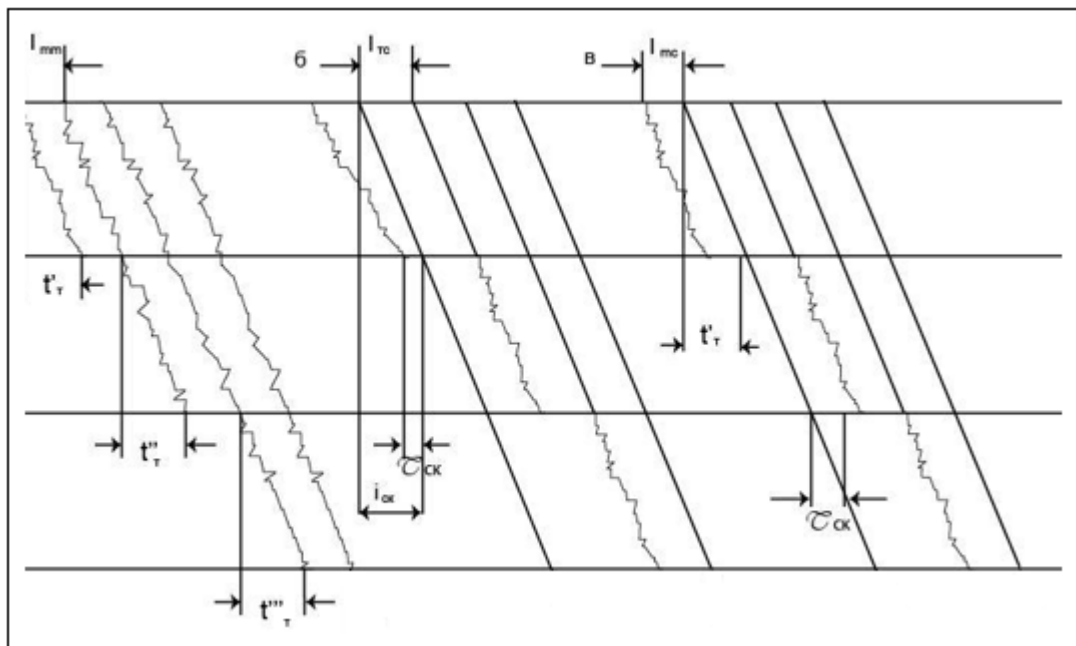


Рисунок 2.8. Одна из расчетных схем для определения пропускной способности двухпутного перегона

Работа станций на графике движения поездов практически не отображается, кроме случаев работы сборных поездов и стоянок под техническими операциями. Но в реальности на почти половине промежуточных станций грузовые поезда стоят по неприятию техническими (рисунок 2.9). То есть получается, что участок – это цепь каналов с бункерными включениями, то есть тоже объединенный канало-бункер. Участок без дополнительных простоев, но с изменяемой скоростью движения также нельзя рассматривать как только канал. Посмотрим, что происходит при уменьшении скорости (рисунок 2.10).

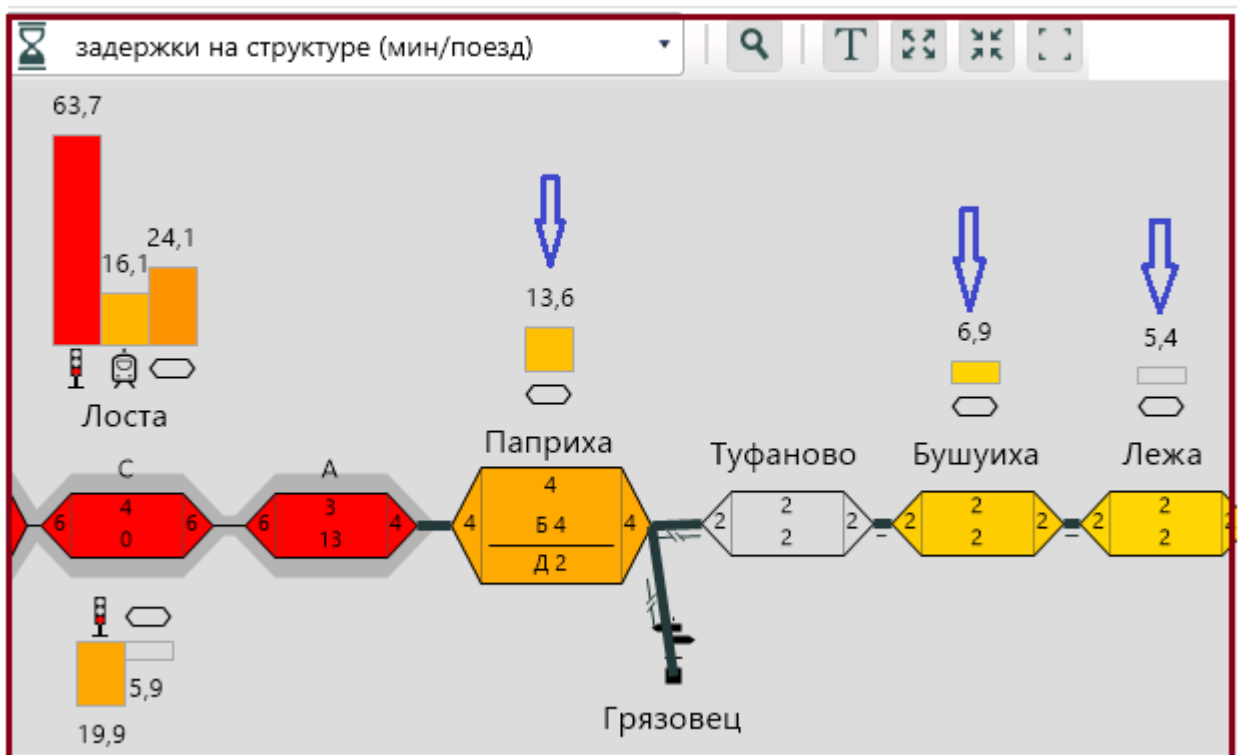


Рисунок 2.9. Простой поездов по неприятию технической станцией

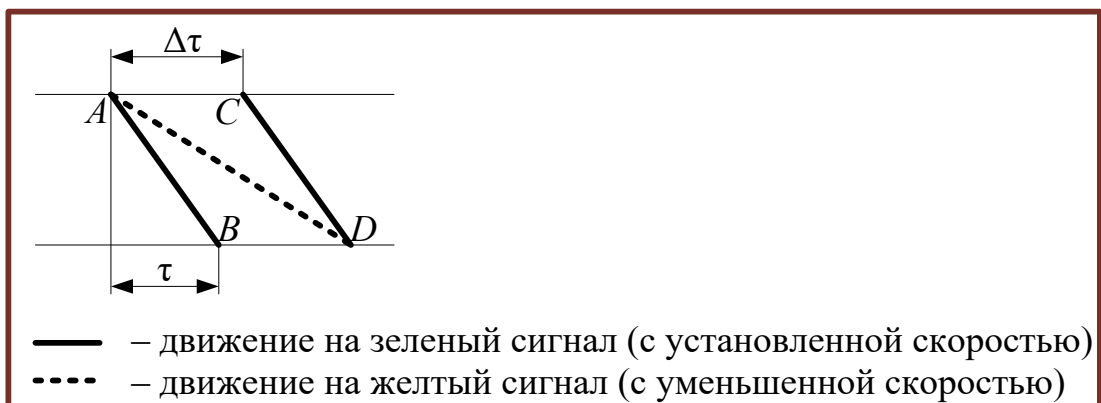


Рисунок 2.10. Появление функционального дуплекса

Пусть время хода при движении по некоторому отрезку на зеленый сигнал составляет τ , а на желтый – $\tau + \Delta\tau$. Линия АВ показывает движение поезда на зеленый свет, а линия АД – на желтый. Но с функциональной точки зрения линия АД идентична линии АСД. Обе они приводят к одному и тому же результату. В линии АСД появляется функциональный простой на время $\Delta\tau$. То есть здесь возникает *функциональный дуплекс* – канал (линия СД) и бункер (линия АС). И в структурном и функциональном дуплексе возникает время дополнительного простоя, но в структурном простой осуществляется на специально выделенном резервном пути, а в функциональном – без него.

Так как на участке могут возникать несколько такого рода дуплексов, то и весь участок необходимо рассматривать как *совокупный дуплекс*.

2.5. Взаимодействие потока и элементов структуры

Проблема взаимодействия потока и структуры является краеугольным камнем теории расчета транспортных систем. В истории рассмотрения этой проблемы можно выделить два больших этапа. Первый – поток рассматривался как детерминированный, второй – как случайный [28, 81, 106]. Однако потоками управляет целая армия поездных и станционных диспетчеров, пытаясь перевести случайные процессы в управляемые. И частично им это удается. Так что потоки, по сути, являются частично случайными, а частично управляемыми, то есть смешанными. Проблема взаимодействия потока и структуры в этом случае существенно усложняется. Не работают ранее выведенные зависимости. Чтобы вывести новые, необходимо внимательно рассмотреть природу взаимодействия в этом случае и сравнить новый подход с предыдущими. Рассмотрим три этапа развития мысли по этому вопросу.

Этап 1. Детерминированный подход

Известно, что поток бывает равномерный и неравномерный. В этом подходе расчетный поток оставался постоянным, но увеличенным с учетом коэффициента неравномерности [152]. Отображение случайных колебаний с помощью этого коэффициента было, конечно, большим упрощением. Кроме того здесь открывалось большое поле для субъективизма. Как его считать? Делением потока в максимальные сутки на среднесуточный за месяц? А почему не в максимальный час на среднечасовой за сутки? И т.д.

Вот один из примеров субъективного подхода [157]. Для крупных предприятий разрабатывался единый технологический процесс взаимодействия заводского транспорта и структурного подразделения магистрального. В нем устанавливался норматив времени нахождения магистральных вагонов на предприятии. За его превышение раньше строго наказывали – вагонов не хватало. В норматив добавлялось время на неравномерность. Коэффициент неравномерности рассчитывался в среднем по потоку. Он был обычно 1,2 – 1,3. Но вот на металлургический завод прибывает до десятка мощных не взаимозаменяемых струй – руда, уголь коксующийся и энергетический, доломит, руда, металлолом и др. Так средневзвешенный по струям коэффициент был 2.3 – 2.5. То есть фактическая неравномерность была в несколько раз выше.

Этап 2. Случайные потоки

В этом случае аппаратом являлась теория массового обслуживания. Серьезное применение ее начал профессор И.Б.Сотников [150]. Было много публикаций и защищено несколько докторских диссертаций по этому подходу [25, 157, 161]. Отличались они, в основном, выбором законов распределения для описания колебаний величины потока и времени обслуживания. Теоретически этот подход был необходим, он показывал, как грамотно описывать взаимодействие случайных процессов. Но практически его применять было трудно, так как замена частично управляемых потоков случайными приводило к весьма завышенным резервам путей.

Этап 3. Смешанные потоки

Случайные колебания – это дезорганизация, которая мешает протеканию процессов – не позволяет полностью использовать пропускную способность устройств и создает очередь [155]. Обозначим обслуживающее устройство каналом, а объект, где накапливается очередь (резервные пути, склады) – бункером. Очередь состоит из двух частей – создаваемая дезорганизацией в канале (случайными колебаниями времени обслуживания) и дезорганизацией потока (случайными колебаниями его величины). Этот же вывод вытекает из теории массового обслуживания. Профессором И.Б.Сотниковым предложена такая формула очереди [150]:

$$n_{оч} = \frac{\Psi(1 + v_{обсл}^2) + v_{вх}^2 - 1}{2\left(\frac{1}{\Psi} - 1\right)} + \varepsilon, \quad (2.3)$$

где Ψ – загрузка системы,

$v_{обсл}$ – коэффициент вариации длительности обслуживания,

$v_{вх}$ – коэффициент вариации интервалов между моментами поступления требований в систему,

ε – дополнительная величина, зависящая от значения $v_{вх}$.

При определенной загрузке канала величина средней очереди $M_{оч}$ – это функция коэффициентов вариации потока $v_{п}$ и канала $v_{к}$

$$M_{оч} = f(v_{к}, v_{п}). \quad (2.4)$$

Эту мысль доказывают и эксперименты, проведенные на модели (рисунки 2.11 и 2.12) [28].

Как видно из рисунка, суммарная очередь (из рассчитанных отдельно) и общая очередь практически совпадают. Значит, в действительности очередь распадается на две – из-за канала и из-за потока.

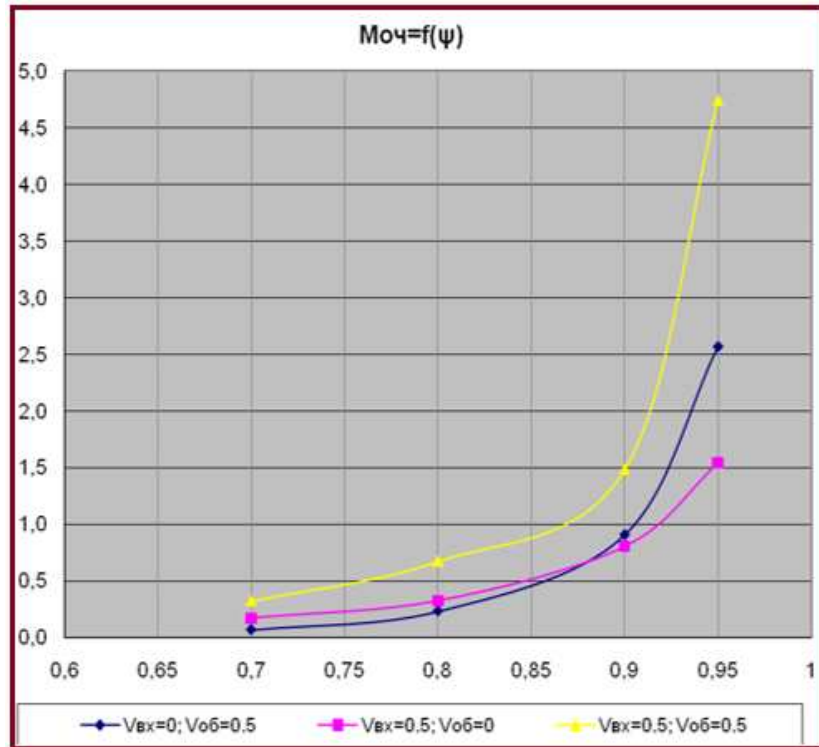


Рисунок 2.11. Очередь, возникающая из-за дезорганизации канала и потока в отдельности и общей дезорганизации при возрастании загрузки

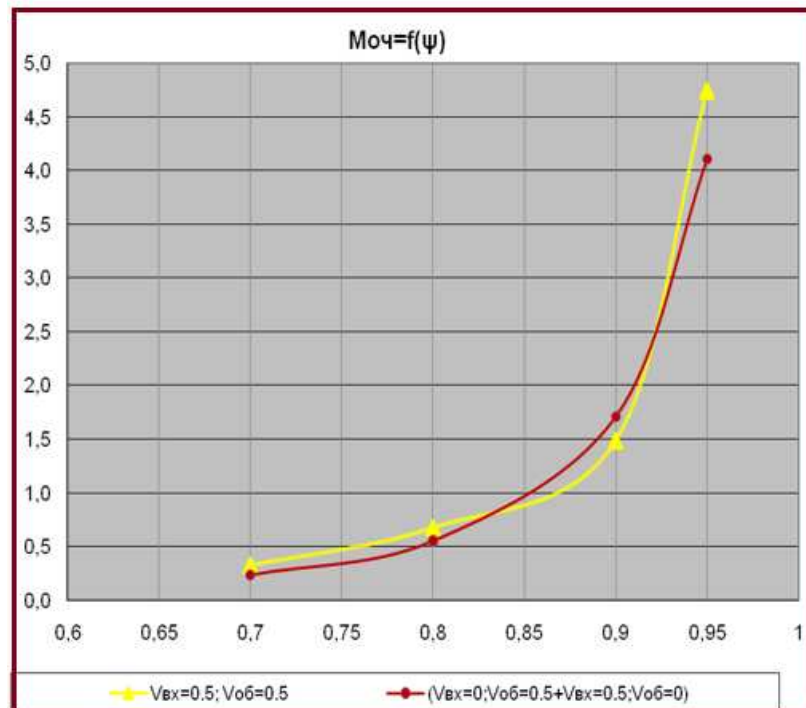


Рисунок 2.12. Динамика суммы отдельных очередей (красный цвет) и общей очереди (желтый цвет)

В трехмерном изображении видно, что при возрастании загрузки обе очереди растут почти симметрично (рисунок 2.13).

Итак, если процессы случайные, коэффициент вариации достаточно полно представляет степень случайного разброса в процессах, то есть уровень дезорганизации в потоке и в канале. А если процессы управляемые, то коэффициент вариации в обоих случаях может быть один и тот же, а сущность разная (рисунок 2.14).

Здесь в канал обслуживания поступает случайный поток. Он в очереди преобразуется в управляемый, удобный для канала. Потоки P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 и $P_1^*, P_2^*, P_3^*, P_4^*, P_5^*$ аналогичны по степени разброса. Однако первый поток случайный, а второй – управляемый. А управляемый поток очереди не создает.

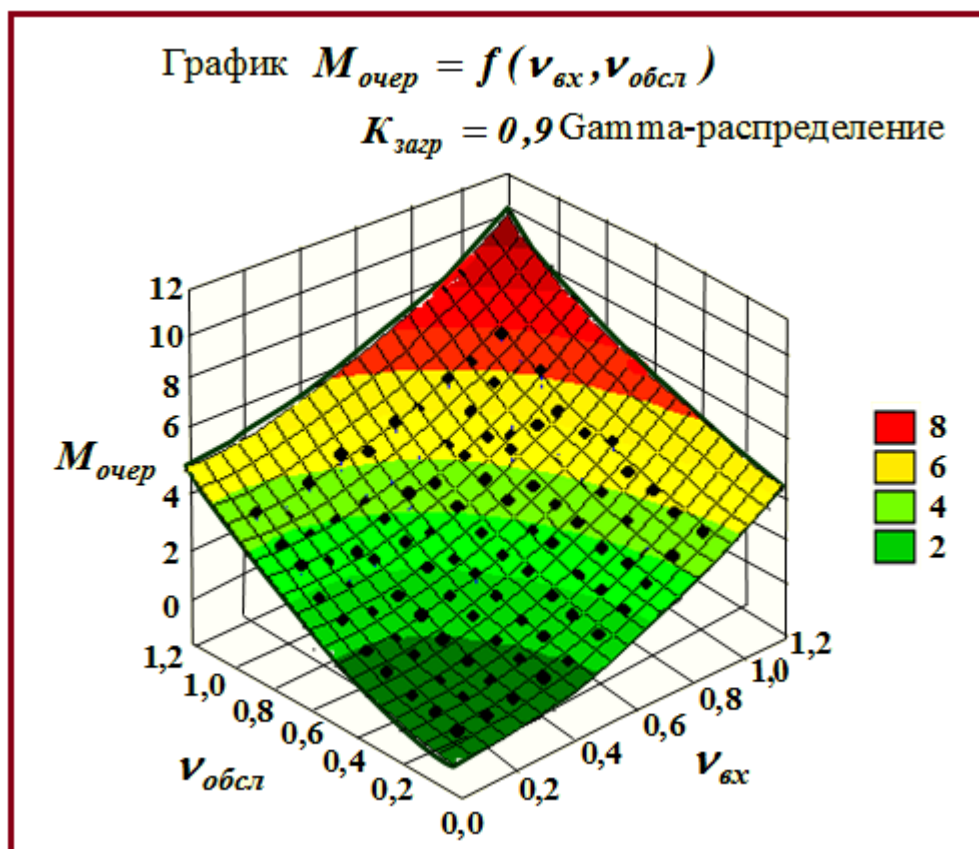


Рисунок 2.13. Зависимость $M_{оч} = f(v_{вх}, v_{об})$

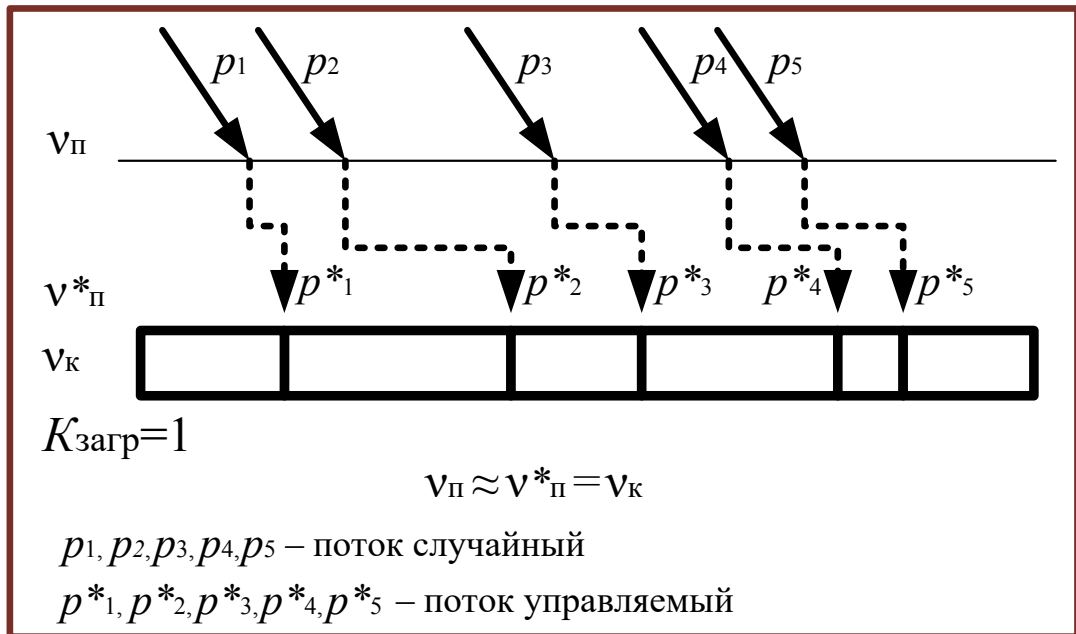


Рисунок 2.14. Случайный и управляемый потоки
с равными коэффициентами вариации

Но может быть и более сложный случай, когда поток лишь частично управляемый, он – смешанный (рисунок 2.15). Тогда коэффициент вариации общего потока содержательного значения не имеет. В [49] вводятся новые параметры – общий уровень дезорганизации ρ , параметр дезорганизации канала $\rho_{\text{К}}$ и параметр дезорганизации потока ρ_{Π} .

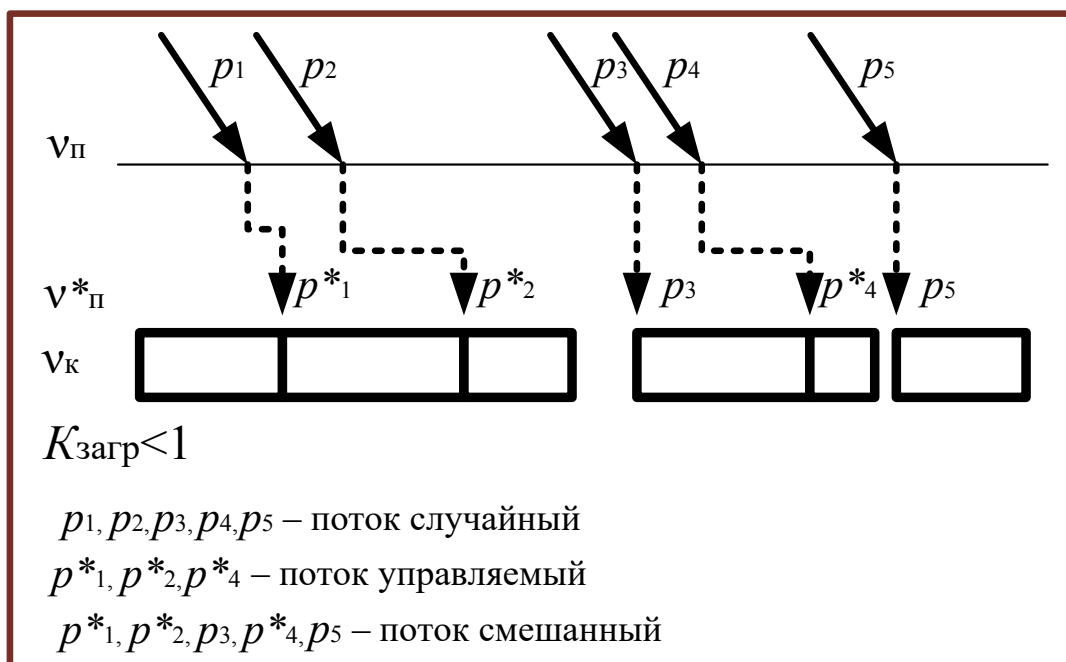


Рисунок 2.15. Случайный и смешанный потоки

Именно общий уровень дезорганизации будет определять размер очереди. Для случайного потока он будет положительным и являться некоторым аналогом коэффициента вариации, а для управляемого – отрицательным (отрицательная дезорганизация и есть организация). Таким образом, управляемый поток будет уменьшать очередь, создаваемую каналом. Для смешанного потока параметр может быть положительным, отрицательным и равным нулю в зависимости от доли случайной и управляемой составляющей (рисунок 2.16).

Итак, при повышении загрузки канала будет возрастать доля управляемого потока и уменьшаться доля случайного. Соответственно, отрицательная составляющая ρ будет расти при одновременном уменьшении положительной составляющей (рисунок 2.17). При полной загрузке $\rho_{\text{п}}$ будет полностью отрицательной и равной по абсолютной величине $\rho_{\text{к}}$. Соответственно, коэффициент вариации потока будет изменяться от его значения для случайного потока до коэффициента вариации канала.

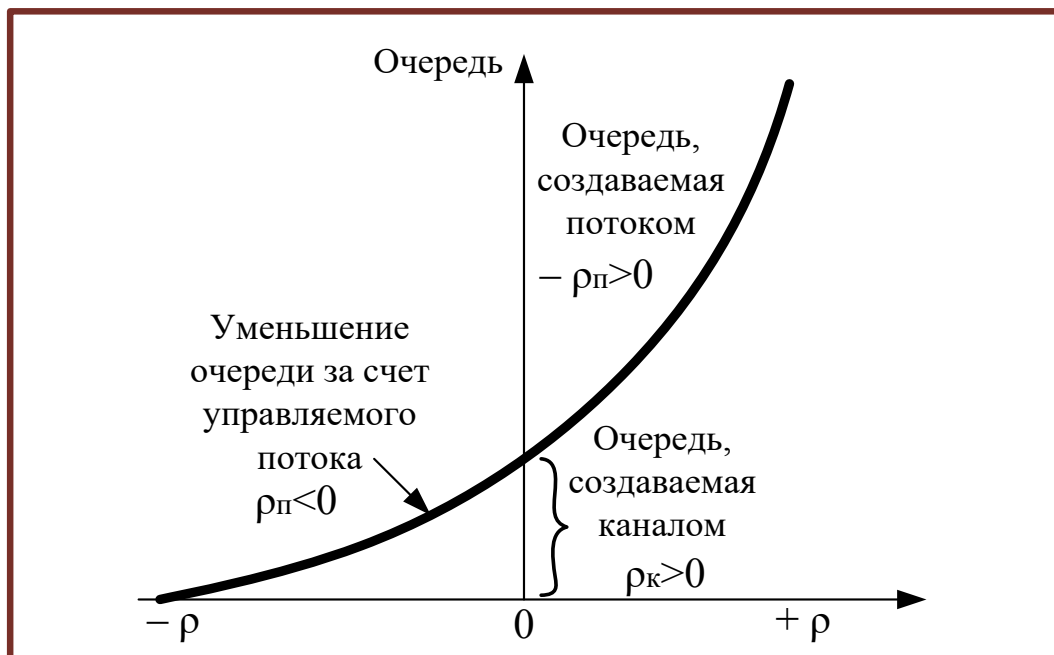


Рисунок 2.16. Суммарная очередь из-за канала и потока

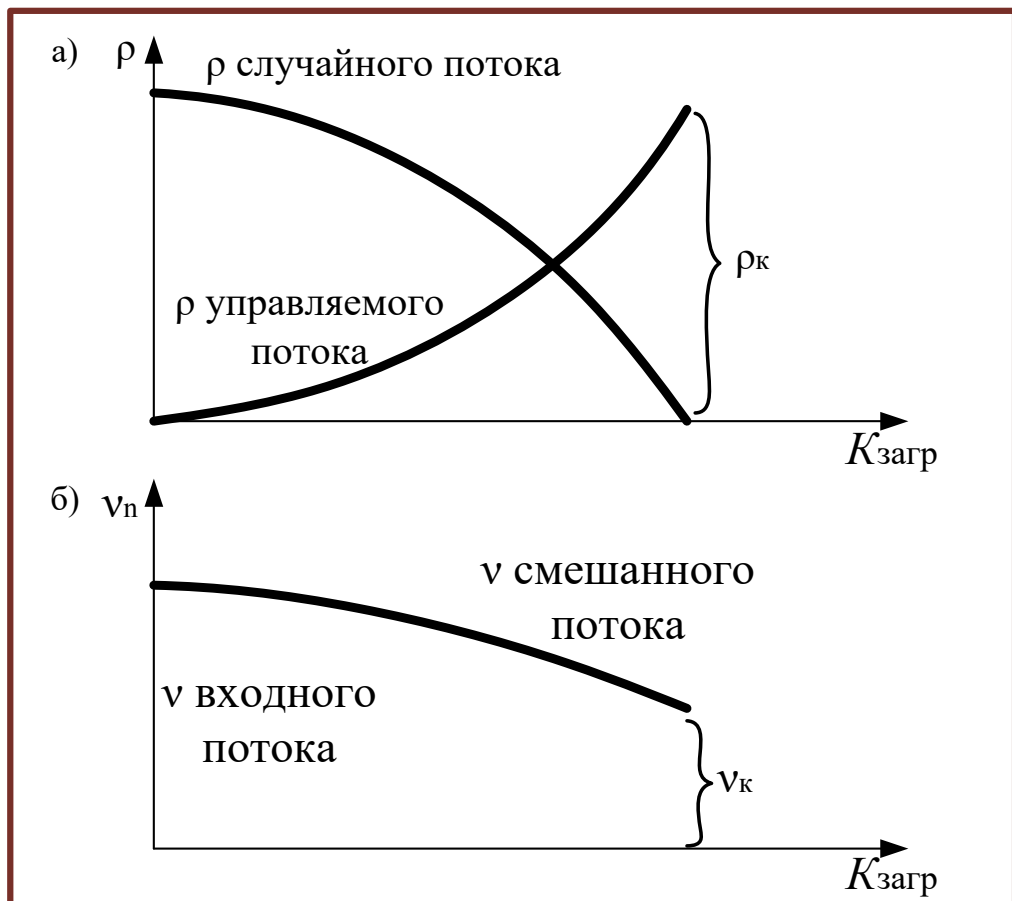


Рисунок 2.17. Динамика дезорганизации и коэффициента вариации потока

2.6. Взаимодействие «канал-канал»

Взаимодействие по схеме «канал-канал» используется, когда обслуживающие устройства расположены рядом и между ними нет парка путей или склада, то есть некоторого бункера. Например, это может быть путевой пост с примыканием линий на перегоне, или однопутный перегон с двухпутной вставкой.

Для обслуживания заявки необходима свобода обоих каналов. Но поскольку в соседних каналах время обслуживания может отличаться (в том числе и при случайных колебаниях), то дисперсия каналов складывается. Таким образом, два канала можно рассматривать, как один, но случайный разброс в нем будет выше (рисунок 2.18).

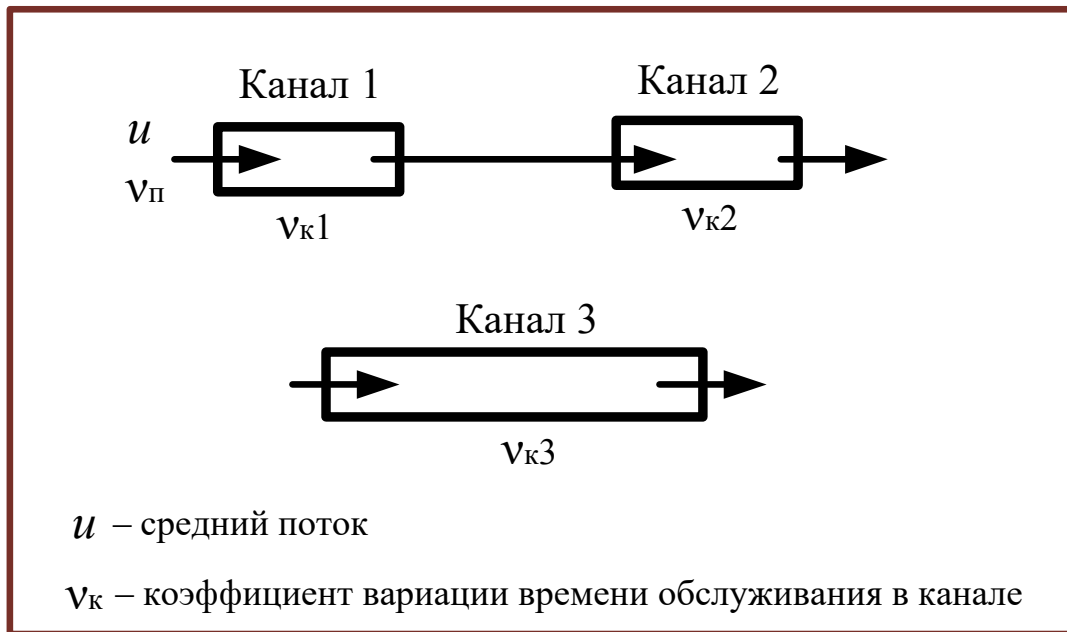


Рисунок 2.18. Взаимодействие «канал-канал»

Дисперсия в объединенном канале является суммой дисперсий в отдельных каналах $D_3 = D_1 + D_2$. Тогда для общего канала среднеквадратическое отклонение $\sigma_3 = \sqrt{D_1 + D_2}$, а коэффициент вариации

$$v_3 = \frac{\sigma_3}{u}.$$

2.7. Взаимодействие «канал-бункер-канал»

Из-за дезорганизации времени обслуживания в канале его пропускная способность будет меньше максимальной для равномерного потока, а расчетный поток, наоборот, из-за его дезорганизации превысит средний (рисунок 2.19). Пусть параметры дезорганизации ρ_{Π} и ρ_K полностью определяют изменение соответствующих параметров (рассматривается не расчетная, а логическая схема).

Тогда можно составить следующие выражения

$$\tilde{u} = u + \Delta u = u + \rho_{\Pi} u = (1 + \rho_{\Pi}) u, \quad (2.5)$$

$$\tilde{U} = U - \Delta U = U - \rho_K U = (1 - \rho_K) U. \quad (2.6)$$

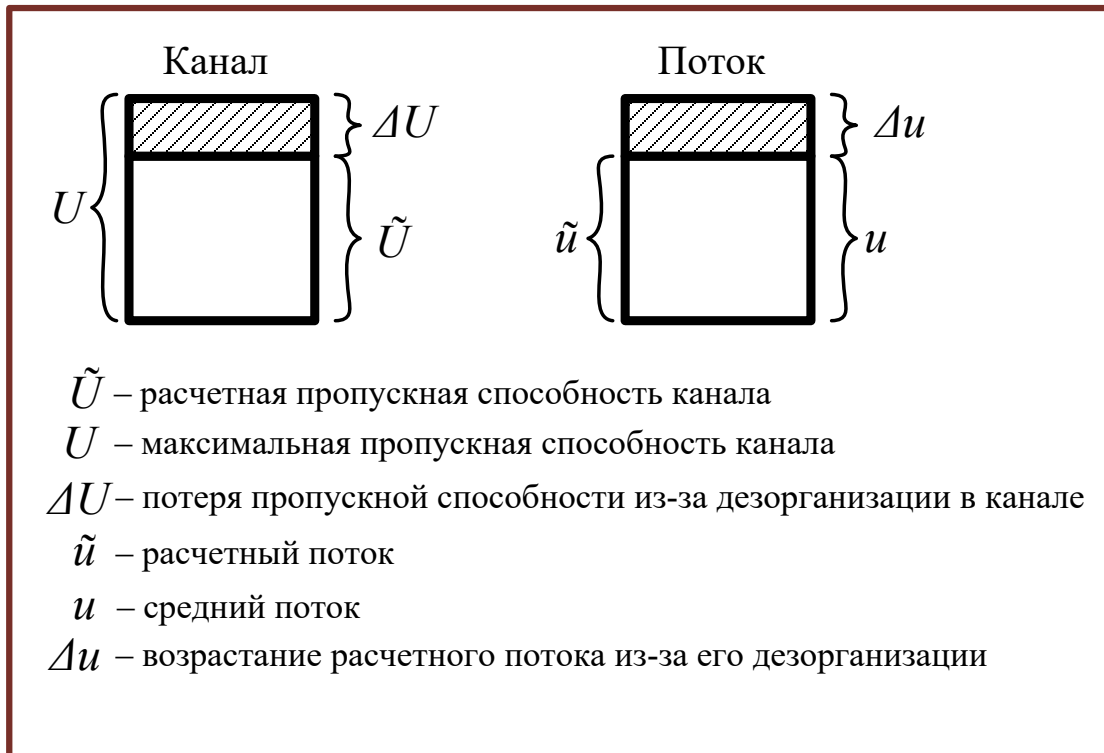


Рисунок 2.19. Величины потока и пропускной способности канала

В случае равенства расчетного потока и расчетной пропускной способности канала $(1 - \rho_k)U = (1 + \rho_{\Pi})u$ максимальная пропускная способность будет $\frac{(1 - \rho_k)}{(1 + \rho_{\Pi})} = 1$. Отсюда $\rho_k = (-\rho_{\Pi})$. То есть только при поступлении в канал полностью управляемого потока пропускная способность канала (при наличии случайных колебаний в обслуживании) будет максимальной. Случайные колебания в обслуживании будут компенсироваться управляемыми колебаниями потока. Таким образом, очередь из-за дезорганизации канала исчезает.

Отличие и параметра дезорганизации от коэффициента вариации доказано экспериментом на модели (рисунок 2.20). Каналу с заданным коэффициентом вариации времени обслуживания предшествует бункер (то есть станция, парк путей, либо склад), в котором при равномерном потоке (уровень дезорганизации $\rho_{\Pi} = 0$) возникает средняя очередь $M_{оч1}$.

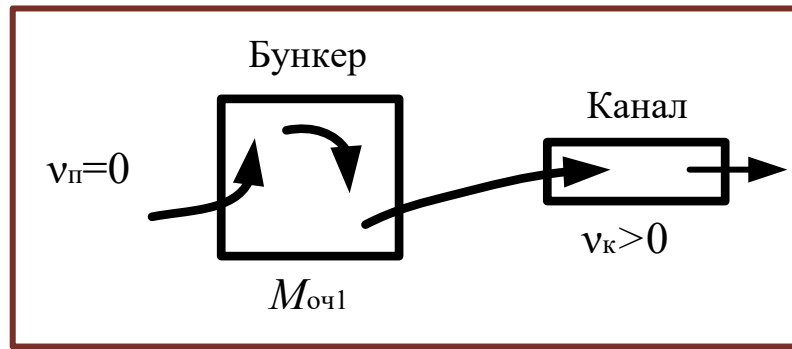


Рисунок 2.20. Очередь при равномерном потоке

Далее перед каналом создадим два последовательно соединенных бункера, в первый из которых входной поток будет поступать со случайным разбросом (рисунок 2.21). Добиваемся той же средней очереди $M_{оч1}$, путем изменения предельной емкости бункера l . Но так как коэффициент вариации канала и его загрузка одинаковы в обоих случаях, то уровень дезорганизации потока ρ_{Π} при входе в бункер l равен нулю. А коэффициент вариации v_{Π} оказался не нулевым.

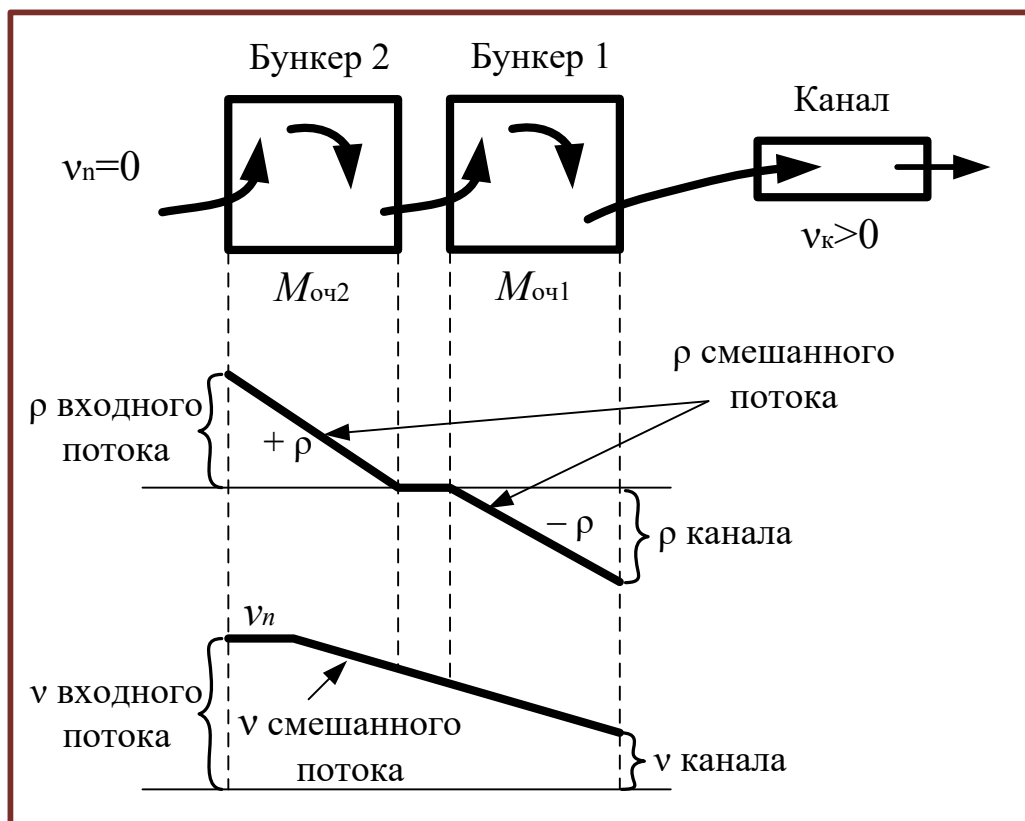


Рисунок 2.21. Взаимодействие «бункер-бункер-канал»

Получается, что управляемая часть потока уменьшает создаваемую каналом очередь на ту же величину, которую создает случайная часть потока. Отрицательная дезорганизация управляемой части потока ликвидирует положительную дезорганизацию случайной части потока. В результате смешанный поток аналогичен потоку равномерному.

Исследовать взаимодействие смешанного потока со структурой удобнее всего на имитационных моделях. После многих экспериментов удается выводить некоторые зависимости для расчетов [29, 68, 78, 98, 107].

2.8. «Узкое место» в цепочке каналов обслуживания

В научных исследованиях и в утвержденных методиках принимается такой тезис – в последовательной цепочке «узким местом» будет обслуживающее устройство с наименьшей пропускной способностью [5, 77]. Под пропускной способностью понимается, конечно, максимально допустимая.

Однако, как было показано выше, действительная пропускная способность определяется уровнем допустимой полезной загрузки устройства, которая в значительной мере зависит от характера входного потока.

$$\tilde{U} = \gamma \cdot U, \quad (2.7)$$

где: U – максимально допустимая пропускная способность канала;

\tilde{U} – действительная пропускная способность канала;

γ – коэффициент допустимой загрузки канала (при заданных параметрах потока).

При случайных колебаниях входного потока, которые накладываются на случайные колебания времени обслуживания в канале, уровень загрузки канала будет низким. При расположении перед каналом бункера случайный поток будет в нем частично преобразовываться в управляемый. Это позволит

повысить полезную загрузку канала. Вместимость бункера при этом может различаться в зависимости от параметров потока и канала.

Рассмотрим цепочку из трех последовательно расположенных каналов обслуживания (рисунок 2.22). Перед каждым каналом находятся бункеры различной вместимости. Тогда при одном и том же входном потоке они будут преобразовывать поток из случайного в управляемый по-разному. Действительная пропускная способность каждого канала зависит от соответствующего коэффициента допустимой загрузки канала $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$

$$\tilde{U}_1 = \gamma_1 U_1, \quad \tilde{U}_2 = \gamma_2 U_2, \quad \tilde{U}_3 = \gamma_3 U_3. \quad (2.8)$$

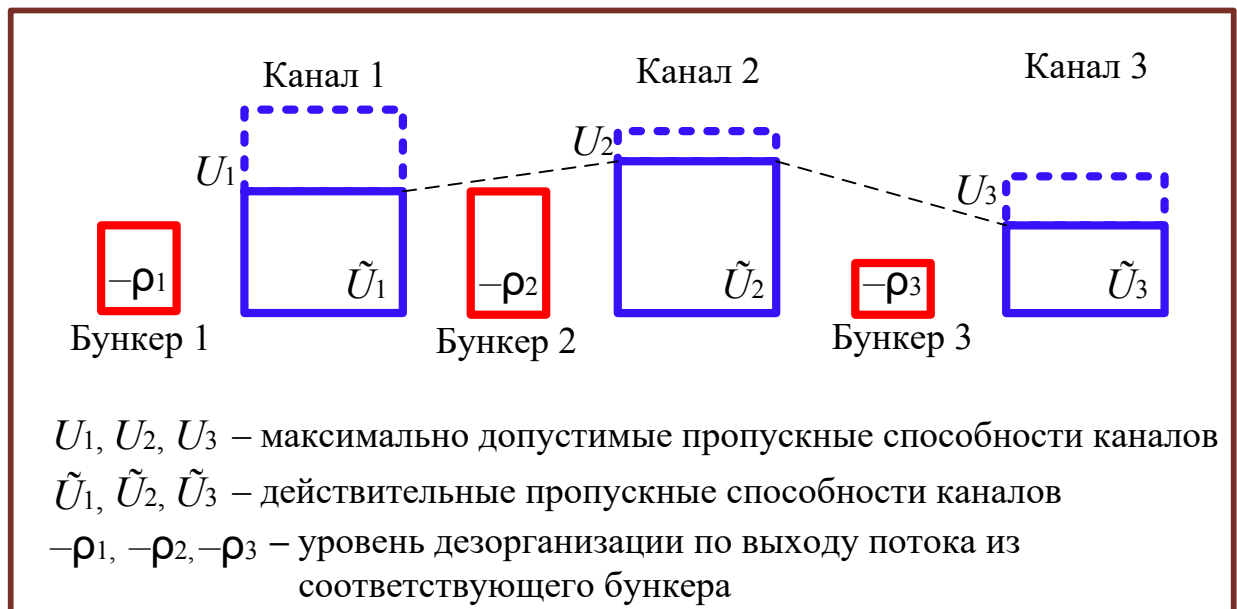


Рисунок 2.22. Максимально допустимая и действительная пропускные способности каналов

Допустим, что наибольшую вместимость имеет бункер 2. Бункер 1 имеет меньшую вместимость, а бункер 3 – самую маленькую. Тогда для коэффициентов допустимой загрузки каналов будет справедливо выражение $\gamma_2 > \gamma_1 > \gamma_3$. Из-за этого действительная пропускная способность канала 2

будет наибольшей, притом, что максимально допустимая пропускная способность канала I больше всех остальных $\tilde{U}_2 > \tilde{U}_1 > \tilde{U}_3$.

Таким образом, меняется критерий определения узкого места в цепочке последовательно расположенных каналов. Вместо наименьшей максимально допустимой загрузки $\min U_i$ нужно использовать наименьшую действительную пропускную способность $\min \gamma_i U_i$.

Итак, принцип рационально выстроенной структуры полигона может быть сформулирован так: по всему направлению движения потока должно выполняться условие равенства действительных пропускных способностей каналов $\forall_i | \tilde{U}_i = const$, или $\forall_i | \gamma_i \cdot U_i = const$. В этой ситуации в структурной цепочке не будет узких мест. Естественно, что действительная пропускная способность должна быть достаточной для пропуска соответствующей струи потока.

При разделении потока на несколько каналов должно выполняться условие

$$\gamma_i \cdot U_i = \sum_j \gamma_j \cdot U_j, \quad (2.9)$$

где γ_i, U_i – параметры входного канала,

γ_j, U_j – параметры разветвленного канала.

Следует помнить, что случайный разброс потоков при разделении каналов возрастает, так что емкость бункера перед ними тоже должна быть больше.

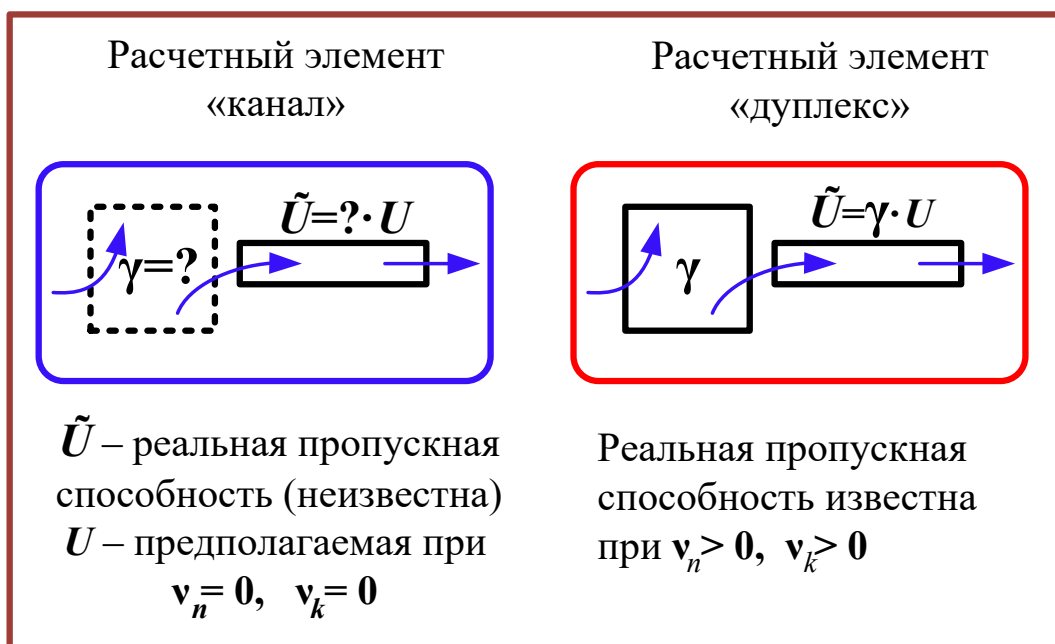
При объединении каналов условие меняется на противоположное

$$\sum_i \gamma_i \cdot U_i = \gamma_j \cdot U_j. \quad (2.10)$$

Предлагаемый подход должен быть использован в инструктивных методических указаниях для расчета полигонов. В противном случае параметры элементов структуры объекта определяются ошибочно, что негативно сказывается на качестве проектных работ.

Таким образом, путевую инфраструктуру железнодорожного полигона целесообразно разделять на две группы – обслуживающие устройства (каналы) и резервные (бункера), которые преобразуют потоки из случайных в управляемые. Разумеется, каналы и бункера работают в общей структуре, а потому параметры их работы (пропускная способность каналов и вместимость бункеров) не только взаимосвязаны, но и взаимозависимы. Для того чтобы работа элементов была эффективной, необходимо согласовывать их параметры [100]. Далее приведены возможные критерии этого согласования.

Расчетный элемент, таким образом, изменяется (рисунок 2.23). Это относится и к паркам, к станциям в целом и участкам (в реальности почти на половине промежуточных станций стоят поезда по неприему техническими). Дуплекс может иметь одну и ту же пропускную способность при различном структурном построении. В одном случае канал имеет меньшую исходную пропускную способность, но бункер большой вместимости обеспечивает ему высокую полезную загрузку, а в другом – для канала с большой пропускной способностью не требуется значительный бункер.



v_n – коэффициент вариации потока, v_k – коэффициент вариации канала

Рисунок 2.23. Изменение расчетного элемента

2.9. Сущность протекающих в дуплексах процессов

В публикациях [28, 49] уже говорилось о том, что бункер (резервные пути) играет активную роль: он превращает случайный поток в управляемый и тем самым повышает уровень возможной загрузки канала.

Эксперименты на имитационной модели комплекса «парк – горка» выявили следующие зависимости [106]. В расчетах принималась надежность обработки потока в 95 % (т. е. когда допускается отбрасывание не более 5 % заявок). Надежность в 100 % потребует слишком больших резервов. В реальности это не допускается – включается диспетчерское управление. Параметры входного потока взяты с реальных станций (рисунок 2.24).

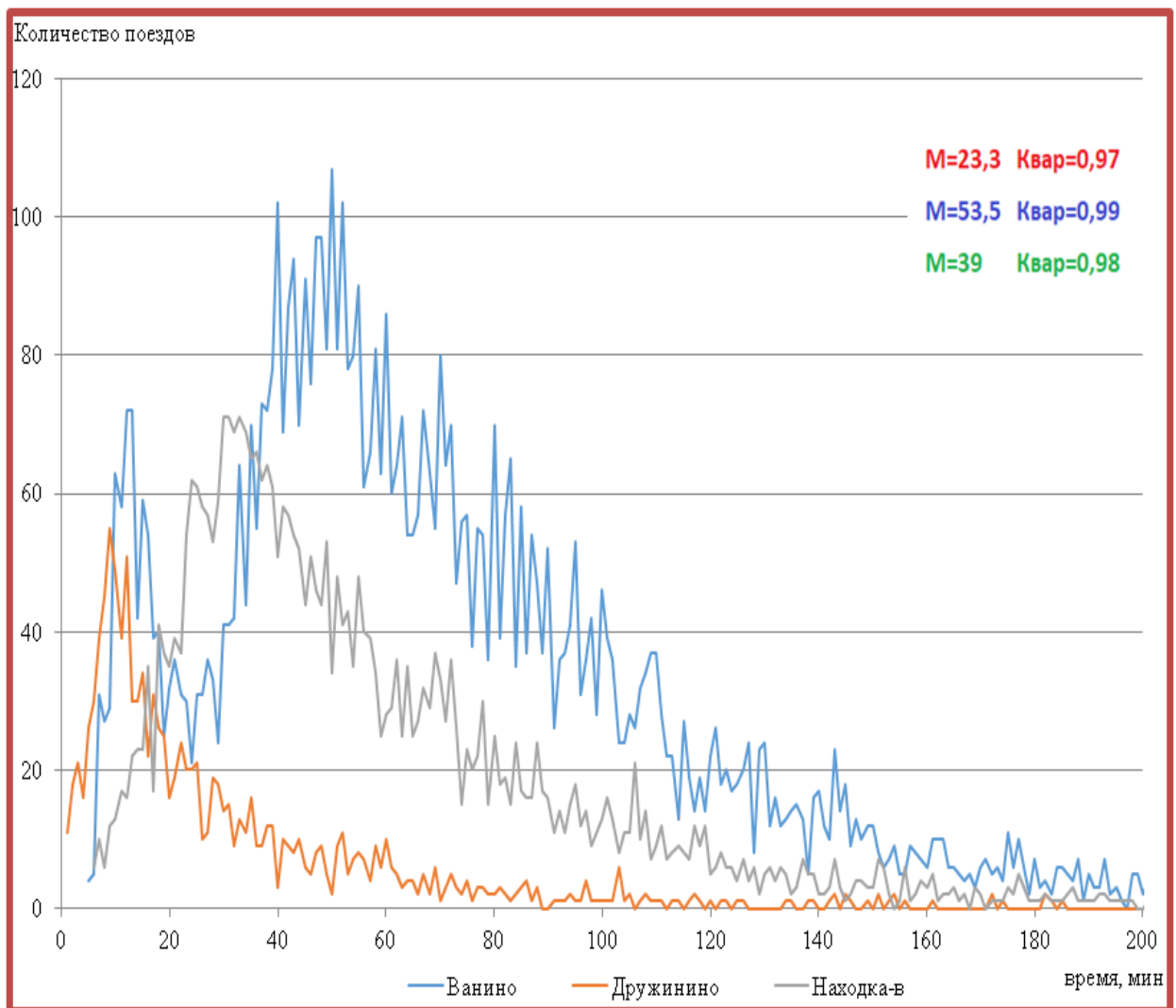


Рисунок 2.24. Распределение поездов по интервалам прибытия

Расчеты выполнены в двух вариантах – с учетом обработки составов по прибытии (есть и структурный, и функциональный канал) и только после обработки (имеется только структурный канал) (рисунок 2.25). В структурном канале обслуживающим элементом является элемент путевого развития (горка, горловина, грузовой фронт), в функциональном – бригады, локомотивы и др. На каком пути происходит функциональное обслуживание – не принципиально, ведь пути в парке чаще всего взаимозаменяемы. Снижение загрузки каналов существенно и при дальнейшем добавлении функциональных каналов (уборка поездного локомотива, заезд горочного локомотива и т.д.) эта тенденция продолжится.

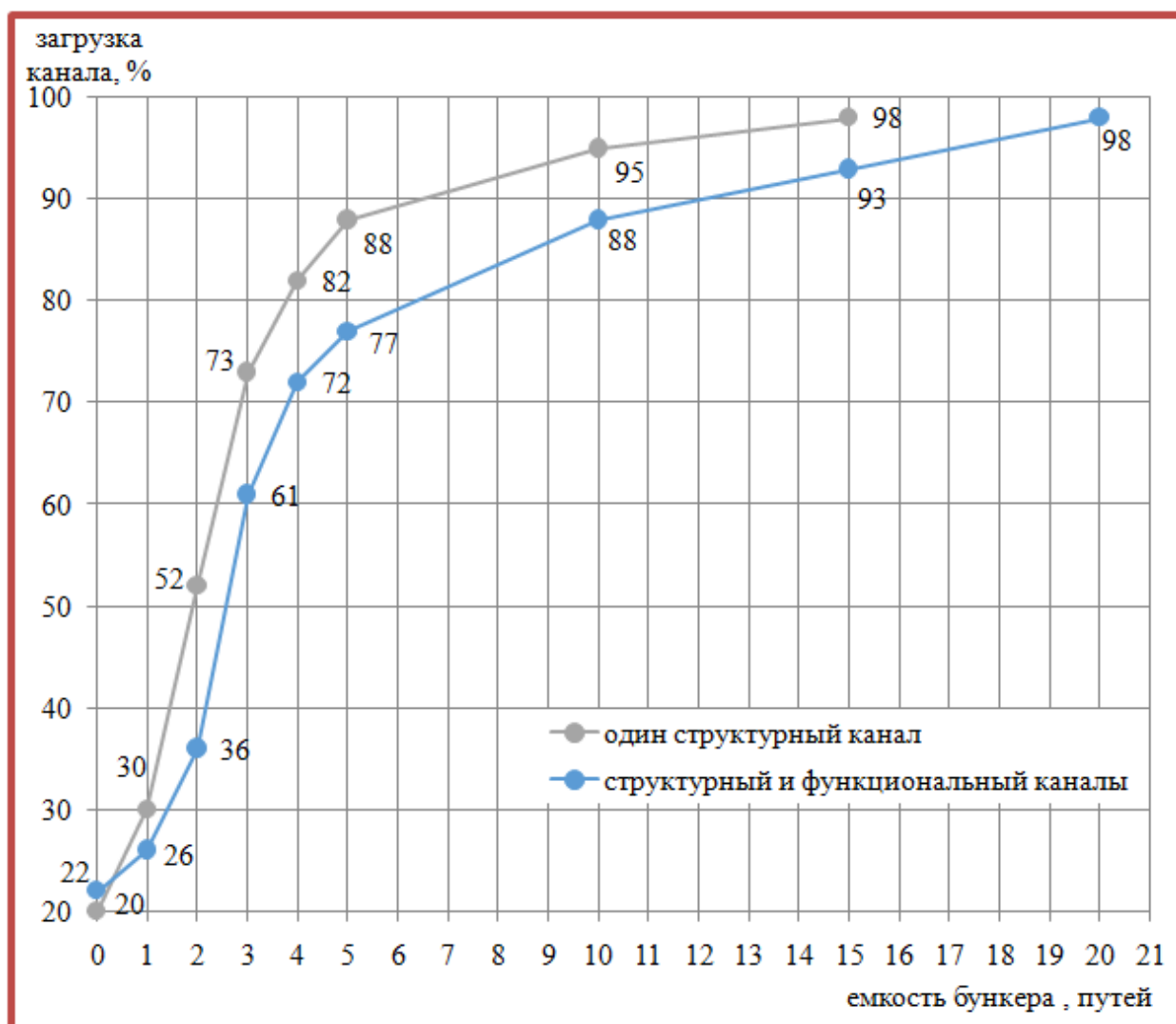


Рисунок 2.25. Возможный уровень загрузки горки при разной емкости предгорочного парка

Характеристики использования бункера приведены на рисунках 2.26, 2.27.

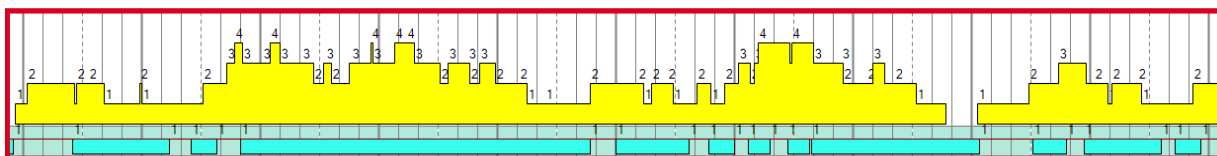


Рисунок 2.26. Характер загрузки канала и бункера при 4 путях (желтым – заполнение бункера, голубым – структурного канала)



Рисунок 2.27. Возможный уровень загрузки горки при разной емкости предгорочного парка

Как видно из графиков, при отсутствии резервных путей горка может быть загружена только на 20–22 %. То есть, коэффициент возможного использования канала γ изменяется с увеличением управляемой части потока от 0,2 до 1. А чтобы использовать ее на 95 %, требуется 18 только резервных путей. Если добавить один обгонный и два на обработку — получится 21

путь. Такие парки не строятся, поэтому 95%-й загрузки горки достичь нельзя. Во-вторых, будут большие задержки потока в бункере.

Из схемы (рисунок 2.28) видно, что по мере уменьшения случайной доли потока с помощью бункера возрастает его управляемая часть. При емкости бункера, равной нулю, параметр ρ равен коэффициенту вариации потока v_{Π} . Затем он сначала уменьшается до нуля, а затем возрастает его отрицательное значение (отрицательная дезорганизация — это организация). При полностью управляемом потоке параметр ρ равен коэффициенту вариации канала v_{κ} . Если случайная часть больше, чем управляемая, то показатель дезорганизации положительный, если наоборот — отрицательный, при равенстве частей ρ равен нулю. В последнем случае поток по уровню дезорганизации соответствует равномерному, ибо насколько случайная часть увеличивает очередь из-за потока, настолько управляемая часть уменьшает очередь из-за канала. Необходимо находить разумный компромисс между загрузкой канала и емкостью бункера (зеленая линия на рисунке 2.28).

Как правило, фактическая емкость бункера меньше, чем требуемая для полностью управляемого потока. Поэтому в канал поступают не полностью управляемые, а смешанные потоки. Для смешанного потока аналитических зависимостей не существует, поэтому следует использовать имитационную модель.

2.10. Классификация дуплексов при расчете полигонов

При расчете пропускной способности в инструкции [5] полигон представляется в виде последовательности перегонов, при этом пропускная способность каждого из них рассчитывается изолированно. Там, где она будет меньше всего, и будет «узкое место». Станции в этом случае даже не рассматриваются, это лишь точки на графике движения поездов. Но в реальности на ряде промежуточных станций (которые входят в участок) поезда останавливаются по неприему техническими станциями. То есть возникает дуплекс с распределенной емкостью (бункером) (рисунок 2.29).

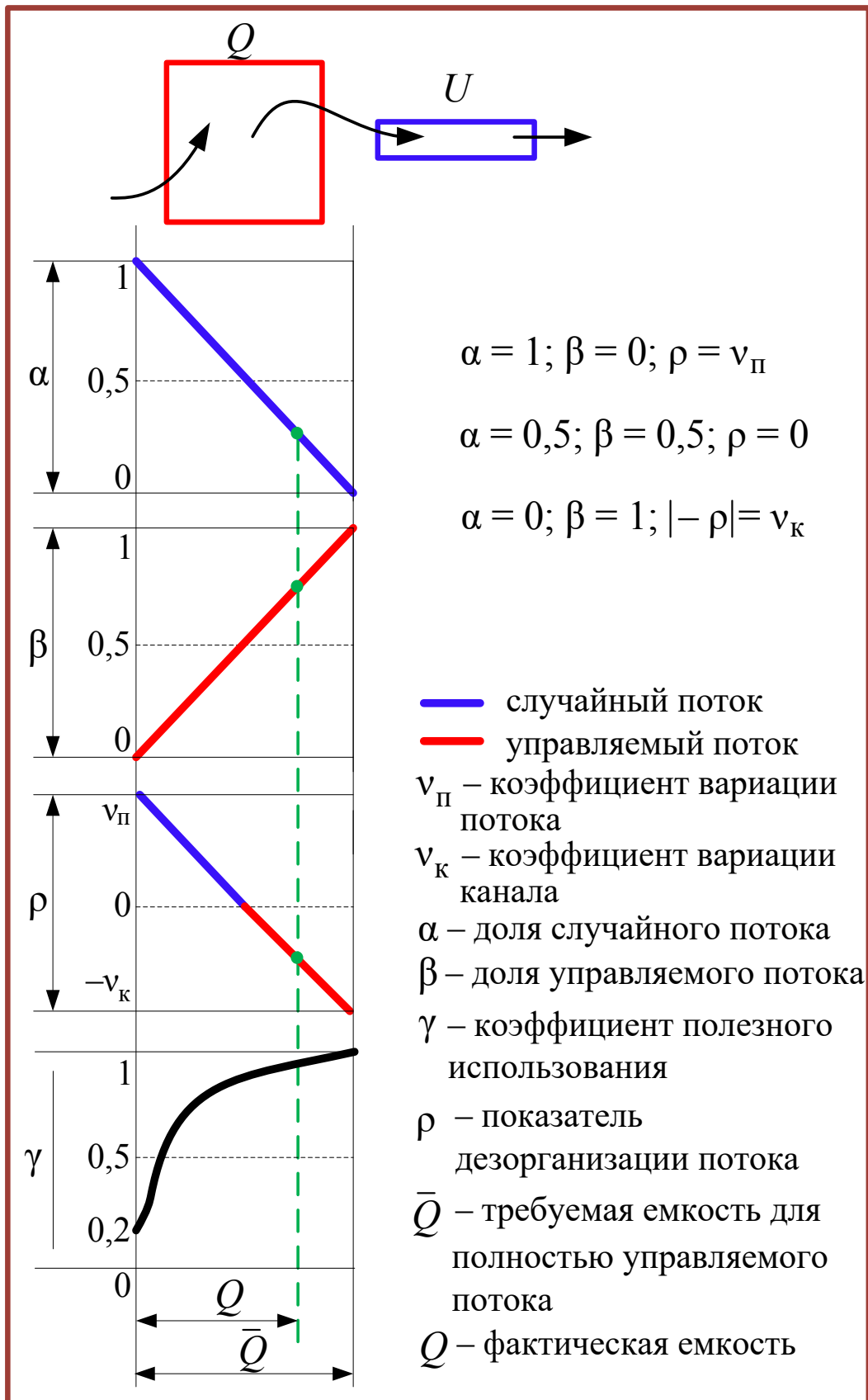


Рисунок 2.28. Параметры функционирования дуплекса

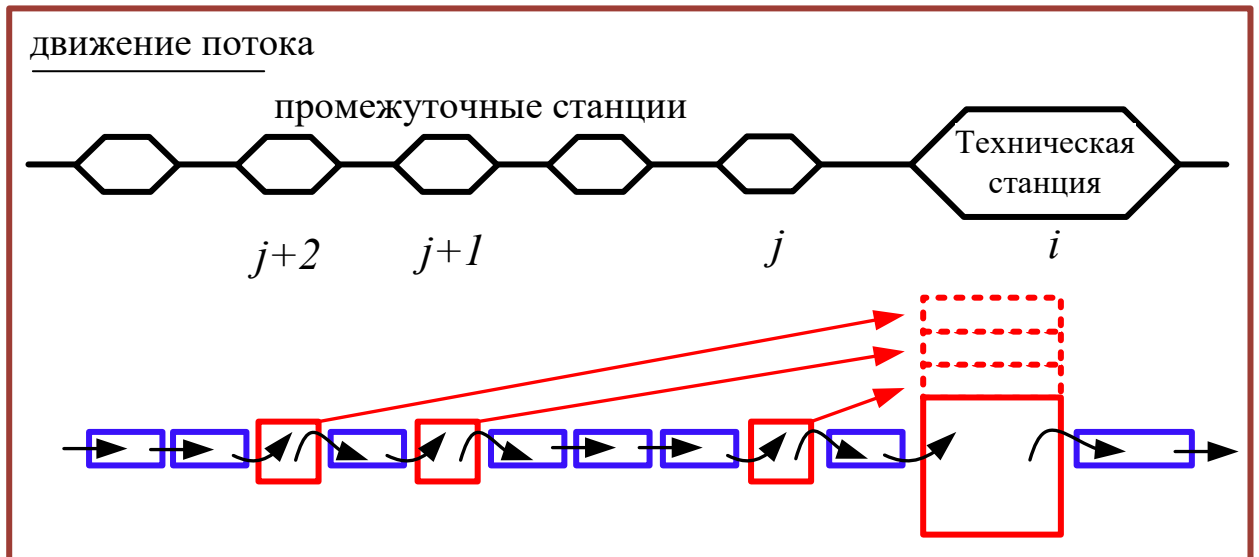


Рисунок 2.29. Дуплекс с распределенной емкостью

Бункеры на технической и на промежуточных станциях работают согласованно:

$$Q \equiv Q_i \wedge Q_j \wedge Q_{j+1} \wedge Q_{j+2}, \quad (2.11)$$

где Q — суммарная емкость дуплекса с распределенной емкостью;

Q_i — емкость i -того бункера, входящего в дуплекс;

$J \equiv \{j\}$ — множество промежуточных станций с резервными путями.

Суммарная емкость будет равна

$$Q(t) = Q_i(t) + \sum_j Q_j(t - \tau_{ij}), \quad (2.12)$$

где $Q(t)$ — фактическая суммарная емкость дуплекса с распределенной емкостью в момент t (τ_{ij} может колебаться);

τ_{ij} — время хода от j -й станции.

Уровень возможной загрузки зависит в общем случае от емкости бункера и степени случайного разброса в потоке и обслуживании:

$$\gamma = f(Q, v_{\Pi}, v_{\kappa}). \quad (2.13)$$

где v_{Π} — коэффициент вариации потока;

V_K — коэффициент вариации времени обслуживания в канале;

Q — емкость перед каналом.

Участок может играть и роль распределенного канала. При занятости технической станции смену локомотива или бригады переносят на одну из ближних промежуточных станций (рисунок 2.30).

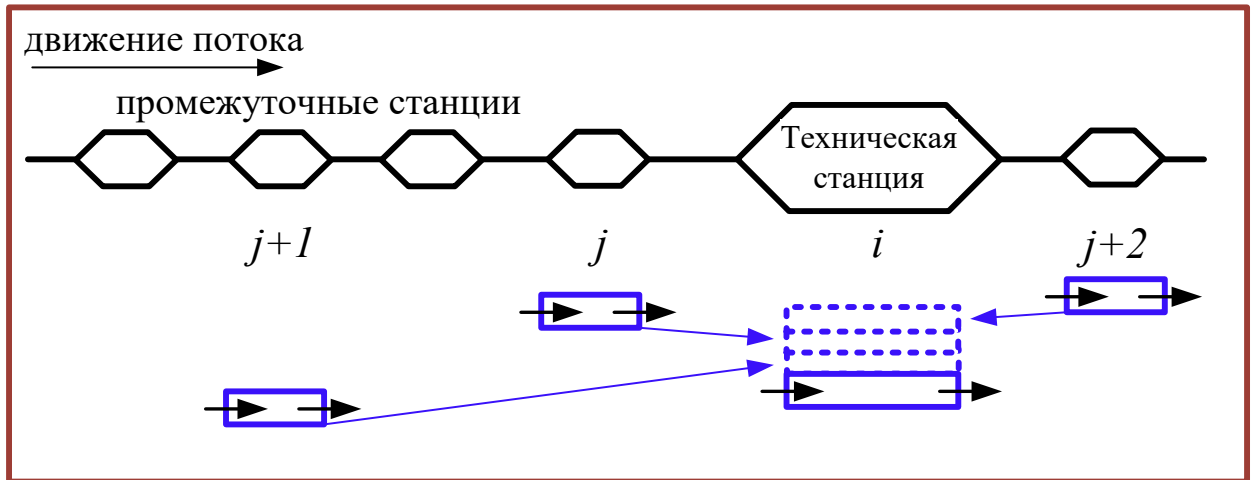


Рисунок 2.30. Дуплекс с распределенным каналом

Совместную работу технической и выделенных промежуточных станций можно логически выразить так:

$$U \equiv U_i \wedge U_j \wedge U_{j+1} \wedge U_{j+2}. \quad (2.14)$$

Пропускная способность объединенного структурно-функционального канала будет равна

$$U^{\circ}(t) = U_i(t) + \sum_j U_j(t - \tau_{ij}). \quad (2.15)$$

Но почти всегда участок одновременно является и распределенным каналом и распределенный бункером. В это и заключается основная сложность расчета — описать аналитически наложение двух функций не возможно.

Есть еще один тип дуплексов — с функциональным наложением (рисунок 2.31).

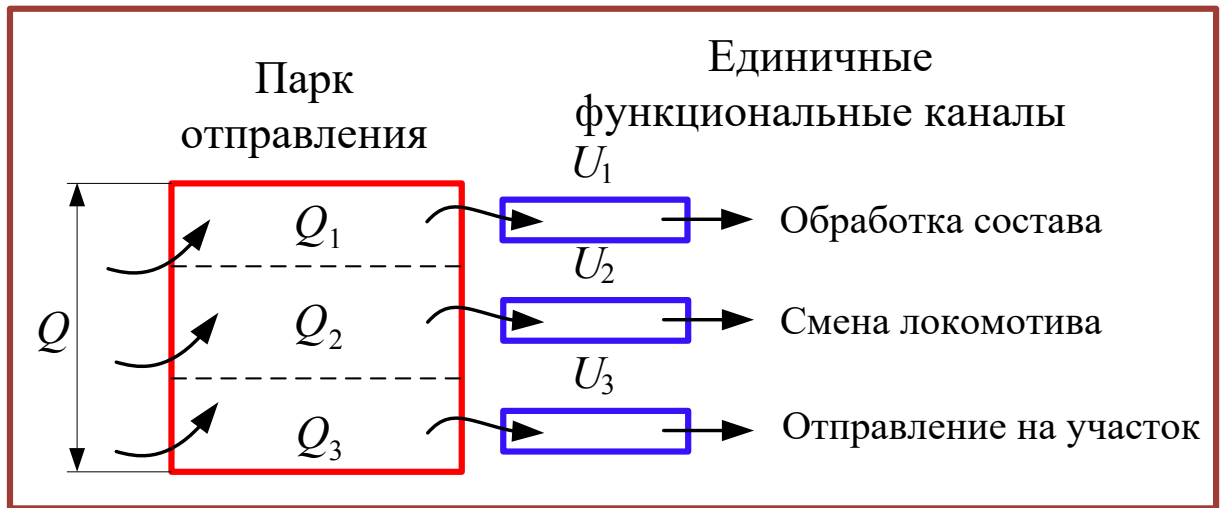


Рисунок 2.31. Дуплекс с функциональным наложением

Здесь Q – емкость парка отправления

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (2.16)$$

Требуемая емкость парка в момент t

$$\tilde{Q}(t) = \sum_i Q_i(t), \quad (2.17)$$

$$\bar{Q} < \tilde{Q}(t) < Q, \quad (2.18)$$

Всплески потока по трем каналам могут не совпадать, поэтому $\tilde{Q}(t)$ может быть и меньше и больше Q . Например, парк отправления включает в себя резервные пути для составов, ожидающих обработки; смены локомотива; отправления на участок. Он обеспечивает три единичных структурно-функциональных канала, так что требуемую суммарную емкость нельзя получить простым суммированием исходных емкостей.

Классификацию используемых при расчете полигонов дуплексов можно представить в следующем виде (рисунок 2.32). Структурный дуплекс – взаимодействие структурного бункера и структурного канала. Например, парк приема и сортировочная горка.

Структурно-функциональный дуплекс – взаимодействие структурного бункера и функционального канала. Например, обработка поезда в парке в техническом или коммерческом отношении.



Рисунок 2.32. Используемые при расчете полигонов дуплексы

Параметры таких сложных дуплексов трудно рассчитать аналитически, особенно для участков, когда они одновременно играют роль и распределенного бункера, и распределенного канала. Так что корректным аппаратом расчета полигонов может служить только имитационное моделирование. Но приведенные рассуждения помогут прояснить сущность протекающих процессов, следовательно, грамотно проводить имитационные эксперименты. Уточнение параметров предлагаемых дуплексов требует дальнейшей глубокой проработки.

2.11. Принципы оптимизации полигона

Оптимизация предполагает наличие некоторого критерия – функционала, минимум или максимум которого будет считаться оптимумом, и ограничений, отображающих границы изменения связанных с функционалом других переменных.

2.11.1. Главное условие оптимизации (главное ограничение)

Расчетный полигон должен иметь гармонично построенную структуру. Или иначе – параметры станций и участков должны быть гармонично согласованы на всем протяжении полигона.

Формально это означает равенство пропускных способностей всех дуплексов, описывающих участки и станции (рисунок 2.33).

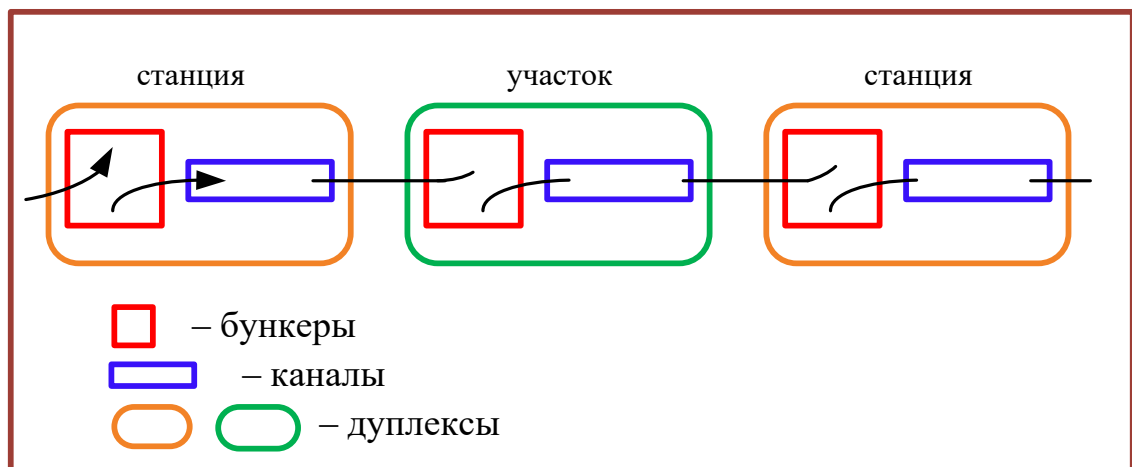


Рисунок 2.33. Схема расчетного полигона

При этом полезная загрузка каналов должна быть меньше предельно возможной. Во многих отраслях рациональной считается загрузка примерно в 70%. Транспорт должен создавать надежные транспортные связи для экономического взаимодействия. А экономические связи в рыночной экономике могут динамически меняться. Поэтому полигоны должны иметь соответствующие резервы. Опыт экономически развитых стран подтверждает

это. Рассчитать уровень рациональных резервов качественнее всего можно на имитационных моделях.

2.11.2 Стратегии оптимизации

Структурно-функциональная оптимизация полигона может выполняться по некоторым стратегиям, каждая из которых удовлетворяет определенным критериям при заданных ограничениях. По каждой стратегии появляется множество Парето потенциально оптимальных вариантов, поскольку достичь цели можно разными способами.

Стратегия 1 – Максимальная пропускная способность. В данном случае расчетный полигон должен иметь гармонично построенную структуру, или, иначе, параметры станций и участков должны быть гармонично согласованы на всем протяжении полигона (рисунок 2.34). Это может быть выражено соотношением

$$\forall_i | \gamma_i \cdot U_i = \text{const}, \quad (2.19)$$

где U_i – максимально допустимая пропускная способность i -го канала;

γ_i – коэффициент полезной загрузки i -го канала. Он характеризует возможности бункера по преобразованию потока из случайного (неудобного для канала) в управляемый (удобный).

Это же выражение может быть записано так:

$$\forall_i | (\gamma_i + \Delta\gamma_i) (U_i + \Delta U_i) = \tilde{U}_I = \text{const}, \quad (2.20)$$

Множество Парето

$$Z_I \equiv \{\Delta Q_i, \Delta U_i\}, \quad (2.21)$$

Имитационный спуск

$$\{\Delta Q_i, \Delta U_i\} \Rightarrow \langle \Delta Q_i, \Delta U_i \rangle, \quad (2.22)$$

Ограничением будет величина возможных инвестиций:

$$\sum_i (\Delta Q_i r_i^q + \Delta U_i r_i^u) \leq R_I, \quad (2.23)$$

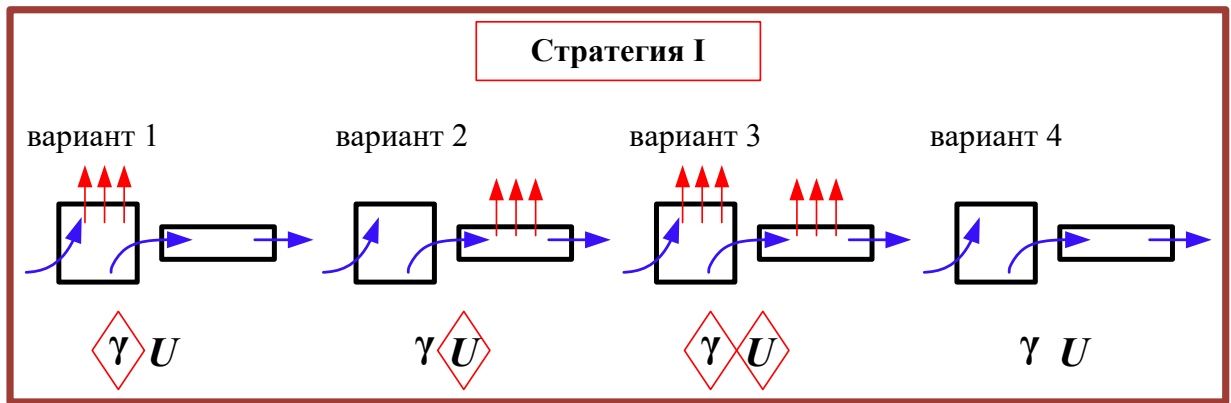


Рисунок 2.34. Стратегия оптимизации I

Стратегия 2 – Максимальная скорость пропускa потока (рисунок 2.35). Критерием является минимум суммарного времени продвижения потока по полигону

$$\sum_i \sum_j u_{ij} \tau_{ij} \longrightarrow \min, \quad (2.24)$$

где u_{ij} – j -тая струя потока на i -том дуплексе;

τ_{ij} – время прохождения j -той струи потока по i -тому дуплексу.

Основное ограничение накладывается предельной величиной затрачиваемых средств (приведенных – по инвестициям и текущим затратам)

$$\sum_i (\alpha R_i + r_i) \leq R_{max}, \quad (2.25)$$

где R_i – инвестиции в развитие i -того дуплекса;

r_i – текущие затраты функционирования i -того дуплекса за расчетный период;

α – коэффициент приведения.

Множество Парето

$$Z_{II} \equiv \{\Delta U_i\}, \quad (2.26)$$

Имитационный спуск

$$\{\Delta U_i\} \Rightarrow \langle \Delta U_i \rangle, \quad (2.27)$$

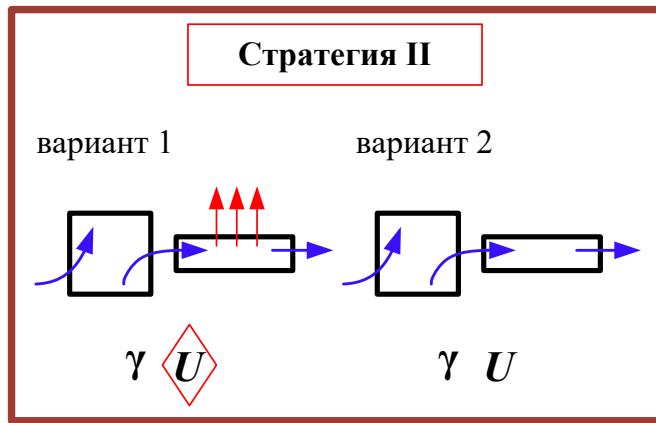


Рисунок 2.35. Стратегия оптимизации II

Стратегия 3 – Функционирование полигона с минимальными затратами (рисунок 2.36). Критерий – минимум приведенных затрат (приведение по инвестициям и текущим затратам)

$$\sum_i (\alpha R_i + r_i) \longrightarrow \min, \quad (2.28)$$

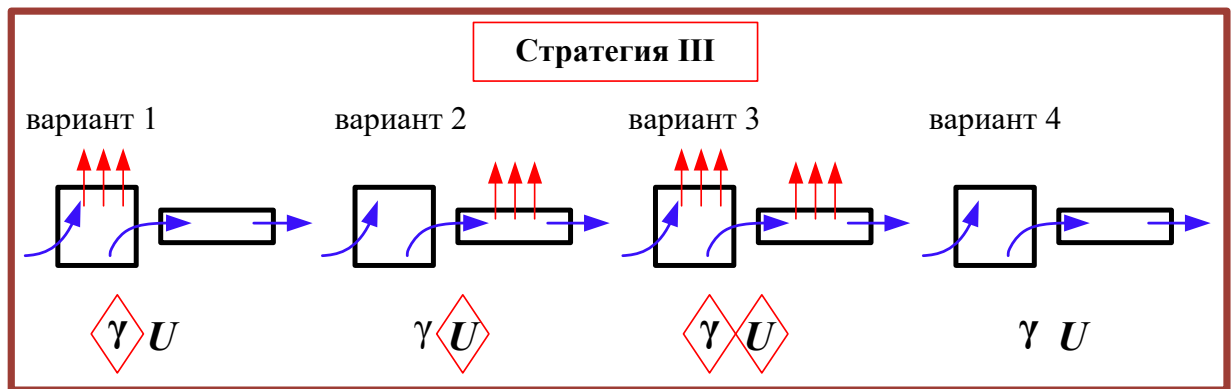


Рисунок 2.36. Стратегия оптимизации III

Основным ограничением будет обеспечение минимальной скорости продвижения потока (предельное суммарное время продвижения потока по полигону)

$$\sum_i \sum_j u_{ij} \tau_{ij} \leq (\sum_i \sum_j u_{ij}) T, \quad (2.29)$$

где T – среднее время прохождения потока по полигону.

Множество Парето

$$Z_{III} \equiv \{\Delta Q_i, \Delta U_i\}, \quad (2.30)$$

Имитационный спуск

$$\{\Delta Q_i, \Delta U_i\} \Rightarrow \langle \Delta Q_i, \Delta U_i \rangle, \quad (2.31)$$

Условие

$$\forall_i |(\gamma_i + \Delta \gamma_i) (U_i + \Delta U_i) = \tilde{U}_{III} = const, \quad (2.32)$$

Критерий

$$\sum_i (\Delta Q_i r_i^q + \Delta U_i r_i^u) \Rightarrow min, \quad (2.33)$$

2.11.3. Узкое место полигона

Это понятие меняется при изменении основной поставленной задачи. В общем случае, узкое место – это элемент, в наибольшей степени затрудняющий выполнение поставленной задачи.

При создании гармонично построенного полигона узким местом будет дуплекс с наименьшей пропускной способностью. Именно дуплекс, а не канал. Допустим, на полигоне наибольшие задержки вызывает горка на некоторой станции. Но предгорочный парк имеет достаточно резервных путей для приема всплесков потока и дуплекс с потоком справляется. А большие задержки означают лишь то, что полезная загрузка горки большая. Возможно, такая конструкция была выбрана сознательно, ибо увеличение перерабатывающей способности горки было либо невозможно, либо связано с неоправданно большими затратами.

Для стратегии 1 узким местом будет дуплекс с наименьшей пропускной способностью — именно дуплекс, а не канал.

Для стратегии 2 «Достижение максимальной скорости пропуска потока» узким местом будет канал, вызывающий наибольшие задержки. Этот канал в наибольшей степени снижает скорость пропуска потока, тем самым затрудняет решение поставленной задачи.



Рисунок 2.37. Оптимизация полигона

Для стратегии 3 «Функционирование полигона с наименьшими затратами» узким местом будет дуплекс, вызывающий наибольшие стоимостные потери при пропуске потока. В данном случае этот элемент больше всего затрудняет достижение поставленной цели.

2.11.4. Технология и аппарат оптимизации

Оптимизация предполагает наличие аппарата проверки выбираемых решений. Расчет и оптимизацию полигона следует проводить по следующей схеме (рисунок 2.38). Вначале строится макромодель полигона, на которой выполняется структурное и функциональное исследование. По его результатам определяются узкие места, то есть, в предлагаемой терминологии, дуплексы. Далее выполняется изменение структуры или технологии работы, которое устранил узкое место. Этот этап является циклическим и как раз представляет собой оптимизацию полигона по выбранной стратегии. На практике требуется использовать комбинированный вариант, для части потока применяя одну стратегию

(например, наименьшее время в пути для пассажирских и ускоренных поездов), для части – другую (например, минимизация затрат для основного потока массовых грузов).

Последовательно выполняя имитационные эксперименты можно построить гармоничную структуру полигона. Для уменьшения количества экспериментов целесообразно использовать метод имитационного спуска [57].

В этом случае кратчайший путь – это устранение «узких мест» (дуплексов) в структуре полигона. Процессом оптимизации будет движение по траектории от одного множества задержек к другому и, наконец, к оптимальному (рисунок 2.39).

Известно, что множество вариантов, каждый из которых не может быть улучшен по нескольким параметрам одновременно, называется множеством Парето. Оптимизация на множестве Парето представляет собой выбор компромиссного варианта, когда улучшение одних параметров дает больший эффект, чем ухудшение других. Модель строится так, чтобы оптимизируемый показатель был пропорционален суммарной величине задержек. Это означает, что мы изменяем параметры модели таким образом, чтобы в следующем расчете задержки предположительно уменьшились.

Нерационально стремиться сводить издержки к нулю. Полное устранение задержек из-за одних элементов приводит, как правило, к появлению их из-за других (например, устранение простоев составов в ожидании локомотивов в условиях неравномерности вызовет простои локомотивов в ожидании составов).

Таким образом, на каждом шаге мы изменяем только один параметр – тот, стоимость задержек из-за которого была наибольшей.

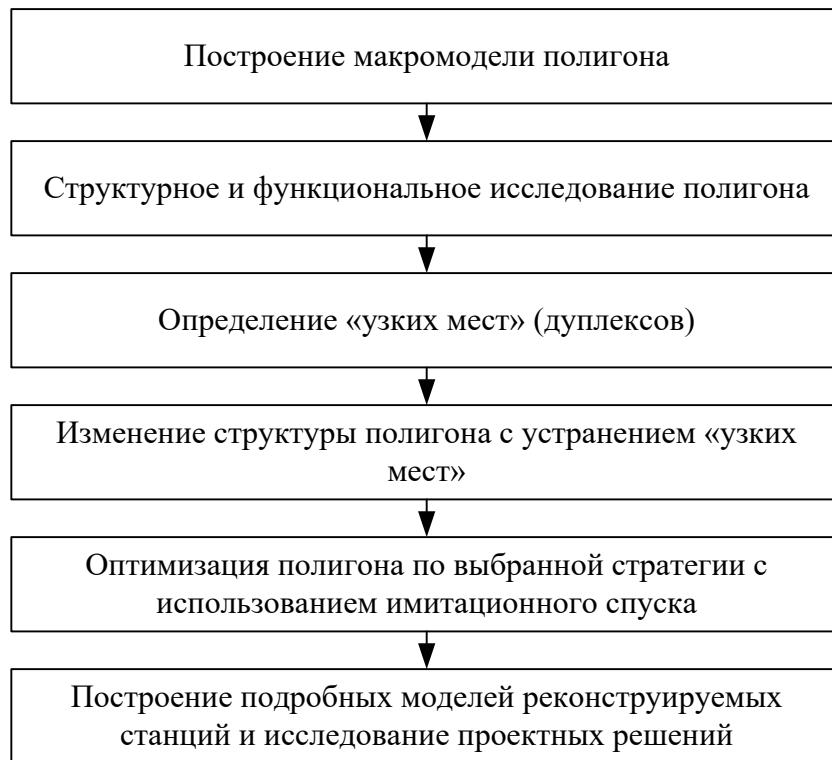


Рисунок 2.38. Алгоритм действий при оптимизации полигона

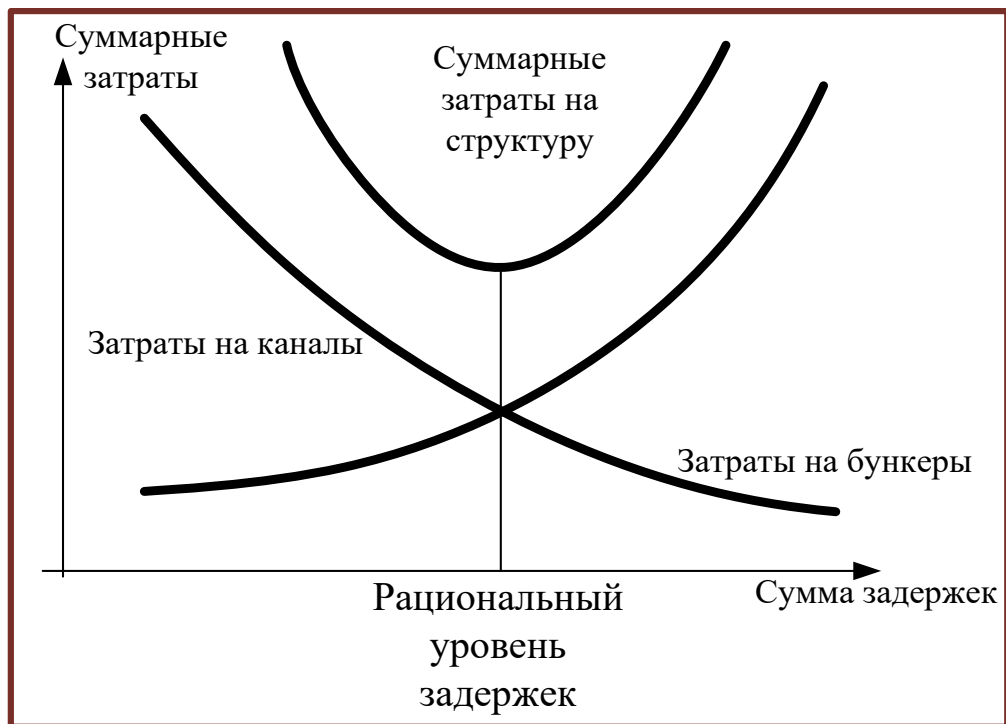


Рисунок 2.39. Зависимость затрат на структуру от уровня задержек

Выводы к главе 2

1. Сделан критический анализ утверждений, на основании которых строятся существующие методы расчетов, показаны их некорректности:

– пропускная способность расчетного устройства определяется без учета взаимодействия с другими. Моделированием доказано, что этот постулат некорректен;

– основным расчетным элементом считается обслуживающее устройство – «канал», хотя тот тесно связан с «бункером» перед ним, резервными путями. Бункер повышает возможный уровень загрузки связанного с ним устройства;

– это позволило обосновать введение нового расчетного элемента – *дуплекса* (канало-бункера), на основании которого и следует рассчитывать пропускную способность полигона;

– парк рассматривается только как канал, хотя в нем велика роль резервных путей. Полезное использование путей (как каналов) колеблется, как правило, от 40% до 60% и никогда не достигает 100%;

– горловину представляет одна, наиболее загруженная стрелка. Считается, что она может быть использована на 100%. Моделирование показало, что загрузка, как правило, не превышает 70%, возникают структурные и функциональные потери;

– участок в расчетах представляется последовательностью перегонов (каналов), станции не отображаются, а на примерно половине промежуточных станций поезда стоят по неприему техническими. Так что возникает свойство бункера.

2. Разработаны теоретические основы расчета полигонов методом имитационного моделирования.

3. Сформулирован «гармонически построенный полигон» как последовательность дуплексов с одинаковой пропускной способностью.

4. Предложены основные стратегии оптимизации полигона:

– по критерию «максимальная пропускная способность»;

- по критерию «максимальная скорость пропуска потока»;
- по критерию «минимальные затраты».

Для каждого критерия задаются соответствующие ограничения.

5. Показано, что проблемный элемент «узкое место» меняется в зависимости от стратегии оптимизации:

- для критерия «максимальная пропускная способность» – это дуплекс с наименьшей пропускной способностью;
- для критерия «максимальная скорость пропуска потока» – это канал с наименьшей пропускной способностью;
- для критерия «наименьшие затраты – это дуплекс с наибольшими затратами на единицу потока.

6. Разработана технология исследования полигона с использованием имитационного моделирования.

ГЛАВА 3. ПРИНЦИПЫ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛИГОНОВ

3.1. Задачи моделирования

Имитационные модели могут быть укрупнёнными (макромодели) и подробными (микромодели).

Область применения укрупнённого моделирования – комплексная оценка соответствия инфраструктуры и технологии работы на полигонах и участках, а также в узлах. Укрупнённая модель позволяет найти проблемные станции и перегоны в составе железнодорожных направлений, ограничивающие пропускную и перерабатывающую способность, и проверить, каким образом и в какой мере ограничения могут быть устранены. С помощью укрупнённой модели определяются узкие места всего направления, места точечных вложений для сбалансированного развития полигона. Укрупнённая модель в качестве результата должна выявлять недостаточно развитые станции и линии, показывать, какие они должны иметь параметры при увеличенной пропускной и перерабатывающей способности (например, вместимость в вагонах или поездах, количество параллельных передвижений в горловинах, продолжительность выполнения операций, количество локомотивов и бригад осмотрщиков и т.д.).

Область применения подробного моделирования – это оценка изменений структуры и технологии работы технических станций (каким образом развивать промежуточные станции, обгонные пункты и разъезды – обычно понятно безальтернативно). Создание подробных моделей для технических станций обусловлено, во-первых, тем, что их структура и технология работы гораздо сложнее. Подробная модель позволяет учесть все детали работы, варианты адаптивной технологии и управляющие решения. Во-вторых, для технических станций возможны альтернативные варианты развития структуры или изменения технологии. Их проверка, сравнение и обоснование выбора варианта возможны только на подробных моделях.

Задачи моделирования можно подразделить на три основные группы.

1. Реализация на модели существующего объекта в реальных условиях с целью получения информации для всестороннего исследования. Эксперименты этой группы позволяют установить соответствие структуры и технологии работы, определить «узкие места» структуры и технологии или, наоборот, недозагруженные элементы. Определяются эксплуатационные показатели: время нахождения вагонов на станциях и под определёнными операциями, скорости движения поездов, производительность локомотивов, степень загрузки путей, стрелок, сортировочных и грузовых устройств, локомотивов и бригад по обработке составов и др. Устанавливается влияние на работу транспорта дестабилизирующих факторов.

2. Реализация на модели существующего объекта при максимально возможном входном потоке с целью определения его максимальной пропускной и перерабатывающей способности. Эксперименты этой группы позволяют оценить возможности транспортной системы при освоении перспективных объёмов перевозок. Определяются «узкие места» и вырабатываются предложения по их устранению. Выполняется проверка вариантов изменения структуры и технологии с целью улучшения транспортного обслуживания.

3. Построение модели реконструируемого или проектируемого объекта с целью оценки его пропускной и перерабатывающей способности и показателей работы. При помощи модели выполняется экспертиза проектов развития транспортной системы на предмет обеспечения требуемой перерабатывающей способности. На основании сравнения технических, технологических и экономических показателей обосновывается выбор наилучшего варианта реконструкции, изменения технического оснащения и технологии работы транспортной системы. Определяется очередность (этапность) развития транспортной инфраструктуры, в том числе технология и техническое оснащение системы на переходный период реконструкции. Выявляются ошибки в проектах и предлагаются способы их устранения.

На имитационных моделях решаются следующие *основные задачи по сравнению вариантов* проектирования и реконструкции:

1. Определение количества отдельных пунктов на участке и их местоположения, а также их типов (поперечный, полупродольный, продольный, комбинированный) применительно к местным условиям, технологии работы и размерам движения.

2. Определение необходимого количества путей и их вместимости: главных, приёмо-отправочных, ходовых, сортировочных, и т.д.

3. Поиск оптимальных схемных решений по конфигурации горловин.

4. Сравнение вариантов реконструкции и развития существующих парков и строительства новых.

5. Разработка рационального технологического процесса для выбранной схемы путевого развития.

6. Определение наличной пропускной и перерабатывающей способности объекта, в том числе при различном распределении входного потока по категориям поездов и их количеству.

7. Выявление причин повышенного простоя вагонов и поездов и его сокращение за счёт изменения технологии работы или структуры объекта.

8. Определение рациональной потребности в технических средствах и обоснование их необходимости (локомотивы, бригады, стационарные средства закрепления, опробования тормозов, грузовые устройства и т.д.).

9. Обоснование возможности примыкания новых, либо увеличения объёмов работы существующих подъездных путей к станциям, для обеспечения бесперебойной работы.

10. Выявление «узких мест», ограничивающих продвижение потока и их ликвидация.

11. Проверка возможности освоения перспективного поездо- и вагонопотока. В случае невозможности освоения – выработка предложений по изменению технологии работы или структуры объекта.

12. Определение этапов строительства, их продолжительности и технологии работы на каждый из этапов для обеспечения пропуски потоков на переходные периоды реконструкции.

Выполняемые на моделях расчёты позволяют:

- определить пропускную и перерабатывающую способности объекта;
- определить «узкие места» в технической структуре и технологии работы транспорта;
- определить в технологических показателях эффект от предлагаемых мероприятий по ликвидации «узких мест»;
- выбрать рациональное количество технических ресурсов;
- рассмотреть различные ритмы прибытия и их влияние на перерабатывающую способность транспорта;
- выполнить эксперименты, применение которых в реальной жизни невозможно ввиду высокой стоимости.

Перечисленные задачи, решаемые с помощью моделирования, должны разрабатываться заинтересованными подразделениями, курирующими вопросы развития инфраструктуры, эксплуатации и планирования, экономики и инвестиций, а также проектными организациями, разрабатывающими проекты развития железнодорожных станций и линий.

3.2. Технология сравнения вариантов

Сравнение вариантов развития железнодорожных станций и линий с определением наилучшего варианта выполняется при помощи технико-экономического обоснования. В качестве критериев оценки работы моделируемых объектов выступают показатели:

- технические;
- технологические.

Технические показатели позволяют выполнять количественную оценку и сравнение вариантов развития. К техническим показателям, которые

определяются проектом и прямо или косвенно проверяются с помощью имитационной модели, относятся:

- количество отдельных пунктов на участке;
- количество станционных путей и их полные длины;
- количество стрелочных переводов, пассажирских платформ, экипировочных, грузовых, ремонтных устройств;
- количество и параметры путевых маневровых средств (вытяжные пути, горки).

Иные технические показатели (такие как объём земляных работ, протяжённость линий СЦБ, связи, контактной сети, количество и параметры мостов и путепроводов и т.д.) на имитационных моделях не проверяются, но зависят от предлагаемых схемных решений и при их корректировке тоже изменяются. Например, исследование на модели позволило рассчитать необходимое количество приёмо-отправочных путей в парке и схему их укладки, то есть расположение и количество стрелочных переводов. Исходя из этого, расчётным путем определяются полные длины укладываемых путей, размеры площадки, объём земляных работ, протяжённость линий энергоснабжения, связи и другие технические параметры.

Технические показатели подлежат учёту в качестве ограничений для модели, если проектом не предусматривается развитие отдельных устройств (например, дополнительных тяговых подстанций, укладки длинных путей и т.д.), либо это невозможно по условиям эксплуатации объекта.

Технологические показатели обеспечивают качественную оценку того или иного варианта. С их помощью сравнивается пропускная и перерабатывающая способность вариантов, потребность в маневровых и поездных локомотивах, штате обслуживающего персонала. К технологическим показателям относятся:

- количество переработанных или пропущенных поездов (по категориям) и вагонов;

- простои вагонов и поездов, с детализацией по различным критериям (станциям, паркам, назначениям, операциям и др.);
- технические, участковые и маршрутные скорости движения поездов различных категорий;
- загрузка путей, стрелочных переводов, маневровых средств, бригад осмотрщиков, сигнальщиков, пунктов экипировки и т.п.;
- среднесуточный пробег, производительность и другие показатели работы локомотивов;
- задержки технологических операций, вызываемые структурой (простои из-за занятости отдельных элементов, в т.ч. отклонение от расписания, непроизводительные простои в ожидании свободного пути, фронта, бригады, локомотива и т.д.)

Результаты исследований вариантов развития объектов на имитационных моделях представляются исчерпывающим набором технологических показателей, сравнивая которые можно определить наиболее рациональный вариант. Например, рассматривая несколько схемных решений по конфигурации горловин парка станции, на основе технологических показателей выбирается вариант, обеспечивающий наибольшую перерабатывающую способность и наименьшие простои поездов и вагонов.

После расчётов на модели, полученные технические и технологические показатели трансформируются в экономические. Стоимостное представление технических показателей даёт возможность определить объём капитальных вложений, а технологические показатели, переведённые в экономические, позволяют оценить эксплуатационные расходы [61].

Трансформация показателей и технико-экономическое сравнение вариантов выполняются при помощи утверждённых методик [7, 8].

В зависимости от цели исследования степень детализации имитационной модели может быть различной. При *подробном моделировании* используется структурный подход, когда структура модели

отображается максимально близко к структуре реального объекта. Парки представляются в виде отдельных путей, горловины – в виде отдельных стрелок с соответствующими связями.

При *макромоделировании* применяется *структурно-функциональный* подход, когда отображается не столько детальная структура, сколько *функциональные* свойства парков и горловин. При таком подходе элементом горловины является не стрелка, а «*виртуальный канал*» – группа стрелок и выделенных участков путей в горловине, обеспечивающая одно независимое передвижение. Таким образом, в горловине столько каналов, сколько возможных параллельных передвижений. Число таких передвижений определяет пропускную способность горловины. В том случае, если маршрут операции вызывает враждебность с другими маршрутами – в такой операции используется несколько каналов в соответствии с тем, сколько параллельных перемещений снимается этой враждебностью. Таким образом, одновременное выполнение враждебных маршрутов в операциях макромодели становится невозможным.

При укрупнённом моделировании парков также используется функциональный подход, т.е. они не представляются в виде отдельных путей. Задаётся предельная *функциональная ёмкость* парка (а не полная физическая вместимость всех его путей), то есть такая, при которой сохраняются его функциональные возможности. Например, для предгорочного парка достаточно оставить один свободный путь для обгона локомотива и один для приёма очередного поезда. Для сортировочных парков достаточная работоспособность сохраняется до степени его заполнения вагонами не более чем на 70-80%. Большой уровень заполнения вызывает задержки расформирования поездов.

3.3. Имитационная система ИМЕТРА как аппарат исследования полигонов

Имитационное моделирование станций и полигонов отличается и по задачам, и по характеру. Модель станции оценивает, как правило, конкретный проект ее развития. Поэтому она должна быть максимально подробна и выдавать набор показателей, позволяющих определить не только общую пропускную и перерабатывающую способность, но и роль каждого структурного элемента. Наиболее развитой имитационной системой в этой области является сейчас система ИСТРА. Кроме исчерпывающего множества табличных результатов модели, полученные с ее помощью, позволяют наглядно оценить структурные и технологические решения

Однако такой подход переносить на моделирование полигонов трудно. Дело в том, что полное описание модели крупной станции со всеми операциями, с вариантами их выполнения, с указанием участвующих устройств в каждом варианте и с параметрами их использования представляет массив порядка 600 – 700 тысяч строк. На полигоне может быть несколько сот станций с десятками крупных, в результате чего получается огромный, трудно перерабатываемый массив.

Задача исследования состоит в другом. В новой постановке необходимо определить общую пропускную способность полигона, но проблемные (зоны) места можно определять укрупненно. Если вагонопотоки задерживаются станциями, то достаточно знать, какими горловинами и парками, и не нужно выделять конкретные стрелки. А на втором этапе, когда надо будет переустраивать уже конкретную станцию, следует применять подробное моделирование.

На принципах макро моделирования, предложенных в [53, 58, 72, 146], была разработана имитационная система ИМЕТРА [74].

В *макро модели* полигона необходимо учитывать следующую структуру и технологию работы.

Детализация структуры:

1. В модель обязательно входят все перегоны и станции, которые участвуют в пропуске и обработке поездов, составляющих основной поездопоток полигона.

2. На станциях обязательно показываются парки, работающие с транзитными поездами, парки приёма и отправления разборочных поездов и поездов своего формирования, сортировочно-отправочные парки.

3. Сортировочные парки, парки отстоя и экипировки, грузовые фронты, депо и пункты местной работы в модели полигона, как правило, показывать избыточно. Их работа в значительно меньшей степени влияет на пропуск основной части поездопотока, поэтому может быть укрупнена, либо не показана.

4. На станциях обязательно учитывается штат работников, связанных с обработкой поездов и маневровые локомотивы, работающие в парках приёма, отправления, транзитных и сортировочно-отправочных, из-за которых могут возникать задержки (закрепление, раскрепление, технический осмотр, коммерческий осмотр, приёмо-сдаточные операции и т.д.)

Источником информации по существующим объектам служат данные из информационного фонда ГВЦ, для вновь строящихся и реконструируемых объектов – информация соответствующих разделов проектов.

Детализация технологии работы:

1. При создании модели полигона следует моделировать всю поездную работу (приём, отправление, пропуск и т.д.) и все подготовительно-заключительные операции с поездами на станциях (от формирования поезда до его расформирования).

2. Должны быть заданы технологические цепочки поездов: пассажирских, пригородных, грузовых (скоростных, местных, тяжеловесных, длинносоставных и всех других категорий). Хозяйственные и ремонтные поезда, если они курсируют не ежедневно, в модели задавать не требуется.

3. На перегонах необходимо задавать технологические окна в соответствии с графиком движения поездов, с установленной периодичностью. При этом должна соблюдаться технология пропуска поездов в окно и сопутствующие ограничения.

4. Местная и маневровая работа на станциях отображается только в том случае, если она имеет значительный объём враждебных пересечений и, тем самым, создаёт трудности при пропуске транзитного потока.

5. Поездные локомотивы необходимо показывать при заезде под состав и при выезде от него. При этом отображается занятость путевого развития. При разработке укрупненной модели полигона возможно слежение за поездными локомотивами. Необходимость слежения определяется целями исследования. При наличии задачи исследования работы локомотивов в моделях необходимо отображать управление оборотом локомотивов.

3.4. Основные подходы

Большие полигоны железнодорожного транспорта России (Кузбасс – Северо-Запад, Восточный, Урал – Северный Кавказ и др.) включают сотни станций на протяжении тысяч километров. Для их расчета и оптимизации не следует чрезмерно детализировать отображение структуры и технологии работы. Это чрезвычайно трудоемко. Важно показать такие особенности взаимодействия элементов потока и структуры, которые обуславливают основные процессы работы полигона. Чтобы достоверно и адекватно показать в модели работу полигона, достаточно учитывать парки, горловины и перегоны.

3.4.1. Макромоделирование парков

При моделировании парков важно показать их основные свойства – бункер для накопления потока в ожидании обслуживания и функциональный канал во время обслуживания. Для того, чтобы показать бункер, как и в подробном моделировании для отдельных путей, так и здесь для всего парка

в целом задается вместимость. Отличие в том, что в нашем случае это не суммарная физическая вместимость путей, а предельная функциональная емкость парка, при которой еще сохраняются его функциональные возможности. Естественно, для различных типов парков отличие функциональной емкости от физической вместимости будет разным [146].

В имитационной модели узла нужно обязательно учитывать разложение составов разборочных поездов в соответствии с планом формирования. И, разумеется, готовые составы в сортировочном парке будут появляться при нужном количестве вагонов соответствующего назначения. При моделировании узла мы работаем с вагонами. Но по полигону следуют не отдельные вагоны, а поезда.

В имитационной модели полигона не следует учитывать все назначения каждой станции. Их для полигона Кузбасс – Северо-запад будет слишком много: 12 сортировочных станций, на каждой копится не менее 20 назначений, а еще много грузовых и участковых станций со своими назначениями. Всего на полигоне будет более 300 назначений. И задавать натурные листы для поезда, вагоны которого пройдут, скажем, 3 сортировки – занятие очень не простое. Следить за каждым вагоном будет очень затратно и по времени моделирования и по времени отладки и по времени расчета.

Подвижной единицей в модели полигона становится не вагон, а поезд (состав). Поэтому при следовании поезда по участку, при передаче потока от одной промежуточной станции к другой, вагоны в модели можно заменить поездами, задавая вместимость парков именно в поездах. Важно учесть то, что длина поездов и путей в парках может различаться, поэтому при задании емкости парков и ее использовании в процессе расчета этот факт нужно иметь в виду. Поэтому назначениями выделяются, прежде всего, направления следования – четное и нечетное и длина поездов, например, унифицированные 71 вагон, тяжеловесные 85 вагонов, тяжеловесные 100 вагонов и т.д.

Поездотоки с переработкой на технических станциях трансформируются из поездов в вагоны. Тогда для парков технической станции, работающих с перерабатываемым потоком, следует задавать емкость не в поездах, а вагонах. Так, например, в парках прибытия и отправления сортировочной станции емкость задается в поездах, а в сортировочном парке – в вагонах. Поток поездов прибывает на станцию и размещается в бункере парка прибытия, заданном в единице «поезд». При расформировании поток трансформируется в единицу «вагоны». Из парка прибытия снимается «поезд», а в парк накопления попадают «вагоны». При формировании накопленного поезда происходит обратный переход.

Для отображения свойства парка «функциональный канал» по аналогии с подробной моделью задаются логические элементы бригад, участвующих в обработке поездов, локомотивов, для которых учитывается занятость и свободность, из-за них могут возникать задержки.

3.4.2. Макромоделирование горловин

Микромоделирование горловин – это детальное отображение их структуры, с учетом каждой стрелки. Наложение технологии работы и потоков на структуру горловины позволяет не только определить пропускную способность, но и получить загрузку каждой стрелки и вызываемые ею задержки.

При макромоделировании стоит задача учесть в модели только пропускную способность горловины без дальнейшей детализации. При функциональном подходе основным параметром горловины будет число возможных параллельных передвижений [108, 146]. Эти передвижения нумеруются (рисунок 3.1). Каждое передвижение обеспечивает некоторая группа стрелок. Это как бы некоторый, «*виртуальный*», канал обслуживания. При выполнении операции приема и отправления поезда или маневрового передвижения занимают какие-то виртуальные каналы. Тем самым, учитывается, хотя и укрупненно, пропускная способность горловин.

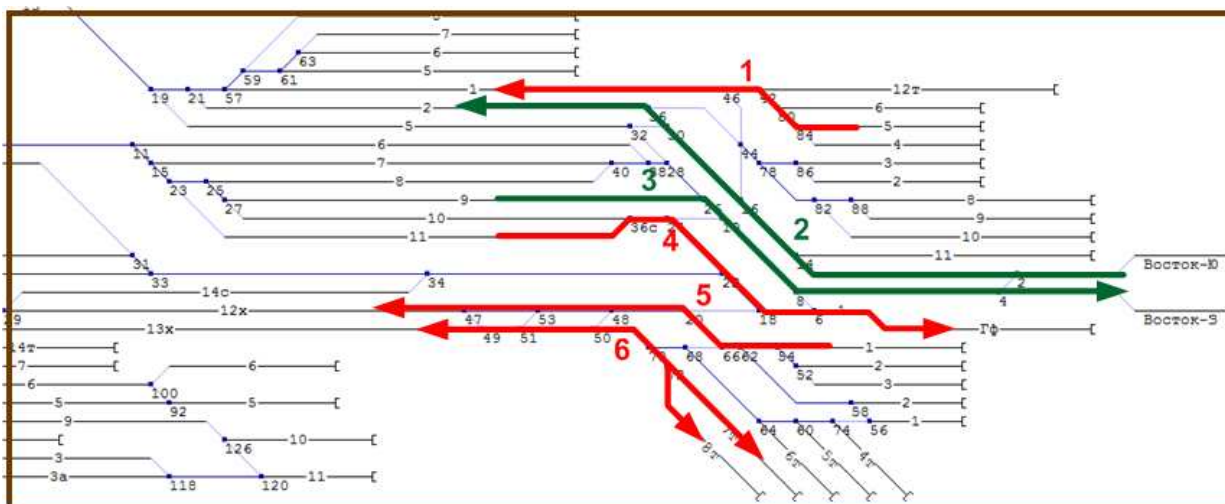


Рисунок 3.1. Параллельные маршруты в горловине станции

В отличие от отдельного стрелочного перевода, канал имеет явное содержательное значение – он обеспечивает одно дополнительное параллельное передвижение. Именно их число и будет характеризовать возможную маневренность, а, значит, и потенциальную пропускную способность горловины.

3.4.3. Макромоделирование участков

Между техническими станциями расположены промежуточные, разъезды и обгонные пункты, связанные между собой перегонами. Для любой станции, обгонного пункта или разъезда используется емкость парка и горловины, которые моделируются по указанному выше принципу.

Между собой горловины связаны перегоном. В зависимости от количества путей на перегоне важно учесть возможность размещения определенного количества попутных и встречных поездов. Так, для отображения занятости однопутного перегона с полуавтоблокировкой достаточно иметь один логический элемент. Для двухпутных перегонов достаточно рассматривать пути встречных направлений отдельно.

Для перегонов с автоблокировкой ситуация иная. Пассажирские поезда на всём рассматриваемом полигоне пропускаем с высоким приоритетом и глубиной до начала пропуска грузовых поездов. Поскольку маршрут пассажирскому поезду всегда готовится заранее, то стрелки в горловине

замыкаются за некоторое время до его прохода и другими маршрутами использоваться не могут. Операция проследования по перегону грузового поезда, отправляемого перед пассажирским, может (рисунок 3.2):

- а) успеть выполниться до прибытия пассажирского поезда;
- б) не выполниться из-за занятости логических элементов каналов горловины следующей станции пассажирским поездом;
- в) выполниться из-за свободности логических элементов каналов горловины следующей станции после проследования пассажирского поезда (произошел «обгон» на перегоне – такая операция выполняться не должна).

Для решения этой проблемы на каждой станции создается два счетчика – Ф1 по прибытию и Ф2 по отправлению. Пассажирские поезда, пропускаемые заранее, с приоритетом, в моменты проследования по станциям изменяют значения счетчиков.

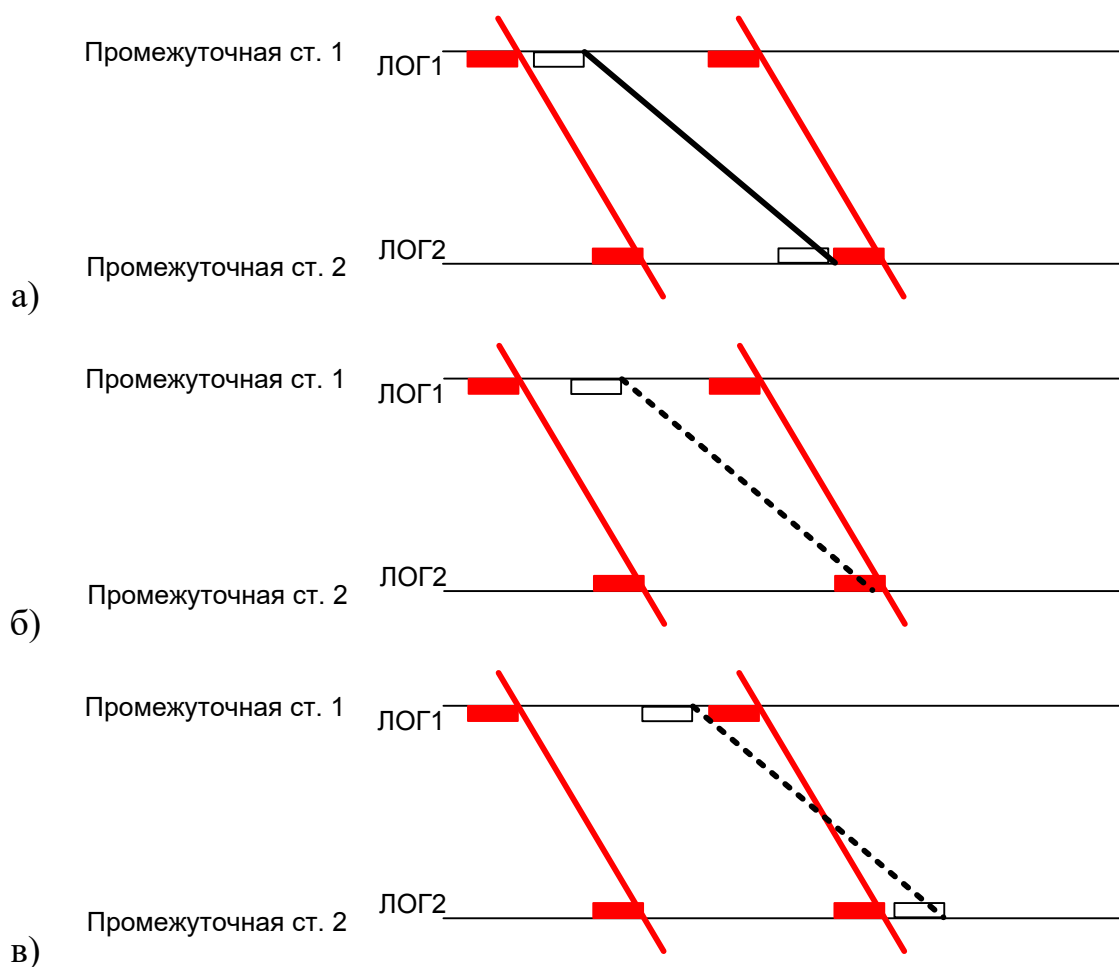


Рисунок 3.2. Движение поездов на перегоне

В момент отправления грузового поезда t_1^{zp} проверяется значение счетчика Ф1, которое должен быть равно значению счетчика Ф2 в момент

$$t_1^{zp} + t_x^{zp} :$$

$$\Phi 1 (t_1^{zp}) = \Phi 2 (t_1^{zp} + t_x^{zp}), \quad (3.1)$$

На рисунке 3.3 (а) счетчики равны и операция проследования грузового поезда выполняется, а на рисунке 3.3 (б) они не равны и операция проследования грузового поезда задержится.

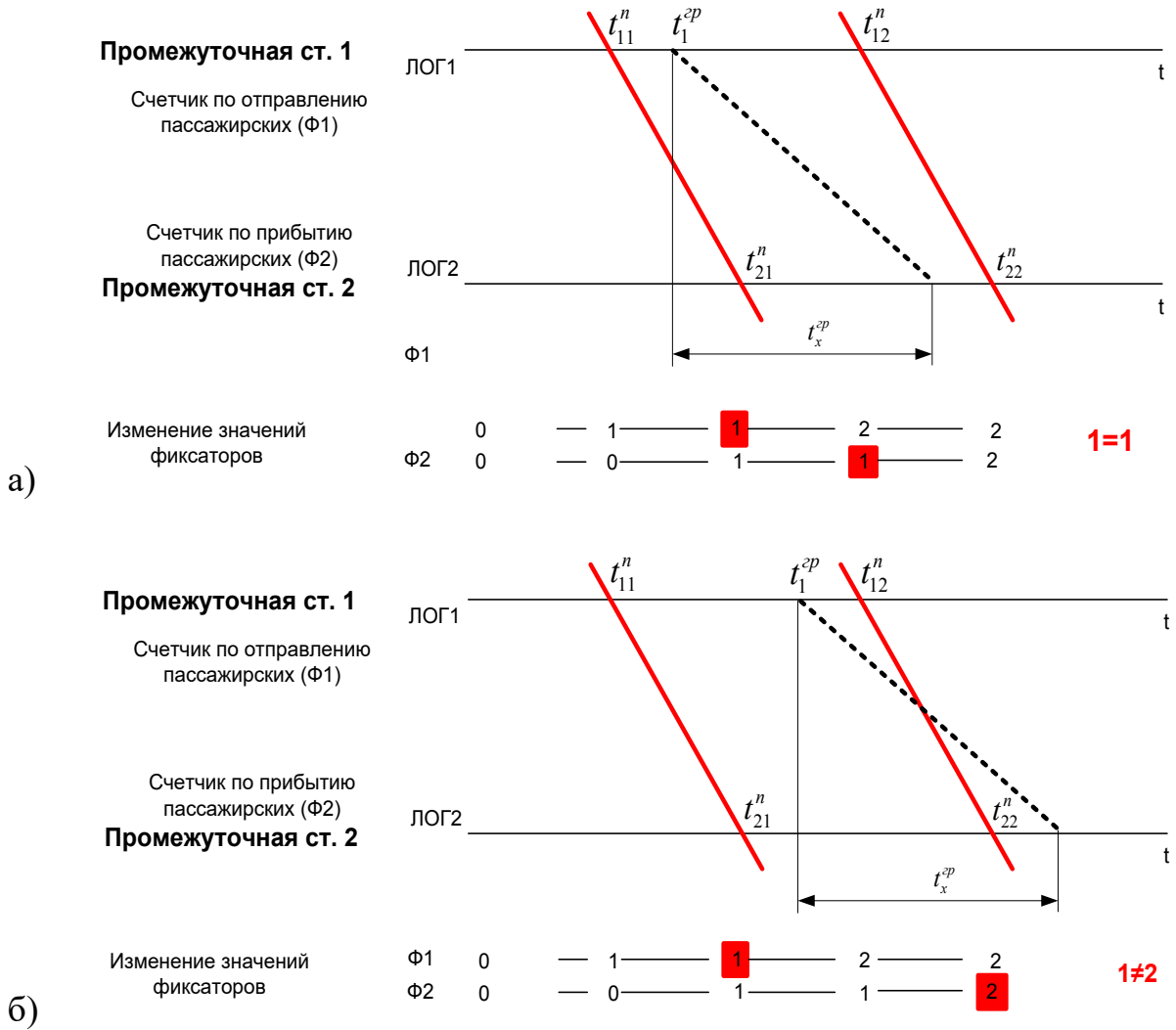


Рисунок 3.3. Движение поездов по перегону

Таким образом, мы сможем увидеть, перед какими перегонами и на каких станциях происходят задержки поездов на участке и насколько они значительны. В случае значительных задержек, следом идущие грузовые поезда будут останавливаться на предыдущих станциях по цепочке, и сразу будет видно узкое место на участке.

Возможны следующие случаи возникновения задержек поездов из-за участка (рисунок 3.4). На станциях 1, 2, 4 и 5 нет путей достаточной длины для обгона грузового поезда пассажирским. Грузовой поезд №1 останавливается под обгон на станции 3 (рисунок 3.4, а). Грузовой поезд №2 задерживается на станции А, причем эта задержка формируется каждый раз из-за разных элементов станций А, 1, 2 и 3 в зависимости от того, на какое время сдвинуты относительно друг друга нитки грузового и пассажирского поездов. А в реальности это задержка из-за участка. Будь станции 1 и 2 развиты, задержка поезда №2 была бы меньше.

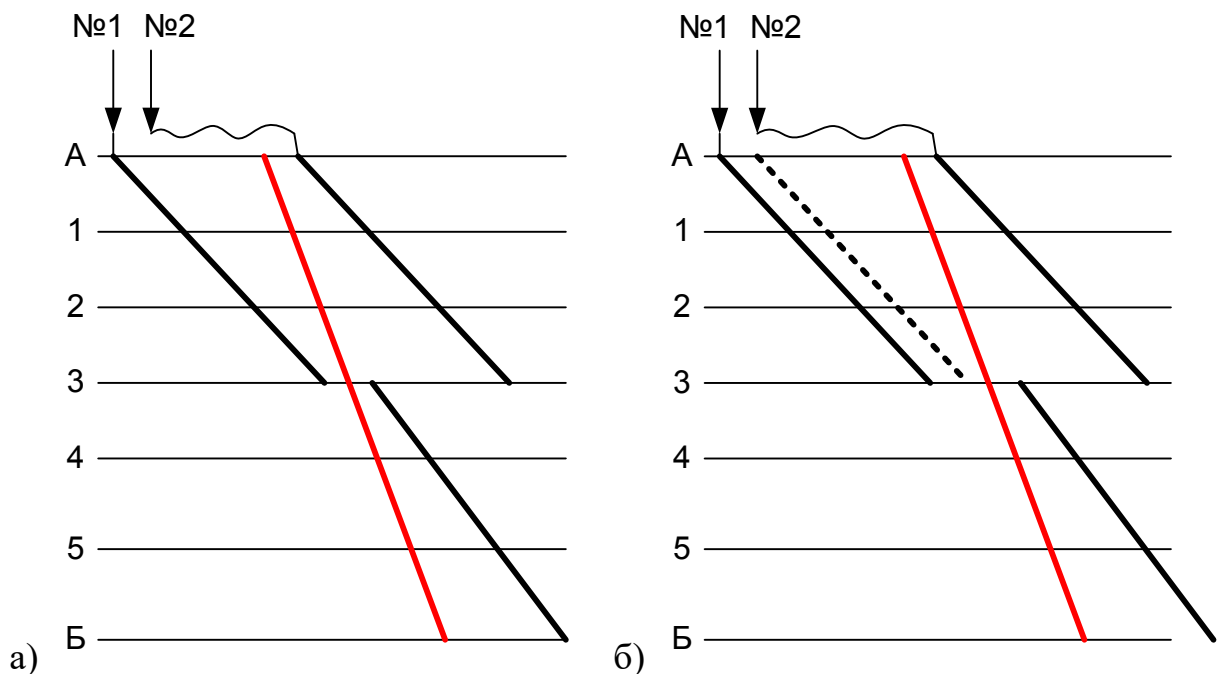


Рисунок 3.4. Движение поездов по участку

Вторая ситуация (рисунок 3.4, б). Грузовой поезд №2 успевает доехать до станции 3, но там всего один обгонный путь и он занят поездом №1. Поэтому задержка поезда №2 будет из-за бункерного элемента «вагоны на станции 3» и из-за элементов станций А, 1, 2 и 3, хотя реальная причина – неразвитость станций всего участка, а не конкретной станции, вызвавшей наибольшие задержки. Такие нюансы нужно учитывать при интерпретации результатов моделирования.

3.5. Проведение исследования

Проведение исследований (как на подробной, так и на укрупнённой моделях) включает в себя следующие основные этапы.

1. Выработка целей исследования, планирование, формирование технического задания.

2. Сбор и анализ исходных данных.

3. Построение базовой имитационной модели.

4. Задание схемы путевого развития.

5. Задание стандартной технологии работы. Под стандартной подразумевается технология, предусмотренная технологическим процессом. Но для таких технологических линий, как местная грузовая работа, подача вагонов к пунктам ремонта и их уборка и т.д. подробных цепочек в технологическом процессе нет. В случае отсутствия информации о какой-либо части технологии в технологическом процессе она должна быть задана в имитационной системе технологом.

6. Задание адаптивной технологии работы. Это различные условия выполнения операций, приоритеты, варианты обслуживания одних и тех же поездов в разных парках (при наличии такой возможности) и прочие управляющие решения диспетчера, которые могут быть не отражены в технологическом процессе, но их необходимо учесть в имитационной модели для качественного результата.

7. Верификация модели, её доработка в случае необходимости. Базовая модель должна полностью воспроизводить работу объекта. Достоверность модели и степень совпадений можно определить сравнением показателей работы реального объекта и выдаваемых моделью, просмотром суточного плана-графика или динамического воспроизведения работы на схеме станции. Если реальная ситуация отражена в модели не в полной мере, необходимо уточнить, проверить и правильно отразить информацию, полученную на этапе сбора исходных данных и заданную при построении модели.

8. Планирование дальнейших экспериментов. Исходя из результатов моделирования базовой ситуации, определяются узкие места структуры и технологии работы объекта и выбираются мероприятия, которые, предположительно, смогут улучшить работу.

9. Реализация экспериментов. В соответствии с выбранными мероприятиями корректируется базовая модель. Для достижения наилучшего результата следует проверять предложенные мероприятия не только по отдельности, но и в различных комбинациях.

10. Анализ результатов моделирования. Различные варианты моделей, созданных по предлагаемым мероприятиям, сравниваются между собой по показателям работы. После проведения анализа возможно появление новых предложений, которые также нужно проверить выполнением новых экспериментов.

При исследовании участков и полигонов предусматривается следующая *последовательность действий* (рисунок 3.5).

1. Строится укрупнённая имитационная модель полигона, участка или узла (макромодель). Такая модель необходима для создания комплексных программ и планов развития полигонов с целью их равномерного и сбалансированного развития для пропуска поездов. Подробную модель полигона в сотню и более станций создавать сложно из-за слишком большого объёма данных и трудозатрат. Задачей имитационного моделирования

полигона целесообразно считать определение проблемных станций, затрудняющих пропуск поездопотока и причин этого (ограничения по ёмкости парков, пропускной способности горловин, перерабатывающей способности сортировочных устройств, пропускной способности перегонов и участков и др.)

2. Проводятся расчёты при существующих поездопотоках. Выдаётся полная характеристика полигона со всеми показателями.

3. Проводится цикл расчётов на возрастающие поездопотоки. Определяются проблемные станции. При совершенствовании существующей технологии (а не при развитии инфраструктуры) выявляется нехватка парка локомотивов или неравномерность четных и нечетных размеров движения, приводящая к дисбалансу локомотивного парка.

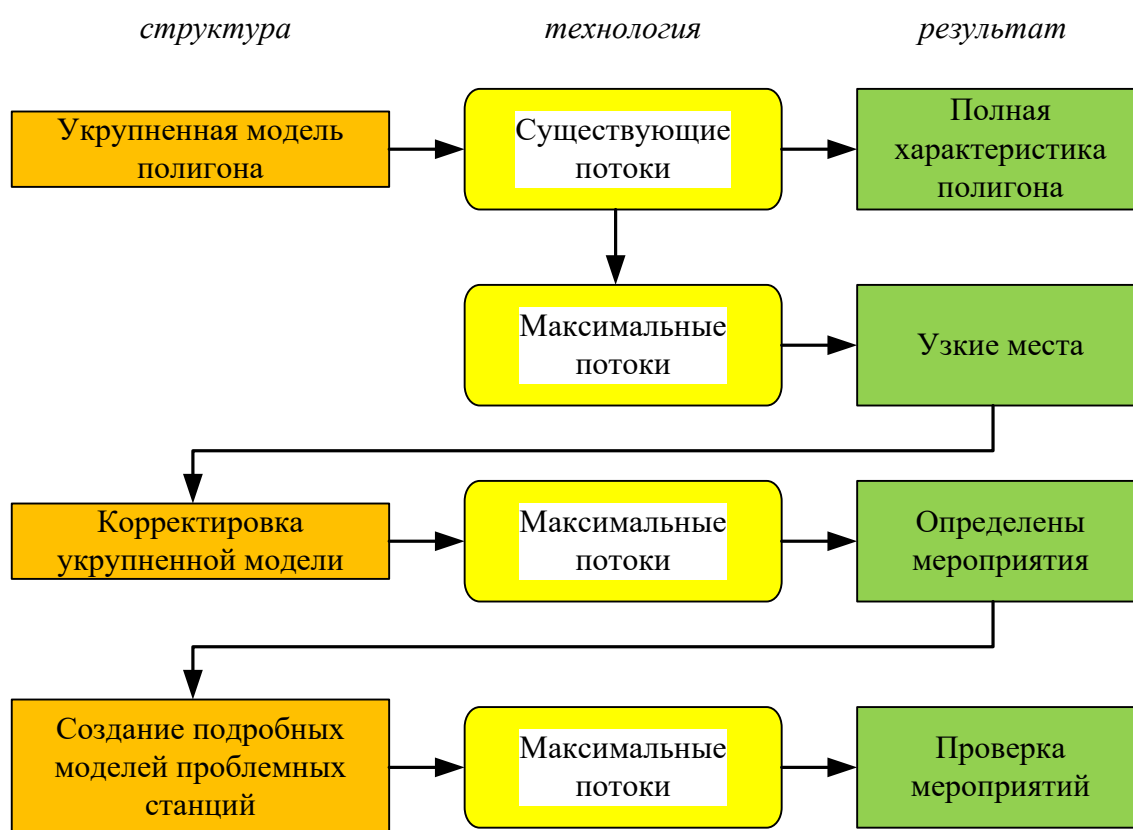


Рисунок 3.5. Последовательность исследования проектов развития полигонов

4. Имитируется реконструкция проблемных станций, и определяются их укрупнённые параметры (ёмкость парков, пропускная способность горловин, мощность сортировочной горки и др.)

5. Разрабатывается проект реконструкции проблемных станций.

6. Строятся подробные модели реконструируемых станций, и проводится их полноценное структурно-технологическое исследование. В подробных проектах должны быть реализованы требуемые параметры станций, рассчитанные ранее на укрупнённой модели полигона.

В зависимости от выбранной цели и задач исследования определяются границы объекта и необходимая степень детализации его путевого развития и технологии работы. Намечаются будущие эксперименты, и формируется техническое задание. Работа на данном этапе должна проводиться комплексно, учитывая перспективы и мнение проектировщиков и других заинтересованных подразделений. Как правило, предлагается несколько основных сценариев развития, зависящих от принципиальных схемных решений и объемов перевозок. Вместе с тем, нередко возникают ситуации, когда направление исследований заранее предугадать затруднительно. Многообразие проверяемых вариантов определяется в процессе моделирования и зависит от расположения «узких мест», структуры потоков, ограниченности возможностей развития инфраструктуры из-за местных условий и т.п.

Структурно-технологическое исследование станций на подробных моделях выполняется по методологии, разработанной автором в диссертации на соискание ученой степени кандидата наук [67]. Пример подобного исследования приведен в приложении А настоящей работы.

Выводы к главе 3

1. Сформулированы задачи подробного моделирования станций и макро моделирования полигонов и показано принципиальное отличие.
2. Приведены принципы сравнения вариантов имитационных экспериментов.
3. Разработаны принципы макро моделирования полигона и его отдельных элементов – парков, горловин и перегонов.
4. Разработан алгоритм проведения исследования развития полигона, включающий разработку макро модели, выявление на ней проблемных станций и участков и дальнейшее их исследование на подробных моделях.

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛИГОНОВ

4.1. Подготовка данных

На этапе сбора исходных данных требуется проанализировать и сопоставить полученную информацию.

Для укрупнённой модели наиболее трудоёмким является определение количества и маршрутов движения поездов по полигону. Необходимо проанализировать станции формирования и расформирования поездов и составить матрицу корреспонденций (рисунок 4.1). Это позволит распределить объём работы между сортировочными станциями.

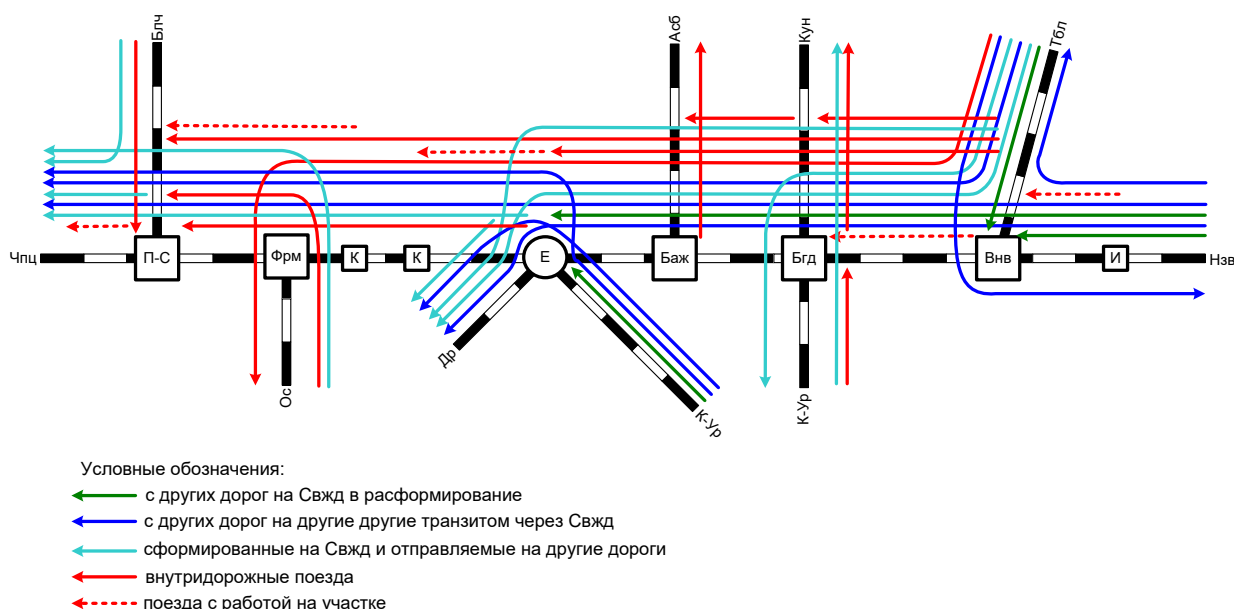


Рисунок 4.1. Пример корреспонденции поездопотоков

Выбор количества будущих модельных цепочек операций выполняется следующим образом.

Поток поездов на направлении складывается из множества струй (например, рисунок 4.2). Предположим, что каждый поезд такой струи одинаков по длине. Первый вариант – каждую струю задавать в модели отдельной цепочкой операций (рисунок 4.3, а). В этом случае будет получено:

– в движении по участкам чётко заданное на входе количество поездов;

- многократный ввод одинаковой информации (занятость каналов, продолжительность, используемые ресурсы и т.д.) в похожих операциях;
- избыток информации замедлит создание модели и её последующую обработку.

Второй вариант – на участках, где следует несколько однотипных струй, объединять их в одну цепочку (рисунок 4.3, б). Тогда на станциях разделения струй эту цепочку можно разветвлять (например, с заданием вероятностей).

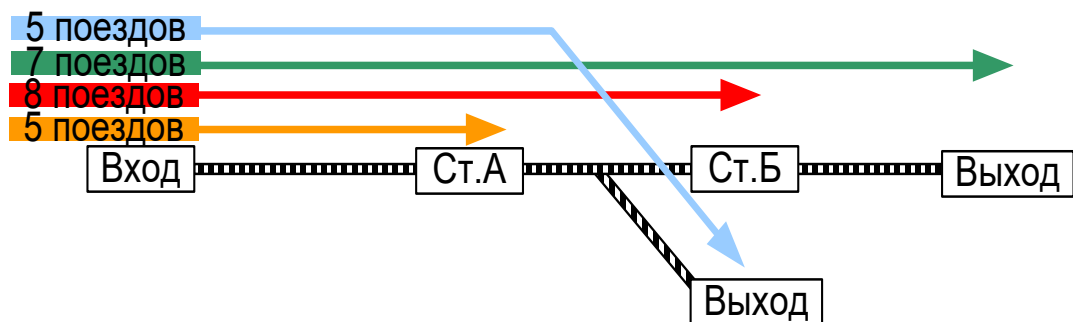


Рисунок 4.2. Пример корреспонденции поездопотоков

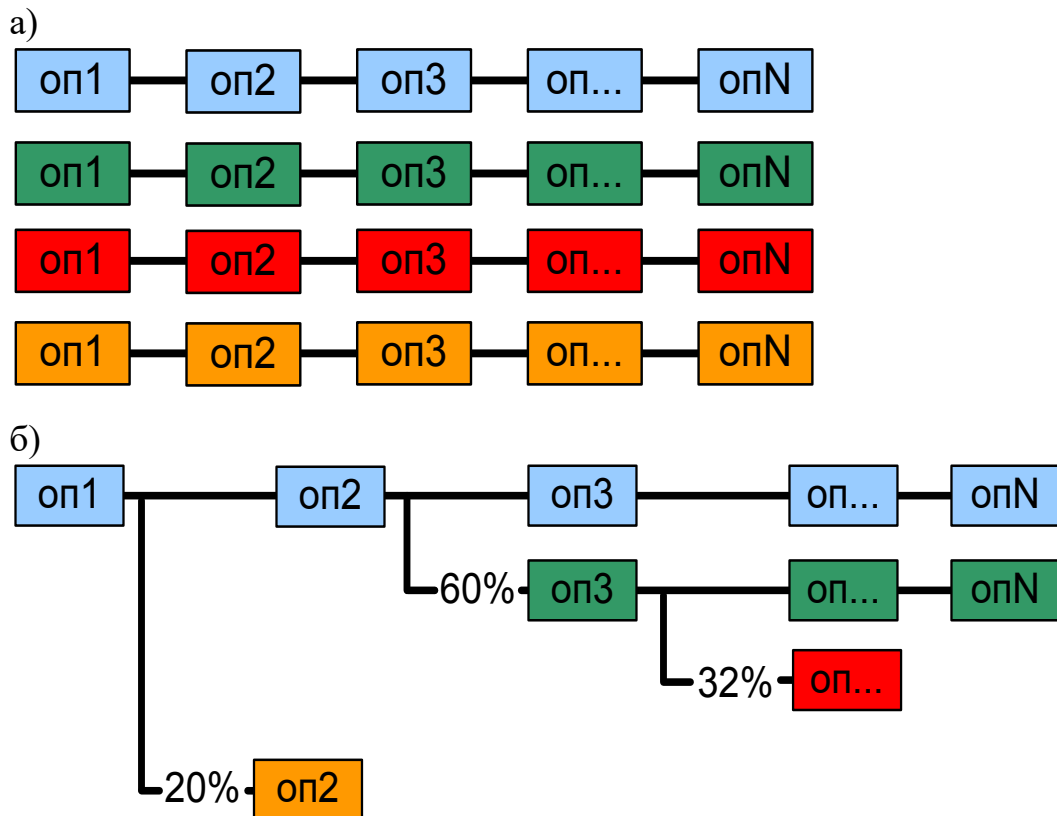


Рисунок 4.3. Варианты формирования цепочек операций

В этом случае будет получено:

- в движении по участкам по каждой струе «плавающее» количество поездов, в какие-то сутки больше того, что поступило по входу, а в какие-то сутки – меньше. В целом такая ситуация в модели будет отображать реальную неравномерность;
- сокращение количества однотипной вводимой информации и ускорение создания модели и её трансляции.

Для модели большого полигона, конечно, применим только второй подход.

Для укрупнённых моделей узлов и подробных моделей станций требуется анализ натуральных листов для выявления параметров прибывающих в расформирование поездов.

Исходя из целей исследования, устанавливается период (декада, месяц). Направления, примыкающие к транспортному объекту, рассматриваются отдельно. Поездопоток, прибывающий с направления, должен быть разделён по категориям и соответствовать определённой технологической линии транспортного объекта. По каждой категории поездопотока, проходящего рассматриваемый транспортный объект с переработкой, необходимо иметь информацию о количестве и назначениях вагонов в составе, если это касается поездов в расформирование, и данных об отцепляемых на станции вагонах, если это касается поездов с частичной переработкой. Результатом анализа натуральных листов для каждого из поездопотоков (поступающего в полную или частичную переработку) должны быть:

- обобщённые натуральные листы за период исследования с вероятностью появления каждого назначения в составе;
- времена прибытия поездов;
- средние значения величин составов в вагонах по категориям поездопотоков, минимальное и максимальное отклонение от среднего значения.

Для транзитного поездопотока достаточно информации о временах прибытия поездов и данных о средних значениях величин составов в вагонах, минимальном и максимальном отклонении от среднего значения.

Если поезда какой-то технологической цепочки обслуживаются по расписанию, то его необходимо зафиксировать.

Для операций приёма поезда фиксируется либо расписание прибытия (если существует), либо количество операций за определённый период времени.

В случае если исследуемый объект новый и собрать статистический материал не представляется возможным, то для расчёта передвижений можно воспользоваться формулами, а вместо натуральных листов использовать данные о перспективных объёмах перевозок на направлении. Анализ удобно выполнить в виде таблицы 4.1.

Таблица 4.1. Анализ составов поездов

№ поезда	Дата прибытия	Время прибытия	Станция формирования	Количество отцепов	Назначения вагонов						
					7900	8500	8000	7826	7813	...	Всего
2001	01.11	22:12	7600	18	8	15	7	4	0	...	70
2003	01.11	23:14	4300	10	4	8	2	0	1	...	71
...
2065	15.11	11:32	7600	9	1	6	3	0	2	...	68
Минимум				8	1	1	2	1	1	...	65
Среднее				12	13	12	8	4	1	...	70
Максимум				24	30	18	14	8	3	...	72
Вероятность вхождения				100	80	75	62	51	86	...	-

Так же необходимо выполнить анализ времён выполнения технологических операций. Технологические операции предназначены для отображения технологического процесса работы транспортного объекта. Под

технологической операцией понимается законченная часть технологического процесса. Любая операция характеризуется продолжительностью её выполнения, выраженной в минутах. Время выполнения операции может задаваться как в целом для операции, так и временем, приходящимся на один вагон. В ряде случаев, где время выполнения операции существенно зависит от количества обрабатываемых вагонов (например, грузовые операции, технический осмотр), это повышает качество расчётов. Продолжительность операций задаётся технологическим процессом работы станции. В случае отсутствия в технологическом процессе некоторых цепочек и операций определить длительность операции можно расчётным путем.

4.2. Создание модели

4.2.1. Схема полигона в укрупнённой модели

При укрупнённом моделировании в макромодели на схеме полигона задаются функциональные возможности перегонов, станций и узлов (включая парки и горловины, станционные пути) в составе железнодорожных направлений. Редактор схемы путевого развития должен позволять задавать:

1. Общие параметры:

- все значимые назначения для создаваемой модели полигона;
- все локомотивы по группам.

2. Границы полигона/узла.

3. Парки станций, для каждого указывается следующая информация:

- название;
- количество каналов на проследование;
- количество каналов в чётной и нечётной горловине. Канал – это

совокупность стрелок, обеспечивающая одно независимое передвижение. Эти каналы выделяются по принципу наибольшего числа параллельных передвижений. При этом горловина может полностью принадлежать одному парку или являться объединённой для нескольких парков.

Парки могут быть простыми и составными. Для последних указываются парки, входящие в группу. Для каждого парка указывается его название и вместимость в вагонах по назначениям. Задаются маневровые локомотивы по типам и их количество. На схеме полигона парки могут отображаться следующим образом (рисунки 4.4 и 4.5).

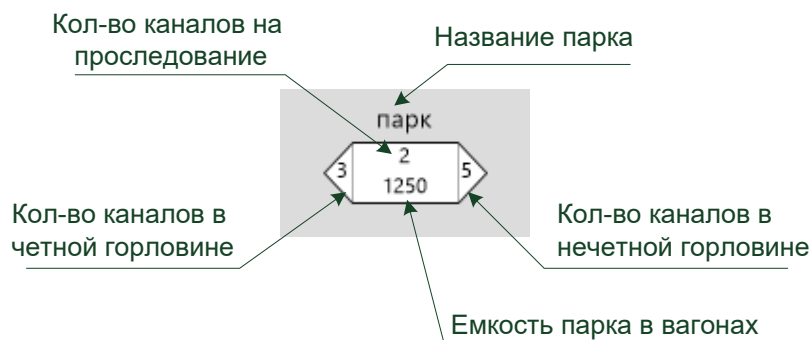


Рисунок 4.4. Пример отображения простого станционного парка в укрупнённой модели

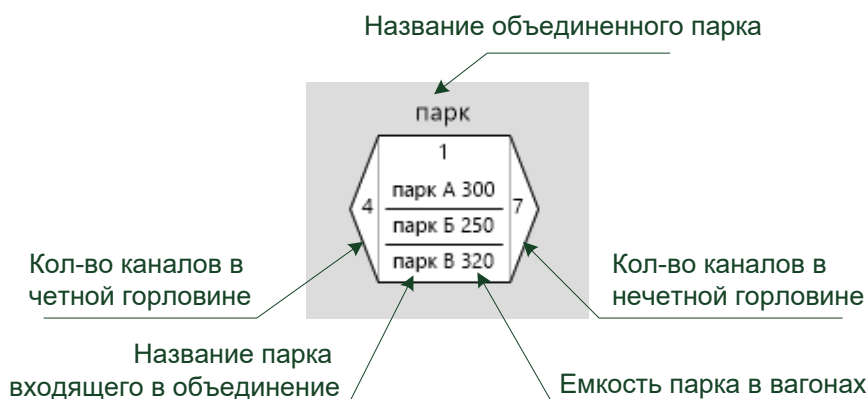


Рисунок 4.5. Пример отображения составного парка станции в макромодели

Станция на схеме полигона должна быть представлена своим названием и объединением парков и соединений, входящих в её состав. Для каждой станции задаётся следующая информация (рисунок 4.6):

- название;
- количество и типы бригад;
- внутростанционные назначения;
- парки и соединения.

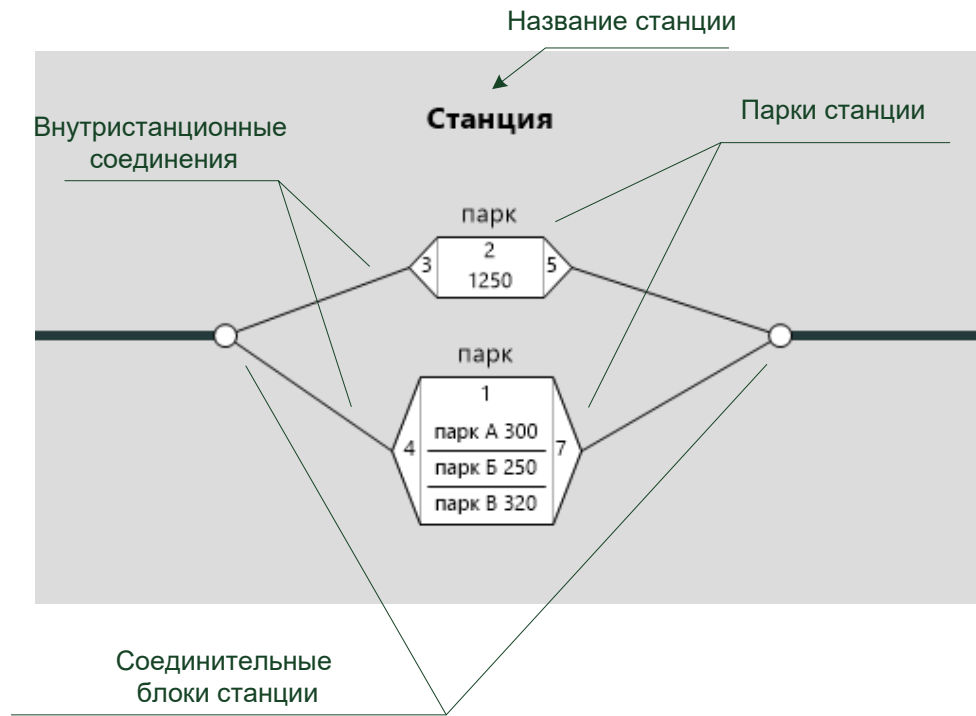


Рисунок 4.6. Пример отображения станции, состоящей из нескольких парков, в укрупнённой модели

Соединения станций и парков:

- внутристанционные (ходовые и соединительные пути между парками);

- межстанционные (перегоны)

Для соединений должны предусматриваться параметры:

- название;

- количество каналов в нечётном направлении;

- количество каналов в чётном направлении;

- количество общих каналов (работающих в обоих направлениях);

- длина;

- технологические окна:

- а) направление (нечётное/чётное/оба направления);

- б) начало (чч:мм);

- в) дни (нечётные числа/чётные числа/ежедневно/даты);

- г) продолжительность.

Станции, на которых имеется один парк – показываются в виде одного парка (рисунок 4.7-а). Станции с несколькими парками – в зависимости от их

расположения. Например, последовательно расположенные парки – двумя последовательными парками (рисунок 4.7-б). Параллельно расположенные парки с общими горловинами задаются в виде одного парка, разделенного на «подпарки» (рисунок 4.7-в). Комбинированные варианты (рисунок 4.7-г, д).

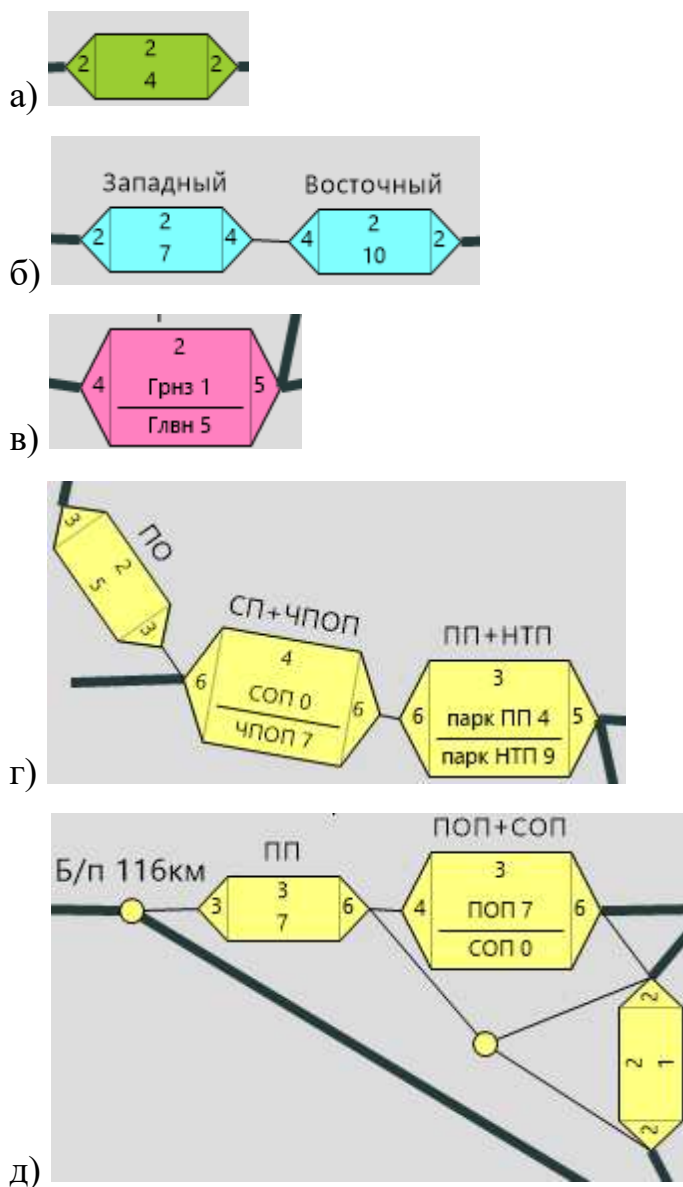


Рисунок 4.7. Схема представления в макромодели крупных станций

Последовательность действий после формирования схемы:

- для каждого парка указывается число главных (ходовых) путей, общая вместимость парка в поездах или вагонах, вместимость по

назначениям (об этом подробнее ниже), число каналов в горловинах и количество маневровых локомотивов, работающих в данном парке;

- для каждой станции задаются наименования бригад осмотровщиков, сигнальщиков, иных работников и их количество;

- для всех соединений (между парками и между станциями) задаётся количество путей;

- для перегонов дополнительно задаются технологические окна;

- для того чтобы в парках указывать вместимость по назначениям, нужно определиться, какие назначения использовать. Например, для полигона могут использоваться назначения по направлениям (нечётное, чётное) с разбивкой на длины поездов. Например, «неч-100 ваг», «неч-85 ваг», «неч-71 ваг», «неч-66 ваг». Это определяется на основе анализа статистики. Иначе необходимо использовать наименования (или коды) станций назначения поездов.

4.2.2. Технология работы полигона в укрупнённой модели

Схема технологического процесса состоит из технологических цепочек и связей между ними. Технологическая цепочка – это последовательность связанных между собой технологических операций, описывающих конкретный фрагмент технологического процесса. Составляя технологическую цепочку, необходимо принимать во внимание не только последовательность технологических операций, но и управление, и вариативность технологического процесса.

Простейшая цепочка представляет собой линейную последовательность операций (рисунок 4.8-а). Технологические цепочки могут иметь ветвления, если некоторые операции выполняются параллельно (одновременно) (рисунок 4.8-б).

Переходы от операции к операции могут быть условными или безусловными. Условные переходы позволяют реализовать диспетчерское

управление. Условия задаются с использованием следующих логических операций:

- конъюнкция (И);
- дизъюнкция (ИЛИ);
- отрицания (НЕ).

В качестве операндов могут выступать:

- вероятность в процентах;
- вагоны в парке $\{<, <=, =, >=, >\}$ конкретного числа;
- вместимость в парке $\{<, <=, =, >=, >\}$ конкретного числа;
- локомотивы на станции $\{<, <=, =, >=, >\}$ конкретного числа.

Организация циклических процессов осуществляется с использованием ссылочных переходов (рисунок 4.9).

Цепочки могут замыкаться на другие цепочки технологического процесса (рисунок 4.10).

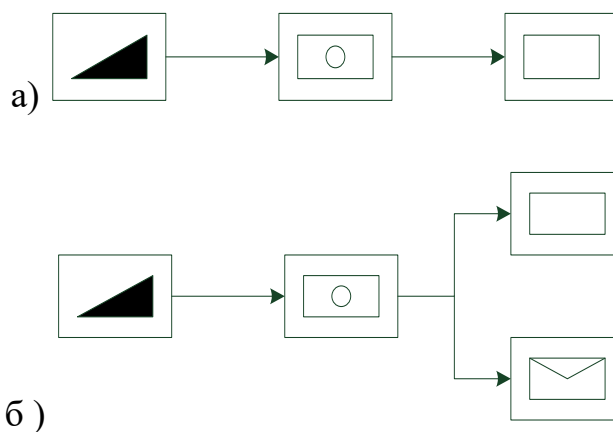


Рисунок 4.8. Формирование технологических цепочек

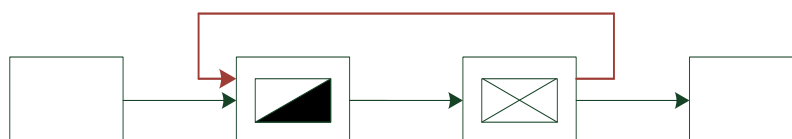


Рисунок 4.9. Ссылочный переход между операциями

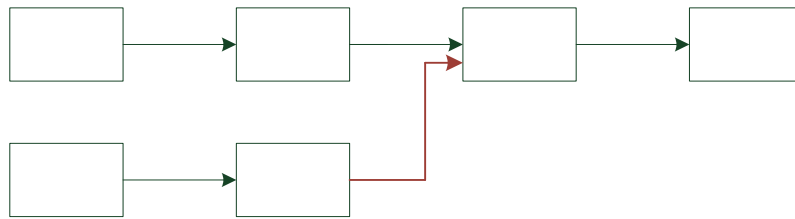


Рисунок 4.10. Соединение цепочек операций

Все операции технологического процесса делятся на два принципиальных класса:

- *операции перемещения*, к которым относятся любые операции перемещения вагонов или локомотивов по полигону или в рамках станции (например, приём, отправление, роспуск, перестановка и т.п.);

- *операции на пути*, к которым относятся операции, происходящие на пути и не требующие перемещения (например, осмотр, закрепление, экипировка, погрузка и т.п.)

Для каждой операции задаётся:

- привязка к схеме полигона. Для операций перемещения имитационной системой автоматически задаются маршруты движения, включающие парки, горловины, соединения и перегоны. Для горловин указываются используемые каналы. Для операций на пути указываются станция и парк.

- используемые ресурсы: локомотивы и бригады;

- обрабатываемые вагоны (вагоны каких назначений участвуют в обработке);

- результат обработки (смена назначения вагонов);

- продолжительность операции. Для операций перемещения указывается время хода по горловинам, по перегонам и паркам. Для операций на пути указывается длительность выполнения операции в целом.

Технология задается в следующей последовательности.

1. Формируются цепочки пассажирских поездов. Наиболее удобный принцип такой: на одном участке – одна цепочка для всех поездов одного направления. В операциях задаются маршруты на схеме (как правило, одинаковы для всех поездов данного направления) и времена по элементам для одного поезда (как правило, для разных поездов времена хода разные). Операции перемещения разделяются операциями стоянок на станциях (рисунок 4.11).

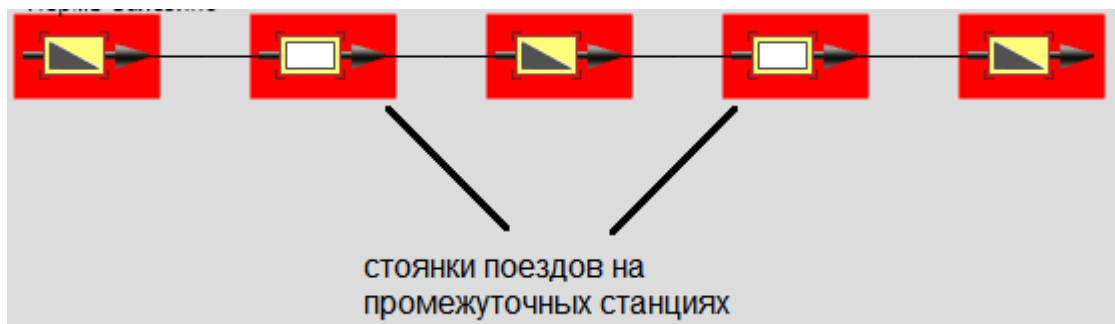


Рисунок 4.11. Схема операции «перемещение»

Затем, используя расписание, задаются нитки остальных поездов этого участка с соответствующими временами занятия элементов. Для пассажирских операций задаются приоритет и глубина его действия.

2. Цепочки грузовых поездов для каждого назначения (по направлению и длине) формируются отдельно. В случае если поезд какой-либо цепочки не может останавливаться на конкретной станции полигона (ввиду отсутствия путей необходимой длины), то операция задаётся между станциями, допустимыми для стоянки. На технических станциях, в зависимости от целей исследования, формируются операции с различной степенью детализации. К примеру, весь технологический процесс от формирования поезда до отправления (в этом случае получится отследить задержки и занятость бригад и горловин), либо укрупнённая операция среднего времени нахождения поезда на станции (для упрощения модели в отдельных случаях).

3. Для каждой первой операции технологической цепочки задаётся либо конкретное расписание появления (в соответствии с нормативным графиком движения поездов) или количество поездов за период времени для их последующего распределения по случайному закону (в случае, если цель выполняемой работы – построение нормативного графика движения поездов, либо работа выполняется на перспективные размеры движения).

4. Для операций технологических цепочек, поезда в которых имеют приоритет перед другими грузовыми поездами, необходимо его задать (вместе с глубиной – длительностью действия).

5. На последнем шаге задаются различные условия, с помощью которых имитируется диспетчерское управление (возможность применения гибкой специализации путей, планирования очередности выполнения операций и т.д.). Это могут быть проверки количества поездов и вагонов на отдельных станциях, проверки свободной вместимости парков и станций, наличия или отсутствия локомотивов определённой группы и т.д.

4.3. Проведение экспериментов

Результат одного расчёта на имитационной модели железнодорожной станции или полигона, как правило, не является оптимальным. Это связано с самой природой имитационного моделирования. Результаты каждого расчёта зависят не только от выбора параметров модели, но и от случайных процессов. При проведении экспериментов всегда нужно проводить серию расчётов (не менее 10) и анализировать средние значения.

Оптимизация структуры и технологии работы железнодорожных станций и линий с использованием автоматизированных имитационных моделей должна представлять собой итерационную последовательность расчётов, приводящую к минимуму или максимуму некоторого функционала. Эксперименты с моделью сложной системы достаточно трудоёмки, требуют значительных затрат машинного времени, а функционал задан обычно в пространстве большой размерности, поэтому полный перебор вариантов

здесь, как правило, невозможен. Поэтому необходимо использовать некоторые методы планирования экспериментов, многократно сужающие множество вариантов и ускоряющие процесс оптимизации.

Многократно уменьшить число вариантов расчёта для достижения наилучших результатов позволяют особенности построения автоматизированной модели и специальный метод ускорения оптимизации – «имитационный спуск». Суть метода заключается в том, что технолог, анализируя уровень и причины задержек, выявляет узкие места. Далее он планирует такие мероприятия, которые направлены на уменьшение этих задержек. Устранив таким образом одно узкое место, технолог выявляет следующее и затем находит мероприятия для его ликвидации. Такой способ применим как для оптимизации технологического процесса, так и для рационализации инфраструктуры.

Важно отметить, что не следует в одном эксперименте сразу менять несколько ключевых параметров. Такие изменения могут дать взаимоисключающий эффект. Поэтому необходимо вначале оценить влияние каждого параметра в отдельности, а уже затем проверять комплексные варианты.

Определение «узких мест» структуры и технологии работы

По результатам моделирования выполняется структурно-технологическое исследование, задачей которого является определение того, как и в какой мере взаимодействие структуры и технологии влияет на пропускную и перерабатывающую способность, время нахождения вагонов, степень и характер использования технических средств.

Предваряет исследование оценка работоспособности линии. Первой оценкой должно быть – справляется ли полигон с заданной работой и есть ли резервы пропускной/перерабатывающей способности. Так же необходимо оценить общий уровень задержек на линии. Главное в структурном анализе – определить «узкие места» структуры, то есть элементы, вызывающие наибольшие задержки. Именно эти элементы в первую очередь замедляют

технологический процесс переработки потоков. При этом уровень загрузки не всегда соответствует величине задержек из-за занятости. Структура преобразует потоки таким образом, что к одному элементу они подходят более равномерно, а к другому – менее. Всплески потока вызывают всплески задержек.

Технологический анализ преследует цель детальной оценки технологических проблем, в первую очередь задержек при выполнении операций и работы локомотивов. Технологический анализ выявляет проблемные места технологии. На них нужно обращать внимание в первую очередь.

Структурно-технологический анализ ставит задачей детальный анализ структуры и технологии в их взаимодействии. Анализ предназначен для изучения тонких аспектов взаимодействия структуры и технологии. Важной информацией для этого является разложение задержек при выполнении операции по элементам структуры и обратное пооперационное – из-за путей и стрелок. Это позволит выстроить гармонично взаимодействующие структуру и технологию.

Изменение структуры полигона

На основе анализа узких мест принимается решение о том, какие элементы полигона требуют развития. Далее появляются варианты – реконструкция станций с удлинением существующих и строительством новых путей, строительство дополнительных путей на перегонах и новых отдельных пунктов, развитие систем СЦБ, усиление энергоснабжения и др.

Сравнение вариантов выполняется следующим образом (рисунок 4.12). Для каждого варианта создаётся отдельная (либо корректируется исходная) имитационная модель. Между собой модели отличаются схемой путевого развития и/или технологией работы, но входящий поток для каждого варианта должен быть одинаков. После выполнения экспериментов по каждому варианту модели имитационная система формирует набор показателей.

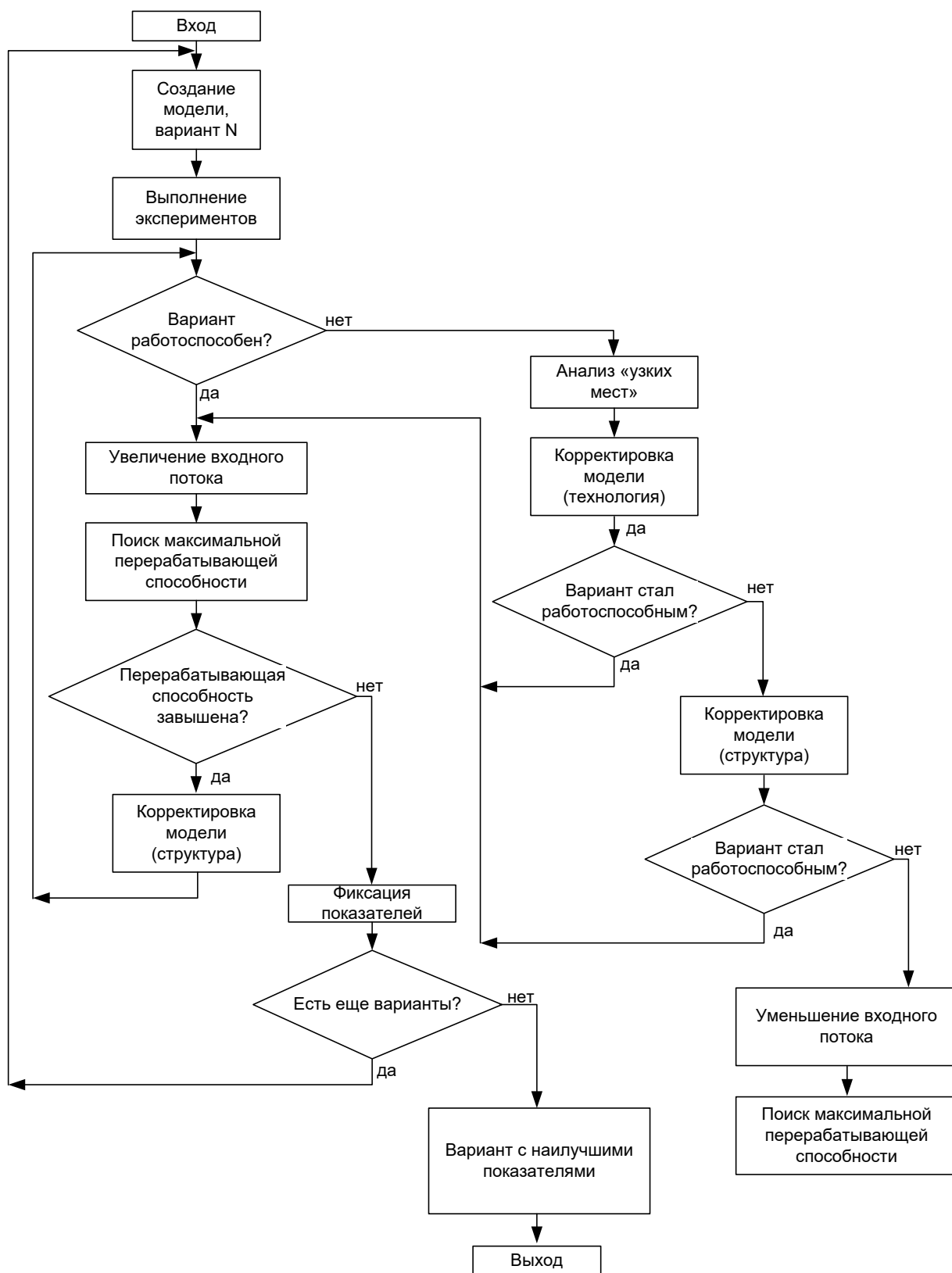


Рисунок 4.12. Алгоритм выбора рационального варианта проекта развития

В первую очередь выявляются работоспособные и неработоспособные варианты, исходя из того, переработан ли в очередном варианте модели

потребный прогнозируемый поездо- и вагонопоток. При этом не следует сразу исключать те варианты, которые не обеспечивают требуемую пропускную и перерабатывающую способность. Необходимо провести анализ «узких мест» (по наибольшим возникающим задержкам) и попробовать их ликвидировать.

Уменьшение задержек и ликвидация «узких мест» возможны за счёт изменения технологии работы (перераспределение работы между парками одной станции или между станциями узла, участка, полигона) или за счёт ресурсов (маневровых локомотивов, бригад осмотрщиков, сигналистов и т.п.).

Если технологические мероприятия не позволяют устранить «узкое место» – следует внести изменения в путевое развитие. Решение принимается в зависимости от того, что является «узким местом». Если это пути парков, то надо увеличить их количество. Если это стрелочные секции в горловинах – необходимо увеличить параллельность выполняемых передвижений (секционировать горловину).

Для всех работоспособных вариантов при одинаковом входном потоке выявляются «узкие места». Их устранение позволяет технологически улучшить первоначальные варианты. Все изменения в первоначальных вариантах, давшие положительный технологический эффект, необходимо в дальнейшем рассматривать отдельными дополнительными вариантами.

В случае, когда устранить «узкие места» в неработоспособном варианте не удаётся, то для него дополнительным экспериментом может быть определён предел перерабатывающей способности. Однако сравнивать его качественные показатели с работоспособными вариантами становится некорректно.

Некоторые варианты могут иметь избыточные резервы пропускной и перерабатывающей способности в целом или по отдельным элементам. В таком случае целесообразно рассмотреть вариант сокращения путевого

развития или иных ресурсов в целях экономии капитальных вложений и эксплуатационных расходов.

В случае поэтапного роста потоков целесообразно предусмотреть и поэтапное развитие объекта. Тогда на каждый этап создаётся свой вариант (варианты) имитационной модели, отличающиеся структурой и потоками. Разные варианты внутри одного этапа следует так же сравнивать между собой при одинаковом входном потоке, но каждый из них должен обеспечивать переработку прогнозируемого потока на данном этапе.

Поэтапная очерёдность развития объекта определяется перерабатывающей способностью каждого варианта, которая рассчитывается на имитационной модели следующим образом. На работоспособном варианте модели увеличивается входной поток до тех пор, пока он будет устойчиво перерабатываться в каждом эксперименте. После достижения границы работоспособности необходимо снова рассмотреть «узкие места» и попытаться их устранить порядком, который был указан ранее. В случае если попытки устранить «узкие места» не дают результата – перерабатывающая способность варианта считается исчерпанной.

Таким образом, в результате выполнения полного цикла расчётов будут исключены неработоспособные варианты, а из оставшихся – получен вариант с наилучшими технологическими показателями. Как правило, лучшим считается вариант пропуска наибольших потоков при меньшем количестве ресурсов (путей, локомотивов и т.д.) и с минимальными потерями (простои, задержки и т.п.) Однако заказчик может устанавливать другую приоритетность критериев и иные ограничения при выборе вариантов (например, задать ограничение путевого развития на отдельных станциях).

Если по заданию заказчика рассчитывалось несколько принципиально различных вариантов и по каждому был получен в итоге рациональный вариант развития, отвечающий заданным критериям (по пропускной способности, размерам простоев и т.д.), то выбор между этими вариантами

должен в дальнейшем производиться по экономическим критериям в соответствии с действующими методиками [7, 8].

4.4. Апробация имитационной системы

С помощью системы ИМЕТРА построена модель полигона Кузбасс – Северо-запад, расположенного между станциями Алтайская и Лужская (с параллельными ходами Входная – Тюмень – Екатеринбург и Входная – Курган – Екатеринбург) включающая 283 станции, из которых 25 станций смены локомотивов и/или локомотивных бригад. Общая протяженность полигона составляет 4699 км [55, 56, 73, 96].

4.4.1 Исходные данные

Для построения модели использованы:

- схематические планы станций;
- выписки из ТРА станций о специализации путей и их вместимости, расположении сортировочных, пассажирских и грузовых устройств, локомотивного и вагонного депо и т.д.;
- нормативные графики движения поездов по участкам полигона;
- информация о гарантийных плечах безопасного следования поездов и станциях выполнения технического обслуживания;
- технологические процессы работы технических станций полигона;
- данные о поездопотоках на полигоне – назначения струй, количество поездов, их длина и вес.

Для верификации модели использованы данные о фактических участковых скоростях грузовых поездов, среднем простое поездов по станциям, среднесуточному пробегу поездных локомотивов.

4.4.2 Структура и технология работы полигона

В модели заданы все станции полигона с указанием парков, их функциональной вместимости, количества каналов (главных и ходовых

путей), количества каналов в горловинах (число параллельных передвижений). Для парков задано количество маневровых локомотивов, бригад ПТО. Для станций полигона заданы поездные локомотивы, находящиеся там на начало расчета. Всего в модели полигона более 16900 структурных элементов.

Технология работы показана следующим образом. Заданы нитки пассажирских и пригородных поездов в соответствии с графиком движения. Эти поезда пропускаются с приоритетом с целью исключения их задержек. Заданы технологические окна в соответствии с графиком движения. Окна в модели предоставляются через день. Заданы цепочки грузовых поездов с дифференциацией по длине (для учета наличия путей возможной стоянки), начиная с операций формирования поезда и заканчивая расформированием. Каждая цепочка включает следующие типы операций:

- выставка сформированного поезда в парк отправления;
- закрепление и снятие закрепления;
- отцепка и уборка маневрового локомотива, подача и прицепка;
- технический и коммерческий осмотры;
- расформирование;
- уборка и подача поездного локомотива;
- опробование тормозов;
- следование по перегонам, станциям и горловинам между станциями

возможной стоянки.

Всего в модели полигона 6092 операции. Для операций заданы условия выполнения в соответствии с диспетчерским управлением.

4.4.3 Проведение расчетов

Ввиду большой протяженности полигона необходимо выполнять расчет не менее чем на 8 последовательных суток. Первые 3 суток отбрасываются из результатов из-за того, что поезд, проходящий весь полигон от начала и до конца сделает это только к концу 4 суток.

Число выполненных технологических операций за время расчета составляет более 279300.

4.4.4 Верификация модели

Результаты, выдаваемые моделью, являются достоверными. Это легко проверить с помощью выдаваемого графика движения поездов, каждая нитка которого сквозная на всем маршруте следования, в том числе с указанием стоянок на станциях, величине и причинах задержек.

Участковые скорости, рассчитанные моделью, практически совпадают с реальными данными (рисунок 4.13).

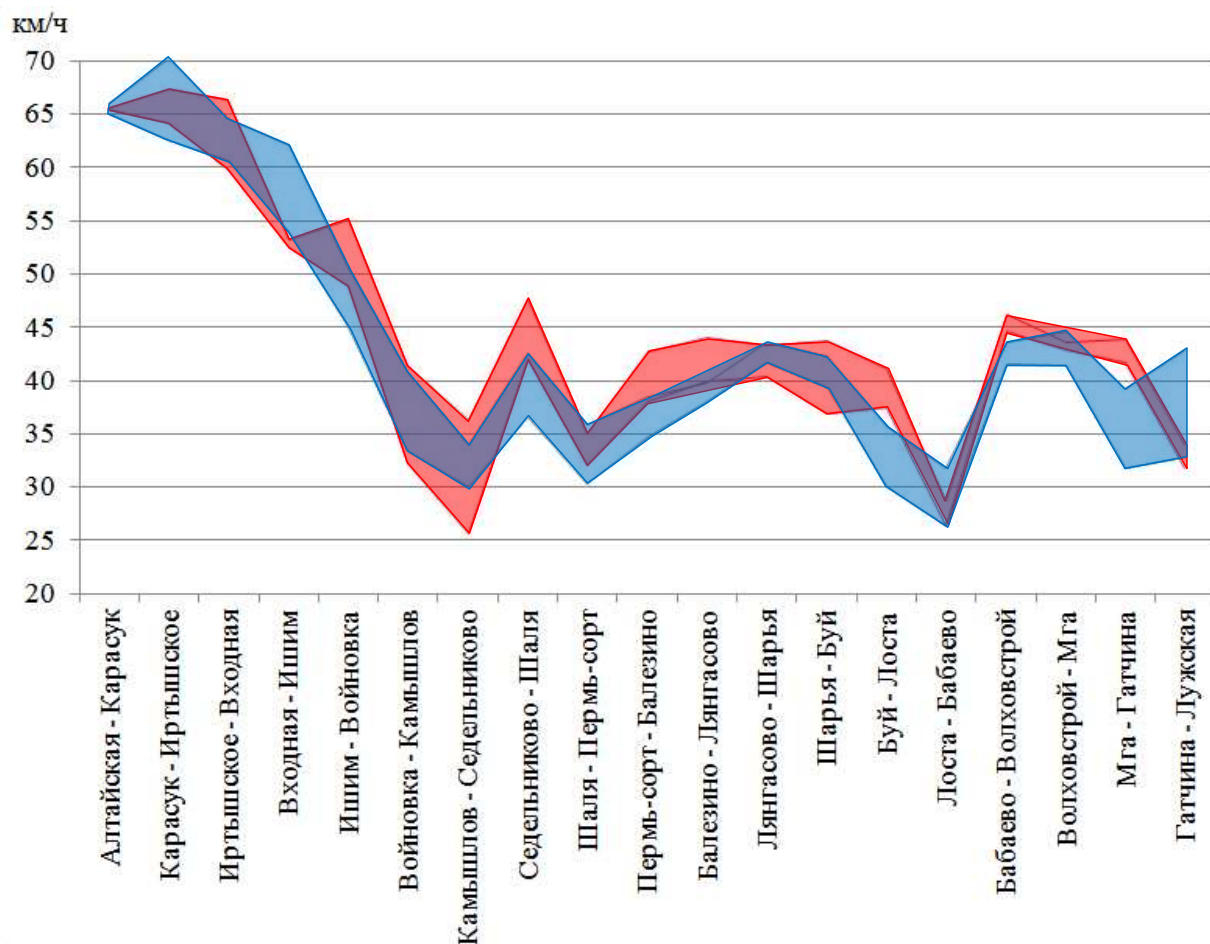


Рисунок 4.13. Участковые скорости на полигоне
(синим – факт, красным – модель)

4.4.5 Выдаваемые результаты

Выдаваемые результаты позволяют оценить работу полигона в целом и исследовать влияние отдельных факторов. По результатам экспериментов выдаются все необходимые для анализа показатели работы. Среди них: баланс по входам и выходам полигона (таблица 4.2) и характер пропуска поездопотока по полигону (таблица 4.3).

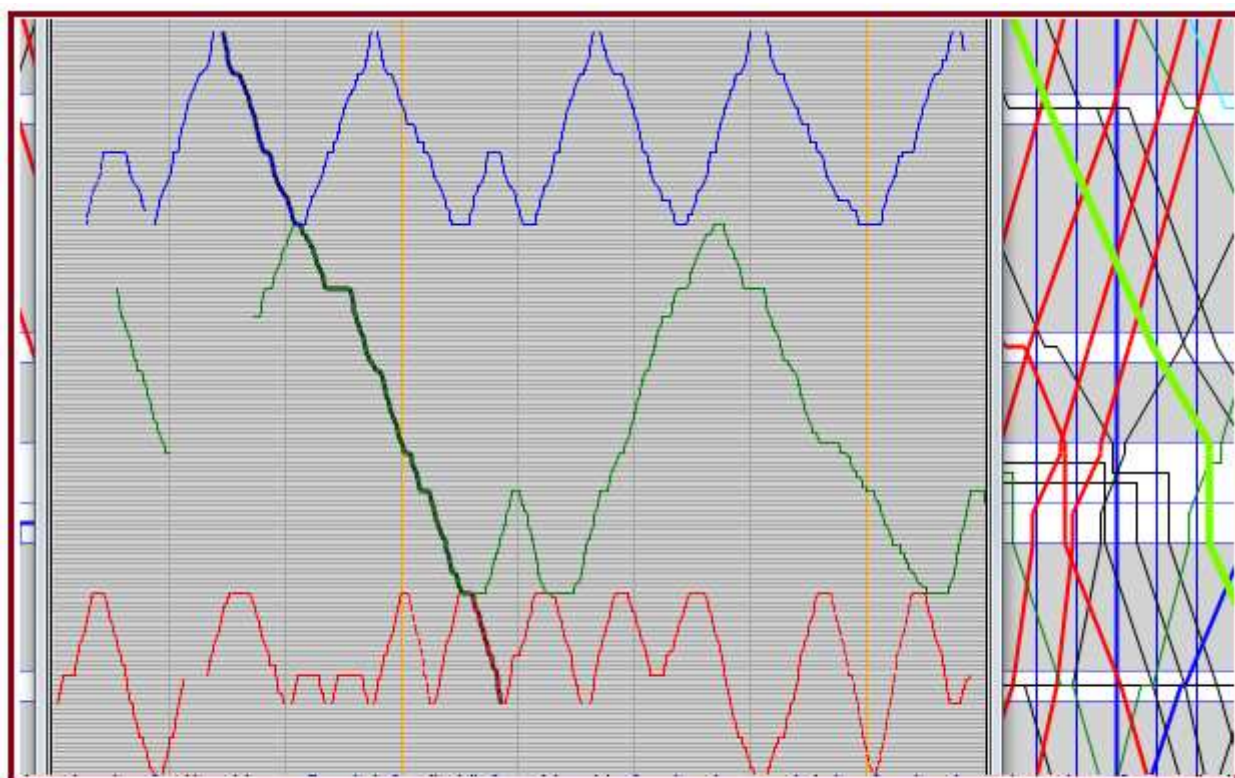
Таблица 4.2. Среднесуточный поездопоток полигона

Прибыло / Отправлено по системе	
параметр	кол-во
Прибыло поездов в систему	540.5
Отправлено поездов из системы	549.2
Количество непринятых поездов в систему	0

Таблица 4.3. Задержки поездов по категориям

подпроцесс	графически	в сутки	кол-во	на операцию
НЕЧ- 71 ваг		1191:51	7091,6	0:10
ЧЕТ - 71 ваг		1124:51	7405,6	0:09
НЕЧ- 66 ваг		914:57	5068,7	0:10
ЧЕТ - 66 ваг		315:49	1756,6	0:10
ЧЕТ-58 ваг		297:00	1382,1	0:12
ЧЕТ -100 ваг		250:40	1587,1	0:09
НЕЧ-58 ваг		235:18	837,4	0:16
НЕЧ -100 ваг		57:21	266,9	0:12
НЕЧ- 85 ваг		51:48	275	0:11
локомотивы резервом		13:20	44,9	0:17
ЧЕТ пригород		0:18	32	0:01
НЕЧ пассажир		0:15	25	0:01
НЕЧ пригород		0:04	20	0:01
ЧЕТ пассажир		0:00	0	0:00

Выдается фактический график движения поездов и график работы (оборота) локомотивов (рисунок 4.14). Доступна детальная информация по каждой нитке графика (таблица 4.4).



Название	Полн. зан.	Полезн. зан.
Лок. 2 –Октябрьский полигон	87:16(90%)	69:54(72%)
Лок. 25 ~Горьковско-северный	89:36(93%)	57:36(60%)
Лок. 13 –Западный уральский	88:39(92%)	64:41(67%)

Рисунок 4.14. Исполненный график движения поездов с параметрами локомотивного обслуживания

Таблица 4.4. Параметры движения грузового поезда

Станция	Прибытие	Отправление	Стоянка, мин.
Б+С/Алтайская/		d4 11:00	
Б+С/Алтайская/		d4 11:00	
/Боровиха/	d4 14:36	d4 14:48	00:12
/Сузун/	d4 16:45	d4 17:10	00:25
/Тараданово/	d4 17:31	d4 17:45	00:14
/Плотинная/	d4 18:02	d4 18:04	00:02
/Карасук-3/	d4 21:41	d4 22:32	00:51
А/Иртышское/	d5 01:30	d5 02:55	01:25
Карбышево-1	d5 05:03		

Время хода (ч:м) = 18:03. Суммарная стоянка (ч:м) = 02:40.
 Дистанция = 806,30 км. Техническая скорость = 52,41 км/ч. Участковая скорость = 44,67 км/ч
 Суммарная задержка (ч:м) = 03:46. Задержка из-за локомотивов (ч:м) = 00:00

По графикам автоматически определяются участковые и технические скорости (таблица 4.5). Маршрутные скорости по дорогам позволяют судить об уровне затруднений в пропуске поездопотока (рисунок 4.15).

Таблица 4.5. Скорости движения поездов по участкам

Скорость хода, км/ч				
Участок	Техническая (неч.)	Техническая (чет.)	Участковая (неч.)	Участковая (чет.)
Алтайская - Карасук	67,81	73,96	65,58	70,15
Карасук - Иртышское	73,17	71,68	68,09	70,71
Иртышское - Входная	74,55	67,56	60,87	64,85
Входная - Ишим	64,56	68,08	53,25	55,72
Ишим - Войновка	64,25	66,01	54,50	52,53
Войновка - Камышлов	55,04	58,39	44,56	45,20
Камышлов - Седельник	43,58	46,07	29,21	38,66
Седельниково - Шала	54,90	55,73	45,87	48,38
Шала - Пермь-сорт	50,56	52,80	37,72	45,75
Пермь-сорт - Балезино	47,03	56,51	41,80	48,72
Балезино - Лянгасово	55,66	56,12	47,66	47,94

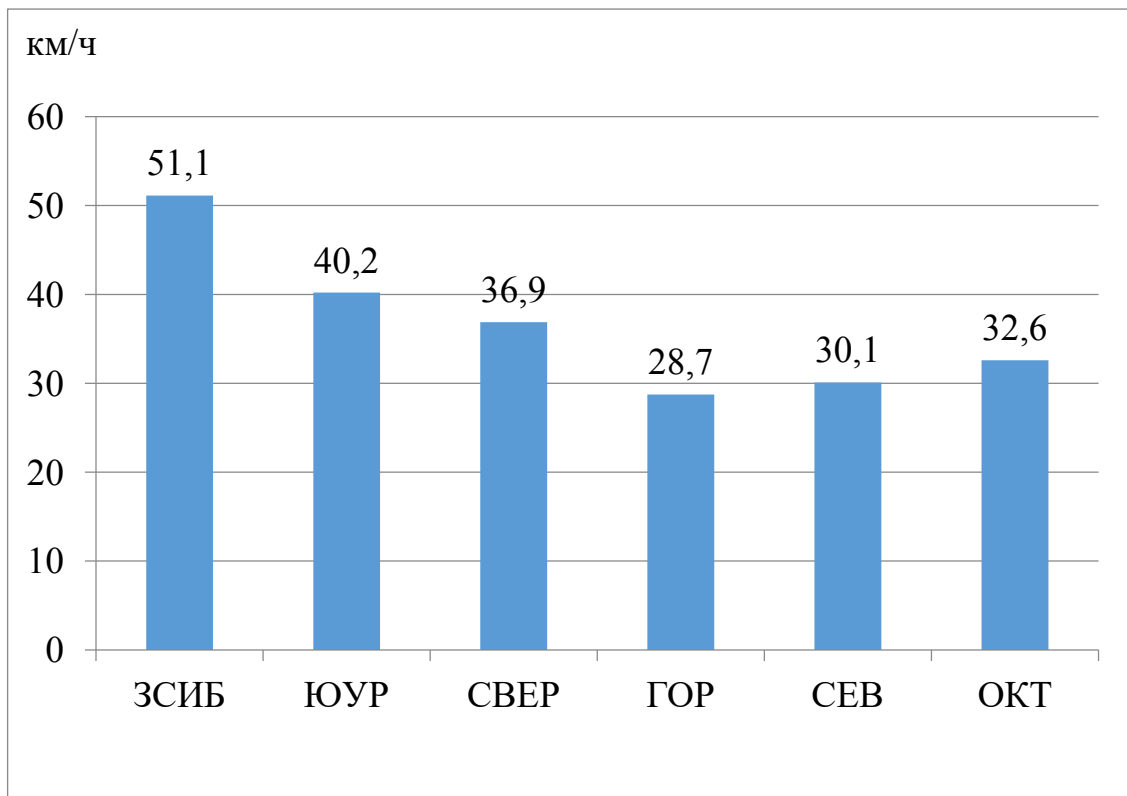


Рисунок 4.15. Маршрутные скорости по дорогам

Для наглядности на схеме полигона показаны станции и участки, вызывающие задержки поездов (рисунок 4.16).

Например, недостаток путей приема на ст. Бабаево приводит к задержкам поездов на промежуточных станциях (рисунок 4.17). На графике движения, который выдает модель и который является удобным инструментом анализа, видно, в каких нестандартных условиях работают промежуточные станции (рисунок 4.18). Помимо выполнения местной работы, организации обгона и скрещения поездов, многие из них выполняют роль распределенного бункера на участке, регулируя ритм поступления потока на техническую станцию. Тем самым, проявляется двойственная сущность дуплекса – участок работает как канал (на пропуск потока) и в то же время как бункер (останавливая часть потока).



в среднем минут на поезд

(из-за парков – 43,5 мин, из-за горловин 18,6 мин, из-за участка 8,3 мин)

Рисунок 4.16. Задержки на схеме полигона

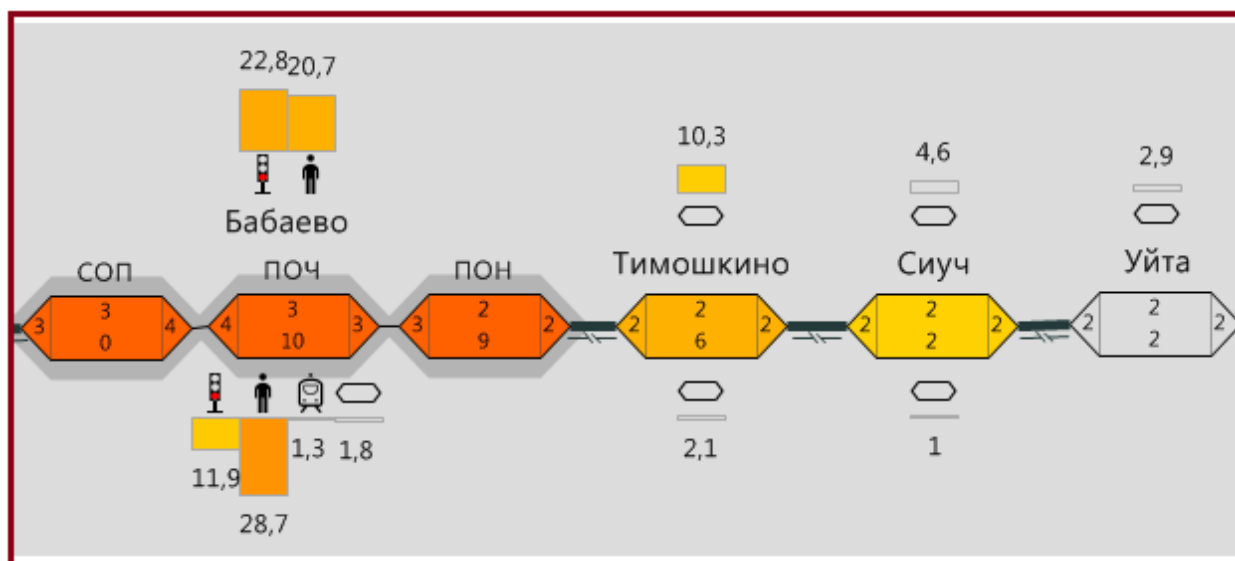


Рисунок 4.17. Задержки поездов на станциях

Модель позволяет наглядно увидеть, по каким причинам составы и поезда простаивают на технических станциях (рисунок 4.19). Задержки распределяются:

- из-за бригад по обработке составов – 56,5 мин и 26,9 мин;
- из-за отсутствия локомотива – 2,2 мин;
- из-за невозможности отправить готовый поезд – 29,8 мин и 27,7 мин;
- в том числе из-за нехватки путей на следующей технической станции – 12,5 мин и 10,5 мин.

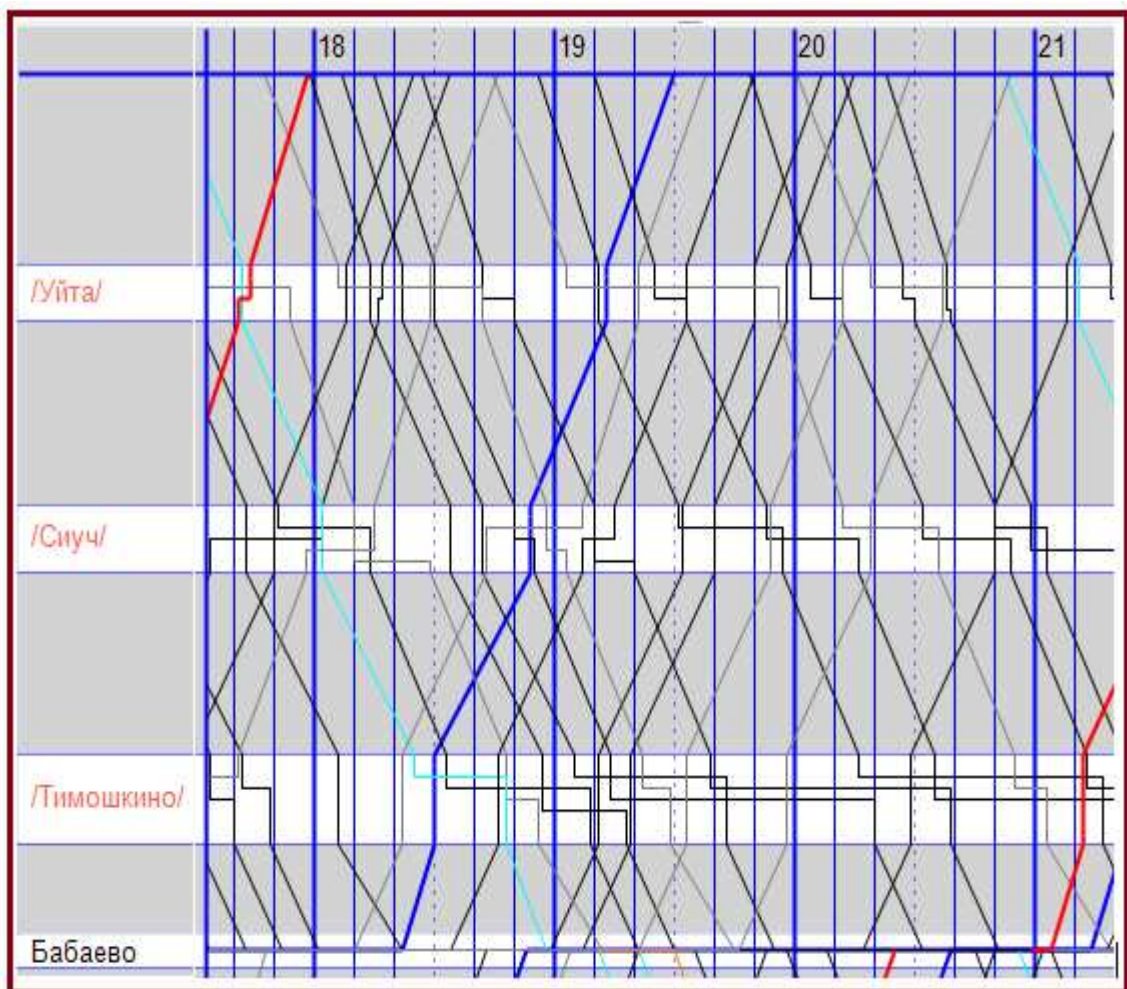
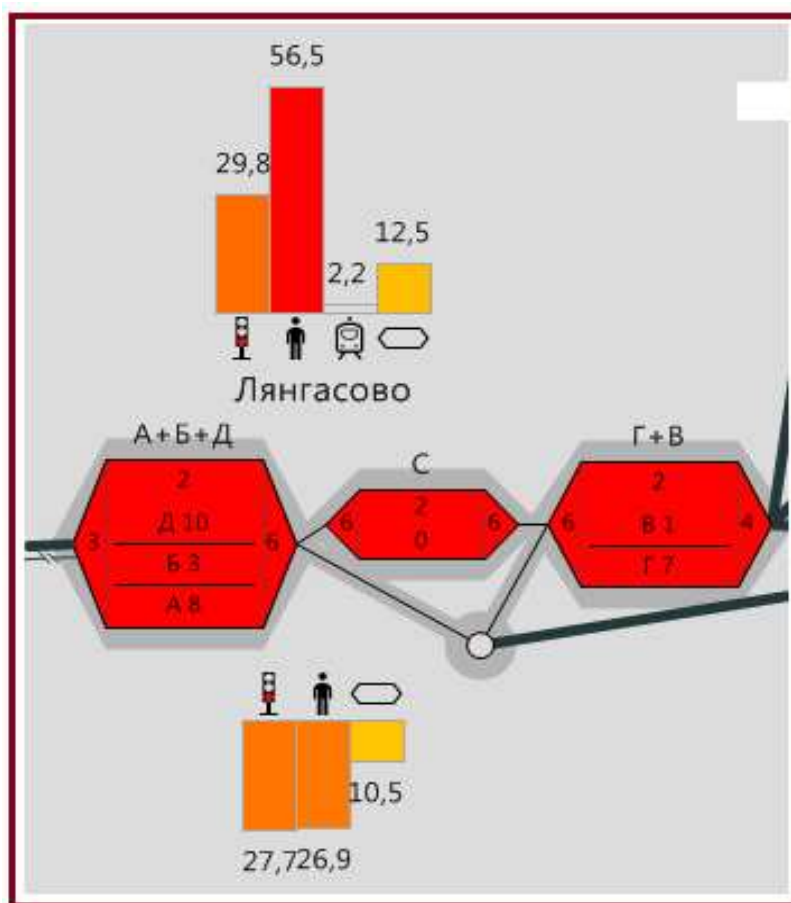


Рисунок 4.18. Простой поездов на промежуточных станциях

Доступно так же динамическое воспроизведение эксперимента, что позволяет наглядно увидеть процесс передвижения вагоно и поездопотоков (рисунок 4.20).



(в среднем минут на поезд, вверху в одном направлении, внизу – в другом)

Рисунок 4.19. Задержки поездов на технических станциях

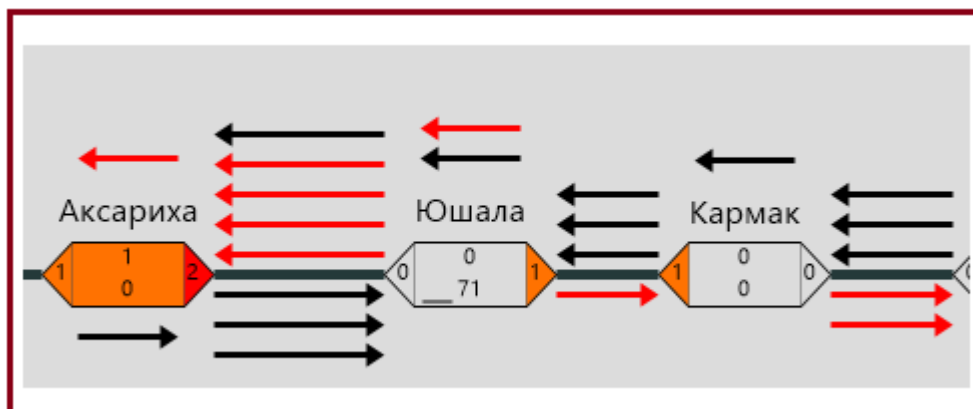


Рисунок 4.20. Динамика процесса продвижения поездов (фрагмент)

Задержки из-за локомотивов отличаются на разных участках (рисунок 4.21). А полезное использование их не превышает 50% общего времени использования (рисунок 4.22). Такой подробный анализ по всему полигону невозможно получить без имитационной модели.

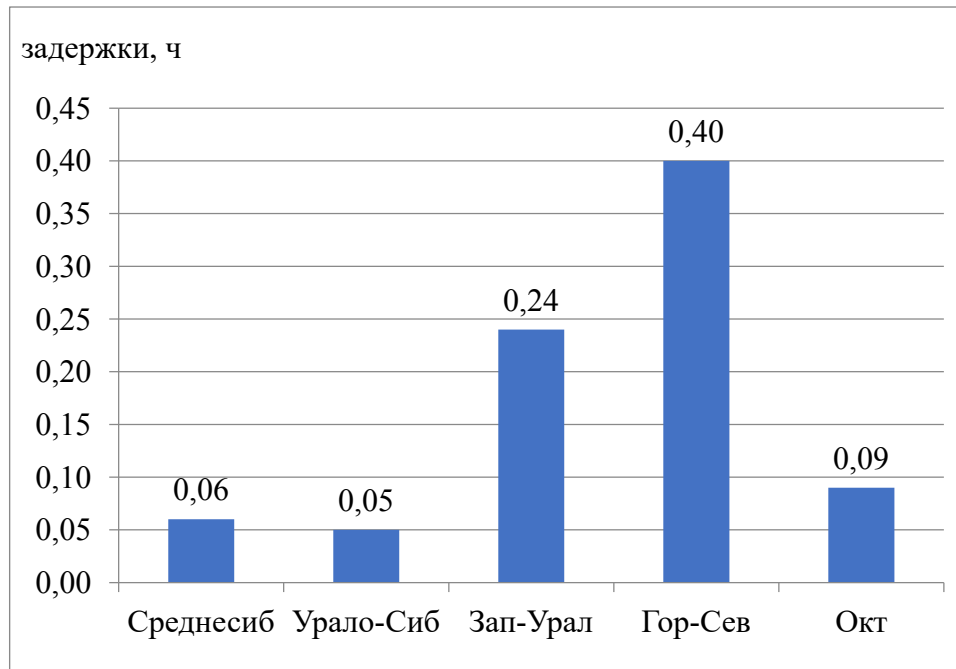


Рисунок 4.21. Задержки поездов из-за локомотивов (в среднем на один поезд)

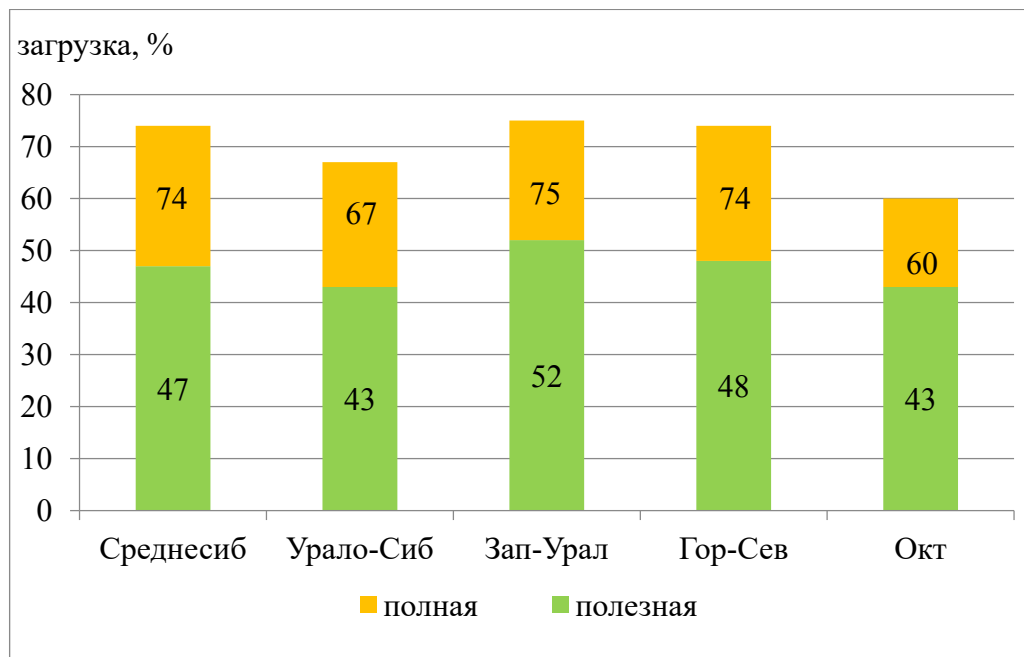


Рисунок 4.22. Полная и полезная занятость локомотивов

Проведенный сравнительный анализ реальных показателей работы полигона и рассчитанных моделью позволяет сделать вывод о корректности метода расчета и имитационной системы ИМЕТРА. В дальнейшем на этой модели проведем эксперименты по оптимизации полигона.

4.5. Результаты исследования полигона

Как видно из рисунка 4.15, наибольшие затруднения возникают на Горьковской, Северной и Октябрьской дорогах. Наименьшие – на Западно-Сибирской. Диаграмма сравнения участковой скорости и задержек поездов на участках подтверждает эту взаимосвязь (рисунок 4.23).

По участкам Алтайская – Карасук – Иртышское – Входная пропускается небольшое количество пассажирских поездов (4-5 пар) и 55-60 пар грузовых. Пересечений поездопотоков и его переработки (в основной массе потока) не происходит, поэтому поезда пропускаются свободно с высокими участковыми скоростями. Смена локомотива по станции Иртышское (с переменного на постоянный ток) так же не вызывает задержек (рисунок 4.24).

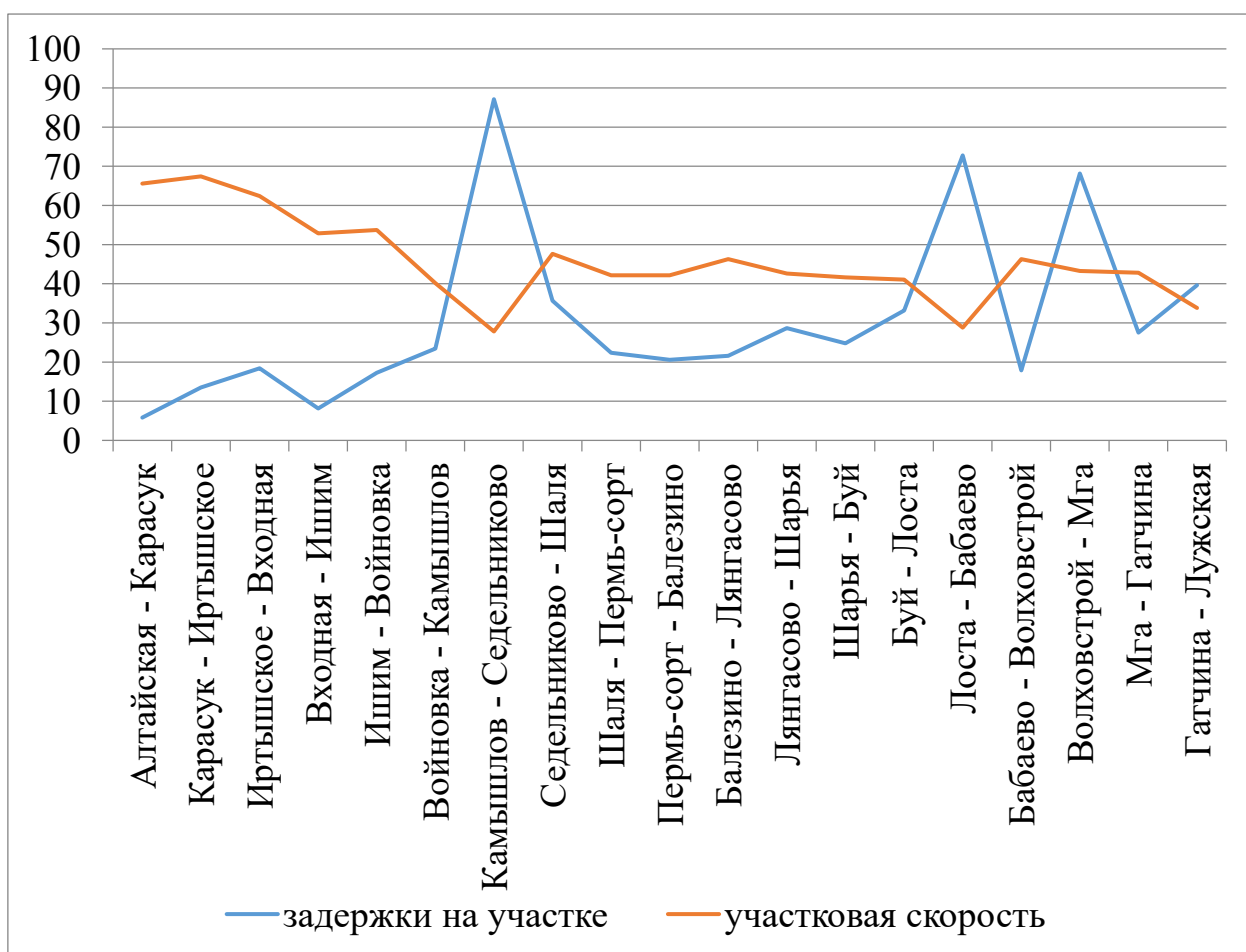


Рисунок 4.23. Сравнение участковой скорости и задержек на участке
(размерность задержек – мин/поездо-км., умноженное на 100)

название	графически	задержка из-за
из-за участков		5,2
из-за бригад		0,5

Рисунок 4.24. Задержки на станции Иртышское

По мере приближения к сортировочной станции Входная участковая скорость поездов слегка снижается. На станции возникают несколько большие задержки в ожидании ПТО, однако далее поток свободно разделяется на две параллельных линии (рисунок 4.25).

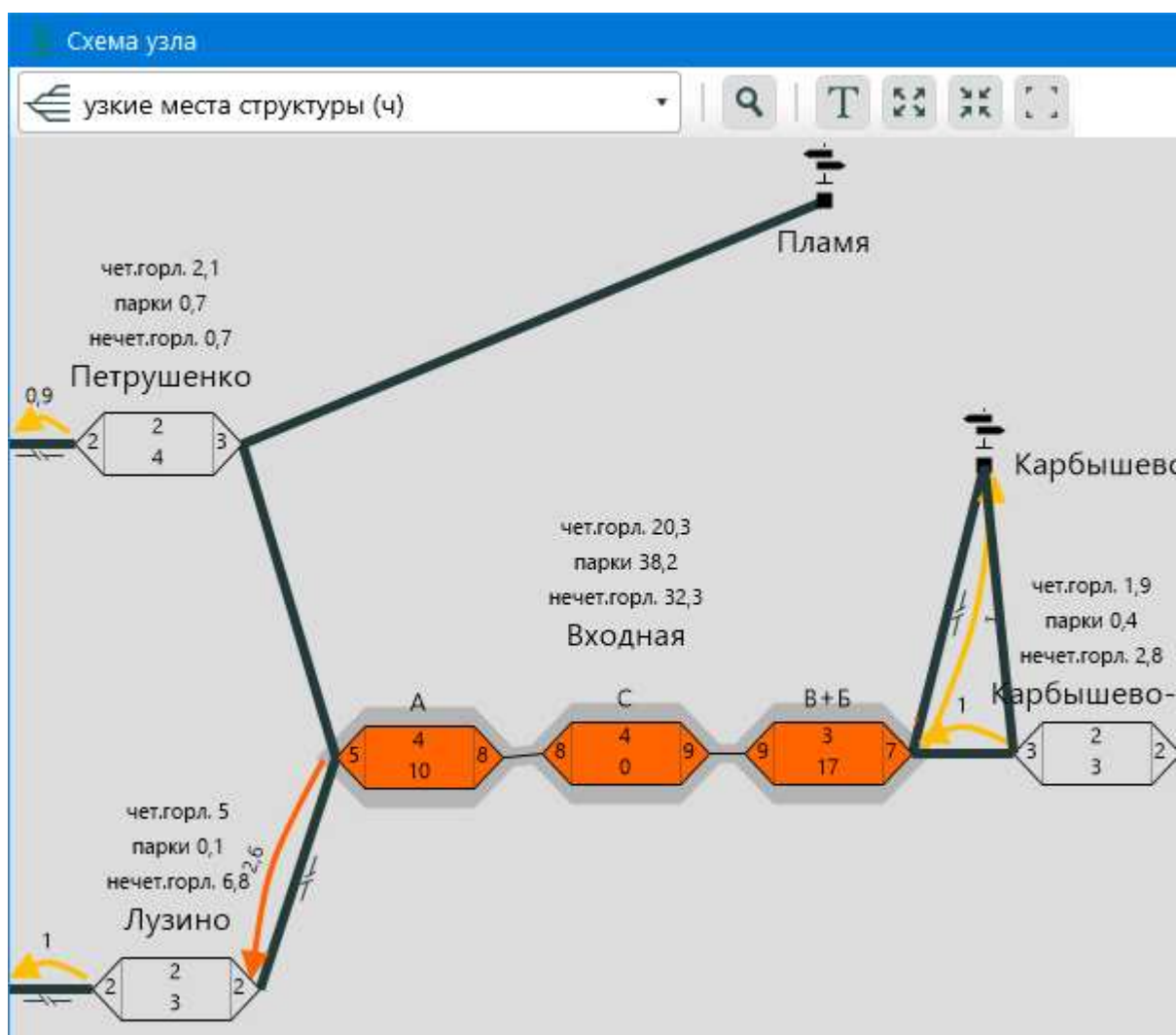


Рисунок 4.25. Задержки на станции Входная

Далее на участках Входная – Ишим – Войновка количество пассажирских поездов увеличивается (20-22 пары), но при этом меньше становится поток грузовых (36-42 пары). Поэтому движение осуществляется свободно.

Параллельная линия Входная – Петропавловск – Курган загружена значительно больше (15 пар пассажирских и 80-85 пар грузовых) (рисунок 4.26). Задержки на участках не велики из-за небольшой разницы скоростей хода пассажирских и грузовых поездов (практически полностью параллельный график). После Кургана большая часть поездов следует в направлении Челябинска, а на линии Курган – Каменск-Уральский поток пропускается свободно.

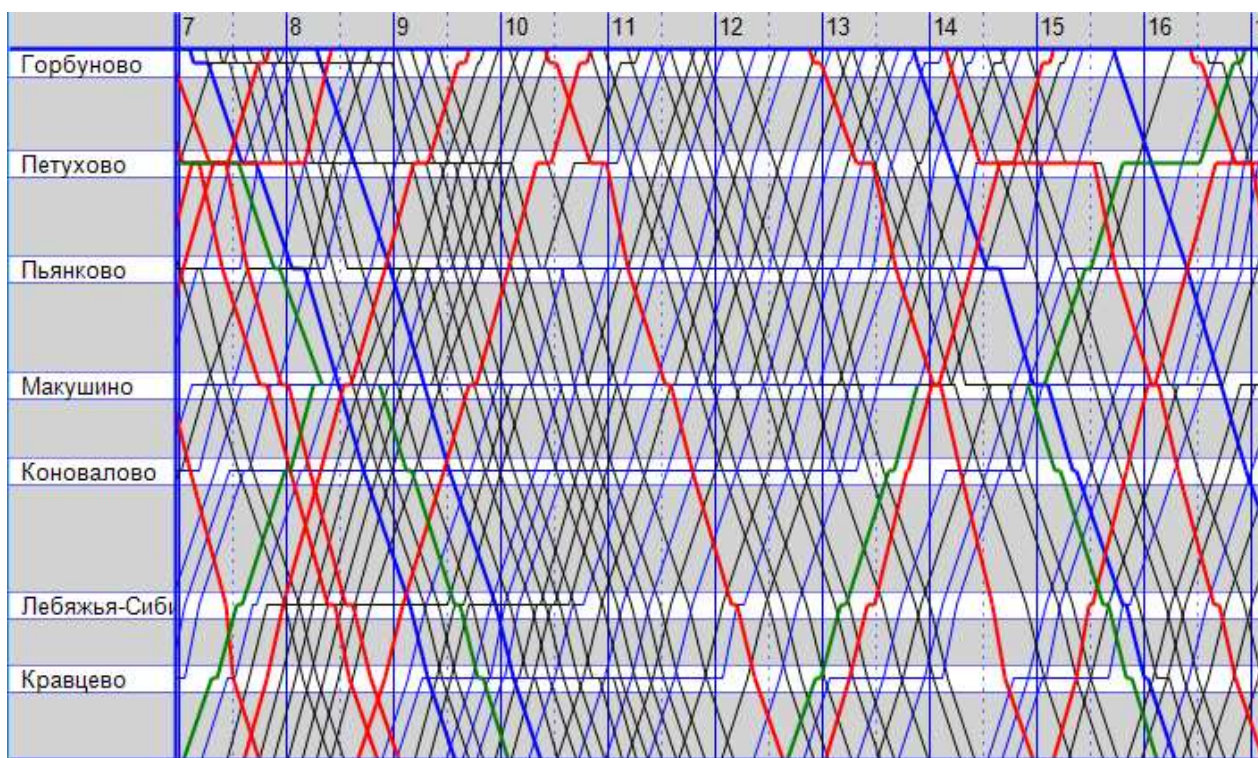


Рисунок 4.26. Загрузка линии Входная – Петропавловск – Курган

На станции Войновка, где сходятся потоки поездов с востока и с севера наблюдаются значительные затруднения (рисунок 4.27), связанные, в первую очередь, с высокой загрузкой ПТО в парках «А» и «Т» (таблица 4.6).

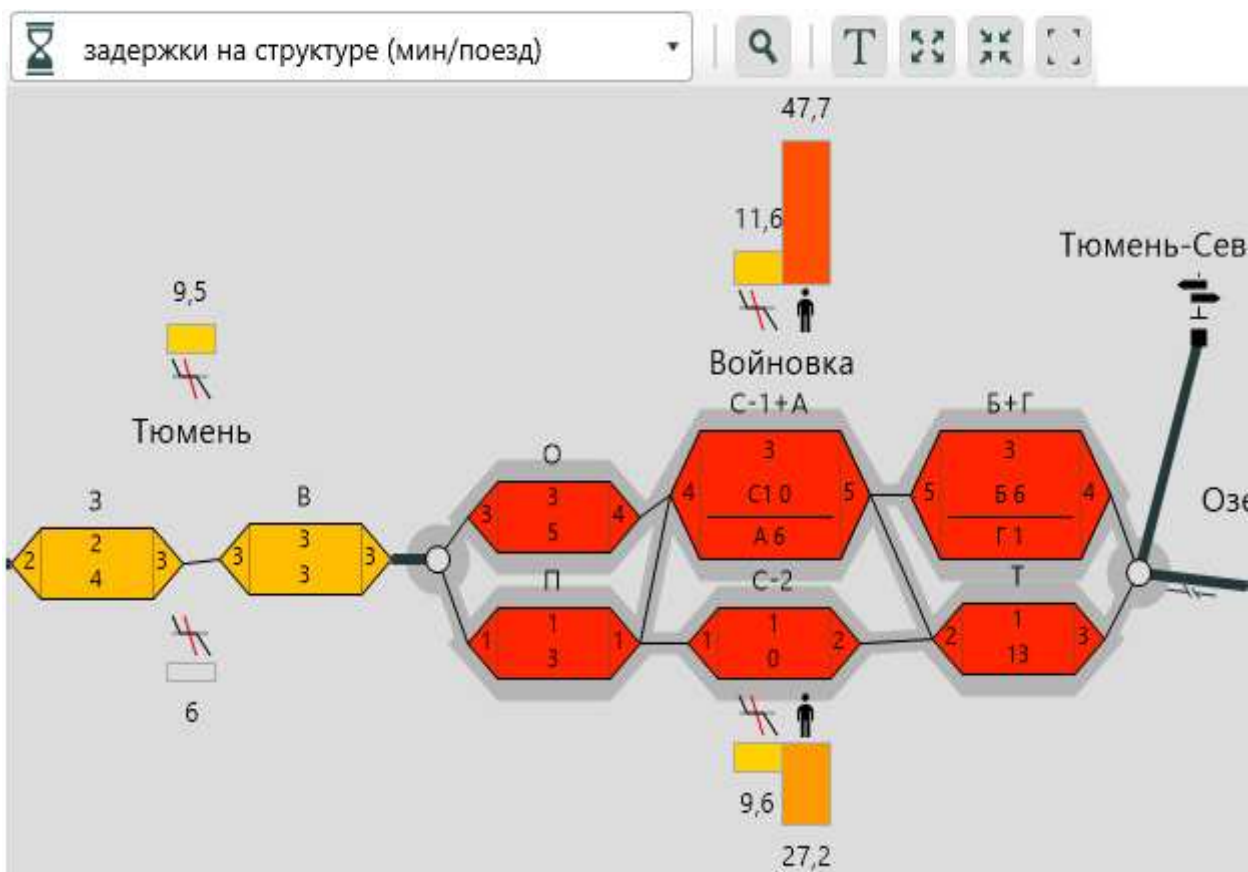


Рисунок 4.27. Задержки на станции Войновка

Таблица 4.6. Задержки на станции Войновка

элемент	графически	задержка из-за	загрузка
Бриг. ПТО А[Войновка]	<div style="width: 94%; background-color: red; height: 10px;"></div>	56:27	94 %
Бриг. ПТО Т[Войновка]	<div style="width: 86,9%; background-color: red; height: 10px;"></div>	34:42	86,9 %
Бриг. ПТО О[Войновка]	<div style="width: 65,9%; background-color: red; height: 10px;"></div>	7:38	65,9 %
Бриг. ПТО Б[Войновка]	<div style="width: 51,6%; background-color: red; height: 10px;"></div>	4:08	51,6 %
Бриг. ПТО П2[Войновка]	<div style="width: 51,5%; background-color: red; height: 10px;"></div>	3:38	51,5 %

На участке Войновка – Камышлов – Богданович, имеющем высокую загрузку (31 пара пассажирских и 69 грузовых), задержки грузовых поездов больше, чем на аналогичном участке Входная – Курган за счет большего количества пассажирских поездов, а так же пакетной прокладкой их ниток на графике движения поездов (рисунок 4.28).

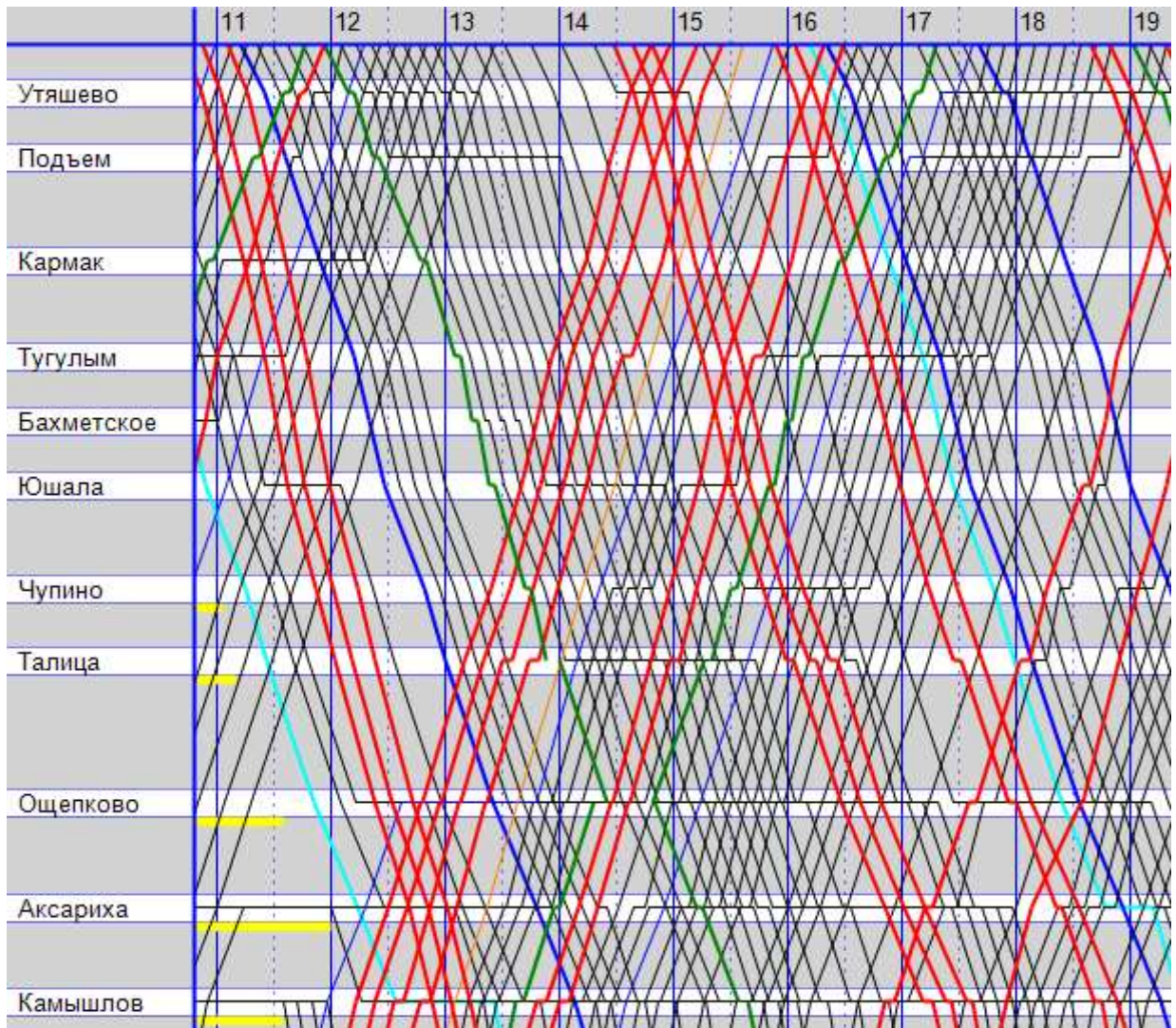


Рисунок 4.28. Загрузка линии Войновка – Богданович

Значительные задержки и затруднения на полигоне возникают в Екатеринбургском узле и на подходах к нему (рисунок 4.29). Транзитный поездопоток двух мощных параллельных линий (более 100 пар поездов) обрабатывается на участковой станции Седельниково и сортировочной станции Екатеринбург-сорт. Требуется смена локомотива в связи с изменением профиля пути на переходе через Уральские горы. После обработки на станциях поездам необходимо выйти из узла на нужный участок, попав на свободную нитку. Во-первых, ритмы обработки поездов на станциях Седельниково и Екатеринбург-сорт не совпадают. Во-вторых, часть ниток занимает большой поток пассажирских и пригородных поездов. В итоге поезда задерживаются в ожидании ниток графика на станциях, что в

свою очередь, задерживает прибытие новых поездов с участков. На подходах к участку низкая участковая скорость – около 30 км/ч.

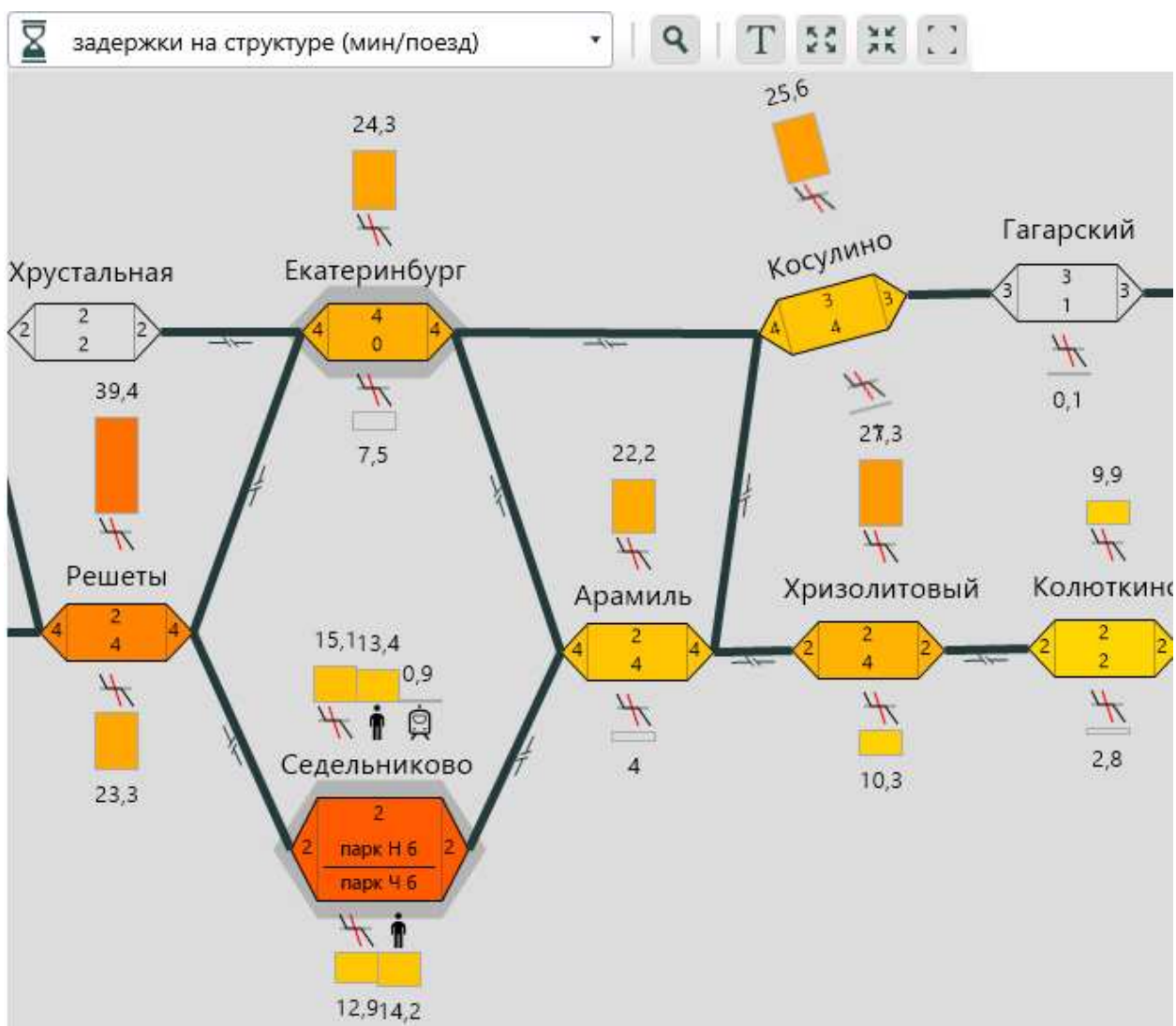


Рисунок 4.29. Задержки в Екатеринбургском узле

На участке Екатеринбургский узел – Шаля – Пермь загрузка ниже – 22 пары пассажирских поездов и 61 пара грузовых. Однако расстояние между станциями, на которых возможно выполнять обгоны увеличивается. За счет этого задержки концентрируются на тех станциях, где возможна стоянка поездов (рисунок 4.30).

Большие задержки на станции Пермь-сорт. возникают из-за нехватки путей в парке отправления «О» (их загрузка составляет 89%) (рисунок 4.31).



Рисунок 4.30. Задержки на участке Екатеринбург – Пермь

элемент	графически	задержка из-за	загрузка
Пути парка О [Пермь-Сорт]		30:50	89 %
Пути парка Г [Пермь-Сорт]		10:34	54,8 %

Рисунок 4.31. Задержки на станции Пермь-сорт

Затем поток поездов замедляется перед станцией станции смены рода тока Балезино (рисунок 4.32). Высокие задержки возникают из-за бригад ПТО, выполняющих опробование тормозов (таблица 4.7). На стыке дорог дополнительное ограничение пропускной способности происходит сдвигом створа технологического окна (рисунок 4.33).

Высокая загрузка и большие задержки из-за ПТО возникают во всех парках станции Лянгасово (таблица 4.8). Так же велики задержки при отправлении поездов со станции из-за больших размеров пассажирского движения (31 пара), которые занимают нитки графика на прилегающих перегонах (рисунок 4.34). В результате на подходах к станции нередко возникают значительные задержки поездов (рисунок 4.35).

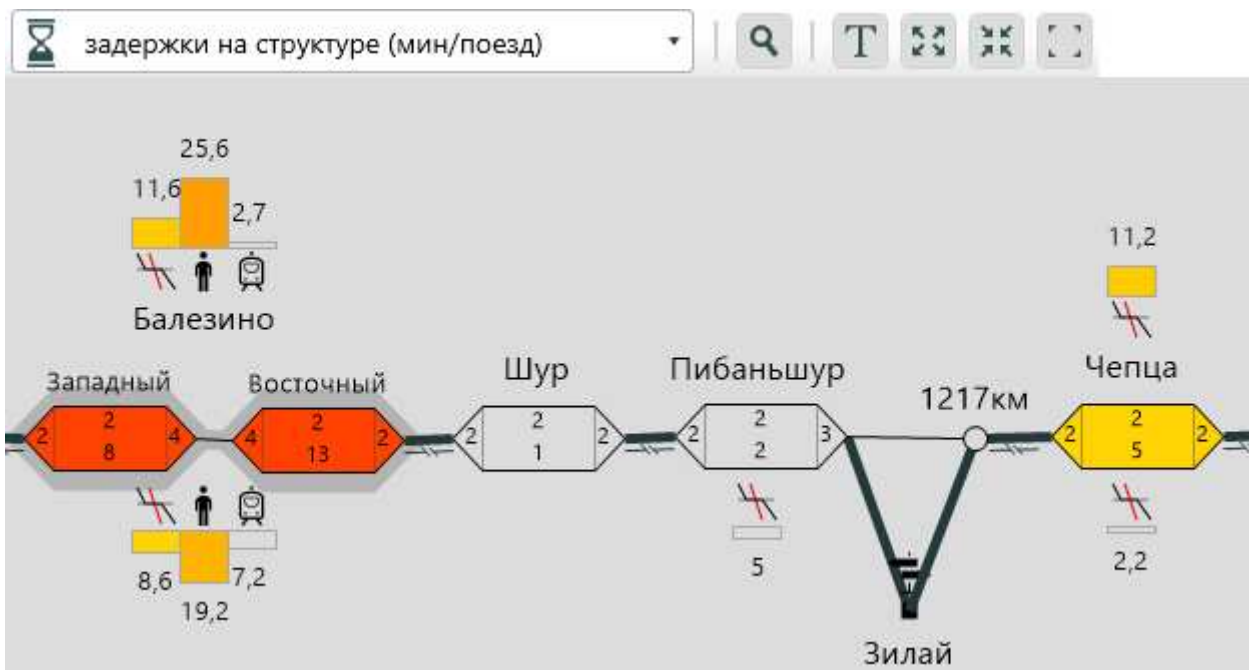


Рисунок 4.32. Задержки перед станцией Балезино

Таблица 4.7. Задержки на станции Балезино

элемент	графически	задержка из-за	загрузка
Бриг. ПТО В[Балезино]		30:06	76,8 %
Бриг. ПТО З[Балезино]		22:13	77,2 %

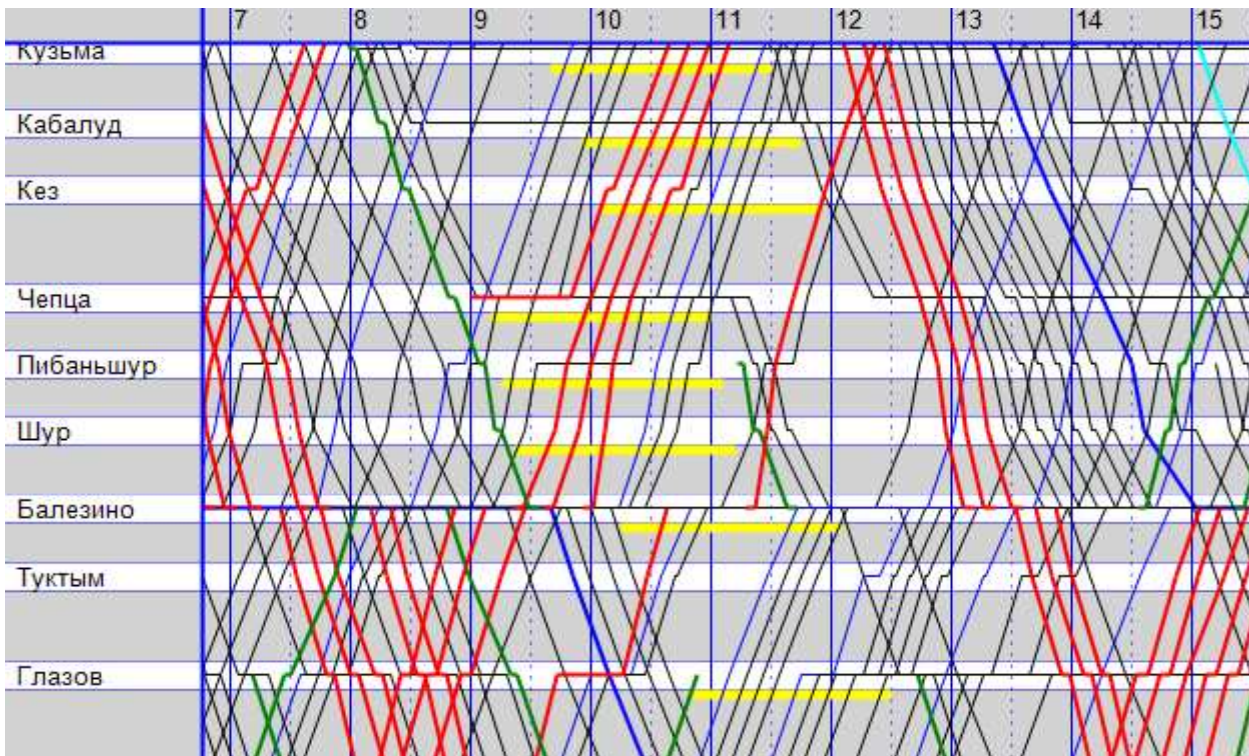


Рисунок 4.33. Сдвиг створа технологического окна на стыке дорог

Таблица 4.8. Задержки на станции Лянгасово

элемент	графически	задержка из-за	загрузка
Бриг. ПТО БД[Лянгасово]		80:41	91 %
Бриг. ПТО А[Лянгасово]		57:53	87,5 %
Бриг. ПТО Г[Лянгасово]		23:53	72,7 %

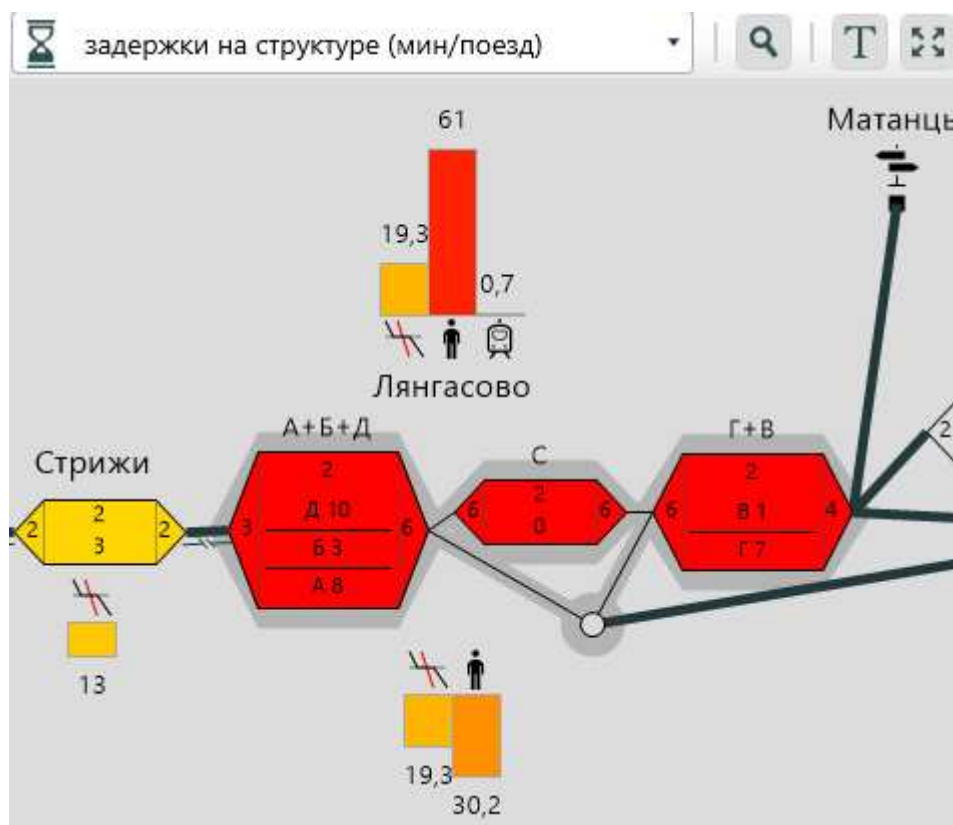


Рисунок 4.34. Задержки на станции Лянгасово

Из-за небольшого количества пассажирских поездов (8 пар) на участке Котельнич – Шарья – Буй – Лоста задержки на участках связаны только с неприемом участковыми станциями Шарья и Буй.

В определенные периоды возникают задержки на подходе к станции Шарья, связанные с неравномерностью, хотя в целом ее вместимости для обработки потока достаточно (рисунок 4.36). Аналогичная ситуация возникает на станции Буй.

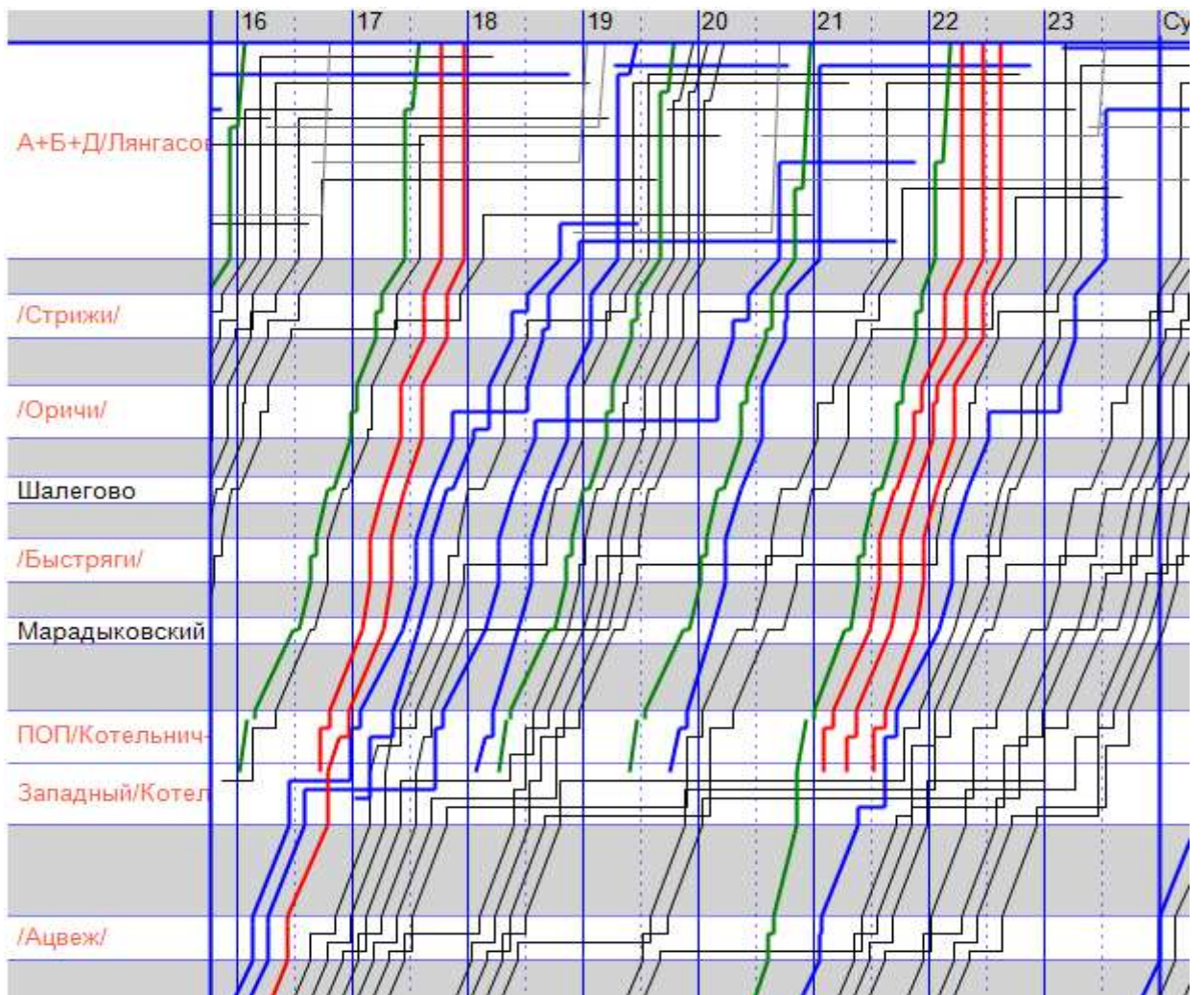


Рисунок 4.35. Задержки четных поездов перед станцией Лянгасово

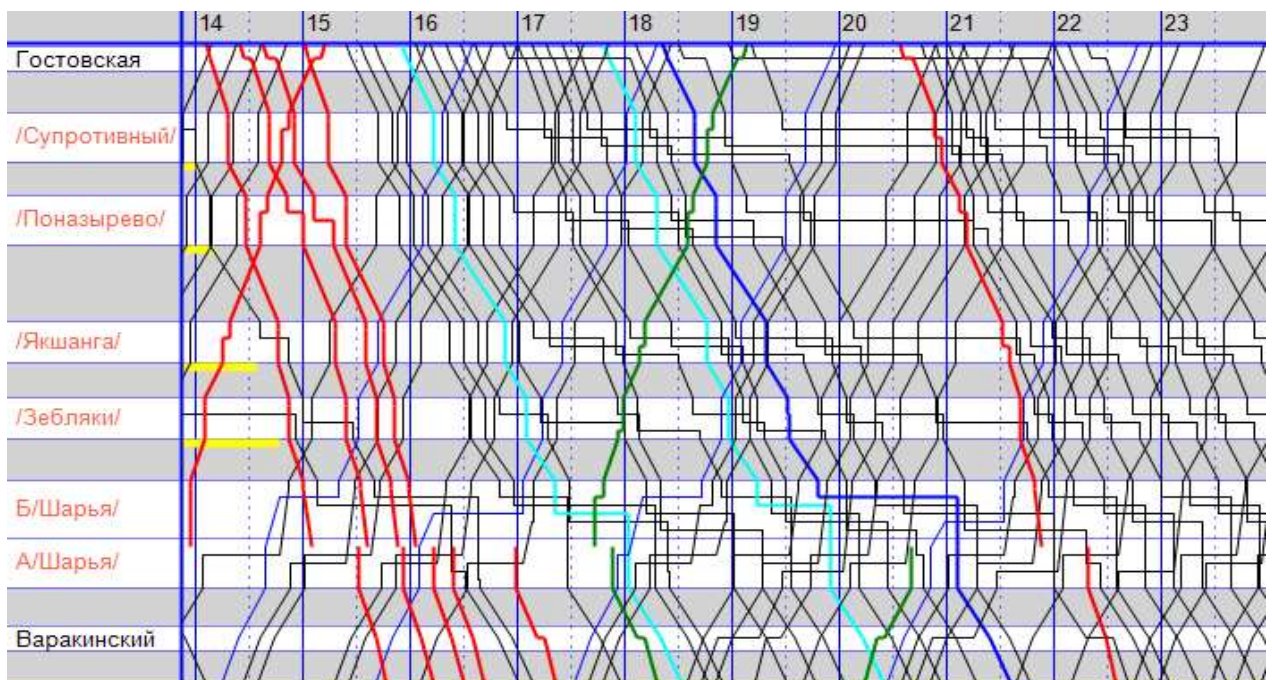


Рисунок 4.36. Задержки поездов перед станцией Шарья

Сложная ситуация в Вологодском узле связана с пересечением потоков двух магистральных и загруженных линий на единственной сортировочной станции Лоста. Последовательно с ней расположена пассажирская станция Вологда-1. К задержкам из-за участков добавляются задержки в ожидании осмотра и опробования тормозов, а так же из-за враждебности маршрутов следования грузовых и пассажирских поездов (рисунок 4.37). Из-за высокой загрузки станции Лоста часть ее работы по смене локомотивных бригад передают на соседние станции. Таким образом, узел работает как дуплекс с распределением как емкости бункера, так и функциональных возможностей.

Трудности возникают и в Череповецком узле в связи с большим объемом местных поездов, нитки графика которых обеспечивают съем ниток транзитных поездов (рисунок 4.38).

Высоки задержки поездов на станции смены рода тока Бабаево и на подходах к ней (рисунки 4.39, 4.40). Участковая скорость на участке Лоста – Бабаево является одной из самых низких на полигоне и составляет 30 км/ч. Основная причина – ожидание обслуживания тормозного оборудования и опробования тормозов на станции Бабаево (рисунок 4.41).

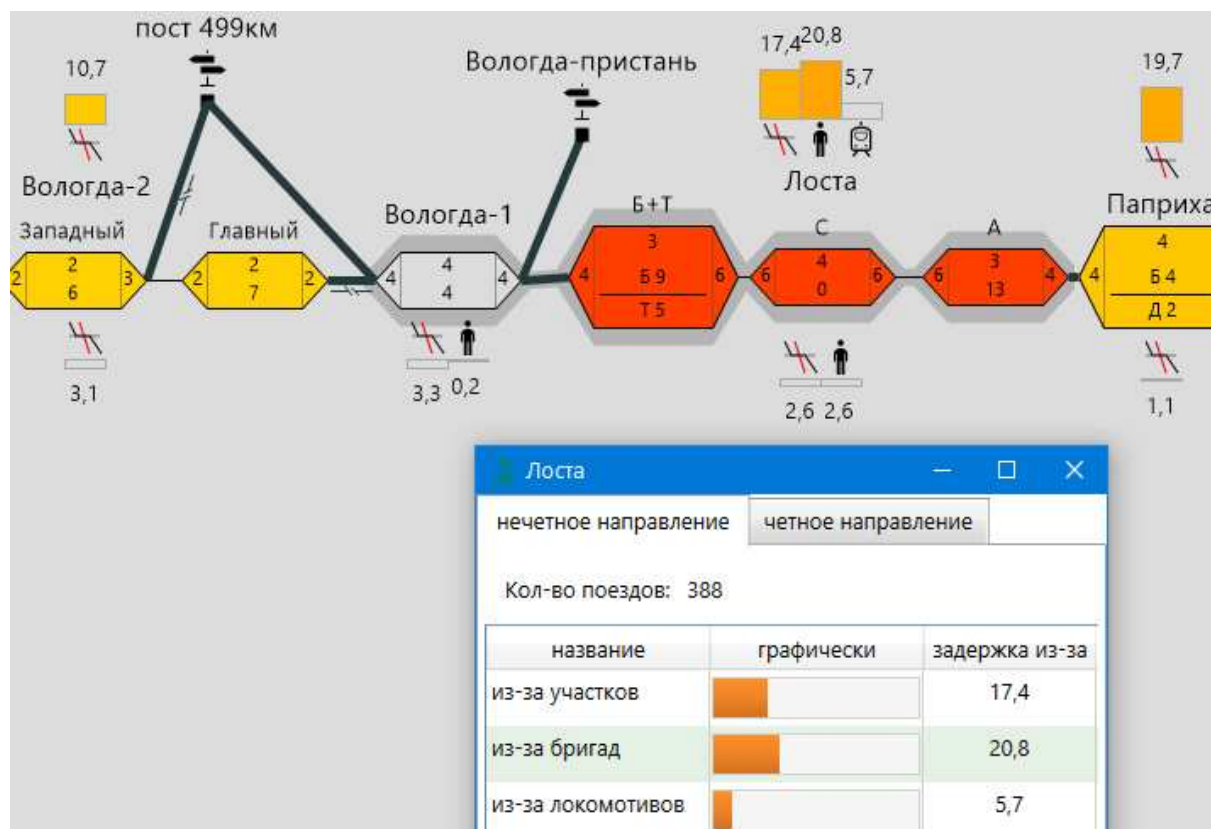


Рисунок 4.37. Задержки в Вологодском узле

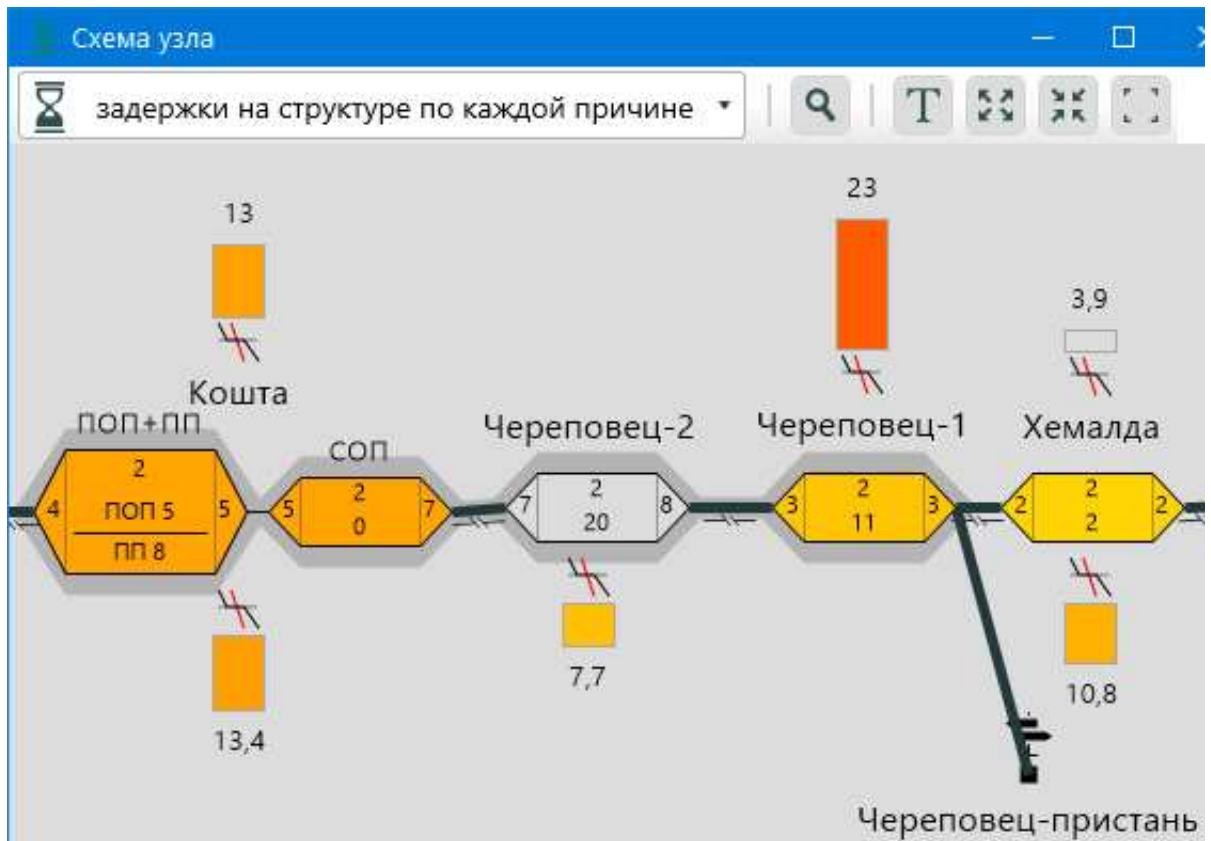


Рисунок 4.38. Задержки в Череповецком узле

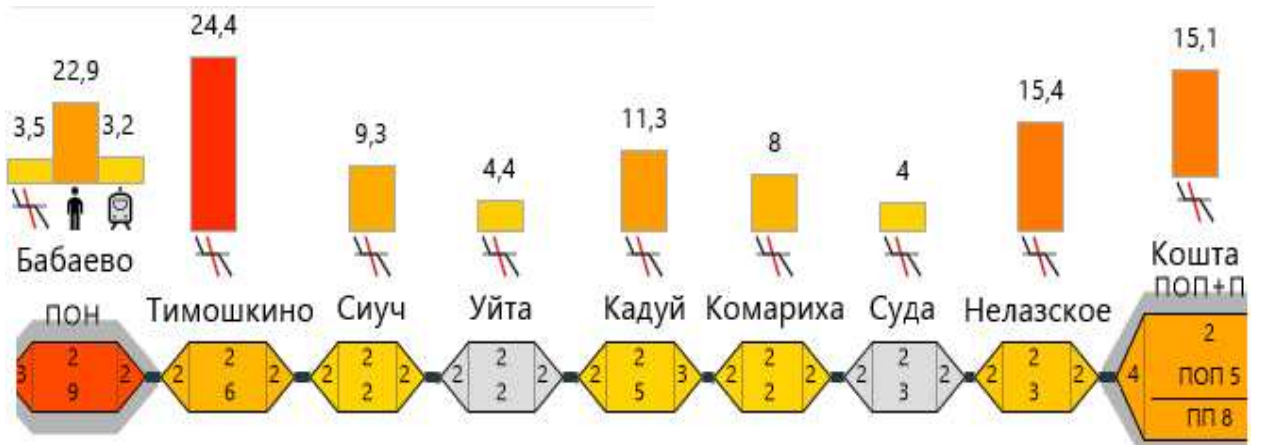


Рисунок 4.39. Задержки нечетных поездов перед станцией Бабаево

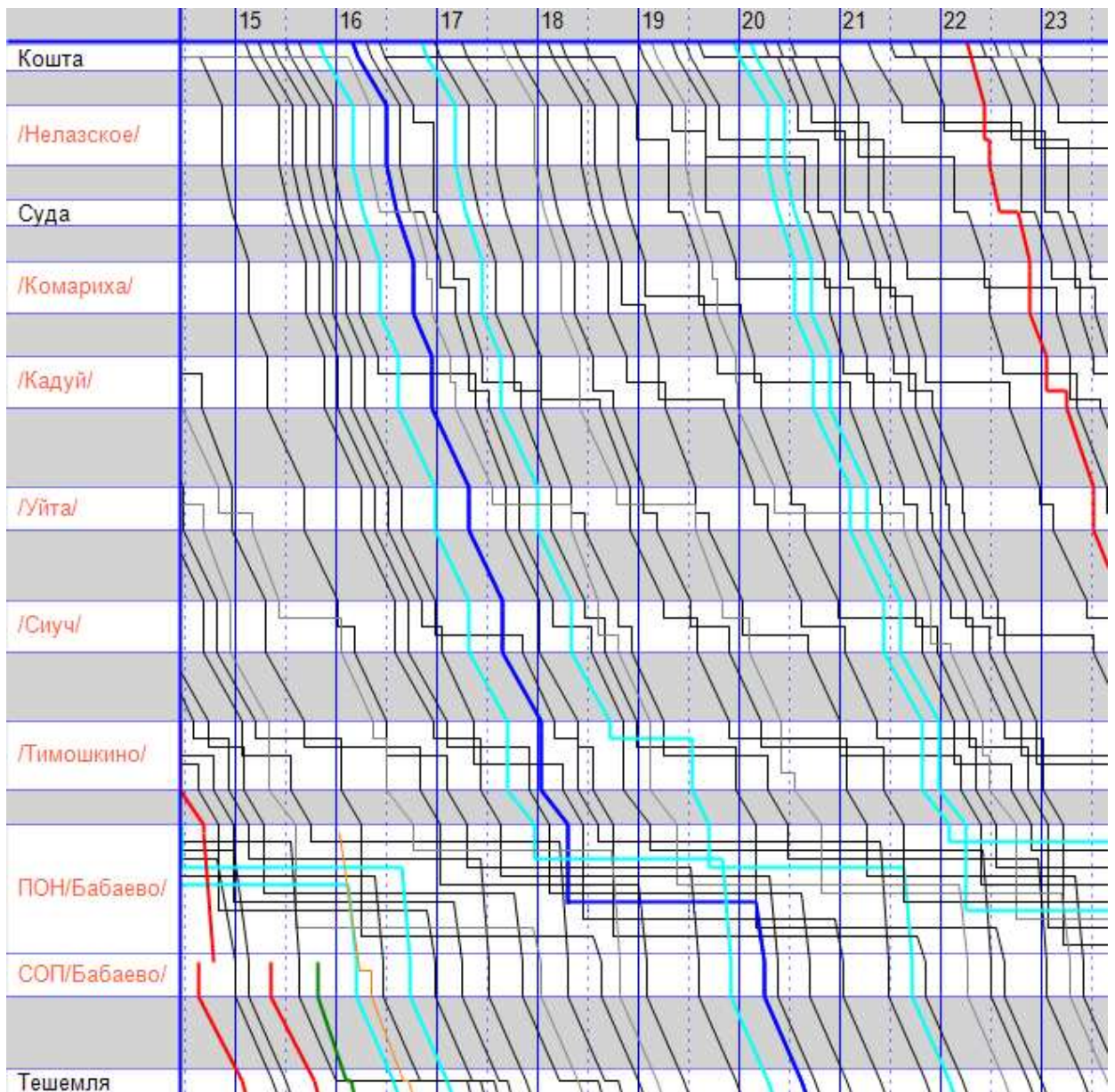


Рисунок 4.40. Задержки нечетных поездов перед станцией Бабаево

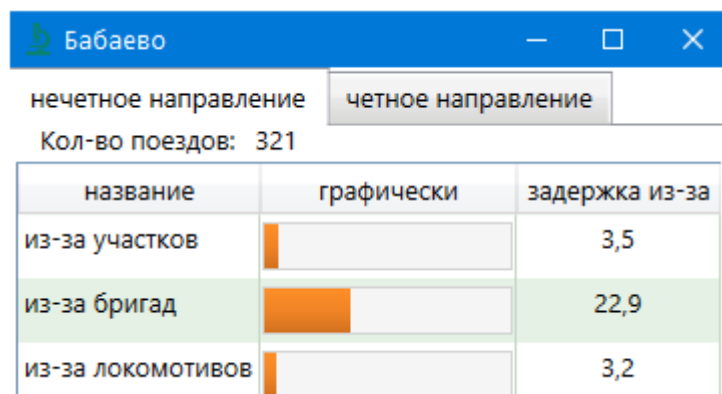


Рисунок 4.41. Задержки на станции Бабаево

Трудности возникают и в Волховстроевском узле по причинам отсутствия путепроводных развязок на станциях Волховстрой-2, Куколь и на блок-посту 116км, что приводит к враждебности в горловинах (рисунок 4.42).

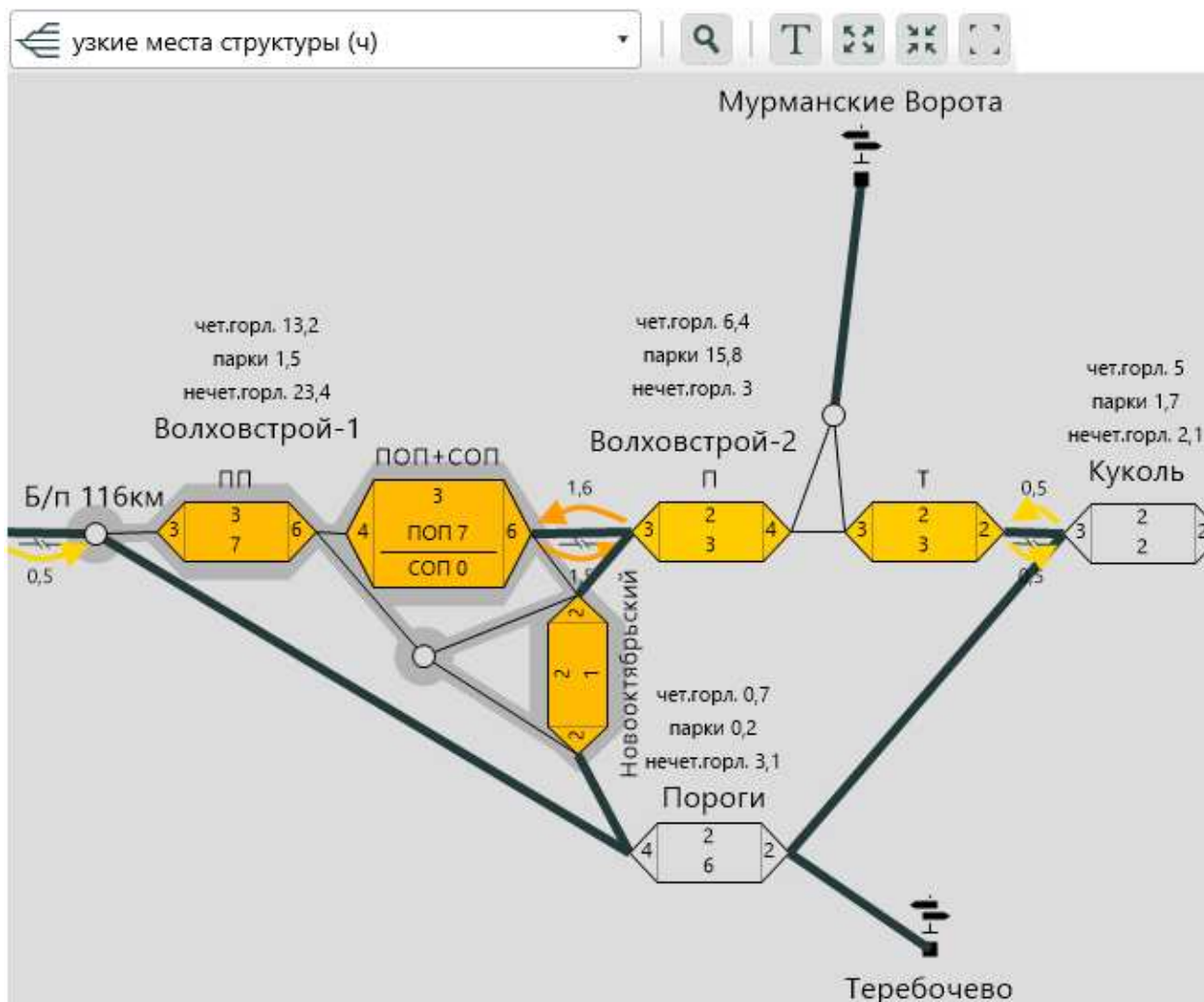


Рисунок 4.42. Задержки в Волховстроевском узле

В периоды отсутствия окон поток движется более-менее стабильно, но предоставление двухчасового технологического окна, фактически останавливает движение поездов на большее время. Причина этому – расположение окон не в едином створе, а со сдвигами. Так, например, на участках, прилегающих к станции Балезино (см. рис. 4.33), остановка движения происходит на 3 часа, а на участке Вологда – Череповец – Бабаево – Волховстрой – до 6 часов из-за сдвига окон (рисунок 4.43).

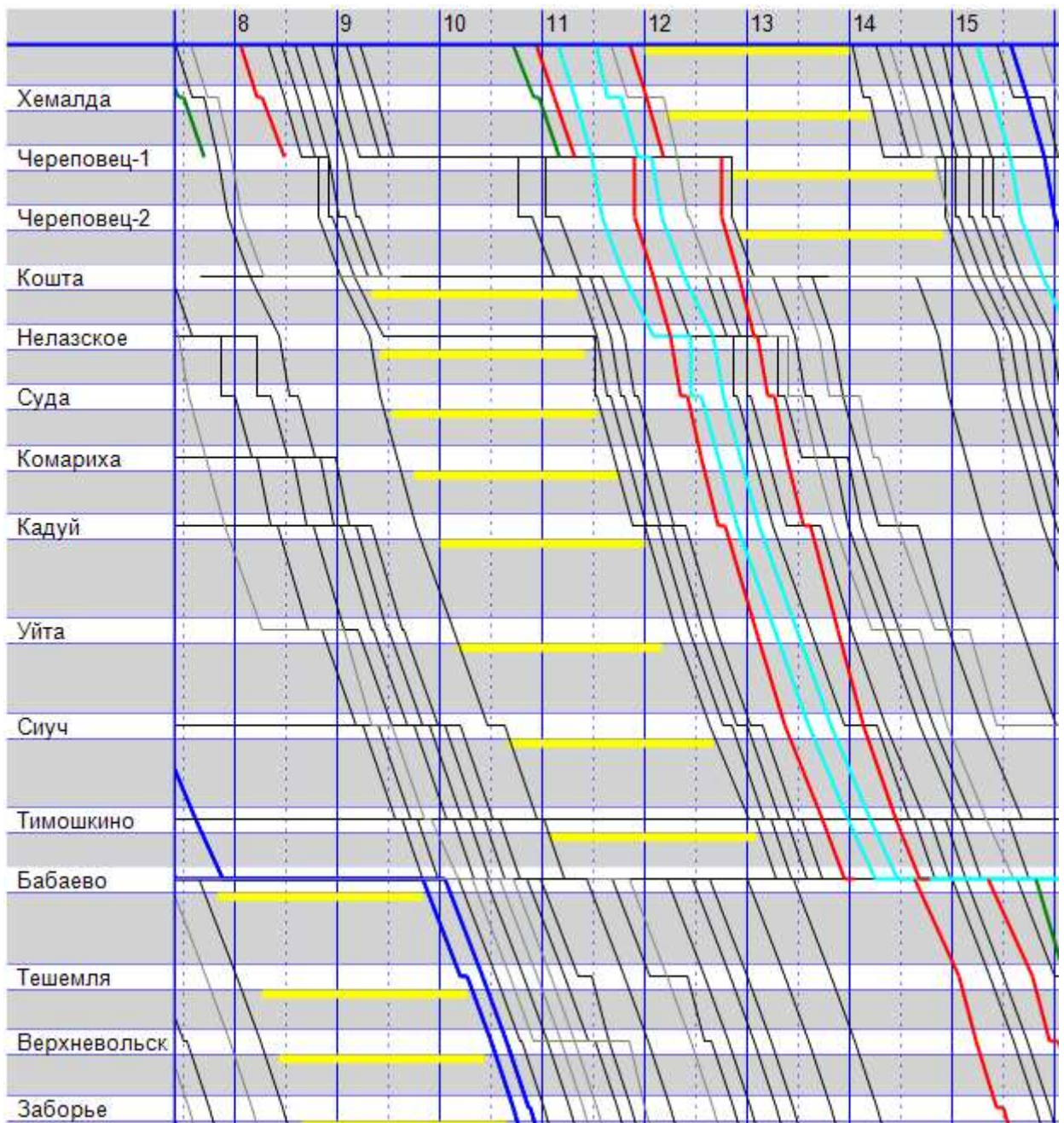


Рисунок 4.43. Сдвиг створа технологического окна

На участках с большим количеством пассажирских поездов грузовые поезда необходимо останавливать под обгоны. Однако не все станции участков предназначены для этого и имеют достаточную полезную длину путей. Например, на рисунке 4.44 зелеными стрелками показаны станции с достаточной длиной путей для стоянки поездов длиной 71 условный вагон, а красными стрелками – станции, которые имеют короткие пути и использовать их для обгона невозможно.

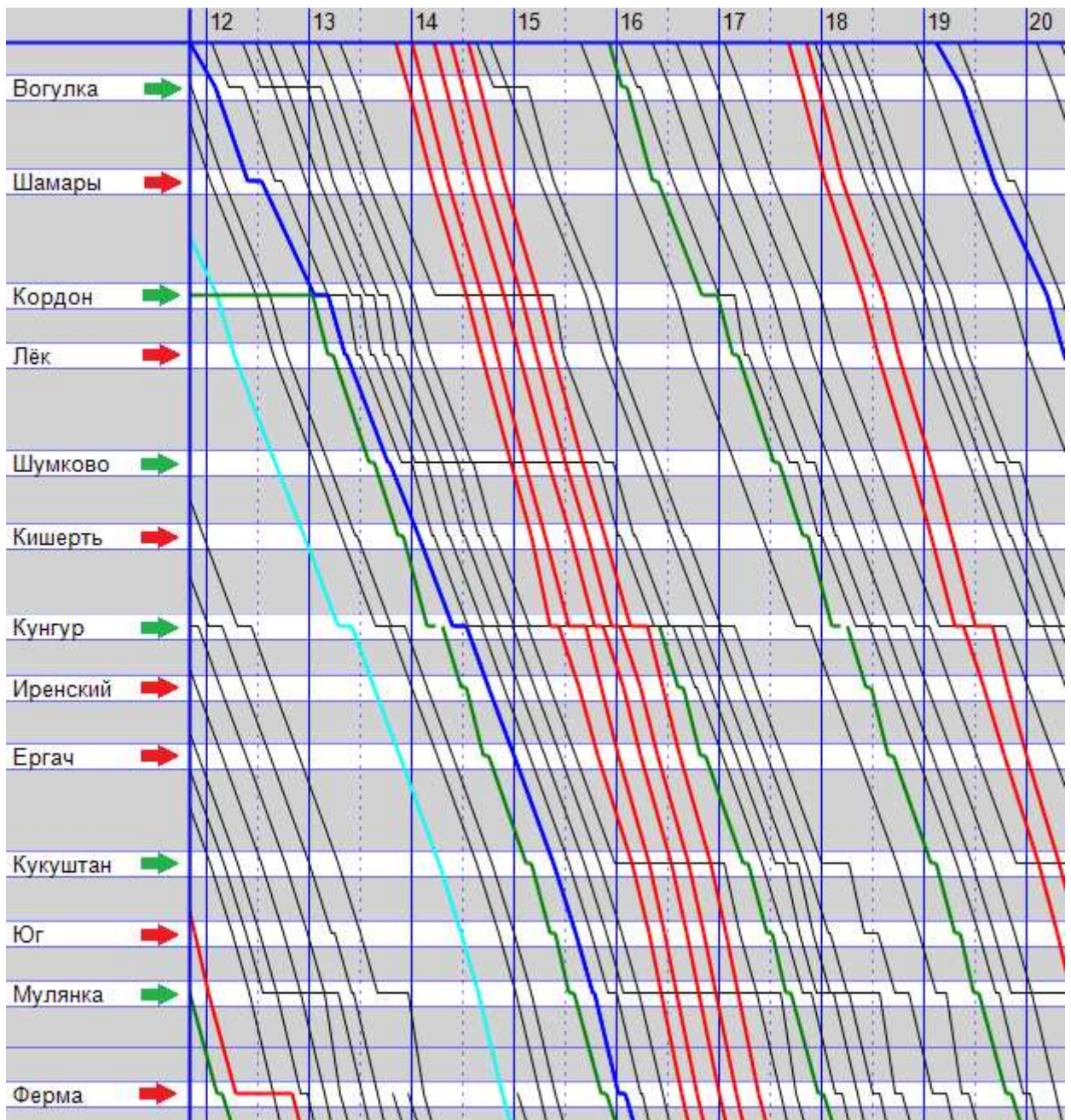


Рисунок 4.44. Участок Шаля – Пермь

Диаграмма (рисунок 4.45) показывает, что к западу от Екатеринбурга (Седельниково) расстояние между станциями, используемыми для стоянок поездов 71 условный вагон, значительно увеличивается.

При этом на отдельных участках велико количество пассажирских поездов (рисунок 4.46). Особенно выделяется участок Балезино – Лянгасово с 24-мя парами пассажирских поездов и средним расстоянием между станциями, пригодными для обгона – 48 км.

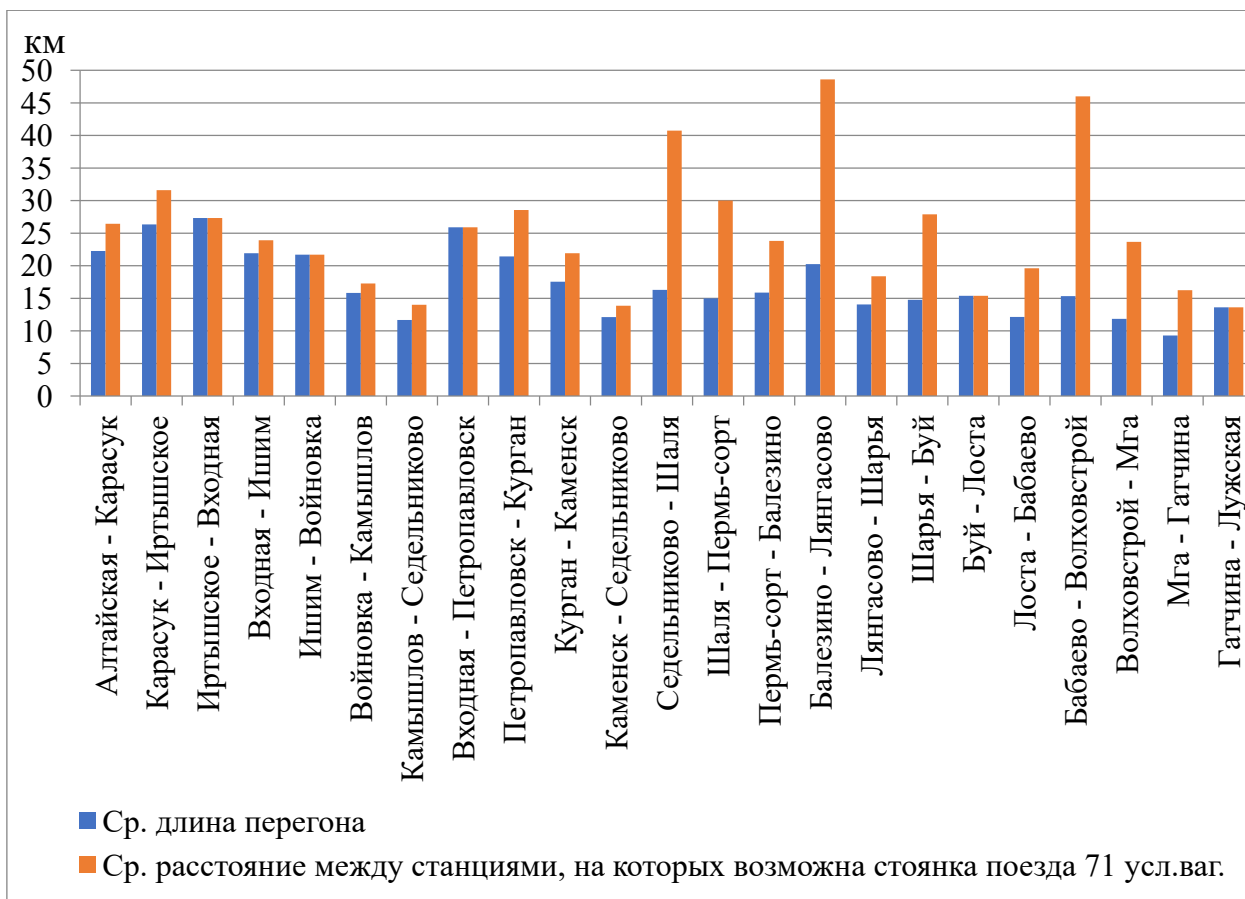


Рисунок 4.45. Длины перегонов

В итоге грузовые поезда приходится задерживать на технических станциях перед пакетом пассажирских поездов, что в свою очередь вызывает неприем новых попутных грузовых поездов. Затем, когда появится возможность пропускать грузовые поезда по участку, их не всегда готова отправить техническая станция.

В целом, пассажирские поезда не везде проложены рационально. Зачастую они собраны в пакеты по 4, 5 и даже 7 поездов. Разумеется, это позволяет улучшить показатели работы участка (участковую скорость и пропускную способность). Но вместе с тем, значительно затрудняется работа технических станций, ведь большие пакеты пассажирских поездов блокируют отправление на участок грузовых поездов в течение 1-1,5 часов, что в свою очередь делает невозможным прием грузовых поездов на техническую станцию со смежного участка. При этом на конкретном участке

может быть достаточно станций для обгона, но они используются редко из-за искусственно замедленных пассажирских поездов (параллельный график).

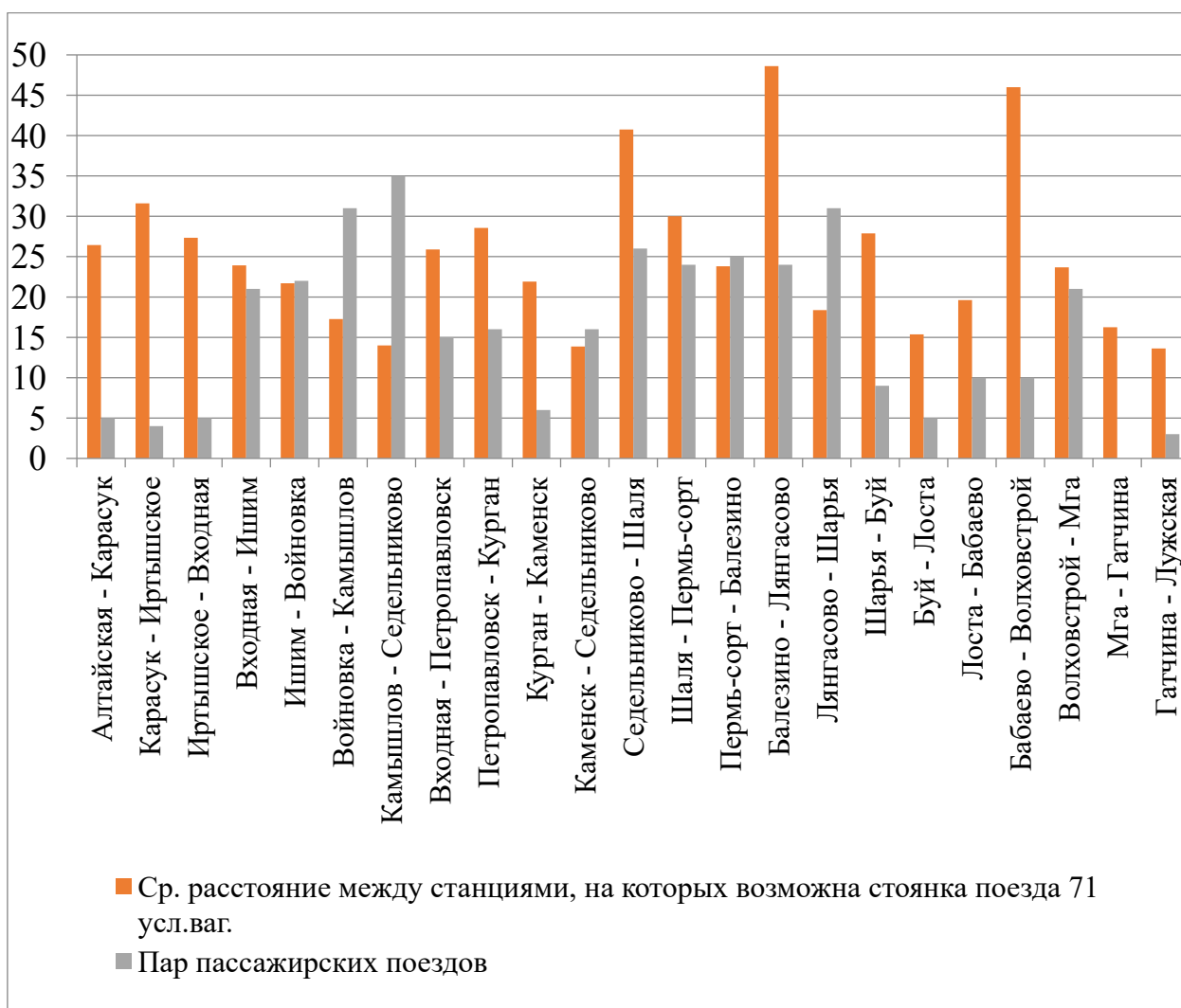


Рисунок 4.46. Количество пассажирских поездов и длины перегонов

Конечно, надо проверять расчетами, но есть вероятность того, что пассажирские поезда можно ускорить и ликвидировать излишне большие пакеты, что положительно повлияет на работу технических станций. Особенно нерационально выглядят пакеты пассажирских поездов, проложенные до и после технологического окна, что делает невозможным отправление грузовых поездов на протяжении более 3,5 часов (рисунок 4.47).

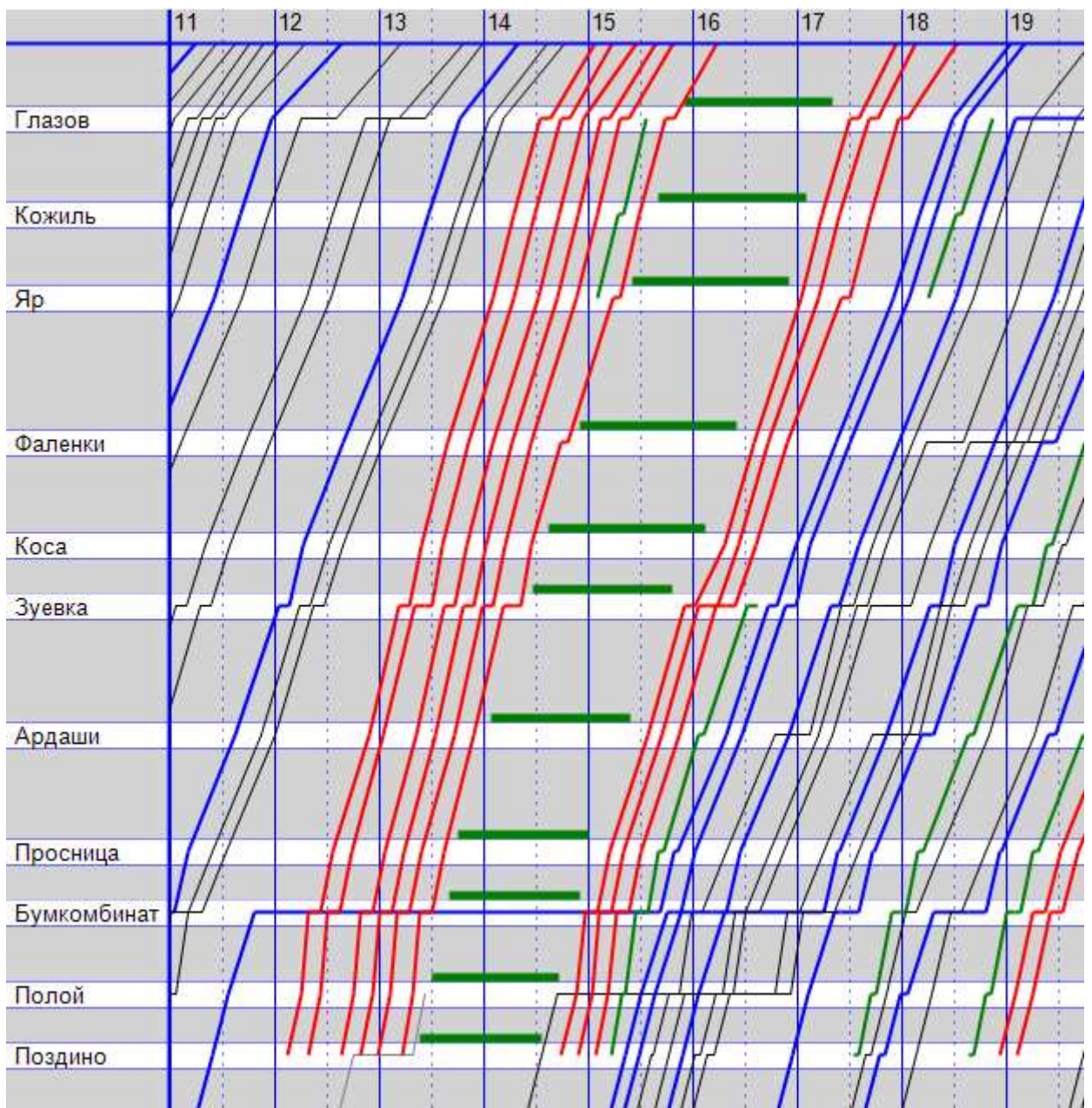


Рисунок 4.47. Задержки грузовых поездов из-за пассажирских и технологического окна

На многих станциях полигона при высокой загрузке бригад ПТО велики задержки из-за них (рисунок 4.48), однако необходимость увеличения их количества необходимо проверять расчетами. Даже при добавлении бригад задержки могут перераспределяться на другие элементы (это будет показано в следующих главах).

элемент	графически	задержка из-за	загрузка
Бриг. ПТО БД[Лянгасово]		66:43	87,6 %
Бриг. ПТО В[Курган]		64:12	91 %
Бриг. ПТО Б+Т[Лоста]		61:14	89,1 %
Бриг. ПТО А[Лянгасово]		58:40	89,5 %
Бриг. ПТО А[Войновка]		51:26	92,4 %
Бриг. ПТО О2[Пермь-Сорт]		40:09	94,9 %
Бриг. ПТО А[Лоста]		33:49	78,5 %
Бриг. ПТО Г[Алтайская]		33:24	80,7 %
Бриг. ПТО Б[Алтайская]		32:46	92,3 %
Бриг. ПТО Т[Войновка]		32:26	83,8 %
Бриг. ПТО ПОЧ[Бабаево]		28:48	79,7 %
Бриг. ПТО В[Балезино]		28:21	75 %
Бриг. ПТО З[Балезино]		28:03	77,6 %

Рисунок 4.48. Задержки из-за бригад ПТО на полигоне

В модели реализовано так же и слежение за поездными локомотивами, что позволяет учитывать задержки поездов из-за локомотивов, а так же оценить показатели при сравнении вариантов [85]. На рисунке 4.49 видно наличие локомотивов разных участков обращения в динамике по станции стыкования Балезино. На рисунке 4.50 показано движение поезда по полигону во времени и приведена работа локомотивов, следующих с этим поездом.

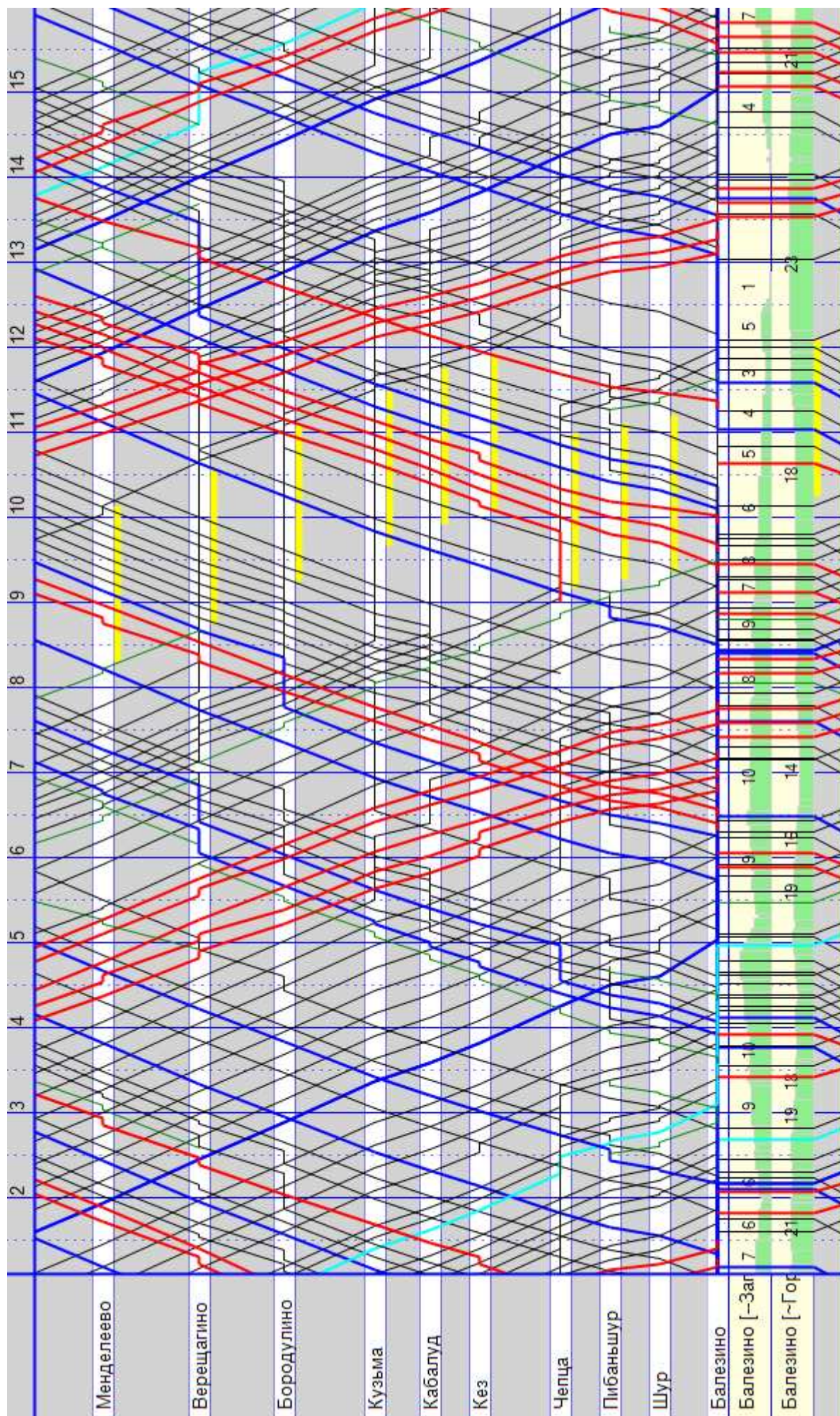


Рисунок 4.49. Исполненный график движения поездов и наличие локомотивов на станции Бalezино

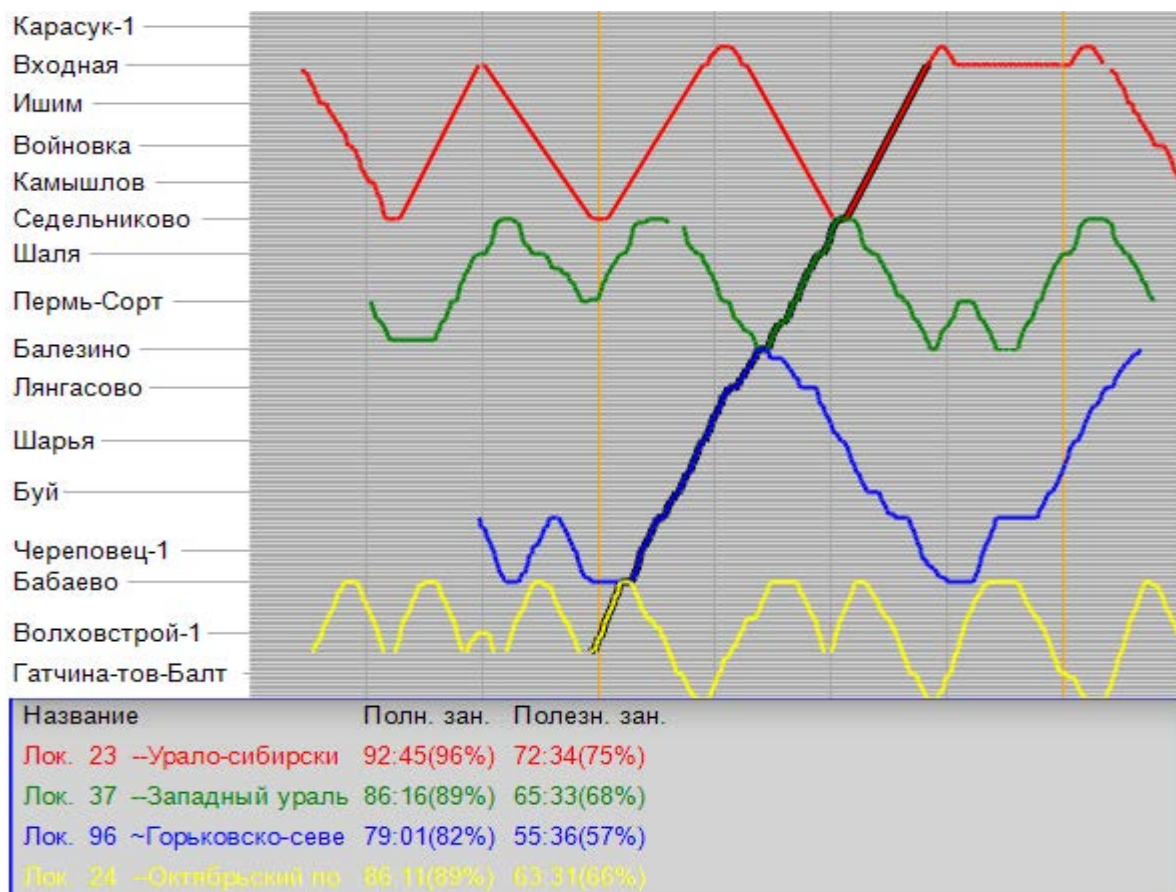


Рисунок 4.50. Движение поезда по полигону с работой локомотивов

Структура занятости локомотивов показана на рисунках 4.51 и 4.52, среднесуточный пробег – на рисунке 4.53, а задержки из-за локомотивов на один поезд – на рисунке 4.54.

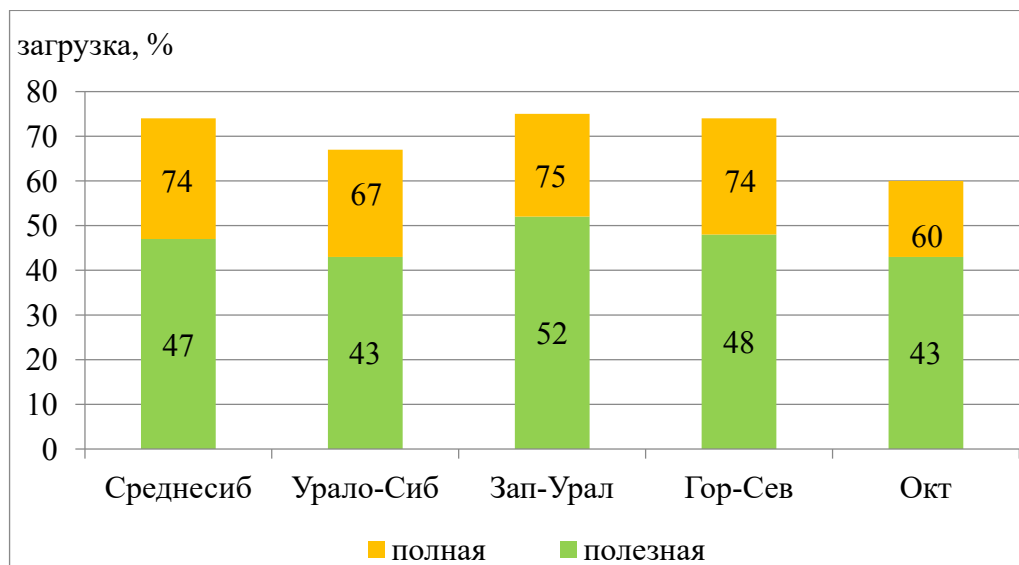


Рисунок 4.51. Структура занятости локомотивов полигона

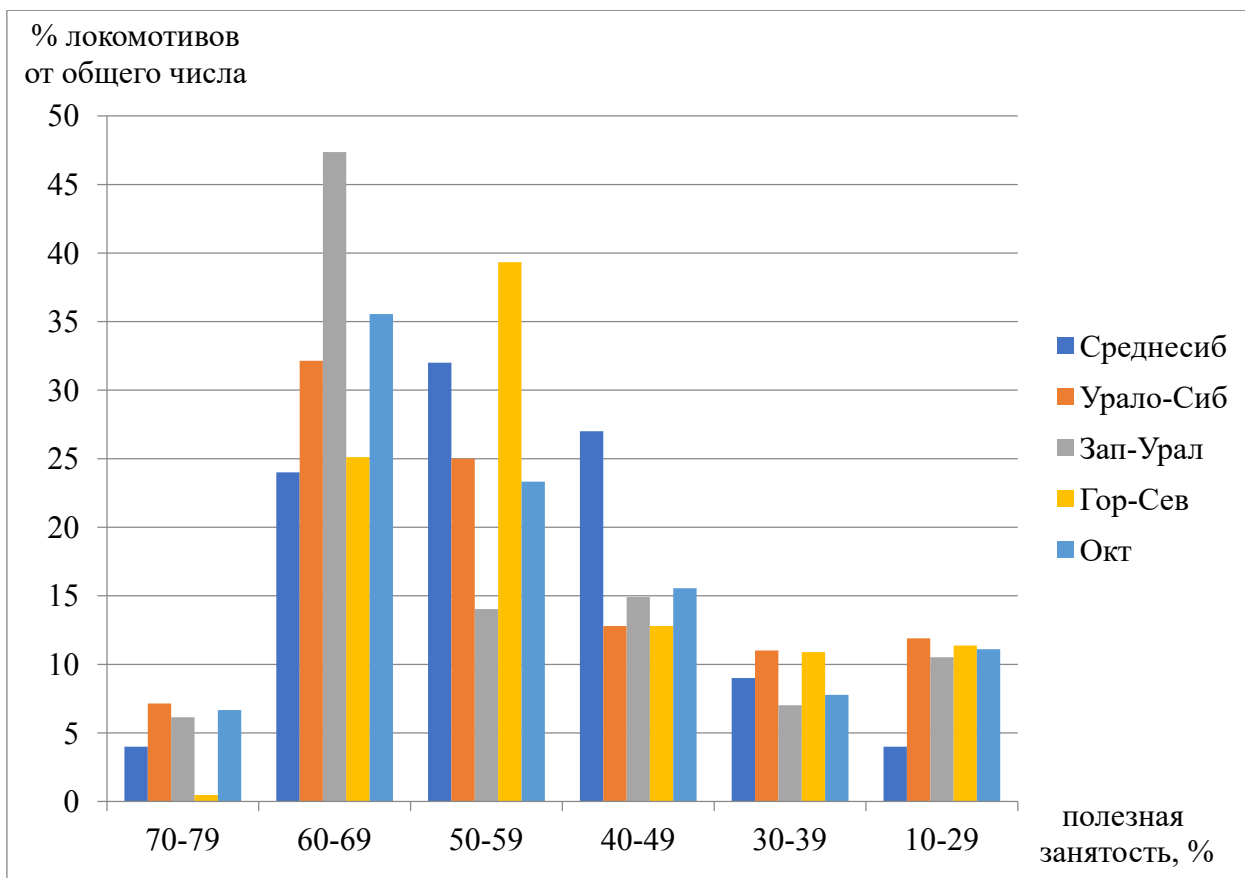


Рисунок 4.52. Распределение полезной занятости локомотивов полигона

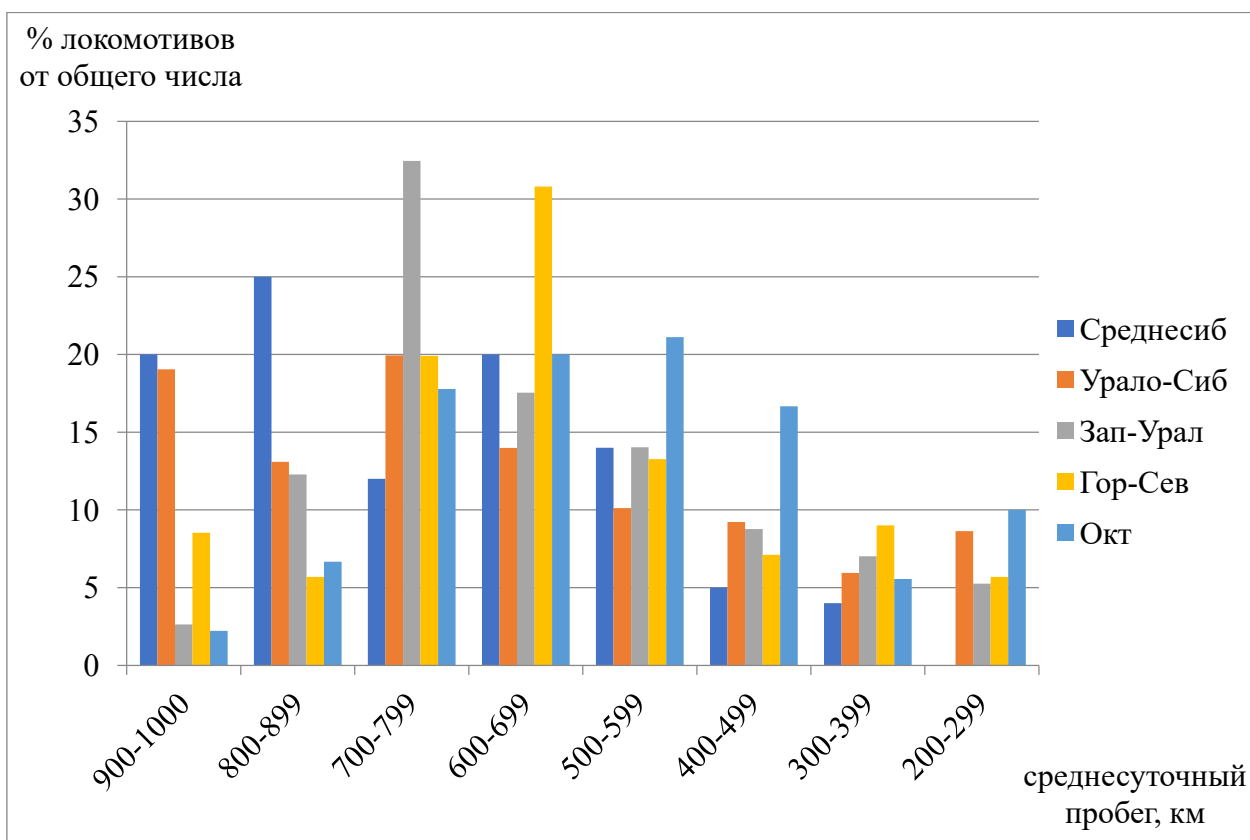


Рисунок 4.53. Среднесуточный пробег локомотивов полигона

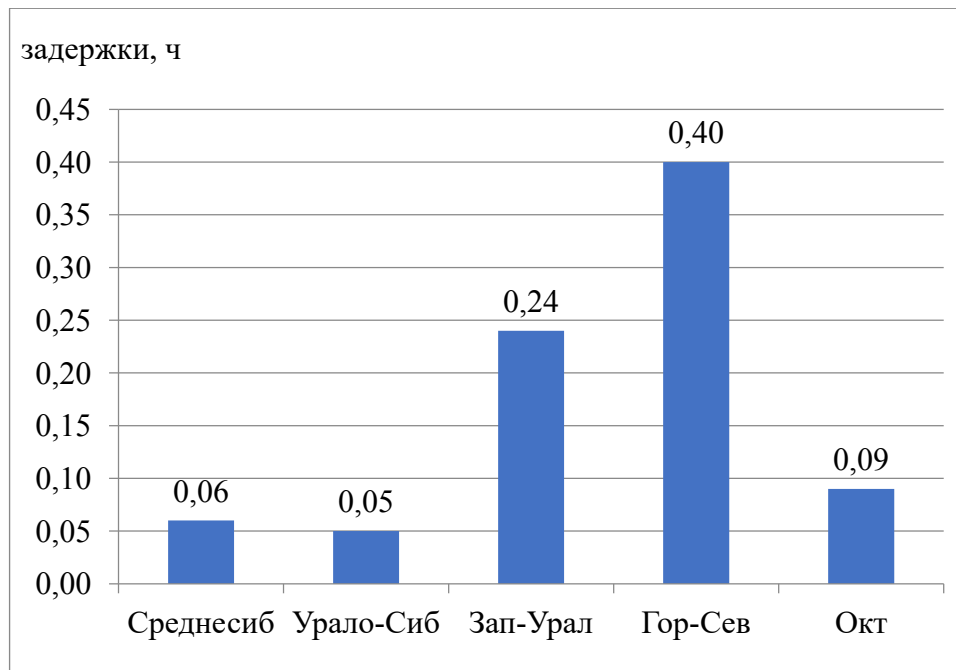


Рисунок 4.53. Задержки из-за локомотивов, приходящиеся в среднем на поезд

Приведенные выше показатели рассчитываются моделью автоматически и позволяют проводить полномасштабный сравнительный анализ различных экспериментов. Наиболее ценно то, что помимо собственно показателей всегда есть возможность определить причины роста или снижения и при необходимости изменить эксперименты в нужном направлении. Эксперименты, их анализ и сравнение, сделанные в следующих главах, выполнены на основе приведенных показателей.

Выводы к главе 4

1. Разработана технология использования имитационной системы ИМЕТРА для исследования проектов развития полигонов.
2. Описана технология построения модели полигона и его исследования, сформулированы принципы сравнения вариантов из множества Парето возможных.
3. Предложен алгоритм проведения экспериментов по принципу «имитационного спуска».
4. Проведена апробация имитационной системы ИМЕТРА и установлено соответствие выдаваемых ей результатов реальной работе полигона.
5. Определены узкие места, вызывающие затруднения в работе полигона.
6. Показан широкий набор показателей, формируемых моделью и позволяющий делать сравнительный анализ различных экспериментов.

ГЛАВА 5. ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ПОТОКА

5.1. Оптимизация по критерию «максимум пропускной способности»

При неразвитости транспортной сети такая постановка появляется вынужденно. Необходимо пропустить максимум потока при ограниченных средствах на развитие.

Спроектированный полигон должен соответствовать понятию «гармонично построенный полигон», то есть все станции и участки, как расчетные дуплексы должны иметь одинаковую пропускную способность. Поэтому вначале необходимо сделать тщательный структурно-функциональный анализ существующего полигона, а затем уже выбирать проектные решения. Система ИМЕТРА предоставляет для анализа довольно широкие возможности. Примерная последовательность действий может быть такой. Сначала выполняется оценка существующей пропускной способности на созданной имитационной модели (глава 4). Сравнивается количество принятых, пропущенных и отправленных поездов и вагонов (таблица 5.1).

Таблица 5.1. Поездопоток по стыкам полигона

название	+ вагонов	- вагонов	+ поездов	- поездов
Балезино	4237	4450	58	62
Блочная	1170	1384.5	18	21.5
Кунара	564	608	9	9.5
К-Уральский	1307	1204	19	17.5
Муранитный	260	211.2	4	3.2
Называевская	2689	2447.8	36	33.2
Осенцы	402	471.8	7	7.8
Пермь-1	0	0	0	0
Ревда	3582	3286	48	44.8
Тюмень-Сев	2698	1615.2	38	22.8
Хризолитовый	3158.8	3661.8	44.2	48

После этого выполняется анализ структурных (таблица 5.2) и функциональных (рисунок 5.1) задержек. Эти задержки тесно взаимосвязаны, поэтому следует рассматривать их комплексно. Если доля функциональных задержек относительно структурных не велика, то не хватает емкости парка. Обратная ситуация, как правило, указывает на несовершенство технологии. Например, на рисунке 5.1 дополнительно ко времени обслуживания по технологии каждый состав простаивает 78.2 минуты из-за нехватки бригад по их обработке. Конечно, в таких ситуациях емкость парка оказывается недостаточной и вызывает задержки. Но очевидно, что вместо строительства дополнительных путей в первую очередь следует установить, будет ли положительный эффект при увеличении количества каналов обслуживания – бригад осмотрщиков. Однако, как и на станциях, не всегда добавление бригад дает эффект. Задержки могут перераспределяться на другие элементы – горловины и перегоны.

Таблица 5.2. Задержки из-за структурных элементов

элемент	графически	задержка из-за	загрузка
нечетная горловина парка / Седельниково/		17:04	35,1 %
Вагоны в парке парк [Решеты]		14:42	17,2 %
Канал НГ 3 п. /Седельниково/		13:04	12:59
нечетная горловина парка парк Т +Г/Войновка/		10:52	25,1 %
четная горловина парка /Чепца/		10:34	40 %
нечетная горловина парка / Первоуральск/		9:35	26,9 %
четная горловина парка / Седельниково/		9:16	35 %
четная горловина парка /Курья/		8:48	46,7 %
Входной участок полигона Балезино		8:46	0%
нечетная горловина парка / Богданович/		8:39	30,4 %
четная горловина парка Западный/ Тюмень/		8:32	32,3 %

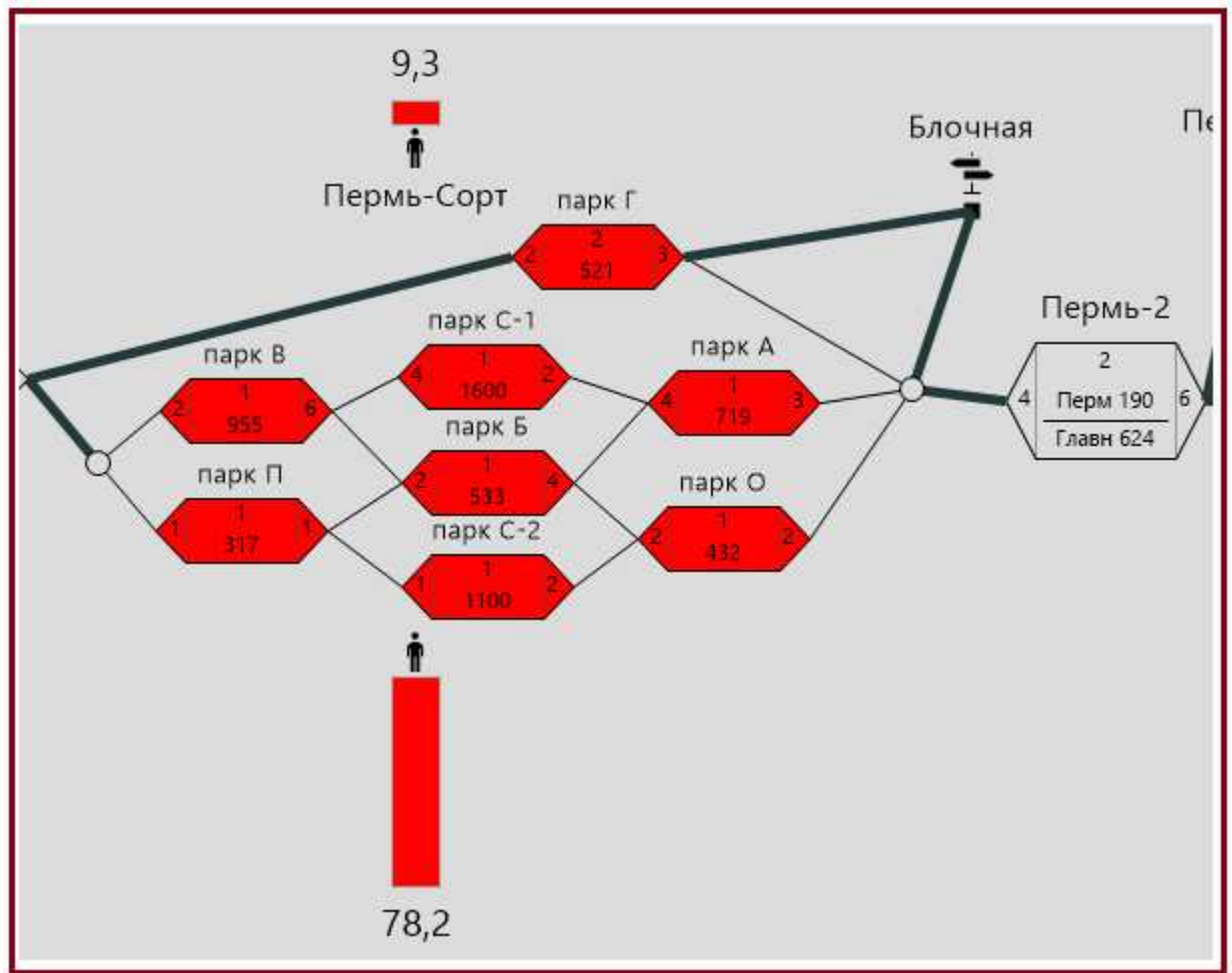


Рисунок 5.1. Загрузка путей задержками из-за бригад по обработке составов

После анализа определяются меры по выравниванию пропускной способности всех дуплексов до максимально возможного значения при заданных средствах. Тогда задержки будут снижаться. Оценку конкретных проектов развития станций следует производить с помощью подробного моделирования (имитационная система ИСТРА) (см. приложение А).

В качестве примера рассмотрен один из участков полигона Вологда – Череповец при существующей и проектных схемах путевого развития и объемах перевозок. Цель – определить пропускную способность железнодорожной инфраструктуры и потребность в реконструкции участка.

Для того, чтобы оценить степень влияния на работу участка прилегающих станций, выполнены разные эксперименты.

5.1.1. Участок без учета работы ограничивающих его станций

На сегодняшний день участок справляется с работой и имеет следующие показатели (таблица 5.3, эксперимент 1). В эксперименте 2 с увеличением размеров движения, возможности существующей инфраструктуры исчерпаны. Для того чтобы увеличить пропускную способность участка, были сделаны эксперименты с введением полностью параллельного графика движения пассажирских и грузовых поездов (3). Размеры движения грузовых поездов удалось увеличить лишь на 3 пары. Следует, однако, отметить, что участковая скорость при реализации параллельного графика возросла на 1,5 км/ч, а задержки уменьшились в два раза. Эксперимент 4 показал, что пропустить по участку перспективный поездопоток можно не прибегая к строительству третьего главного пути. Необходимо обеспечить восьмиминутный межпоездной интервал на всех перегонах участка в обоих направлениях. В то же время следует отметить, что рост потока будет сопровождаться снижением участковой скорости и ростом задержек. Сравнение показателей вариантов приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Сравнение показателей

Показатель	Эксперименты			
	1	2	3	4
Суммарный грузовой поездопоток, пар поездов в сутки	87	100	103	114
Участковая скорость, км/ч	42,4	37,5	39,0	36,4
Количество стоянок в среднем на один поезд	1,21	1,54	1,79	1,71
Сумма задержек, часов в сутки	86,4	169	86	215
Средняя задержка на один поезд, минут	30	51	25	57

Фрагменты графиков движения поездов показаны на рисунках 5.2 и 5.3. По ним видно, как уплотнился поток поездов и насколько интенсивнее стали работать промежуточные отдельные пункты. Предложенное специалистами закрытие в перспективе одной из станций участка оказалось нецелесообразным ввиду того, что пропускная способность полигона снизится.

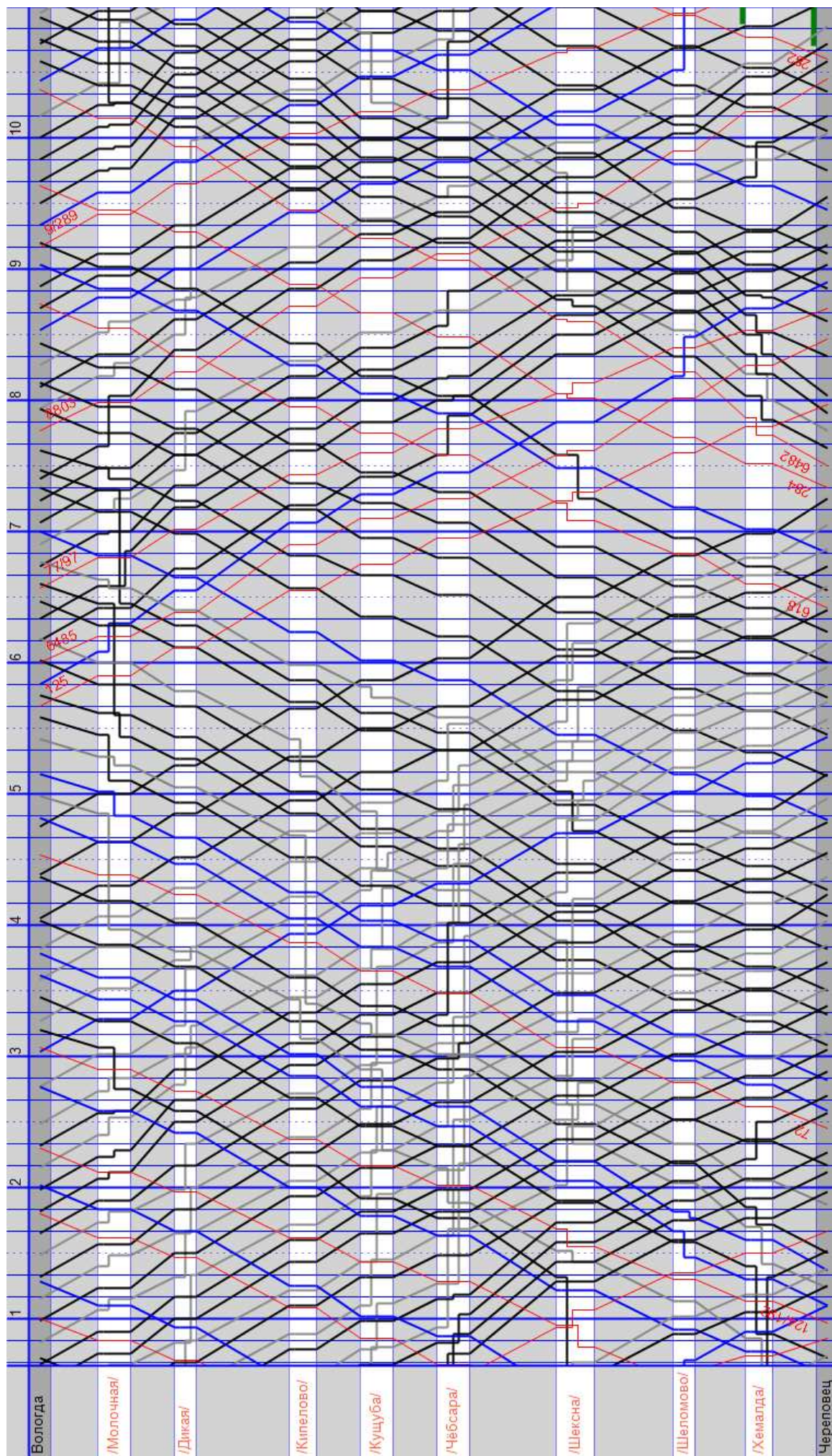


Рисунок 5.2. Фрагмент графика движения поездов (размеры движения поездов (размеры движения поездов 2019 года))

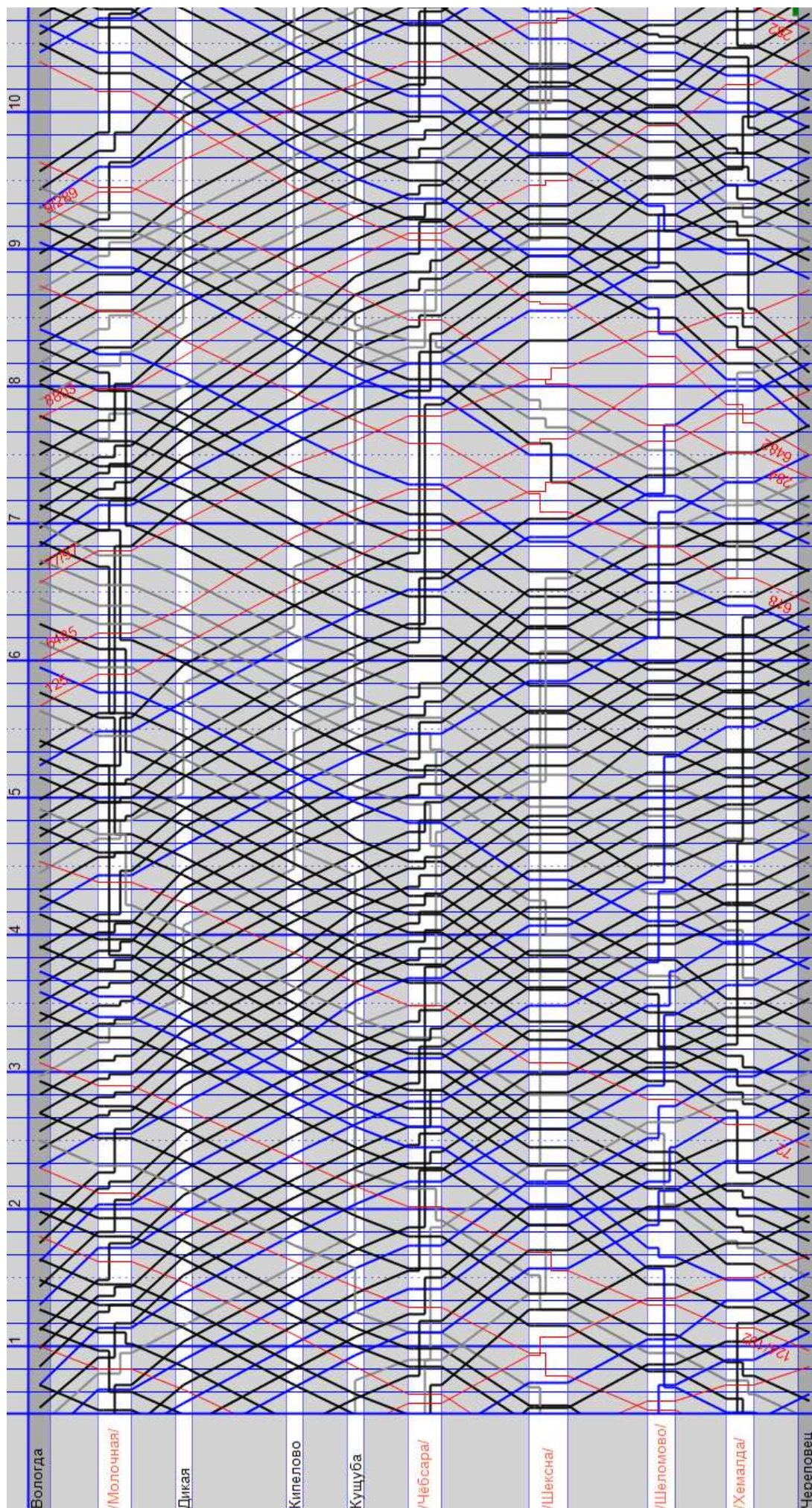


Рисунок 5.3. Фрагмент графика движения поездов (размеры движения поездов, 8-минутный интервал)

5.1.2. Участок с учетом работы ограничивающих его станций

При добавлении в модель участковых станций на границах участка результаты кардинально меняются. С учетом текущей нестабильной работы прилегающих железнодорожных узлов пропускная способность участка составит не более 108 пар грузовых поездов (против 114 пар без учета ограничивающих станций).

Первоочередным узким местом участка будет являться четная горловина станции Череповец I. В ней пересекаются маршруты следования транзитных грузовых и пассажирских поездов с местными грузовыми поездами, следующими с/на приемоотправочные пути станции Череповец II. Так же задержки вызывает враждебность нечетных пассажирских и четных грузовых поездов в нечетной горловине станции Череповец I. Задержки из-за горловин составляют 67 часов в сутки, это наибольшая величина в модели. Притом, что загрузка горловины вовсе не критическая – 70%. Из-за небольшой емкости парка поезда задерживаются и на подходах к станции, из-за чего как раз снижается пропускная способность участка.

Рассмотрим горловину, как часть дуплекса. Для того чтобы увеличить пропускную способность горловины (канала), можно увеличить емкость парка (бункера) перед ней. Это позволило бы сделать поток более управляемым и снизить задержки на участке. Однако по условиям местности это сделать невозможно. Уменьшить враждебность позволит только строительство путепроводной развязки, которую из-за зажатости станции городской застройкой придется выносить на перегон (рисунок 5.4).

Реконструкция позволит:

- на станции Хемалда останавливать и при необходимости выполнять смену локомотивных бригад нечетным поездам массой 9000 тонн;
- пропускать нечетные грузовые поезда назначением на станцию Череповец II по перегону Хемалда – Череповец I по новому пути через путепроводную развязку. Это позволит исключить враждебные пересечения в четной горловине станции Череповец I;

- пропускать нечетные пассажирские поезда по перегону Хемалда – Череповец I по новому пути через путепроводную развязку. Это позволит исключить враждебные пересечения в нечетной горловине станции Череповец I.

Задержки из-за горловин в результате эксперимента снизились на 18%. Таким образом, удастся повысить пропускную способность участка до 114 пар поездов в сутки. Сумма задержек поездов на участке на 22% меньше, чем в варианте без реконструкции и с меньшим количеством поездов.

В целом, сравнивая результаты экспериментов, которые учитывают работу станций, ограничивающих участок, можно сделать вывод о планомерном улучшении показателей работы, как количественных, так и качественных.

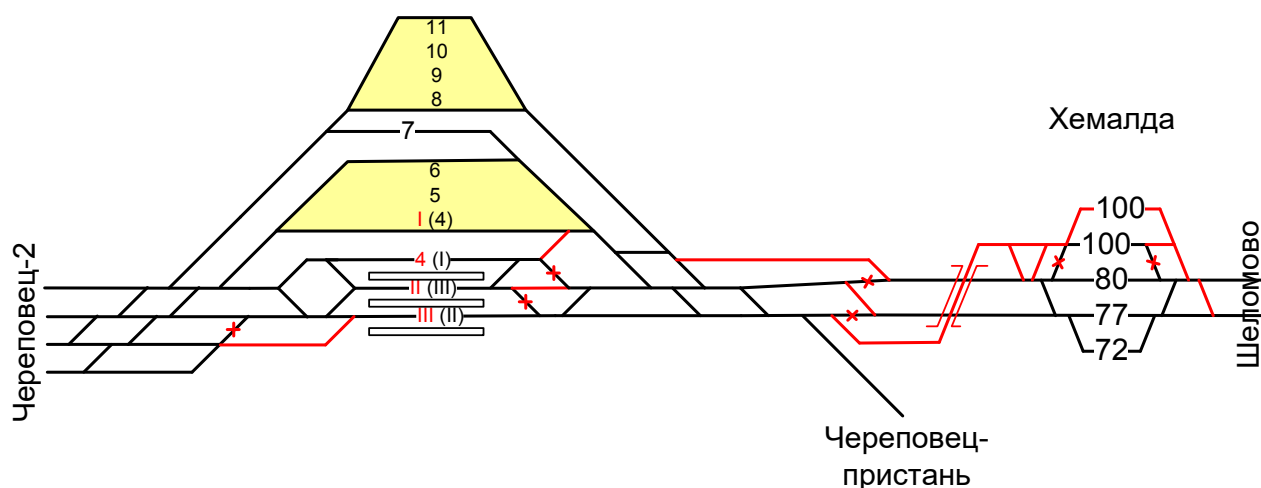


Рисунок 5.4 – Реконструкция станций Череповец I и Хемалда и строительство третьего пути на перегоне с устройством путепроводной развязки

5.2. Оптимизация по критерию «максимальная скорость пропуска потока»

5.2.1. Увеличение количества функциональных каналов

При решении задачи повышения пропускной способности полигона лучше всего начинать с рассмотрения функциональных каналов. Их пропускную способность увеличить значительно легче, чем структурных.

Основными функциональными каналами на станциях полигона являются бригады по обработке составов по прибытии или перед отправлением (естественно, на время обработки занимаются и пути в парках, на которых производится обработка). Для эксперимента было увеличено число бригад на некоторых станциях, где задержки из-за бригад были большими.

5.2.1.1. Станции с большой емкостью бункера

На станции Лянгасово задержки из-за бригад в четном направлении были существенными, каждый поезд дополнительно простаивал 61 минуту (рисунок 5.5, а). При этом суммарные задержки в нечетном направлении составили 93.5 минуты на поезд (из-за участка 30.5, из-за путей в парке приема – 2 мин на поезд).

При добавлении бригад задержки существенно уменьшились (рисунок 5.5, б). Суммарные задержки составили всего 44 минуты на поезд, а задержки из-за бригад исчезли вовсе.

Однако модель позволяет увидеть, как это отразится и на других параметрах работы. Сократились задержки из-за станции (рисунок 5.6), с 47 минут на поезд до 21. На прилегающем участке за счет уменьшения количества и продолжительности стоянок по неприему увеличилась участковая скорость (с 46 до 47,6 км/ч).

Уменьшилась общая загрузка станции (рисунок 5.7).

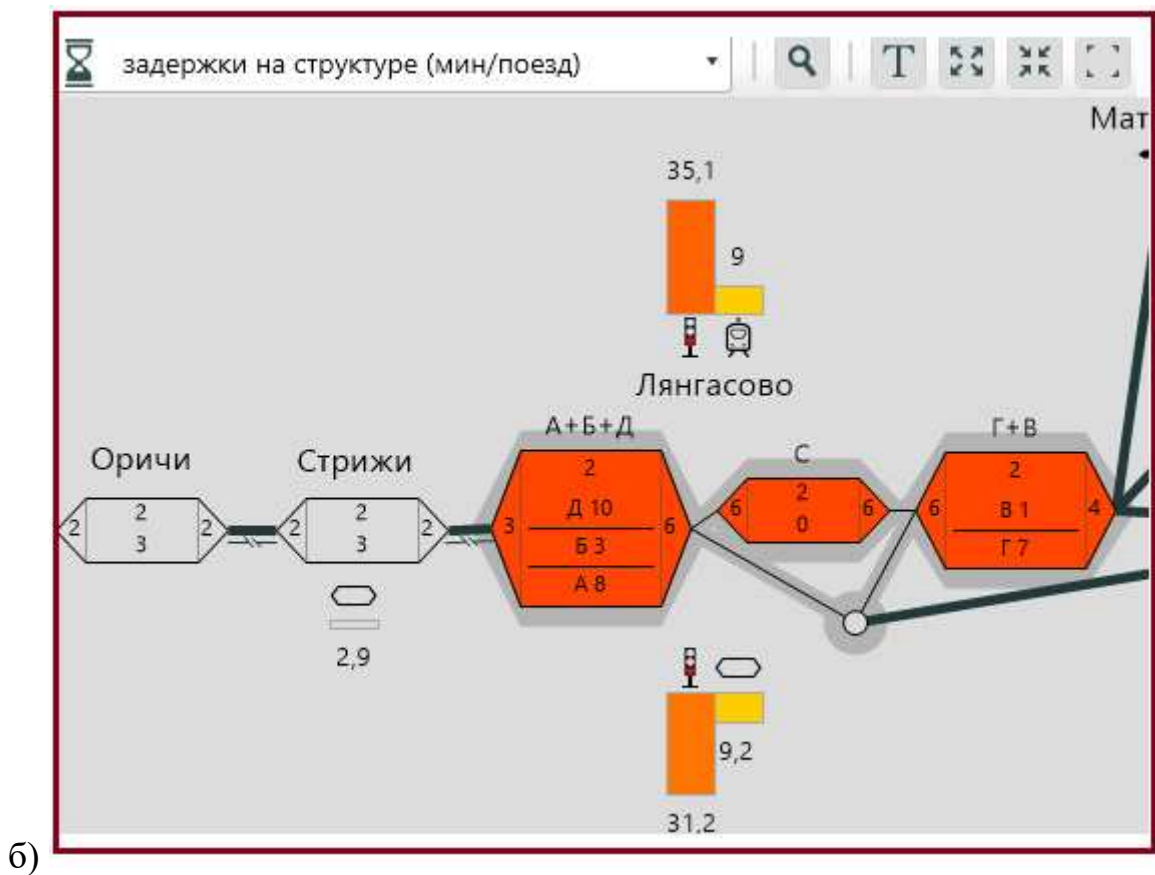
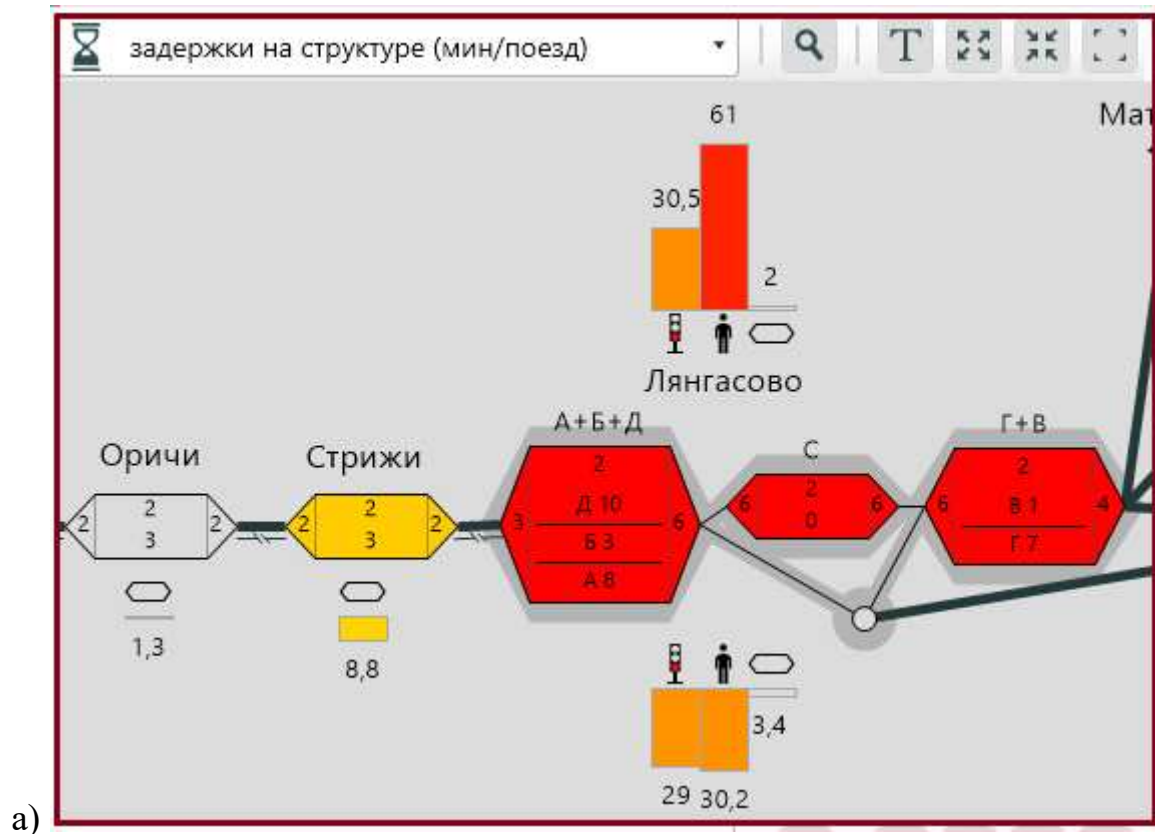


Рисунок 5.5. Задержки поездов на ст. Лянгасово

а) в исходном варианте, б) в эксперименте

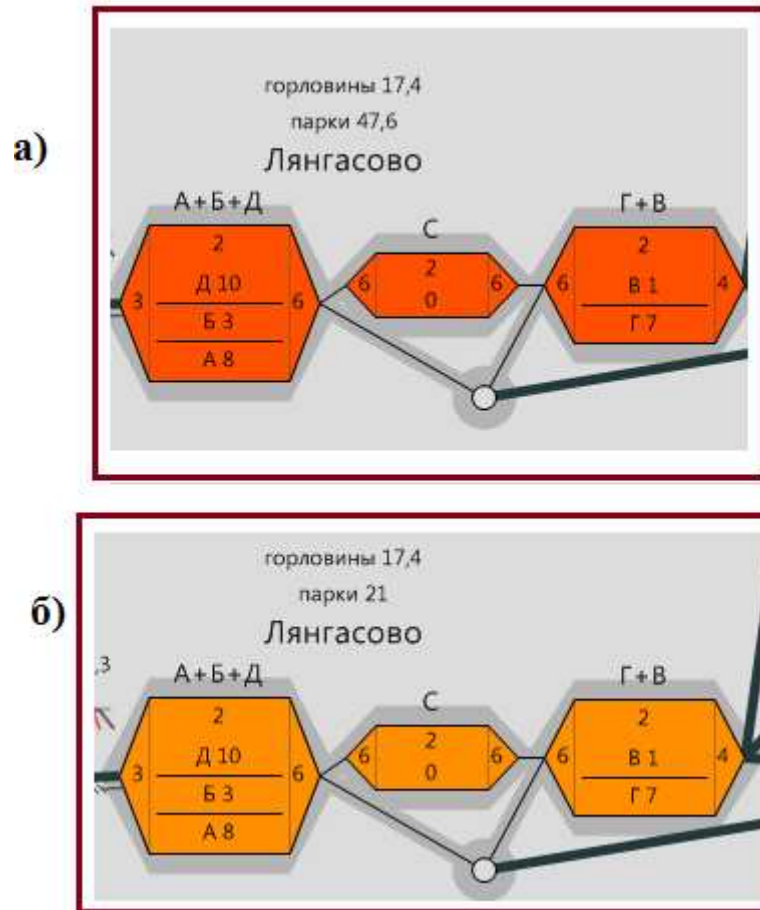


Рисунок 5.6. Задержки поездов из-за станции Лянгасово
а) в исходном варианте, б) в эксперименте

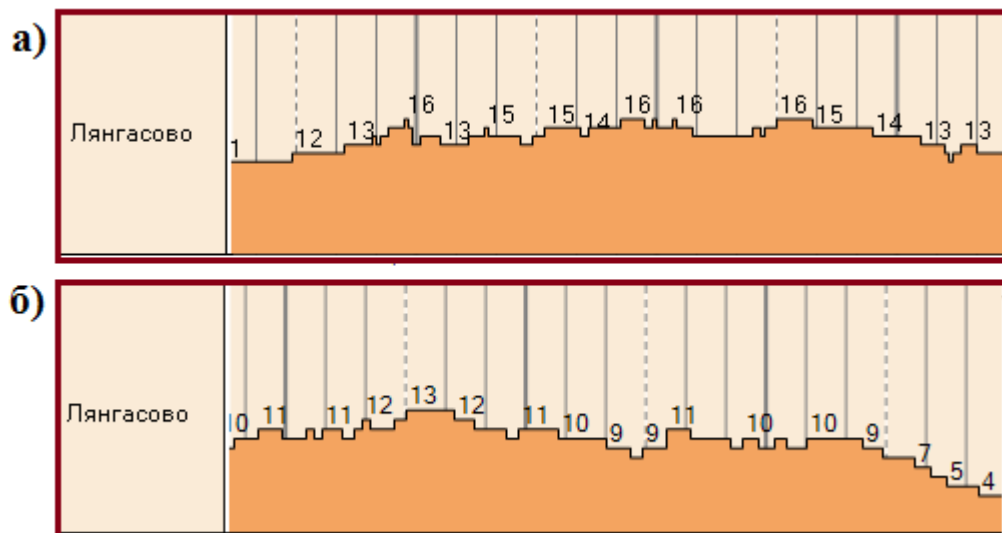


Рисунок 5.7. Число составов в динамике на станции Лянгасово
а) исходный вариант, б) эксперимент

Существенно уменьшилось заполнение основного в четном направлении парка А (рисунок 5.8) – с 80.3% до 51.3%. А также и задержки из-за него – с 26 час 15 мин до 7 час 5 мин. Практически исчезли задержки из-за других парков.


название	графически	загрузка	задержка из-за
Пути парка А [Лянгасово]		80,3 %	26:15
Пути парка Б [Лянгасово]		63,8 %	1:36
Пути парка Д [Лянгасово]		52,2 %	1:01
Пути парка Г [Лянгасово]		45,7 %	1:14
название	графически	загрузка	задержка из-за
Пути парка А [Лянгасово]		51,3 %	7:05
Пути парка Г [Лянгасово]		39,1 %	0:00
Пути парка Б [Лянгасово]		34,4 %	0:00
Пути парка Д [Лянгасово]		27,9 %	0:03

Рисунок 5.8. Заполнение парков и задержки из-за них
вверху в исходном варианте, внизу - в эксперименте

Таким образом, увеличение пропускной способности некоторых функциональных каналов на ст. Лянгасово привело к следующим положительным последствиям:

- уменьшилось время простоя составов в ожидании обработки;
- соответственно, уменьшились задержки из-за станции;
- и, как следствие, увеличилась скорость движения поездов на прилегающем участке, а, значит, и общая скорость пропуска потока на полигоне.

На станции Балезино все дополнительные простои большие, в том числе и из-за бригад (рисунок 5.9). Но так как станция имеет значительное путевое развитие, задержки по неприему на прилегающих станциях невелики. После добавления функциональных каналов задержки из-за

станции уменьшились существенно – с 54.9 до 37.7 минут на поезд (рисунок 5.10).

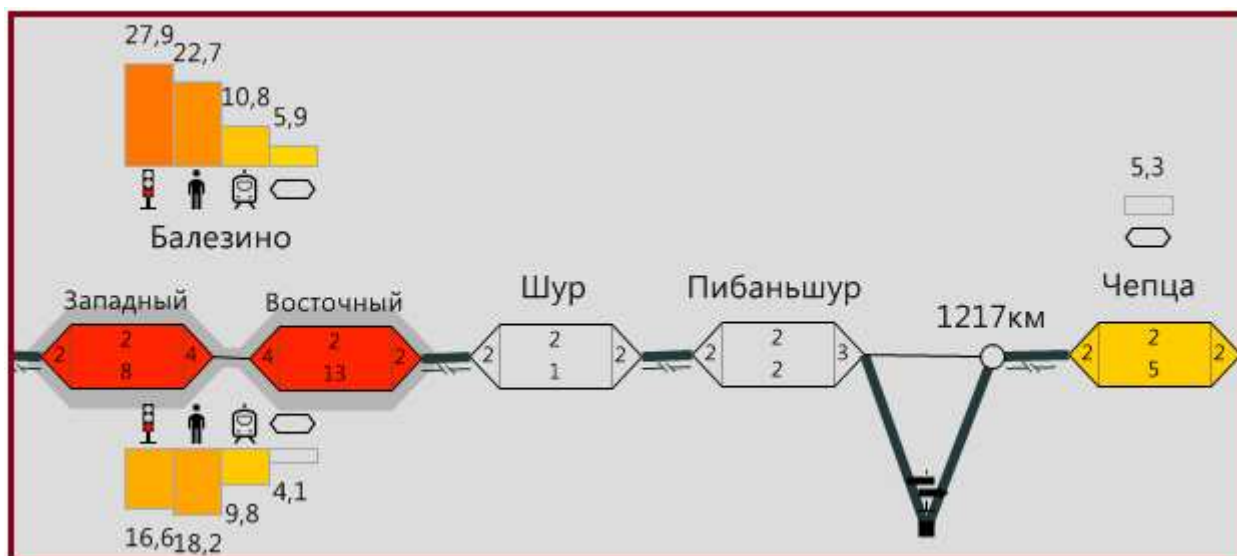


Рисунок 5.9. Задержки на станции Балезино (исходный вариант)

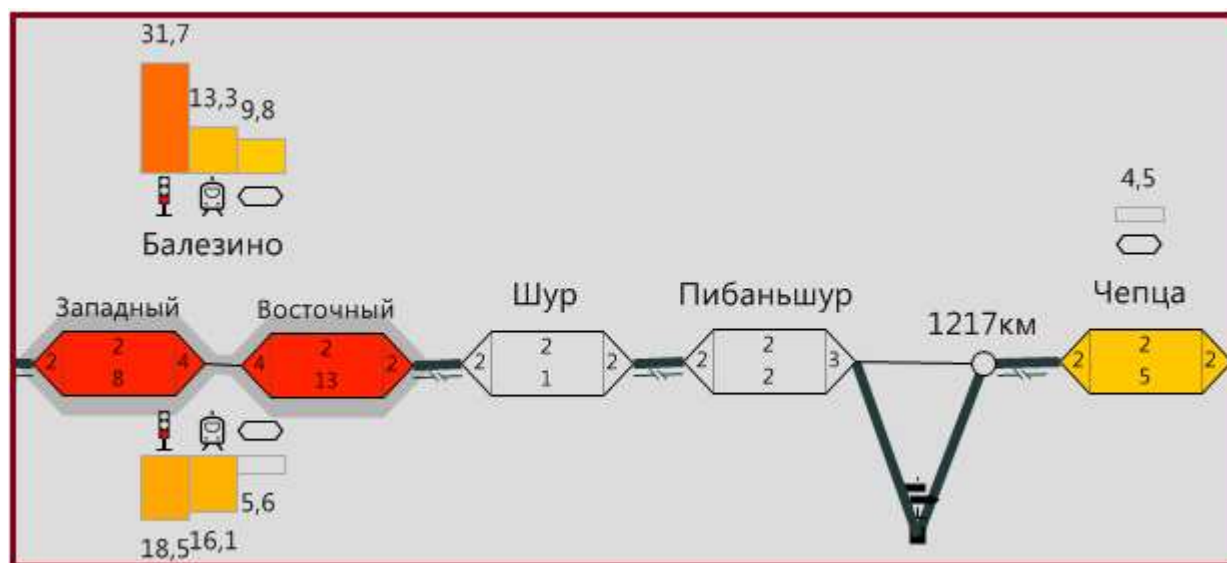


Рисунок 5.10. Задержки на станции Балезино (эксперимент)

На станции Лоста довольно высоки задержки из-за бригад – 21.2 минуты на поезд (рисунок 5.11). Но еще больше – из-за впереди лежащего участка – 52.9 минуты на поезд. Увеличение количества бригад привело к неожиданным результатам (рисунок 5.12). Задержки из-за бригад, естественно, исчезли. Но резко увеличились задержки из-за участка – с 52.9 до 63.7 минуты на поезд. Возросли и общие задержки – с 95.8 до 103.9 минут

на поезд. При изменении темпа обработки поездов изменились ритмы отправления, работа горловин и участка нечетного направления. Для объяснения этого нужно более глубокое исследование станции на подробной модели.

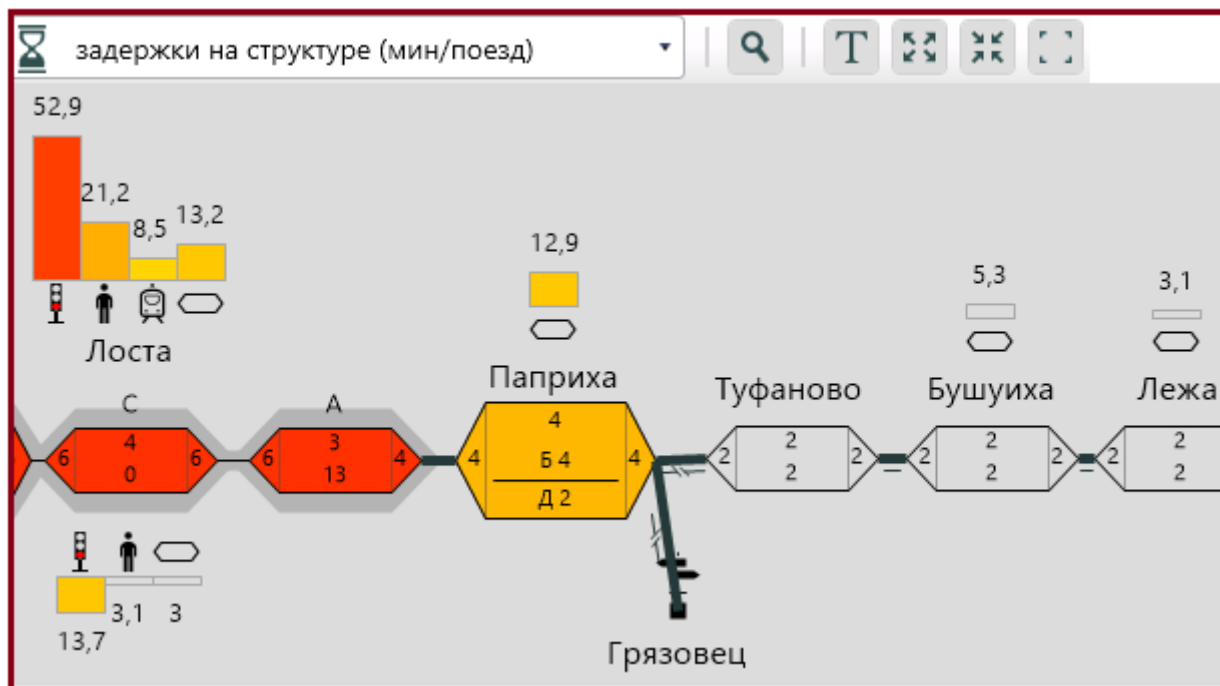


Рисунок 5.11. Задержки на ст. Лоста (исходный вариант)

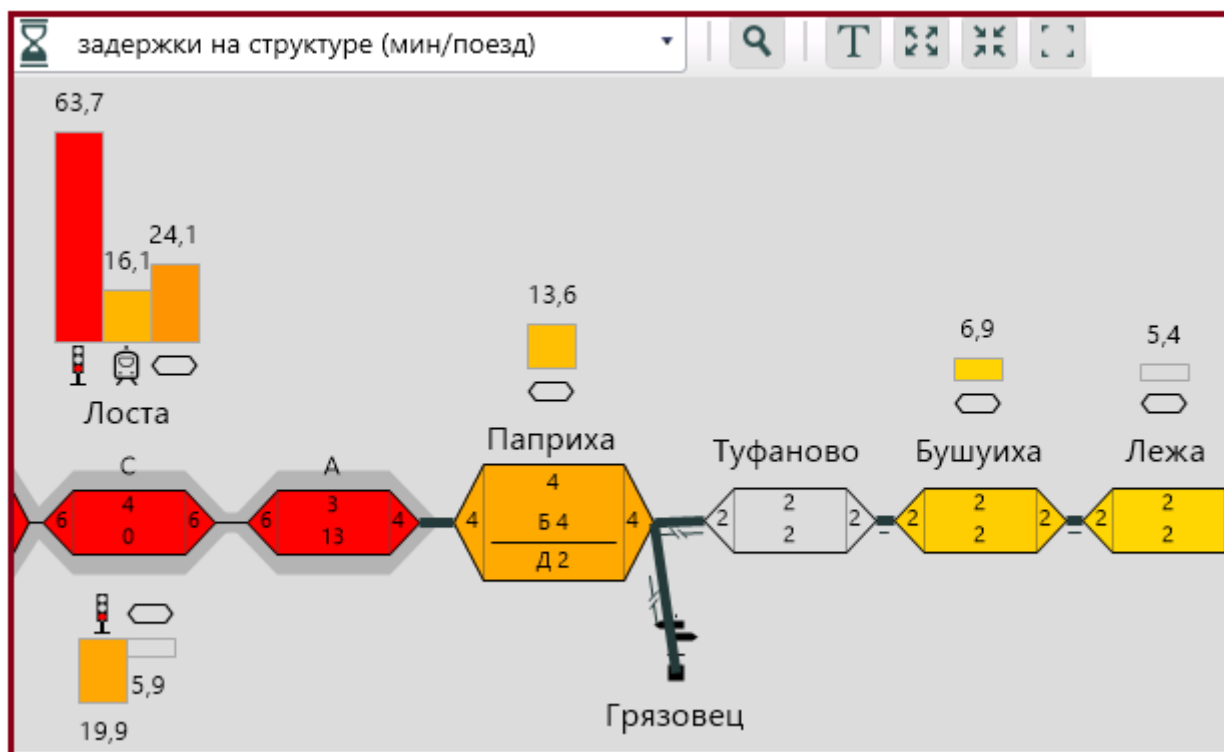


Рисунок 5.12. Задержки на ст. Лоста (эксперимент)

5.2.1.2. Станции с малой емкостью бункера

Задержки из-за бригад на станции Шарья меньше, чем на станции Лянгасово, однако задержки на участке по неприему весьма существенные (рисунок 5.13-а). Суммарные задержки по неприему на четырех примыкающих станциях составили 32,9 минут на поезд. Это связано с тем, что вместимость парка (емкость бункера) на станции Шарья значительно меньше, чем на станции Лянгасово. В Лянгасово имеется более вместительный бункер, поэтому поезда почти беспрепятственно прибывают в парк и по 4-5 поездов одновременно ожидают осмотра. В Шарье столько поездов одновременно разместиться не могут, поэтому задерживаются на подходе. Работает дуплекс с распределенным бункером.

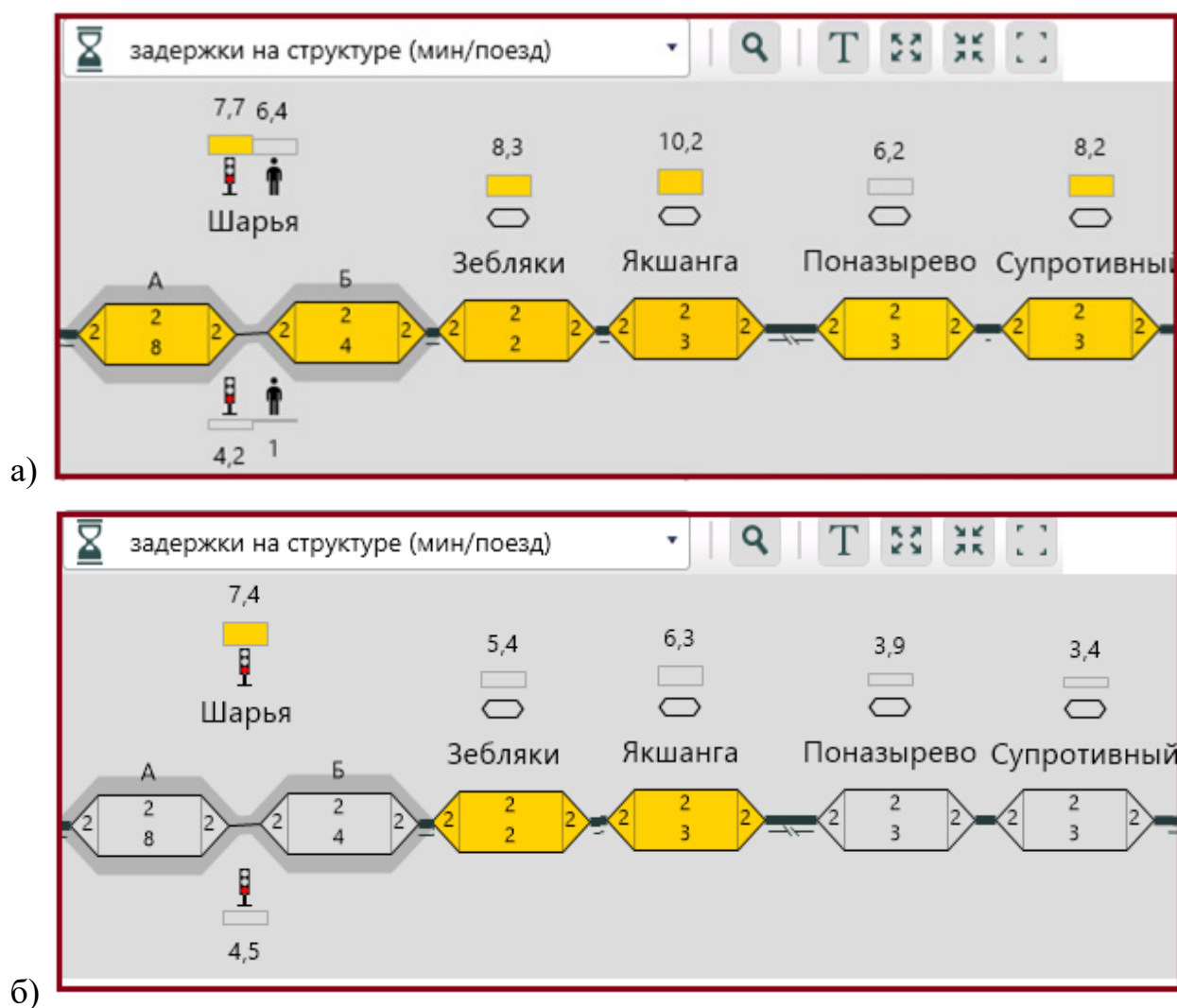


Рисунок 5.13. Задержки на ст. Шарья и прилегающих станциях

а) исходный вариант, б) эксперимент

При добавлении бригад ситуация изменилась, хотя и не так значительно (рисунок 5.13-б). Задержки из-за бригад исчезли, а суммарные задержки поездов на станции уменьшились с 14.1 до 7.4 минут на поезд. Суммарные задержки по неприему на четырех прилегающих станциях уменьшились с 32.9 до 19 минут на поезд.

Уменьшилось заполнение парков и задержки из-за них (рисунки 5.14 и 5.15). Заметно увеличилась участковая скорость (таблица 5.4).

название	графически	загрузка	задержка
Вагоны в парке Б [Шарья]		42,8 %	6:43
Вагоны в парке А [Шарья]		11,1 %	1:42
название	графически	загрузка	задержка
Вагоны в парке Б [Шарья]		40,8 %	4:49
Вагоны в парке А [Шарья]		10,5 %	1:22

Рисунок 5.14. Загрузка парков и задержки из-за них на ст. Шарья
(сверху – исходный вариант, снизу – эксперимент)

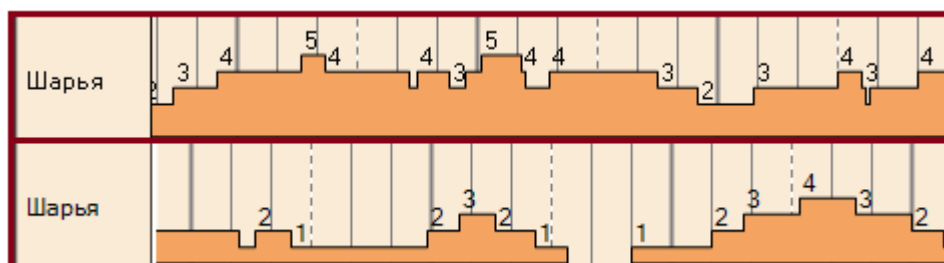


Рисунок 5.15. Загрузка ст. Шарья в динамике

Таблица 5.4. Увеличение участковой скорости

Скорость хода, км/ч				
Участок	Техническая (неч.)	Техническая (чет.)	Участковая (неч.)	Участковая (чет.)
Лянгасово - Шарья	51,35	52,77	41,94	37,40
Скорость хода, км/ч				
Участок	Техническая (неч.)	Техническая (чет.)	Участковая (неч.)	Участковая (чет.)
Лянгасово - Шарья	51,16	54,03	43,20	46,53

На станции Буй задержки из-за бригад составляют 14.4 минуты на поезд (рисунок 5.16). Но задержки по неприему на прилегающих станциях велики. Увеличение бригад привело не только к исчезновению задержек из-за бригад, но и к сокращению общих задержек – с 30.4 до 22.7 минуты на поезд (рисунок 5.17).

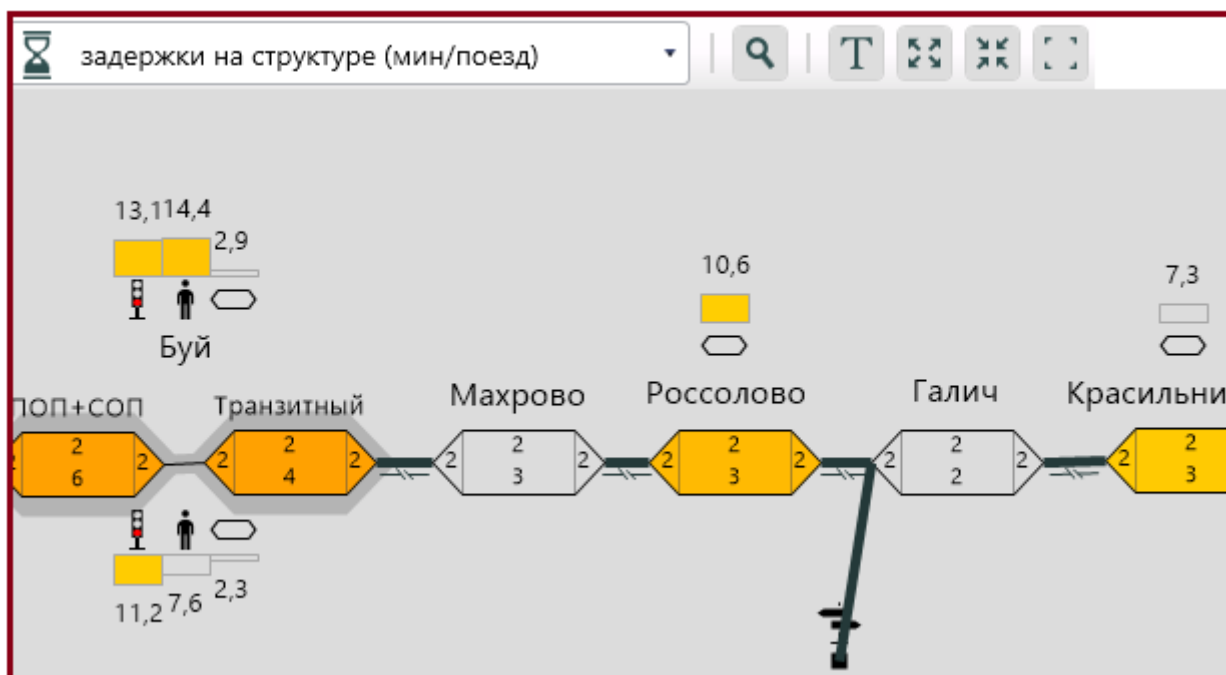


Рисунок 5.16. Задержки на ст. Буй (исходный вариант)

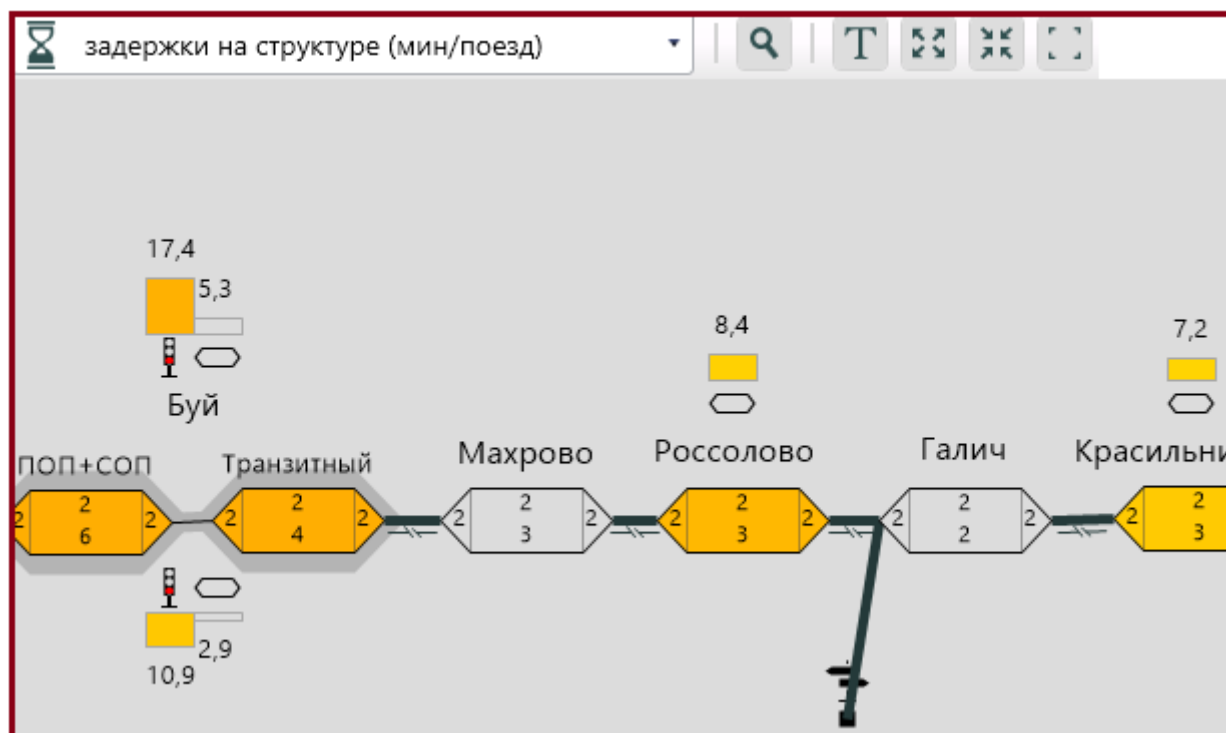


Рисунок 5.17. Задержки на ст. Буй (эксперимент)

Уменьшились и простои по неприему – с 10.6 и 7.3 до 8.4 и 7.2 минуты на поезд соответственно. Задержки из-за станции (суммарно с четной и нечетной стороны) практически не изменились – было 35, стало 34.9 минуты на поезд.

Таким образом, на ряде станций увеличение количества функциональных каналов влечет заметное снижение уровня задержек, уменьшая непроизводительные простои. На других станциях картина не так очевидна (рисунок 5.18). Задержки из-за бригад перераспределяются на другие элементы и улучшения показателей не происходит. Полигон работает с высокой загрузкой, все процессы взаимосвязаны и предположения о возможных результатах вводимых изменений довольно трудно логически предсказать.

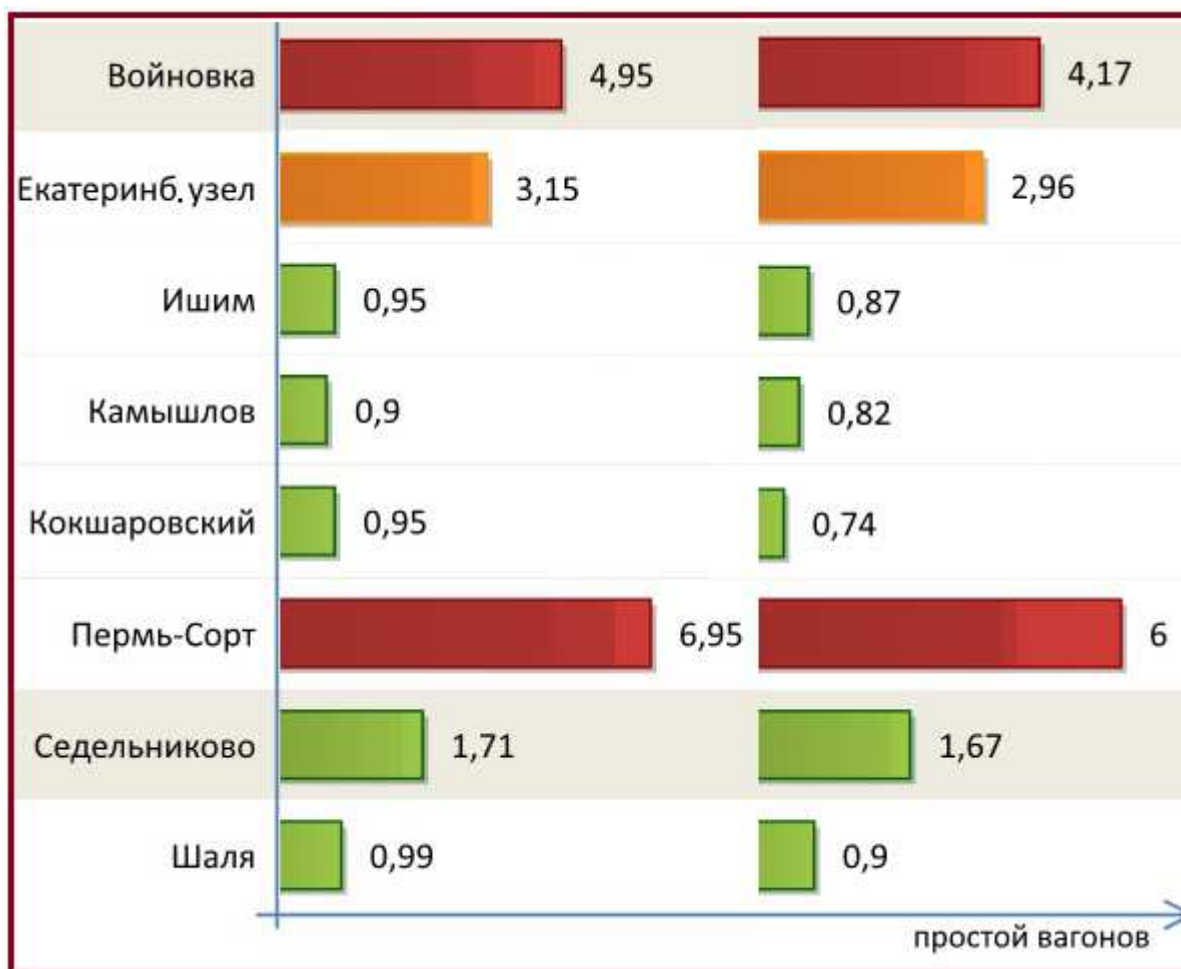


Рисунок 5.18. Простои поездов на технических станциях
(слева – исходный вариант, справа – эксперимент)

Тем не менее, выполнив оптимизацию по тем станциям, на которых эффект от увеличения числа функциональных каналов заметен, можно повысить маршрутные скорости движения поездов по дорогам (таблица 5.5).

Таблица 5.5. Маршрутные скорости по дорогам

Скорость хода, км/ч	исходный вариант		эксперимент	
	Маршрутная (неч.)	Маршрутная (чет.)	Маршрутная (неч.)	Маршрутная (чет.)
Участок				
ЭСЖД маршрутная (все)	51,01	51,30	52,22	49,87
ЭСЖД маршрутная (ТД)	46,79	51,04	55,62	49,57
СВЖД маршрутная (все)	38,61	39,90	35,57	39,05
СВЖД маршрутная (ТД)	42,57	44,84	41,96	43,91
ГЖД маршрутная (все)	32,27	31,57	29,37	29,18
ГЖД маршрутная (ТД)	32,93	32,56	29,27	33,53
СЕВЖД маршрутная (все)	28,05	38,83	27,05	37,89
СЕВЖД маршрутная (ТД)	35,23	39,85	35,35	40,83
ОКТЖД маршрутная (все)	32,30	36,38	31,91	33,24
ОКТЖД маршрутная (ТД)	47,63	49,90	46,62	49,38

Маршрутная скорость в результате эксперимента оказалась выше на 1,14 км/ч в нечетном направлении и на 0,62 км/ч в четном направлении.

5.2.2. Увеличение количества структурных каналов

Для оценки степени влияния инфраструктурных изменений в качестве структурных каналов выбраны горловины на нескольких станциях.

На станции Поздино происходит разделение пассажирского и грузового движения в Кировском узле (рисунок 5.19).

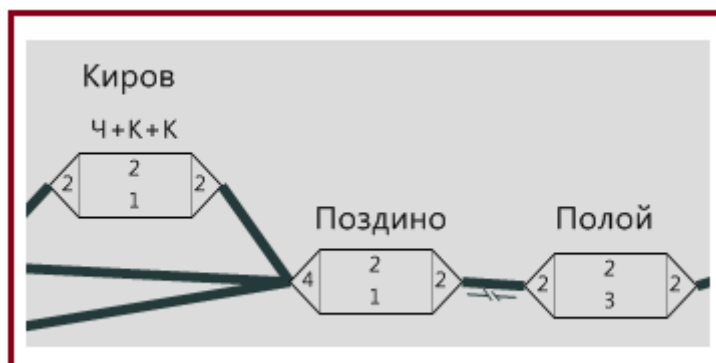
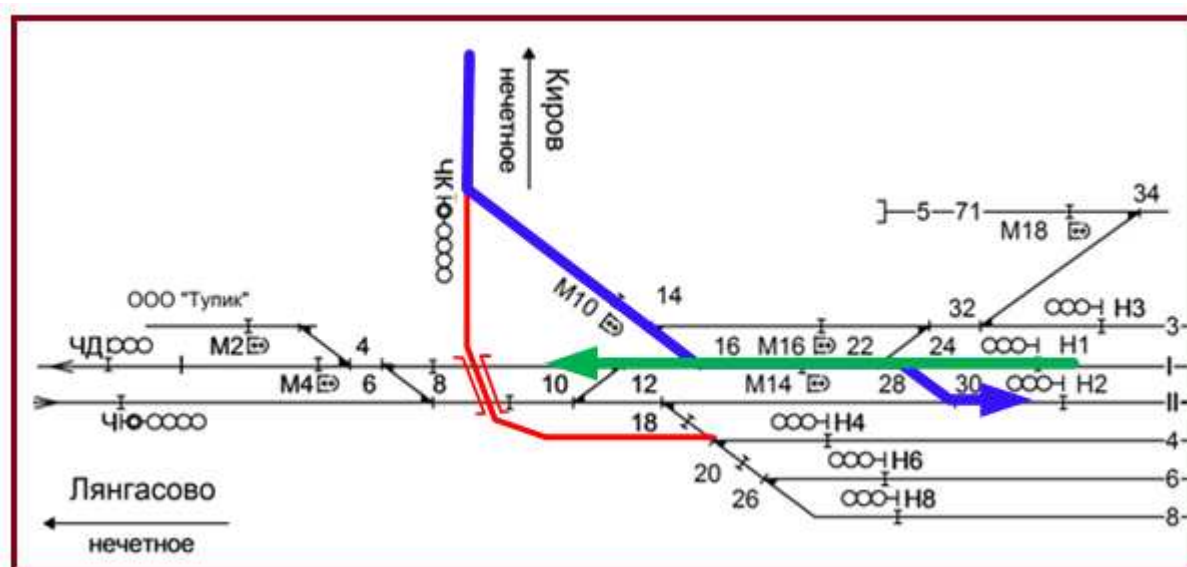


Рисунок 5.19. Станция Поздино и прилегающие

Однако на станции отсутствует путепроводная развязка, из-за чего возникает враждебность в маршрутах следования нечетных грузовых поездов и четных пассажирских. Эти потоки можно развести (рисунок 5.20). Корректируя модель, изменяем количество каналов в горловине, а затем в маршрутах поездов указываем новые каналы. Сравнение результатов исходного варианта модели (до) и эксперимента (после) приведены в таблице 5.6.



Зеленым – маршрут следования нечетных грузовых поездов, синим – пассажирских, красным – путепроводная развязка

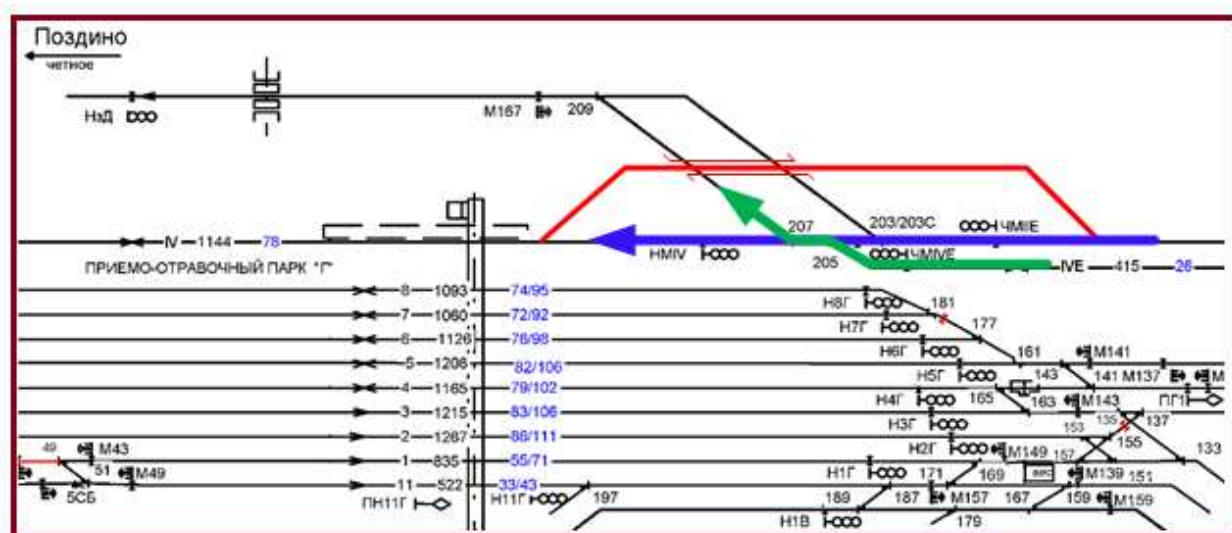
Рисунок 5.20. Развязка на ст. Поздино

Таблица 5.6. Задержки в горловине ст. Поздино

канал	загрузка, %		задержки			
			ч/сут		мин/поезд	
	до	после	до	после	до	после
1	19	9	0	0		
2	40	30	3,2	0,1		
3	42	32	10,8	2,3		
4	-	10	-	0		
сумма	-	-	14,0	2,4	6,3	1,1

Как видно, задержки из-за горловины снизились в шесть раз. Участковая скорость на участке Балезино – Лянгасово в нечетном направлении увеличилась с 47,66 км/ч до 48,39 км/ч.

На станции Лянгасово путепроводная развязка сможет предотвратить пересечение маршрутов попутных пассажирских и грузовых поездов (рисунок 5.21). Задержки из-за горловины снижаются на треть (таблица 5.7). Простой поездов в парке, предшествующем рассматриваемой горловине, снижается с 1,91 до 1,84 часа.



Зеленым – маршрут следования грузовых поездов, синим – пассажирских, красным – путепроводная развязка

Рисунок 5.21. Схема развязки на ст. Лянгасово

Таблица 5.7. Задержки на ст. Лянгасово

канал	загрузка, %		задержки			
			ч/сут		мин/поезд	
	до	после	до	после	до	после
5	18	39	0,9	8,3		
6	45	23	11,6	1,1		
сумма			12,5	9,4	8,7	6,6

В Волховстроевском узле имеется много враждебных пересечений маршрутов (рисунок 5.22):

1. на станции Волховстрой-2 – маршруты нечетных поездов со станции Куколь и четных на станцию Мурманские Ворота;
2. на станции Куколь – маршруты нечетных поездов на станцию Пороги и четных со станции Волховстрой-2;
3. на станции Пупышево – маршруты нечетных со станции Пороги и четных на станцию Волховстрой-1;
4. мост на перегоне Пороги – Куколь однопутный, из-за чего возникают задержки при одновременном подходе четного и нечетного поездов.

Эти враждебности создают значительные затруднения при пропуске поездов через узел.

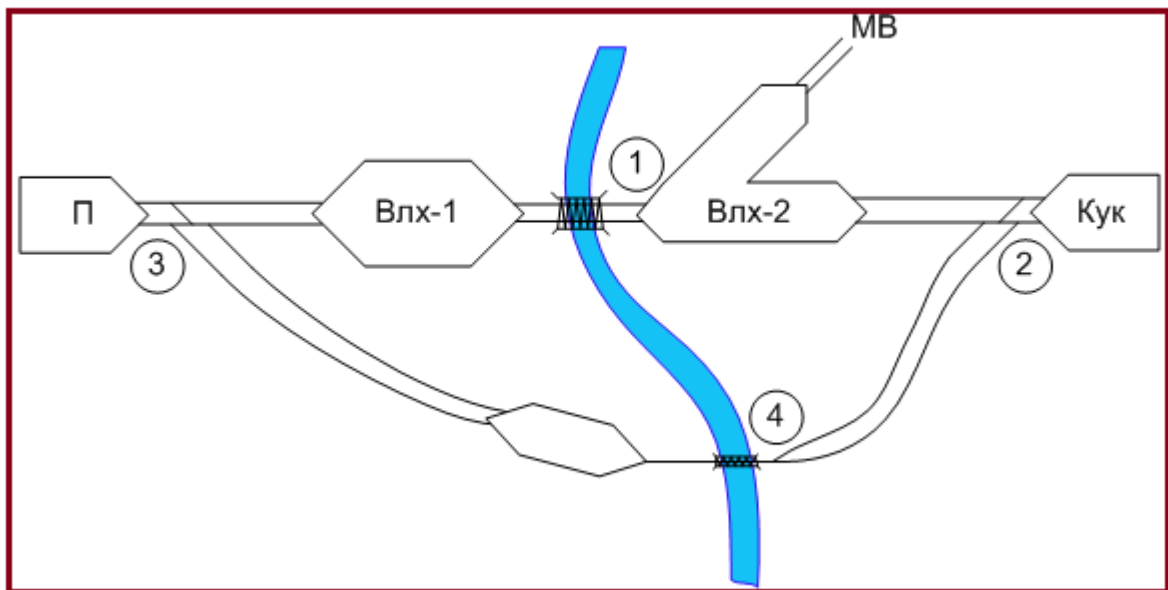
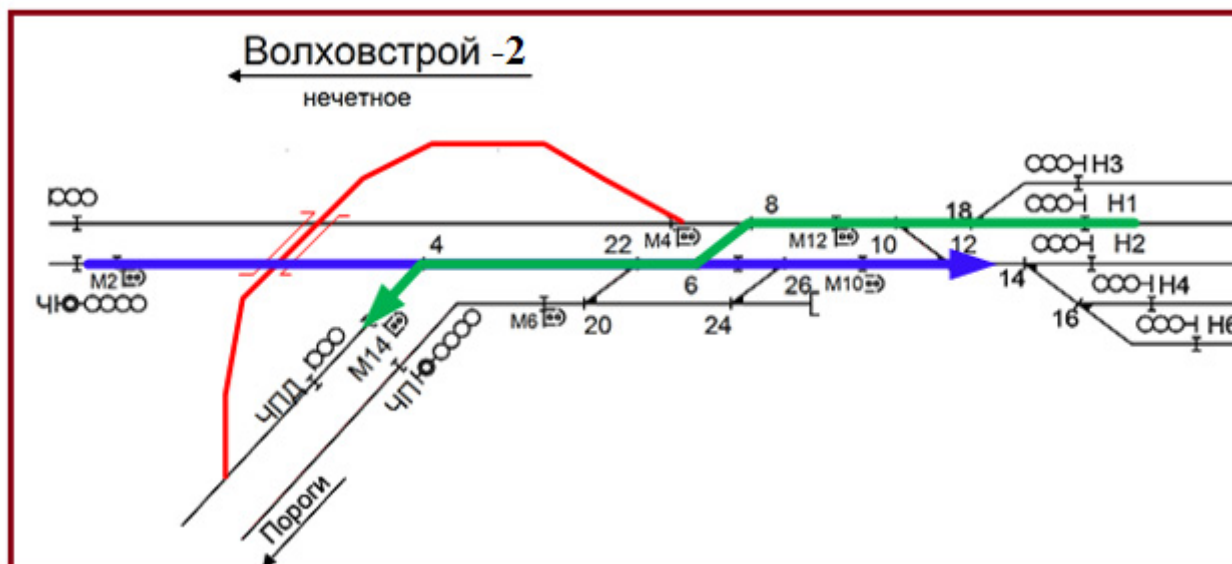


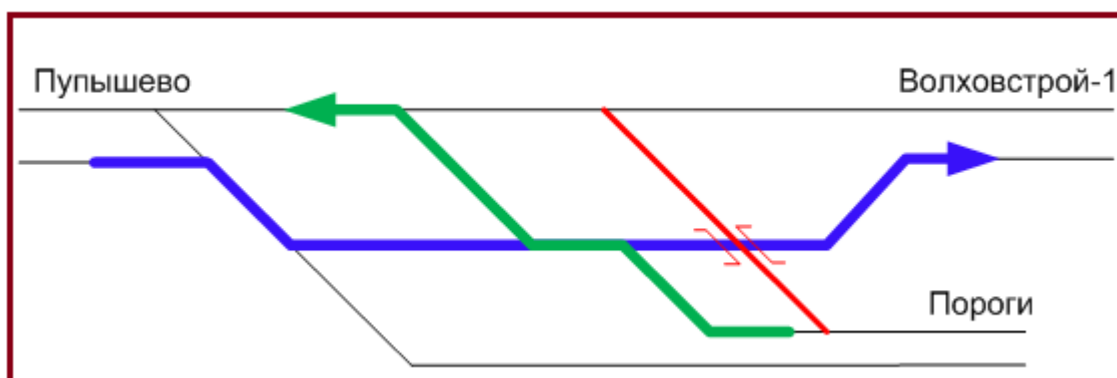
Рисунок 5.22. Схема Волховстроевского узла

Для устранения враждебных пересечений маршрутов необходимы три путепроводных развязки и мост через реку (рисунок 5.23, 5.24).



*Зеленым – маршрут следования нечетных поездов,
синим – четных, красным – путепроводная развязка*

Рисунок 5.23. Развязка на ст. Куколь



*Зеленым – маршрут следования нечетных поездов,
синим – четных, красным – путепроводная развязка*

Рисунок 5.24. Развязка на ст. Волховстрой-1

В результате снижаются задержки во всех рассматриваемых горловинах (таблица 5.8). Сократились простои поездов на станциях Волховстрой-2 – с 0,51 часа до 0,16 часа, Пороги – с 1,39 ч. до 0,41 ч. Участковая скорость в нечетном направлении увеличилась с 44,1 км/ч до 46,6 км/ч. Задержки из-за путей станций перераспределились и в целом по узлу уменьшились (таблица 5.9).

Таблица 5.8. Задержки на станциях узла

Станция	канал	загрузка, %		задержки			
				ч/сут		мин/поезд	
		до	после	до	после	до	после
Куколь	1	32	32	2,4	1,1		
	2	17	13	0,5	0,1		
	3	44	31	3,7	1,3		
	сумма			6,6	2,5	2,7	1,0
Пороги	1	23	34	1,8	1,7		
	2	29	25	1,2	1,3		
	3	-	7	-	0,0		
	сумма			4,0	3,0	3,4	1,7
Пупышево	1	49	27	3,0	0,5		
	2	-	25	-	1,7		
	3	31	23	2,0	0,7		
	сумма			5,0	2,8	1,9	1,1
Волховстрой-2	1	39	22	0,2	0,1		
	2	38	17	2,8	0,2		
	3	22	12	0,4	0,1		
	4	-	10	-	0,5		
	сумма			3,4	0,8	1,8	0,7

Таблица 5.9. Задержки из-за путей станций

Станция	Задержки из-за путей			
	ч/сут		мин/поезд	
	до	после	до	после
Волховстрой-1	1,05	3,1	1	2,8
Волховстрой-2	12,9	0	12	0
Пупышево	62	40,6	24	16
Куколь	0,5	0,2	0,2	0,1
Пороги	0,5	1,0	0,3	0,6

Таким образом, при помощи имитационной модели можно рассчитать технологический эффект проводимых мероприятий и обосновать выбор наиболее рационального варианта реконструкции.

5.3. Оптимизация пассажирского движения (маршрутной скорости по критерию минимизации количества составов)

За последние 4 года количество перевезенных пассажиров в дальнем следовании в поездах формирования АО "ФПК" сократилось на 19%, в том числе в сегменте перевозок вагонами СВ и купейными вагонами на 30%, плацкартными и общими вагонами на 12% [4]. Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг и привлечение пассажиропотока является одной из основных задач, от успешного решения которой во многом зависят экономические результаты производственной деятельности компании.

Идея ускоренного пассажирского движения базируется на сравнении времени, затрачиваемого пассажиром при использовании различных видов транспорта. При длине маршрута 500 – 700 км время передвижения поездом сопоставимо со временем перелета на самолете. Если при этом повысить маршрутную скорость на 15 – 20 км/ч, то пассажирские поезда опередят авиацию по скорости доставки. При этом рост скорости не должен приводить к сокращению пропускной способности линий, равно как и к снижению производительности локомотивов.

Маршрутная скорость пассажирских поездов на Свердловской ж.д. существенно ниже той, которую позволяет реализовать инфраструктура. Резерв времени хода пассажирских поездов в зависимости от участка составляет в среднем от 15 до 36% (таблица 5.10). Безусловно, для надежного транспортного сообщения резервы необходимо иметь. Международный союз железных дорог рекомендует определять резервы к времени движения следующим образом: 1 мин на 100 км плюс 3 % времени движения или 3 мин на 100 км [45]. Однако на практике эта величина значительно больше из-за использования параллельного и частично-параллельного графика для повышения пропускной способности железных дорог, а так же для скорейшего ввода в расписание опаздывающих пассажирских поездов.

Таблица 5.10. Показатели пассажирского движения

показатель	участки	
	Екат.-пасс – Пермь	Екат.-пасс – Тюмень
длина участка, км	381	326
время хода пасс. поезда		
по тяговым расчетам, мин	281	220
перегонное, заложенное в ГДП, мин	302	237
фактическое время хода самого быстрого поезда, мин	322	263
фактическое время хода большинства поездов, мин	325	300
участковая скорость		
по тяговым расчетам, км/ч	81	89
по перегонному времени хода, заложенное в ГДП, км/ч	76	83
самого быстрого поезда, км/ч	71	74
большинства поездов, км/ч	70	65
резерв по отношению ко времени по тяговым расчетам, %		
по перегонному времени хода, заложенное в ГДП, км/ч	7	8
самого быстрого поезда, км/ч	15	20
большинства поездов, км/ч	16	36

Для анализа были исследованы факты опозданий по Свердловской ж.д. На диаграмме (рисунок 5.25) видно максимальные количество задержек с мая по июль, что можно объяснить выполнением плана летних путевых работ. Повышение в январе обосновано работой железнодорожного транспорта в условиях низких температур воздуха. Как видно, количество опозданий относительно невелико, а величина резерва времени хода поездов избыточна.

Для наглядности составлены графики резерва времени хода, на каждые 100 км пути по участкам полигона (рисунок 5.26).

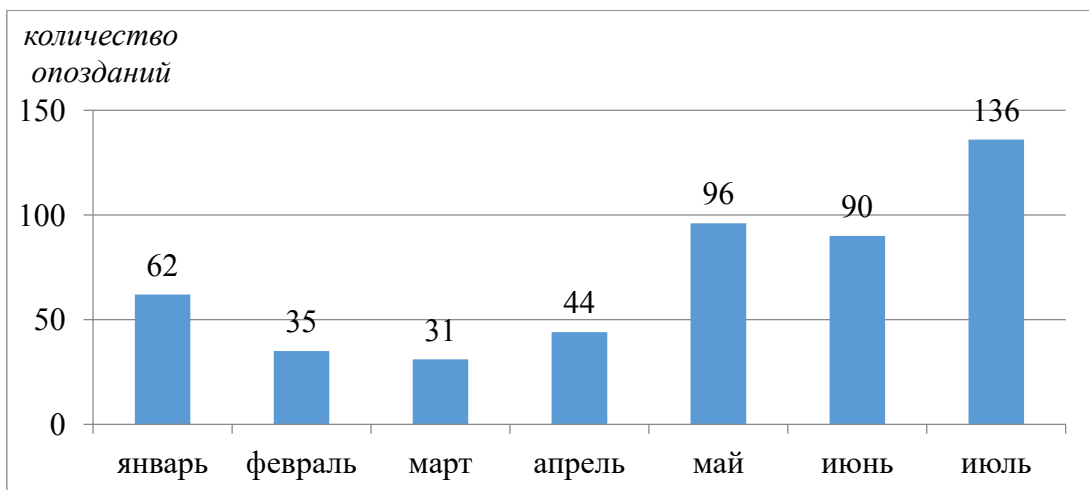


Рисунок 5.25. Количество опозданий по месяцам



Рисунок 5.26. Резервы времени

Основные причины возникновения задержек пассажирских поездов – это отказы устройств системы железнодорожной автоматики и телемеханики, энергоснабжения, путевых устройств, неисправности поездных локомотивов и вагонов, выполнение работ по ремонту и обслуживанию инфраструктуры, ошибки персонала, несанкционированное вмешательство в перевозочный процесс, непредвиденные ситуации техногенного и природного характера, а также вторичные задержки вследствие задержек других поездов в потоке.

Определив суточные размеры движения пассажирских поездов, вычисляем возможную экономию времени по перегонам, которая может быть использована как дополнительный резерв в ГДП (рисунок 5.27).

Сопоставив графики количества опозданий (рисунок 5.28) с предоставленными резервами по времени можем сделать вывод о том, что зависимости между величиной резерва и задержками на перегонах нет.

Между тем, заложенные времена влияют как на пропускную способность участков, так и на скорость движения пассажирских поездов. Разделив расстояние перегонов на минимальное и максимальное фиксируемое значение времени хода, получаем резерв технической скорости, от которой напрямую зависит и маршрутная. Она играет большую роль в обороте вагона и связанной с ним потребности подвижного состава для выполнения заданного объема перевозок.

Увеличение маршрутных скоростей пассажирских поездов с использованием технологических резервов действующего графика движения не требует существенных капиталовложений. Подобные мероприятия уже находят применение на сети железных дорог.

В связи с этим, предлагается выбирать маршрутную скорость каждого конкретного поезда, отталкиваясь от реально осуществимой величины оборота состава.

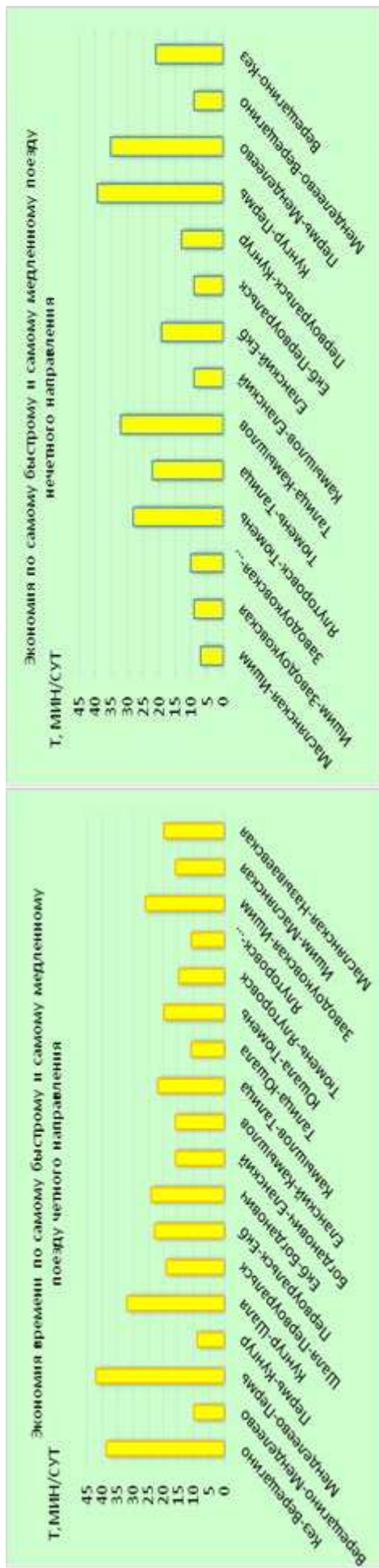


Рисунок 5.27. Экономия времени по участку

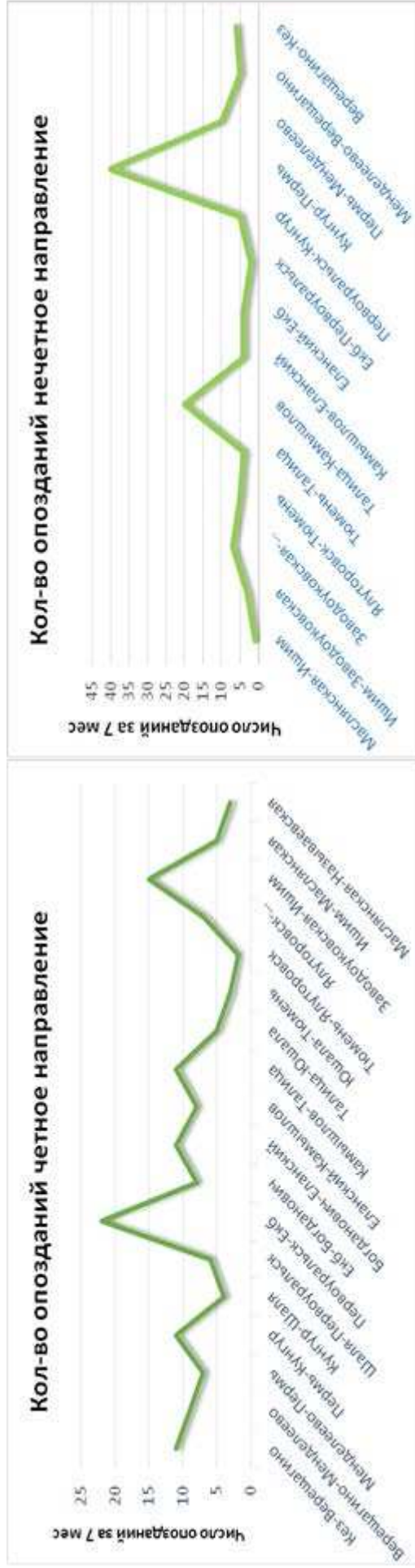


Рисунок 5.28. Суммарное количество опозданий

Поезда, увеличение маршрутной скорости которых позволяет сократить оборот состава на сутки и более и, тем самым, сократить потребное количество составов в обороте, необходимо ускорять в первую очередь. И наоборот, поезда, ускорение которых не даст эффекта сокращения количества составов в обороте, можно пропускать параллельным графиком с грузовыми поездами на тех участках, где это необходимо. Иными словами, маршрутную скорость поезда необходимо выбирать исходя из реально осуществимого времени оборота состава и количества составов в обороте.

Вычислим поезда, сокращение оборота которых даст ощутимый эффект. Для этого сравним потребное количество составов при существующем резерве и при рекомендуемом. Рассматриваются все пассажирские поезда, проходящие по участку от ст. Чепца до ст. Называевская. Суммарную разность между временем хода по расписанию и перегонным временем между осями отдельных пунктов с учетом разгонов, замедлений и стоянок на данном участке интерполировали на весь маршрут следования. Получили резерв действующего расписания. Вместо этого “лишнего” запаса добавили рекомендуемые 5% от времени хода [45]. Рассчитали новые обороты и потребное количество составов. Выявили пять поездов, новое потребное количество составов которых различается с существующим.

Для них были построены графики оборота пассажирских поездов. При построении графика пассажирские поезда дальнего назначения должны отправляться с головной станции (станции формирования) и прибывать на конечную станцию (станция оборота) в удобное для пассажиров время. Время стоянки на станции формирования и станции оборота должно быть не менее нормативного времени. Расписание пассажирских поездов должно быть составлено так, чтобы обеспечить удовлетворение потребности населения в перевозках, высокие скорости и удобное время следования пассажирских поездов, ускоренный оборот локомотивов и составов, правильное сочетание пассажирского и грузового движения, рациональное

использование пропускной способности направлений и участков. Отправляться дальние поезда с конечных станций должны, как правило, вечером, а прибывать – утром.

Для поезда № 70/69 оборот до преобразования (Q) – 10 суток (рисунок 5.29). Количество составов, требующихся для обслуживания одной пары поездов (Π), равно числу суток оборота. Курсирование ежедневное. По новому графику оборота потребное число составов уменьшилось на один. Время простоя на станции приписки ($t_{пр}$) принято 9 часов, на станции оборота ($t_{об}$) – 2 часа. Для остальных поездов графики оборота приведены на рисунках 5.30 – 5.33.

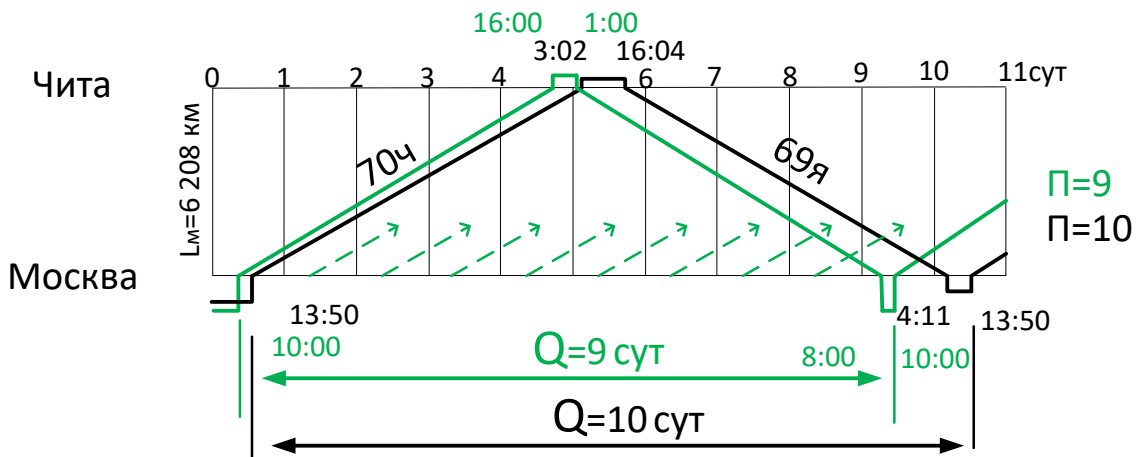


Рисунок 5.29. График оборота пассажирского состава 70/69

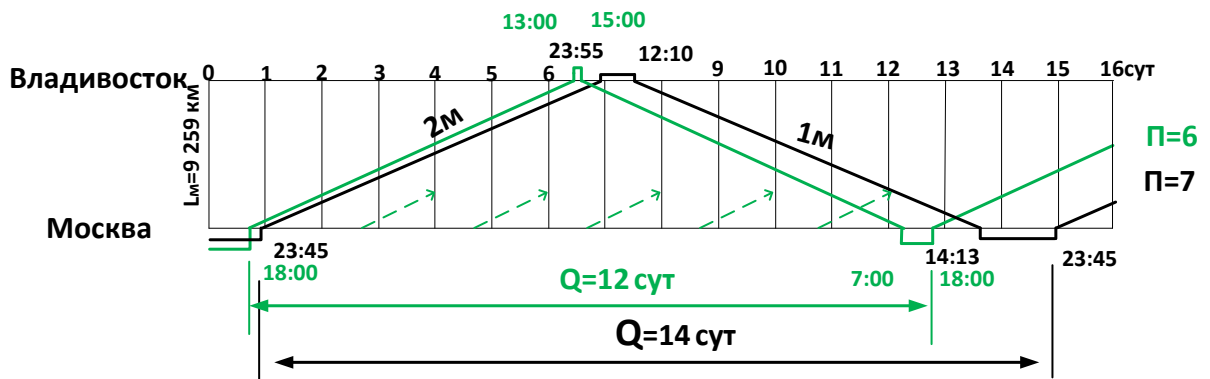


Рисунок 5.30. График оборота пассажирского состава 2/1

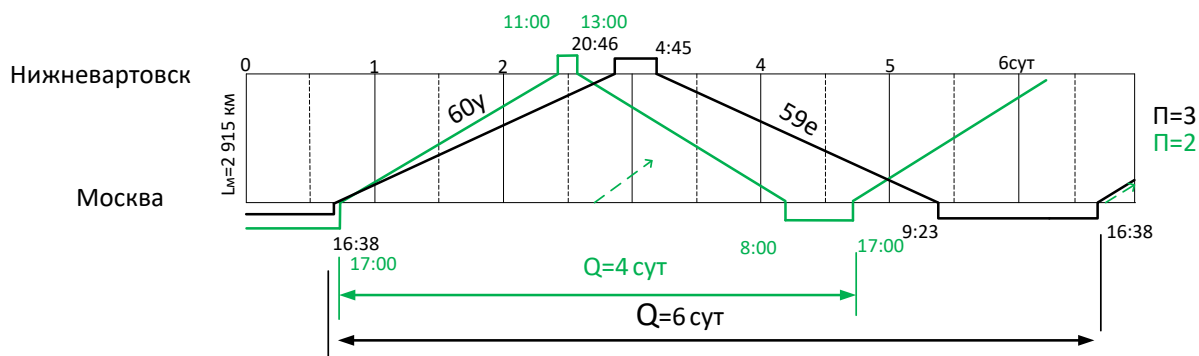


Рисунок 5.31. График оборота пассажирского состава 60/59

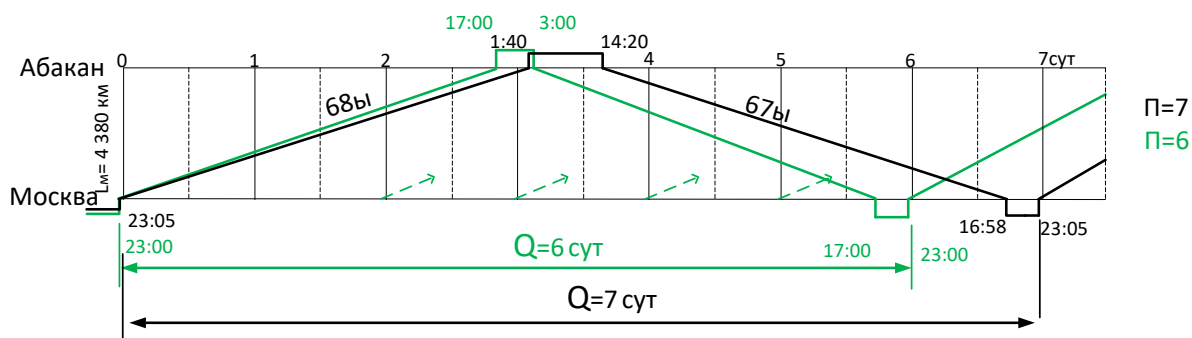


Рисунок 5.32. График оборота пассажирского состава 68/67

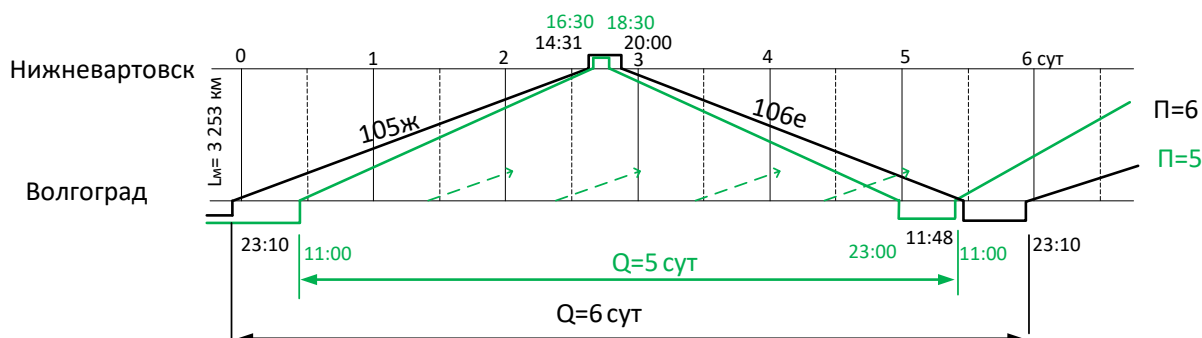


Рисунок 5.33. График оборота пассажирского состава 105/106

Для оценки возможности применения полученных результатов на практике необходимо проверить реализуемость мероприятий на имитационной модели.

Для объективной оценки сравним участки с разными по интенсивности размерами движения. Один более загруженный (Богданович – Тюмень) и один менее грузонапряженный (Войновка – Называевская).

При построении модели сохраняется:

- расписание электропоездов и их количество;
- времена хода грузовых поездов и их количество;

– количество сборных поездов и время их стоянок на промежуточных и опорных станциях;

– расписание и времена хода с изначальным резервом пассажирских поездов, за исключением тех, на которые направлено изменение.

Ускоряемые пассажирские поезда прокладываем с новым временем, полученным добавлением 5 % к чистому ходовому.

На рисунке 5.34 приведены фрагменты графиков движения поездов, показывающие ускорение отдельных пассажирских поездов. Показатели сравниваемых вариантов приведены в таблице 5.11. Наблюдается ожидаемое снижение скорости грузовых поездов, т.к. они вынуждены чаще останавливаться для пропуска пассажирских. Затем исследуем вариант ускорения всех пассажирских поездов на участке. Разница в скоростях между нормативным и разработанным графиками возрастает, что можно объяснить увеличением количества стоянок грузовых поездов под обгоном пассажирскими. Суммарное количество обгонов на участках по станциям представлено в таблице 5.12. При относительно небольших размерах движения на участке Войновка – Называевская количество стоянок под обгоном не изменилось. Следовательно, участковая скорость остается практически на прежнем уровне.

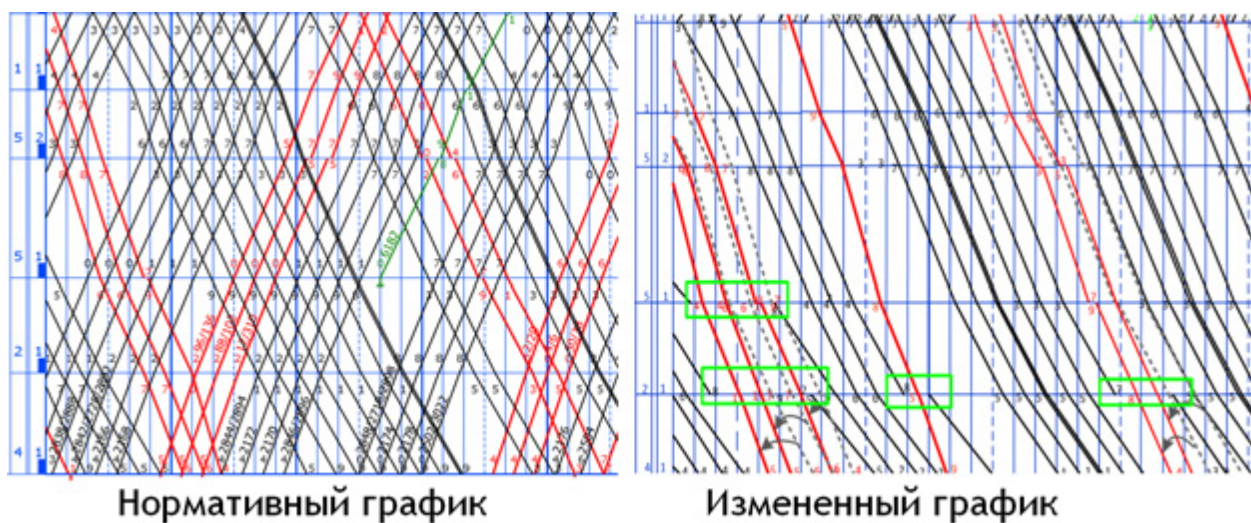


Рисунок 5.34. Фрагменты ГДП

Таблица 5.11. Расчет участковой и технической скорости

Войновка – Называевская			
	Нормативный	Ускорено 3 поезда	
$V_{уч}$	67,9	67,3	
$V_{тех}$	69,4	69,4	
Богданович – Тюмень			
	Нормативный	Ускорено 5 поездов	Ускорены все поезда
$V_{уч}$	59,6	58,9	56,6
$V_{тех}$	61,6	61,3	61,2

Таблица 5.12. Количество стоянок грузовых поездов под обгоном

Войновка – Называевская	Станция	Нормативный	Ускорено 3 пассажирских	
	Новоандреевская	3		
	Карасульская		1	
	Гольшманово		1	
	Омутинская		2	
	Заводоуковская		1	
	Богандинская	1		
	Винзили	1		
	Итого:	5	5	
Богданович – Тюмень	Станция	Нормативный	Ускорено 5 пассажирских	Ускорены все пассажирские
	Пышминская			1
	Еланский	2		1
	Аксариха		1	12
	Ощепково		1	7
	Талица		1	3
	Чупино			1
	Юшала		2	4
	Бахметское		1	4
	Тугулым			3
	Кармак	1	2	8
	Подъем		2	9
	Утяшево		2	2
Итого:	3	12	55	

Вполне логично, что вместе с размерами движения растёт и количество необходимых стоянок под обгоном. И, если при изменении времени хода пяти пассажирских поездов, эффект не так заметен, то при уменьшении резерва всех пассажирских, различие в скоростях становится очевидным.

Годовая экономия расходов при сокращении времени оборота и количества составов в обороте, учитывая и то, что скорость грузовых поездов снизится, составляет более 420 млн. руб.

Таким образом, модель полигона позволяет оценить для каждого конкретного участка параметры движения всех категорий поездов и определить количественные и качественные показатели.

5.4. Комбинированные варианты оптимизации

Одним из узких мест полигона является участок Лоста – Череповец – Бабаево, включая сортировочную станцию Лоста и весь Вологодский узел и участковую станцию Бабаево. Протяженность участка 255 км. Участки работы локомотивных бригад показаны на рисунке 5.35.

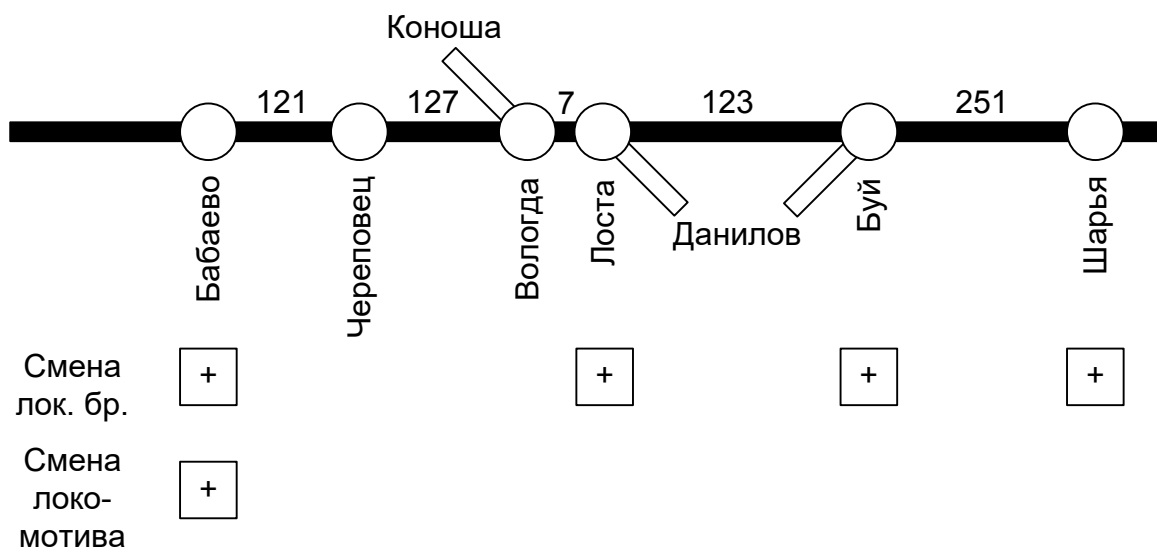


Рисунок 5.35. Схема полигона между ст. Шарья и Бабаево

В вологодском узле затруднения связаны с большой загрузкой сортировочной станции Лоста, с пересечением транзитных поездопотоков с направлений Буй и Данилов на направления Череповец и Коноша, а так же с необходимостью пропуска и обработки пассажирских и пригородных поездов (рисунок 5.36).

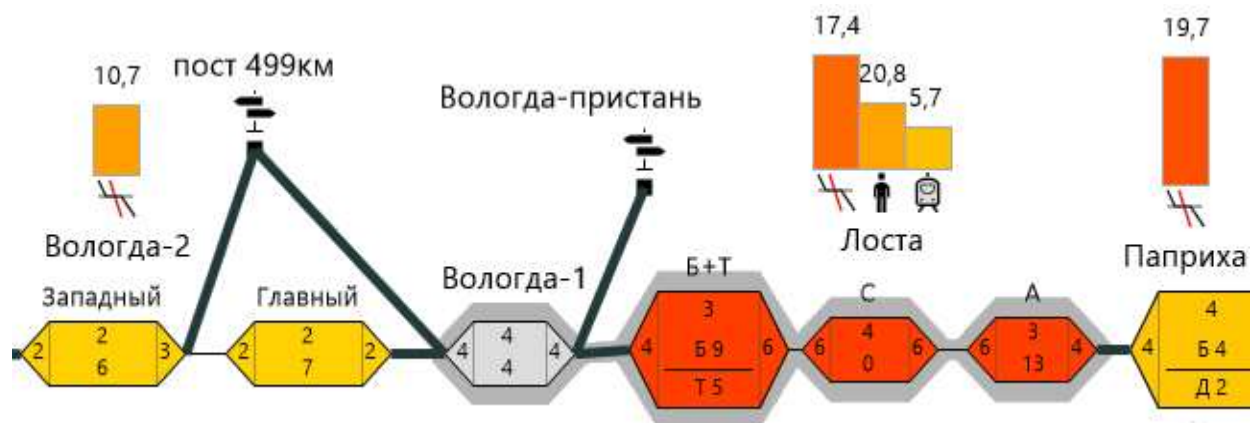


Рисунок 4.36. Задержки в Вологодском узле (в среднем минут на поезд)

Суммарные задержки поездов на нечетном подходе к станции Бабаево (на участке Кошта – Бабаево) могут достигать в среднем 92 минут на каждый поезд (рисунок 5.37). Участковая скорость на участке Лоста – Бабаево является одной из самых низких на полигоне и составляет 30 км/ч. Фрагмент графика движения поездов нечетного направления с задержками на участке Кошта – Бабаево приведен на рисунке 5.38. На рисунке 5.39 приведены загрузка и задержки из-за путей и бригад станций участка.



Рисунок 5.37. Задержки поездов на участке Кошта - Бабаево

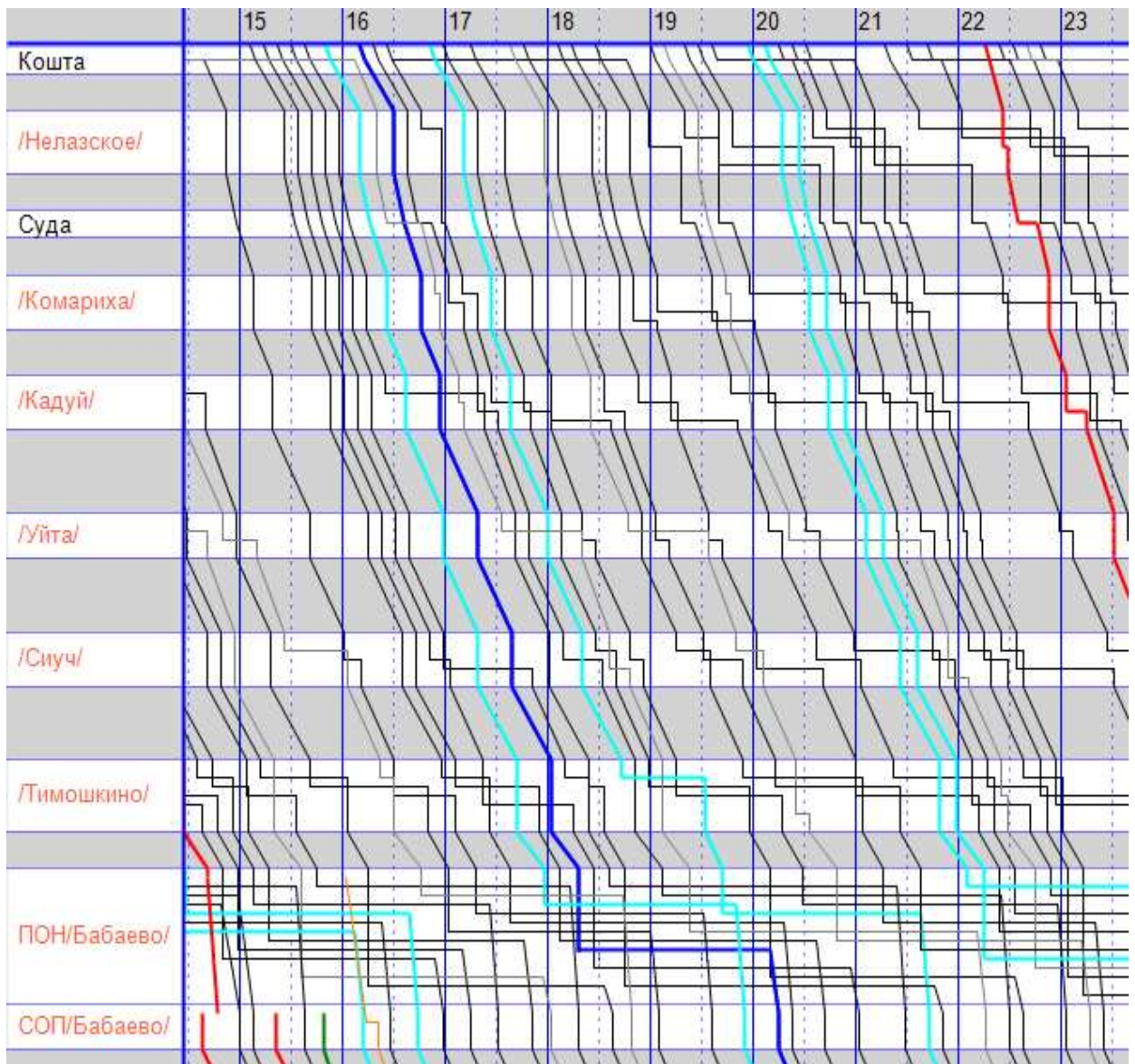


Рисунок 5.38. Задержки нечетных поездов на участке Кошта – Бабаево

название	графически	загрузка	задержка из-за
Пути парка ПОН [Бабаево]	<div style="width: 81.5%;"></div>	81,5 %	19:19
Пути парка ПОЧ [Бабаево]	<div style="width: 53%;"></div>	53 %	3:51
Пути парка А [Лоста]	<div style="width: 57.9%;"></div>	57,9 %	15:31
Пути парка Б [Лоста]	<div style="width: 73.4%;"></div>	73,4 %	61:36
Бриг. ПТО ПОН[Бабаево]	<div style="width: 89.7%;"></div>	89,7 %	30:39
Бриг. ПТО А[Лоста]	<div style="width: 76.6%;"></div>	76,6 %	31:17
Бриг. ПТО Б+Т[Лоста]	<div style="width: 88.6%;"></div>	88,6 %	62:25

Рисунок 5.39. Загрузка и задержки из-за путей и бригад ПТО

Для увеличения скорости продвижения потока проведены 4 эксперимента:

1. Организация вождения транзитных поездов на направлении Буй – Лоста – Бабаево без смены локомотивной бригады по станции Лоста. Количество таких поездов – до 40 в сутки. Это позволит разгрузить пути станции Лоста для работы с разборочными поездами и поездами своего формирования, а так же снизить задержки этих поездов в ожидании обработки ПТО (в связи с тем, что транзитным поездам не потребуется выполнять сокращенное опробование тормозов). Длина участка работы локомотивных бригад Буй – Лоста – Бабаево составит 378 км (123+255км).

2. Добавить путь в нечетном приемо-отправочном парке станции Бабаево. Это позволит снизить задержки поездов на подходе к станции.

3. Добавить бригаду ПТО в нечетном приемо-отправочном парке станции Бабаево. Это позволит снизить задержки поездов в ожидании полного и сокращенного опробования тормозов после смены локомотива, что в результате снизит загрузку путей.

4. Комбинированный вариант (1+3) с добавлением бригады ПТО на станции Бабаево и ликвидацией смены локомотивных бригад транзитных поездов на станции Лоста.

Первый эксперимент показал, что поезда, пройдя быстрее Вологодский узел (рисунок 5.40), по-прежнему не могут быть беспрепятственно приняты станцией Бабаево, в результате чего задержки на подходе выросли в 1,5 раза (рисунок 5.41), а участковая скорость снизилась на 4,5 км/ч. Значит, необходимо ускорить продвижение потока по станции Бабаево.

Второй эксперимент показал (рисунок 5.42), что добавление пути в нечетном парке Бабаево не позволяет ускорить обработку поездов. Простой в нечетном парке вырос на 0,31 часа, загрузка путей осталась на прежнем уровне, учитывая и новый путь, что свидетельствует о том, что он занялся ожидающими поездами без какого-либо положительного результата.

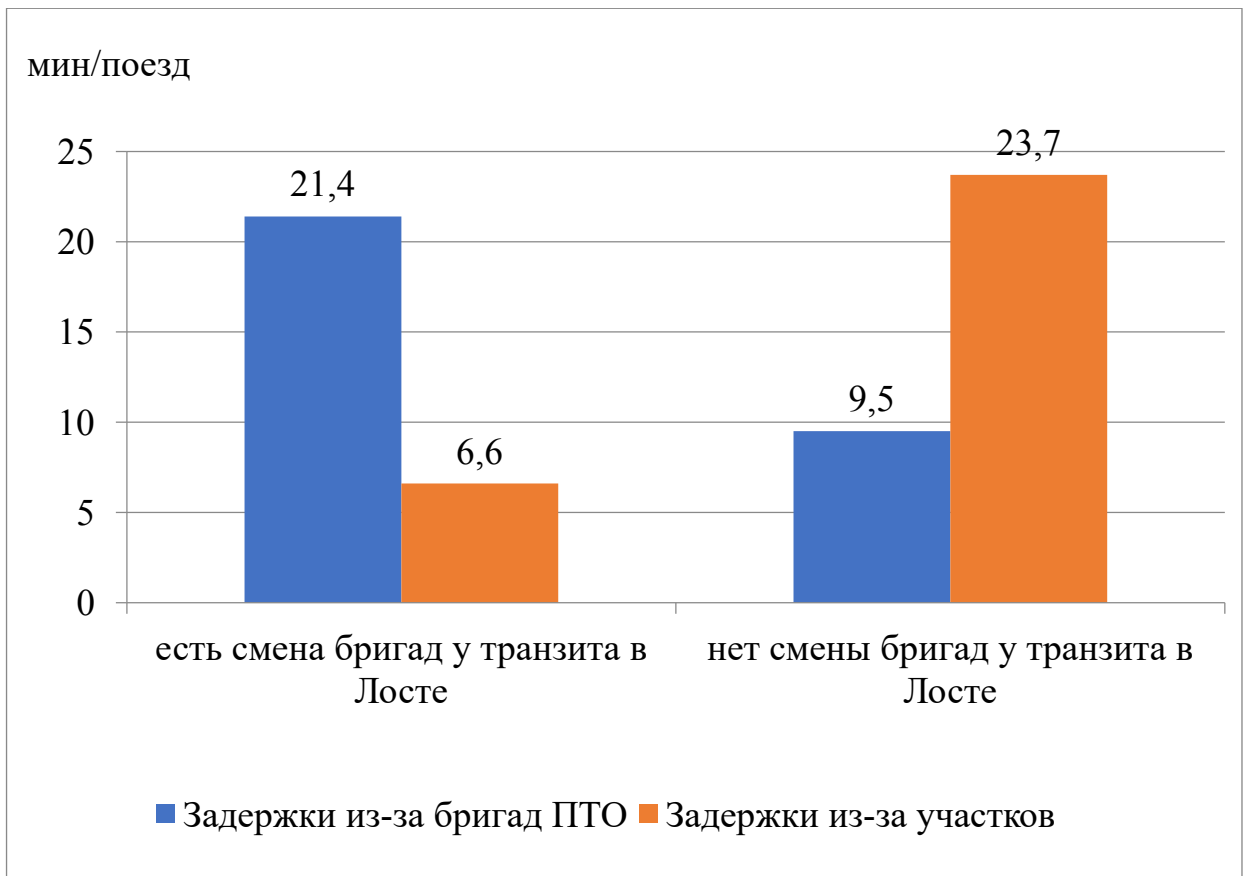


Рисунок 5.40. Перераспределение задержек на станции Лоста

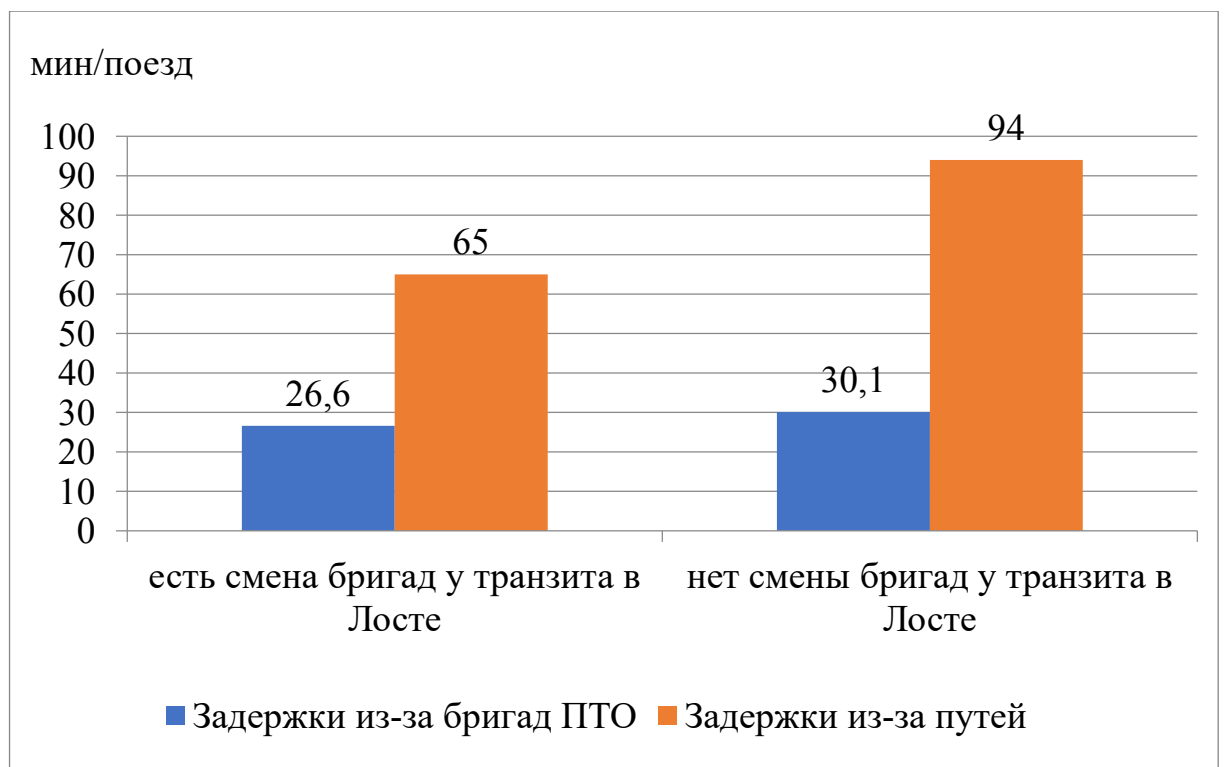


Рисунок 5.41. Увеличение задержек на станции Бабаево

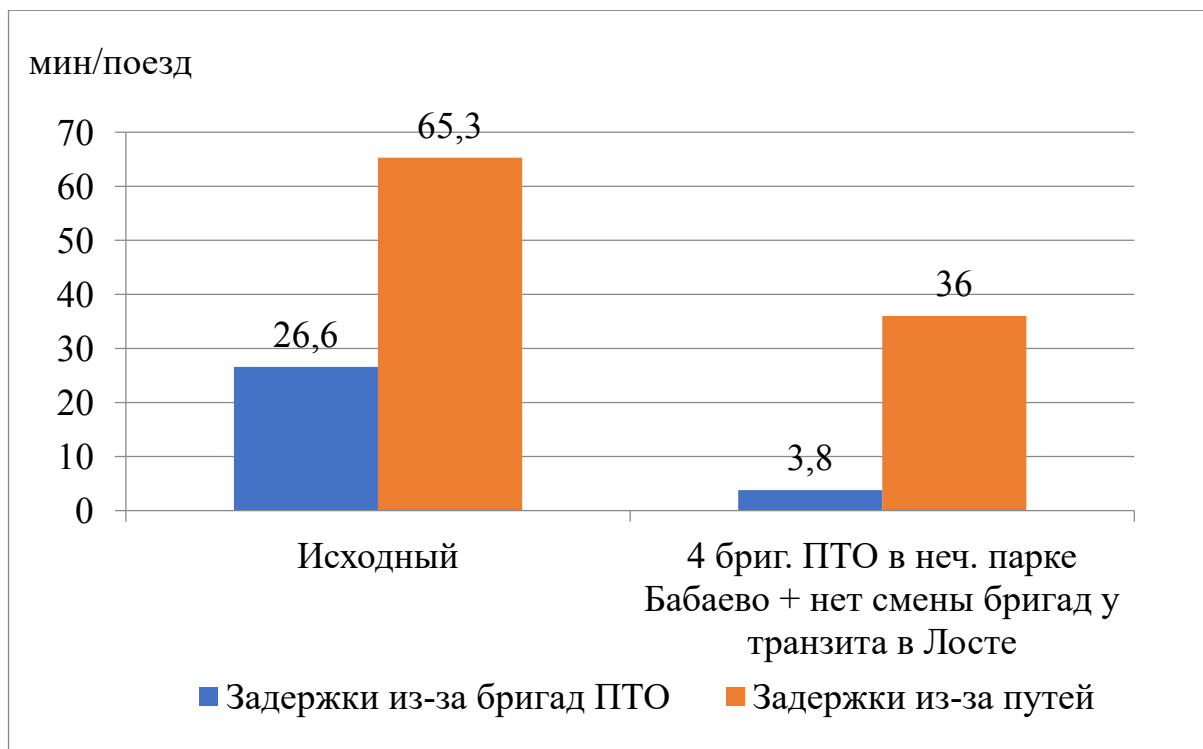


Рисунок 5.42. Увеличение задержек на станции Бабаево при строительстве дополнительного пути

Третий эксперимент – добавить бригаду ПТО в нечетном парке станции Бабаево – значительно ускоряет продвижение поездопотока (рисунок 5.43). Простой поездов в нечетном парке Бабаево сокращается на 0,26 часа, загрузка путей парка снижается на 4%, задержки на подходе уменьшаются на 30%, а участковая скорость на участке Лоста – Бабаево поднимается на 2,8 км/ч.

Комбинированный вариант оказывается еще более эффективным (рисунок 5.44). За счет ликвидации смены локомотивных бригад транзитных поездов на станции Лоста он позволяет подводить поезда к станции Бабаево быстрее, тем самым, обеспечивая более равномерную загрузку ПТО. В результате простой в нечетном парке Бабаево снижается еще на 0,07 часа (всего по сравнению с исходным вариантом на 0,33 часа), а участковая скорость на участке Лоста – Бабаево поднимается до 36,8 км/ч (на 6 км/ч выше исходного варианта). Снижение задержек на подходе к станции Бабаево заметно и на графике движения поездов (рисунок 5.45).

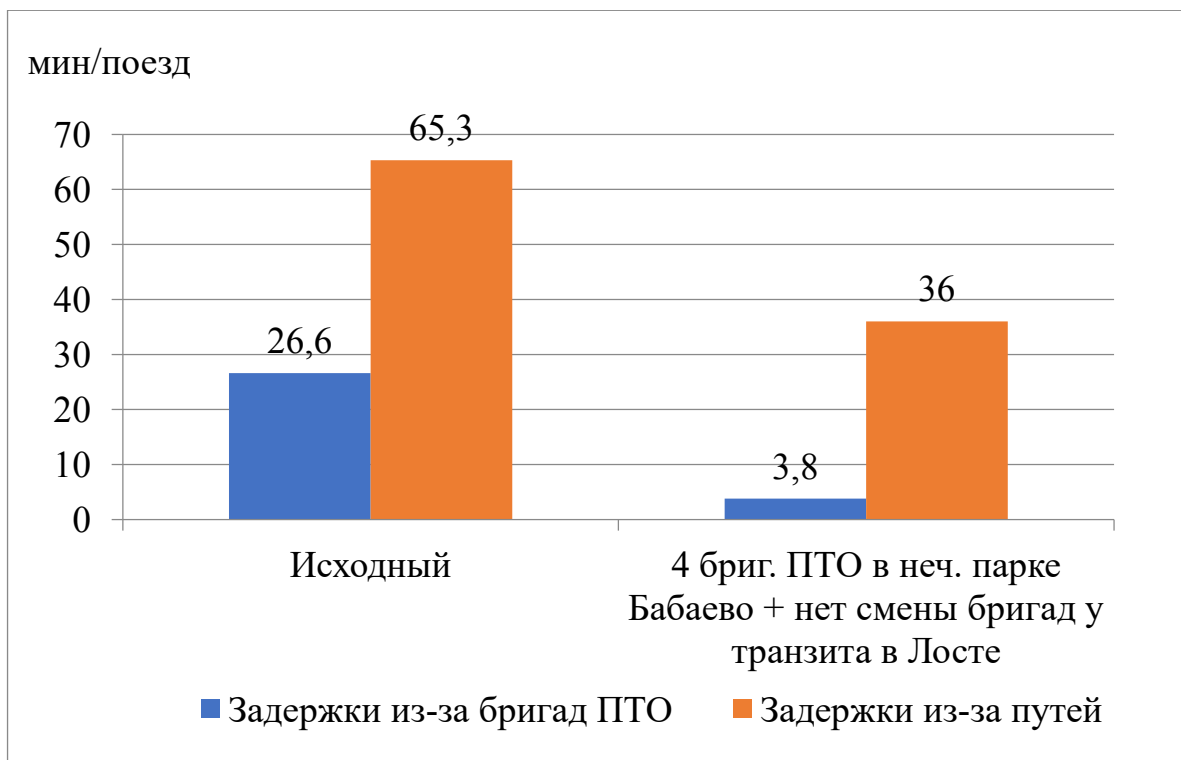


Рисунок 5.43. Снижение задержек при увеличении штата ПТО Бабаево

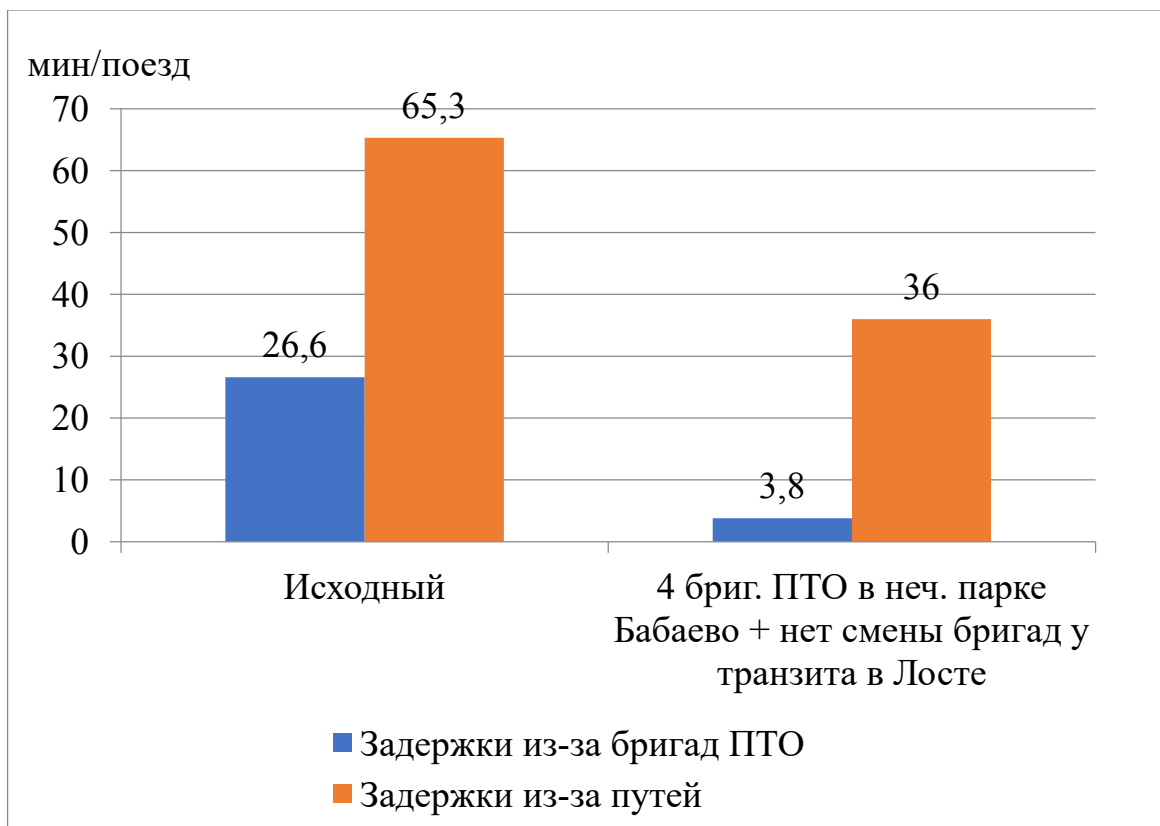


Рисунок 5.44. Снижение задержек в комбинированном варианте

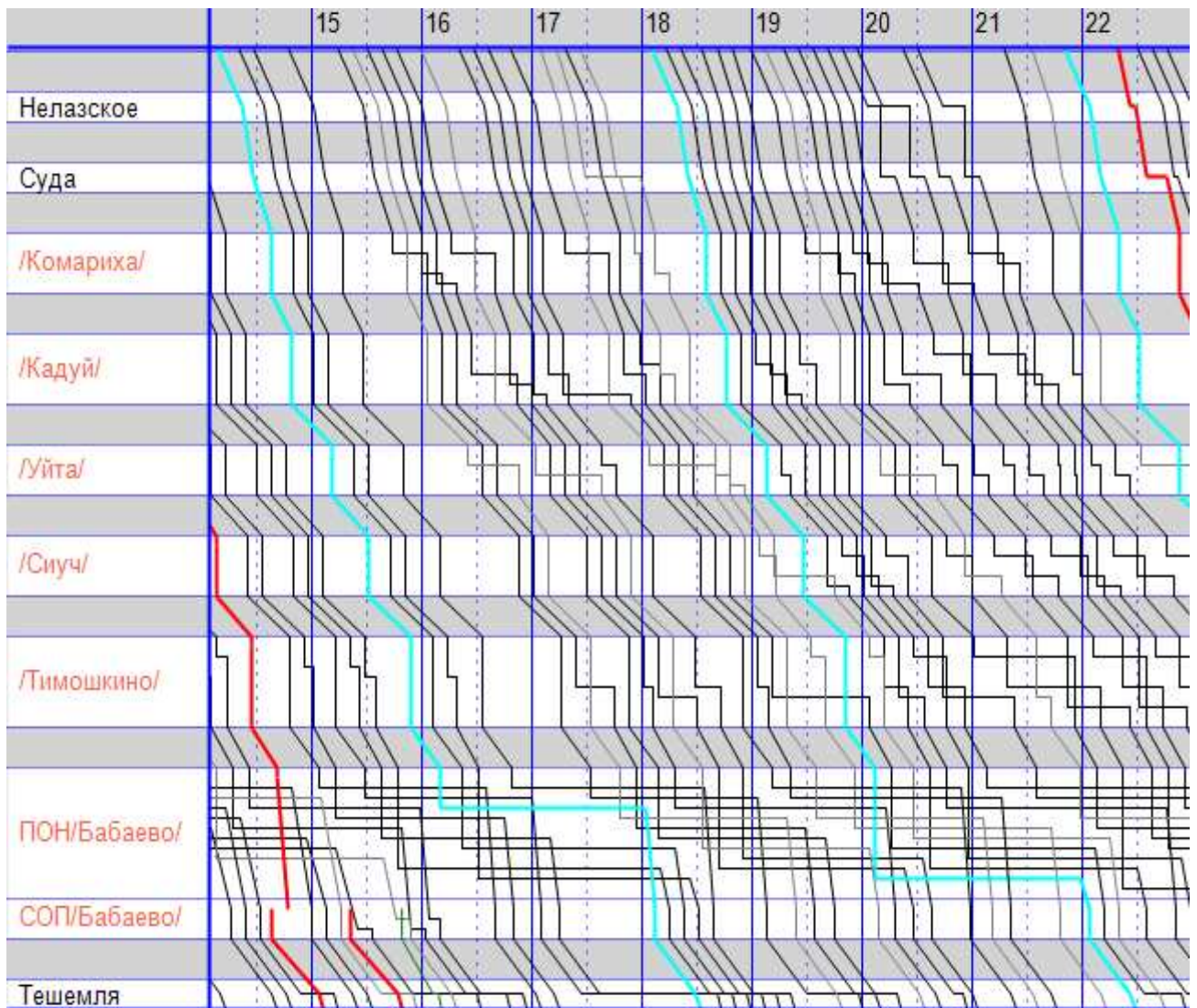


Рисунок 5.45. Снижение задержек на подходе к станции Бабаево

Сравнивая графики, приведенные на рисунках 5.38 и 5.45, можно отметить существенное снижение задержек поездов по неприему станцией Бабаево.

В таблице 5.13 приведены показатели работы станций и участка при различных вариантах экспериментов. Как видно, четвертый комбинированный вариант позволяет улучшить все показатели – сократить простой поездов на станции и повысить участковую скорость, снизить задержки в ожидании осмотра и приема на станцию, уменьшить загрузку ПТО и увеличить обрабатываемый поток поездов.

Таблица 5.13. Сравнение вариантов

Показатель	Исходный	без смены лок.бр. Лоста	доп. путь Бабаево (ПОН)	доп. бриг. ПТО Бабаево (ПОН)	без смены лок.бр. Лоста + доп. бриг. ПТО Бабаево (ПОН)
уч. скорость Лоста-Бабаево (неч), км/ч	30,5	26,1	28,4	33,3	36,8
обработано неч. поездов в Бабаево	77,3	78,8	76,5	82,0	83,3
простой транзита б/п в Бабаево, ч	2,3	2,4	2,6	2,1	2,0
загрузка парка ПОН в Бабаево, %	76,1	79,9	76,2	72,0	69,2
загрузка ПТО парка ПОН Бабаево, %	89,2	90,3	88,0	70,4	71,2
задержки из-за ПТО парка ПОН Бабаево, ч	26,6	30,1	43,1	3,8	3,8
задержки на неч. подходе к Бабаево, мин/поезд	65,3	94,0	77,3	46,9	36,0

Таким образом, проводя различные эксперименты на модели полигона, и сопоставляя между собой полученные результаты, становится возможным находить и обосновывать рациональные мероприятия, позволяющие достичь необходимых параметров потока на полигоне.

5.5. Емкость распределенного бункера

После выполнения многочисленных расчетов на имитационной модели установлены некоторые закономерности. В таблице 5.14 приведены параметры работы технических станций, обрабатывающих нечетный поездопоток. Станция имеет разное число приемо-отправочных путей (графа

3). Помимо времени, отведенного на обработку по технологии (графа 4), каждый поезд задерживается на станции по различным причинам (графа 6). Это ожидание локомотивов и локомотивных бригад, бригад ПТО, свободы горловины и перегона, маневровых операций. Поэтому средний простой одного поезда (графа 7) значительно превышает время, необходимое на обработку по технологии (графа 4). Величина задержек в парке (графа 5 и б) не является прямой зависимостью ни количества обрабатываемых поездов (графа 2), ни емкости бункера (графа 3), ни его загрузки (графа 8).

Таблица 5.14. Параметры работы станций

станция	число поездов /сут	число путей в парке	время обработки поезда по технологии, часов	задержки в парке		ср. простой поезда, часов	загрузка парка, %
				всего часов	час / поезд		
1	2	3	4	5	6	7	8
Иртышское	57	8	1,1	14	0,25	1,53	45
Камышлов	68	4	0,45	31	0,46	1,01	72
Лянгасово	69	10	0,75	107	1,55	2,69	77
Балезино	68	10	1	74	1,09	2,15	61
Шаля	61	5	0,5	27	0,44	0,98	50
Буй	55	5	0,5	28	0,51	1	46
Пермь-сорт	69	5	0,5	52	0,75	1,52	87
Шарья	57	3	0,5	14	0,25	0,88	70
Бабаево	77	9	1,38	55	0,71	2,34	83

Ранее на подробных моделях было продемонстрировано, что задержки из-за стрелок не находятся в прямой зависимости от их загрузки [75]. Анализ показывает, что такое же утверждение справедливо и для парков. Задержки в парках зависят от многих факторов, и определить их величину расчетным путем можно только на имитационной модели.

В главе 2 говорилось о том, что на технических станциях пути одновременно выполняют роль функционального канала (при выполнении технических операций – таких как осмотр, смена локомотивов, бригад и др.) и бункера (накопление поездов, ожидающих выполнения этих). Если емкости этого бункера недостаточно – возникают задержки по неприему. Тогда поезда останавливают на участке (на промежуточных станциях, обгонных пунктах, разъездах). Пути этих отдельных пунктов так же являются бункером, в котором поезда ожидают освобождения функциональных каналов. Пути технической станции совместно с путями отдельных пунктов участка, используемых для стоянок поездов, являются, по сути, дуплексом с распределенной емкостью. Тогда парк технической станции будет основным бункером дуплекса с распределенной емкостью, а пути промежуточных станций (обгонных пунктов или разъездов) – дополнительным бункером.

Каждая техническая станция в большей или меньшей степени вызывает задержки поездов по неприему (таблица 5.15, графы 3 и 4). Как раз благодаря этим задержкам подход поездов из случайного становится управляемым, а в результате повышается уровень возможной полезной загрузки технической станции. Для того чтобы разместить задержанные поезда, используются пути отдельных пунктов на участке (графа 6). Общее количество путей, используемых для стоянки поездов – и есть величина распределенной части бункера (графа 7). Вместе с величиной основного бункера это дает суммарную емкость распределенного бункера (графа 8). Как видно, она в 1,3 – 2 раза превышает емкость основного бункера на технической станции. Промежуточных станций, обгонных пунктов и разъездов с таким количеством путей не существует. Поэтому поезда по неприему рассредоточиваются по разным отдельным пунктам участка, что, безусловно, осложняет местную работу и выполнение операций по обгону и скрещению поездов.

Таблица 5.15. Параметры работы станций и участков

станция	количество путей в парке	задержки из-за путей парка		загрузка парка, %	используется на участке для стоянки поездов		суммарная емкость распределенного бункера
		всего часов	час /поезд		раздельных пунктов	путей	
1	2	3	4	5	6	7	8
Иртышское	8	8,5	0,15	45	2	2	10
Камышлов	4	16,36	0,24	72	2	3	7
Лянгасово	10	20,5	0,30	77	2	3	13
Балезино	10	39,42	0,58	61	4	4	14
Шаля	5	36,48	0,60	50	4	4	9
Буй	5	40,81	0,74	46	3	4	9
Пермь-сорт	5	67,7	0,98	87	4	5	10
Шарья	3	59,09	1,04	70	4	6	12
Бабаево	9	118,22	1,54	83	6	8	17

Остановка поездов на участке по неприему технической станцией не предусматривается типовой технологией работы и графиками движения поездов. Это мера вынужденная, связанная с недостаточным развитием инфраструктуры. Но технические станции часто расположены в стесненных условиях городской застройки и их развитие затруднено. С другой стороны, как было показано в главе 2, даже парк из 20 путей не способен полностью предотвратить образование очереди входящего поездопотока. Поэтому использование раздельных пунктов участка для остановки поездов по неприему технической станцией неизбежно. Однако нормы проектирования не предусматривают такой функции и соответствующего путевого развития. Для оценки эффективности увеличения числа путей на предузловых станциях, а так же выбора места их размещения (концентрация на одной станции или рассредоточение на разных) потребуются дополнительные исследования.

Из таблицы 5.15 наблюдается устойчивая зависимость – чем больше задержек вызывает основной бункер, тем большую емкость имеет распределенная часть бункера на участке (рисунок 5.46).

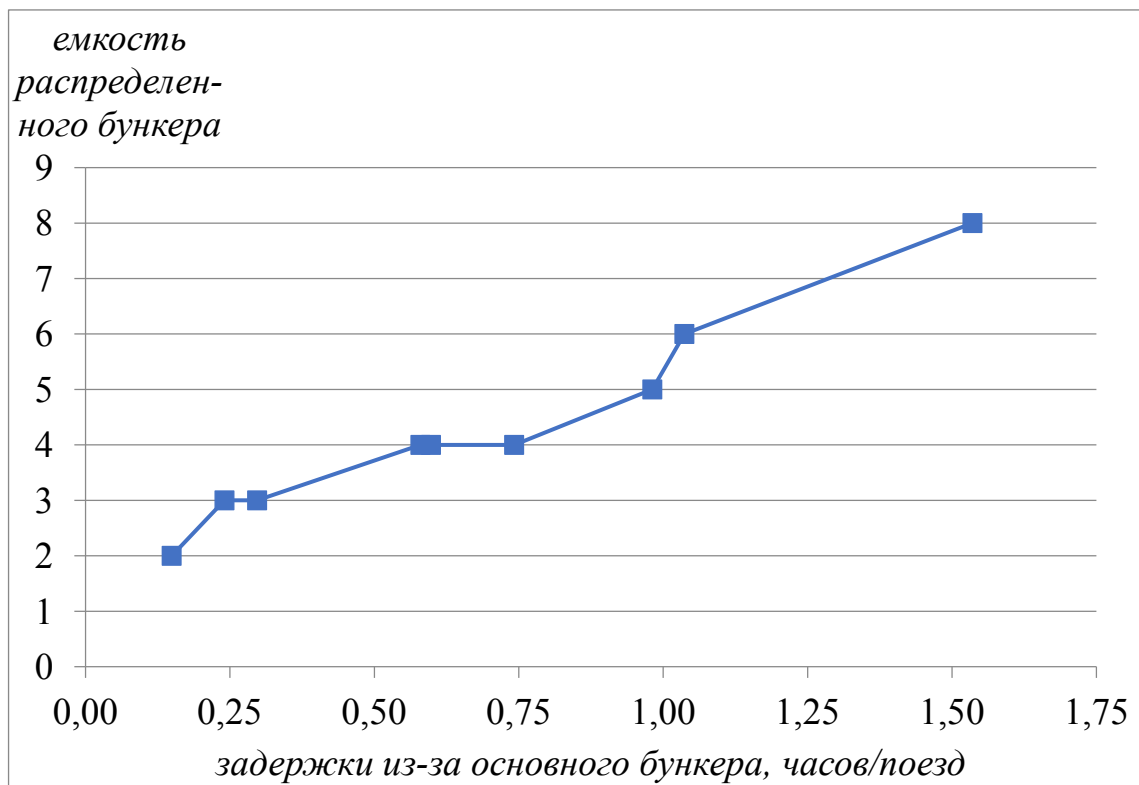


Рисунок 5.46. Емкость распределенной части бункера в зависимости от уровня задержек из-за основной части бункера

Анализ показывает, что остальные зависимости показателей, приведенных в таблицах 5.14 и 5.15 не линейные, являются результатом влияния большого количества различных факторов. Для их установления в будущем потребуются многочисленные трудоемкие эксперименты.

Выводы к главе 5

1. Сформулированы требования к системам моделирования полигонов к выдаваемым результатам. Показано, что для больших полигонов, состоящих из сотен станций, должно применяться макро моделирование. Приведена реализация этих принципов в конкретной имитационной системе.

2. Показана технология оптимизации конкретного полигона по критерию «скорость пропуска потока» в двух вариантах – при увеличении числа функциональных и структурных каналов.

3. В качестве функциональных каналов выбраны бригады по обработке составов. При добавлении бригад на ряде станций произошли позитивные изменения – уменьшились задержки из-за этих станций, увеличилась участковая скорость на прилегающих участках и др.

4. Модель показала, что вследствие сложных взаимосвязей процессов, предсказать результат от применяемых мер трудно. Может происходить перераспределение задержек по видам без заметного общего эффекта.

5. В качестве структурных каналов выбраны горловины некоторых станций, где задержки были существенные. В качестве реконструктивных мер предложены развязки в разном уровне. Почти во всех экспериментах был получен положительный эффект.

6. Показано применение комбинированного варианта оптимизации, при котором проверяется влияние различных факторов на работу полигона.

7. Доказано, что используемая имитационная система является адекватным аппаратом для проведения имитационной экспертизы проектов развития полигонов.

ГЛАВА 6. ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ЗАТРАТАМ

6.1. Направления оптимизации

Затраты, по которым ведется оптимизация, можно укрупнено представить, как эксплуатационные – обеспечивающие работу полигона и капитальные – на реконструкцию для увеличения пропускной способности.

Эксплуатационные затраты, в основном, включают:

- энергоресурсы (электроэнергия и дизельное топливо) на тягу поездов и обеспечение работы СЦБ, связи, освещения и отопления и пр.;
- фонд оплаты труда;
- материалы и запасные части.

Исходя из этого, при фиксированных размерах движения задача оптимизации сводится к минимизации этих затрат. Она может быть достигнута различными способами, среди которых в области организации движения поездов выделяют:

1. сокращение штата обслуживающего персонала;
2. удлинение плеч работы локомотивов и локомотивных бригад;
3. увеличение межгарантийных пробегов грузовых вагонов;
4. увеличение веса поездов.

Сокращение штата обслуживающего персонала в различных подразделениях, обслуживающих работу железных дорог, может дать существенный эффект. Так, например, за счет применения передовых систем автоматики и телемеханики, использования механизированного и автоматизированного труда снижается численность работников, обслуживающих системы СЦБ и связи, электроснабжения, пути и др. Такие решения, как правило, принимаются в соответствующих хозяйствах и находятся вне сферы применения имитационных моделей. Модели могут потребоваться при обосновании таких реконструкций, которые повлияют на скорость движения поездов, интервалы между ними и т.п. Применение

имитационной экспертизы при реконструкции железных дорог описано в [14, 50, 51, 70, 119, 131].

Сокращение штата осмотрщиков вагонов, как мера по сокращению эксплуатационных расходов, получила широкое распространение. Почти на всех станциях сети основным критерием выбора количества бригад осмотрщиков вагонов является их загрузка. Только при ее достижении более 90% количество бригад увеличивают. Задержки из-за бригад осмотрщиков во внимание не принимаются. И, если рассматривать подробные модели технических станций изолированно от прилегающих участков, почти везде оказывается выгодным с точки зрения величины простоя поездов увеличить штат осмотрщиков. Однако эксперименты на модели полигона (глава 4) показывают, что нередко задержки из-за бригад при увеличении их количества не уменьшаются, сокращая простой поездов на станциях, а перераспределяются на другие элементы и эффекта от увеличения штата осмотрщиков не создается. Поэтому только макромодель полигона может обосновать необходимый штат осмотрщиков.

Применение имитационного спуска в этом случае выглядит следующим образом. Из всех станций полигона последовательно выбираются те, где задержки из-за бригад осмотрщиков вагонов наименьшие, количество таких бригад больше одной на каждую станцию (парк станции), а загрузка не превышает 45%. В очередном эксперименте число бригад уменьшается. Разумеется, вырастут задержки в ожидании осмотра и опробования тормозов, но поскольку ограничением оптимизации является скорость пропуска потока по полигону, решение о количестве бригад принимается на основании сопоставления экономии от сокращения штата осмотрщиков и затрат на уменьшение скорости пропуска потока.

Еще одним способом сократить штат осмотрщиков является удлинение плеч работы локомотивных бригад (отказ от сокращенного опробования тормозов) и гарантийных участков безаварийного следования вагонов (отказ от технического осмотра и обслуживания вагонов). В первую очередь, эти

способы ограничены вопросами режима труда и отдыха локомотивных бригад и безопасности следования вагонов. При закрытии на одной из станций ПТО или ДОЛБ возможно, потребуется их расширение на другой станции, на которую перенесена обработка поездов удлинненных плеч обращения. Возможно так же для снижения загрузки станций, вызывающих большие задержки, использование попеременной смены локомотивных бригад у части поездопотока. Например, мощные, хорошо оснащенные станции А и Е выполняют смену локомотивов транзитных поездов, а операции смены локомотивных бригад распределяются между станциями Б, В, Г и Д с целью снизить их загрузку и задержки поездов (рисунок 6.1).

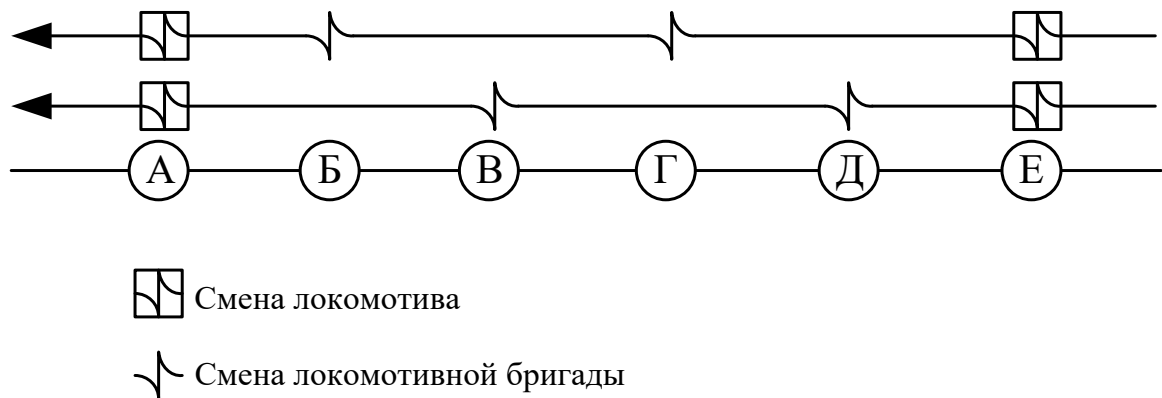


Рисунок 6.1. Удлиненные плечи обслуживания поездов локомотивными бригадами

Вместе с тем, необходимо отметить, что при такой технологии усложняется планирование подвязки локомотивных бригад под поезда, что может стать причиной задержек поездов в ожидании бригады и, как следствие, задержек на подходе к станции. Однако и выбор станции смены может выполняться диспетчером оперативно в зависимости от складывающейся обстановки.

Все вышеописанные способы оптимизации затрат на обслуживание полигона приводят к изменению показателей работы полигона и должны проверяться на имитационных моделях.

6.2. Оптимизация затрат на реконструкцию полигона

Реконструкция полигона может потребоваться для увеличения пропускной либо провозной способностей. Технология оптимизации будет идентичной. Ниже рассмотрим вариант увеличения провозной способности за счет увеличения массы поезда.

Известно, что с увеличением веса поезда удельный расход энергоресурсов на тягу поездов сокращается, а потребность в локомотивах и локомотивных бригадах снижается [11, 138]. Поэтому на железных дорогах страны планомерно ведется работа по повышению веса поезда (рисунок 6.2), организации вождения длинносоставных и тяжеловесных поездов.

Однако, как правило, для этого требуется реконструкция систем электроснабжения и реконструкция отдельных пунктов, связанная с удлинением путей для приема и обслуживания длинносоставных поездов.



Рисунок 6.2. Динамика изменения среднего веса поезда

Вместе с повышением веса растет и длина поездов, с той лишь разницей, что происходит это скачками раз в несколько лет, а то и десятилетий. В настоящее время на многих отдельных пунктах пути удлиняют до 71, 85 и 100 условных вагонов. Однако удлинение путей на всех отдельных пунктах полигона слишком затратно, поэтому выбираются лишь некоторые. Корпоративный стандарт [3] предусматривает удлинять пути, определяя отдельные пункты графиком движения поездов, но не реже чем через 50 км. На самом деле эта цифра не обоснована, а определить оптимальную последовательность развития инфраструктуры при помощи графика движения поездов невозможно. Расстояние между такими отдельными пунктами зависит от конкретики участка.

В первую очередь отдельные пункты на участке необходимы для выполнения местной работы и для обгонов грузовых поездов пассажирскими. При малых размерах движения пассажирских поездов на участке (1-3 пары) они двигаются, как правило, не быстро, с частыми остановками, поэтому за счет стоянок, разгонов и замедлений, участковая скорость пассажирского поезда оказывается не больше технической скорости грузового (рисунок 6.3). В этом случае обгонные пункты могут располагаться реже, а удлиненных путей на них иметь не требуется – длинносоставные поезда следуют без остановок между техническими станциями параллельно ниткам грузовых поездов унифицированной длины и пассажирских поездов. В случае отказов технических средств или иных сбоях в движении пассажирские поезда пропускаются по неправильному пути. Если пассажирских поездов не больше 10-15 пар, то между ними прокладывают безобгонные нитки для длинносоставных поездов (при относительно небольшом количестве последних) и удлинение путей так же необязательно.

При числе пассажирских поездов более 10-15 пар их прокладывают на графике пакетами, причем в пакете может следовать до шести поездов. Такие пакеты, с одной стороны, требуют меньшего количества обгонов грузовых поездов, а с другой, задерживают грузовые поезда на технических станциях,

что в свою очередь задерживает поезда по приему со смежного участка. В этом случае оптимизация требует сравнения затрат от падения участковой скорости за счет разрозненной прокладки ниток пассажирских поездов и большего числа обгонов грузовых поездов, но меньшего простоя грузовых поездов на технических станциях. Здесь как раз проявляется работа технической станции и прилегающих участков в качестве дуплекса.

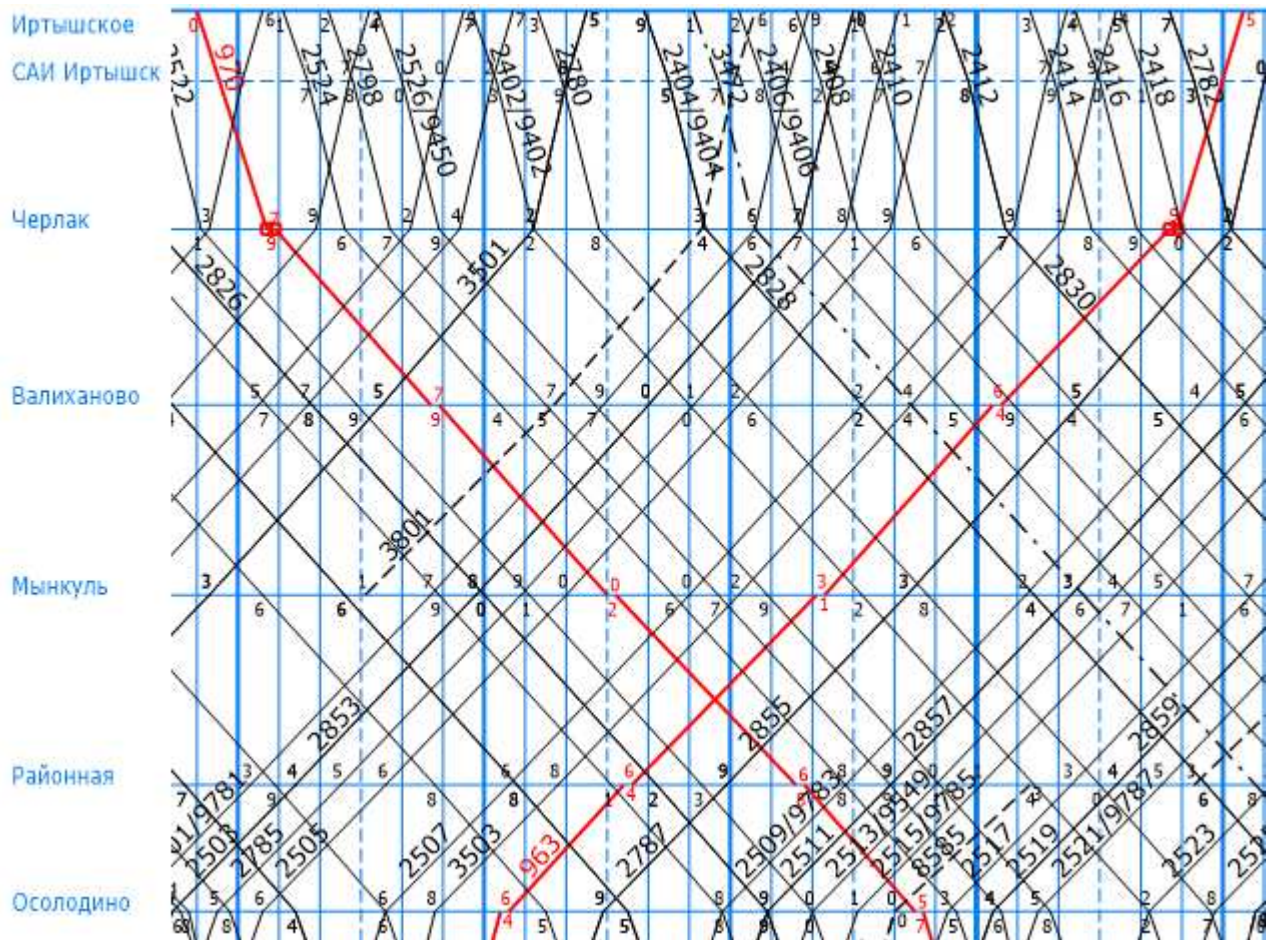


Рисунок 6.3. Отсутствие съема грузовых поездов пассажирскими при частых стоянках последних

Чем больше пассажирских поездов на участке, тем меньше должен быть коэффициент съема при больших размерах движения грузовых поездов. На практике используется параллельный или частично-параллельный графики (в которых часть пассажирских поездов быстрые, а остальные – следуют со

скоростью грузовых, либо все пассажирские поезда на определенных перегонах следуют быстрее, на других – медленнее).

Наиболее остро проблема удлинения путей на отдельных пунктах наблюдается при больших размерах движения как пассажирских, так и грузовых поездов [84, 104]. Минимальным требованием для обеспечения движения длинносоставных поездов является наличие хотя бы одного пути достаточной длины на каждой станции смены локомотивных бригад, или смены локомотива. При увеличении количества длинносоставных поездов количество таких путей нужно увеличивать, устанавливая его расчетами на модели. Однако при высокой загрузке участка и технических станций, его ограничивающих, часто возникает необходимость стоянок грузовых поездов на обгонных пунктах и промежуточных станциях из-за неприема их технической станцией (рисунок 6.4).

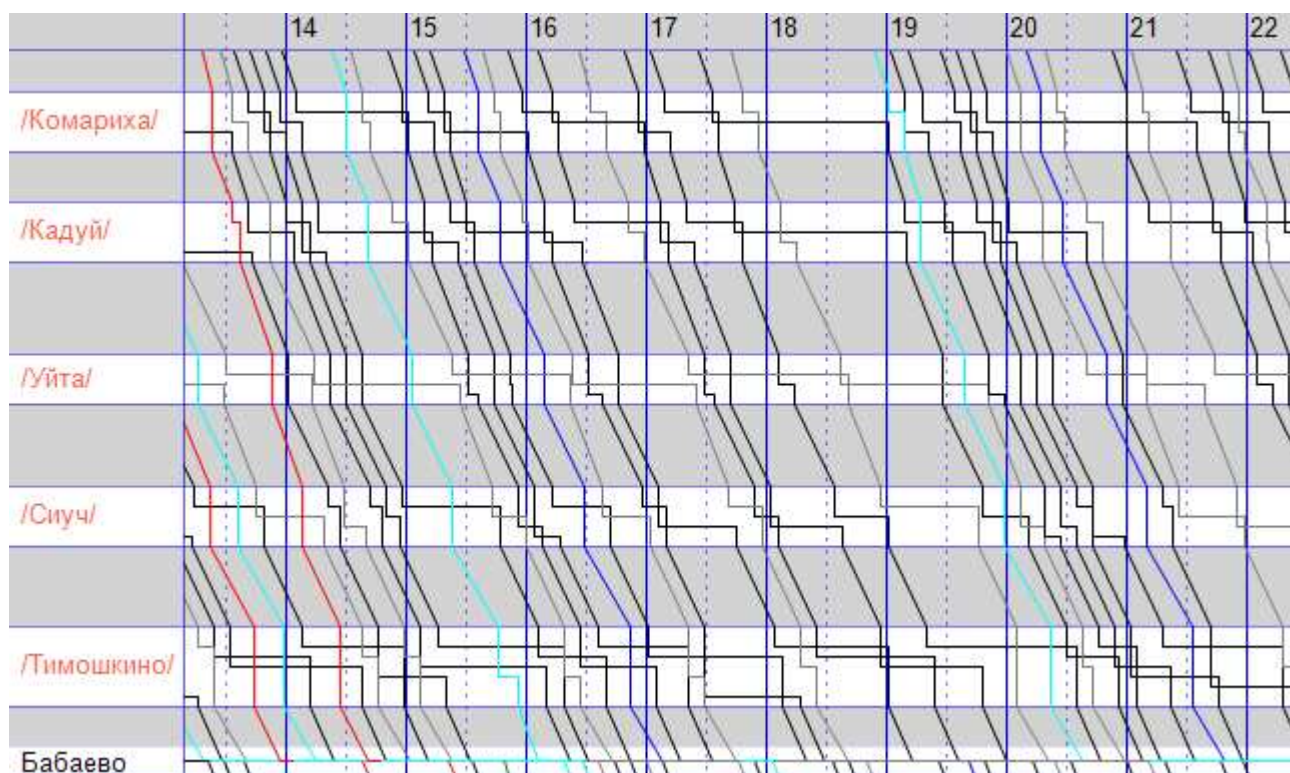


Рисунок 6.4. Стоянки поездов на обгонных пунктах и промежуточных станциях из-за неприема технической станцией

Каждый эксперимент выполняется в три этапа. На первом этапе пропускаем по всему полигону все пассажирские поезда. На втором этапе – все длинносоставные поезда с учетом занятости логических элементов пассажирскими поездами. На третьем этапе пропускаем по всему полигону все обычные грузовые поезда с учетом занятости логических элементов пассажирскими и длинносоставными поездами.

При таком подходе возможна ситуация, в которой из-за дефицита пропускной способности мы не сможем пропустить обычные грузовые поезда, поскольку они пропускаются в модели в последнюю очередь. В реальности же они все должны быть пропущены, а не пропущены, наоборот, длинносоставные. Поэтому последовательность расчетов должна строиться следующим образом (таблица 6.1). В результате N-го расчета обычные грузовые поезда не смогут проехать все. Это означает, что пределом пропускной способности является то количество поездов, которое проедет в (N–1)-ом расчете.

Таблица 6.1. Последовательность расчетов

Расчеты	1 этап расчета	2 этап расчета	3 этап расчета
	Количество пассажирских поездов	Количество длинносоставных поездов	Количество унифицированных грузовых поездов
1 расчет	Все	–	Все
2 расчет	Все	1	Все
3 расчет	Все	2	Все
4 расчет	Все	3	Все
N расчет

После этого мы выявляем причины, по которым не смогли проехать поезда в N-ном расчете и меняем структуру или технологию работы станций полигона. Для этого применяется метод имитационного спуска [57]. Суть его в

том, что мы не делаем прямого неупорядоченного перебора вариантов. На каждом этапе мы выбираем шаг, который по ожиданию быстрее всего приближает к достижению поставленной цели.

С целью нахождения дуплекса, имеющего наименьшую пропускную способность, находится участок с наибольшими задержками пропуска нечетных длинносоставных поездов. Границами такого участка являются станции, на которых в рамках данного эксперимента имеется путевое развитие для возможности остановки длинносоставного поезда, не создавая помех проследованию других поездов. Можно увеличить пропускную способность этого дуплекса несколькими способами:

1. добавить канал (построить третий путь на перегоне). Это мероприятие слишком затратное и применяется в последнюю очередь, когда другие способы не дают положительного результата;
2. увеличить емкость бункера – станции перед рассматриваемым участком (рисунок 6.5);
3. увеличить емкость бункера – станции за рассматриваемым участком;
4. добавить внутри дуплекса (на участке) еще один бункер – удлинить пути на одной из станций (рисунок 6.6).

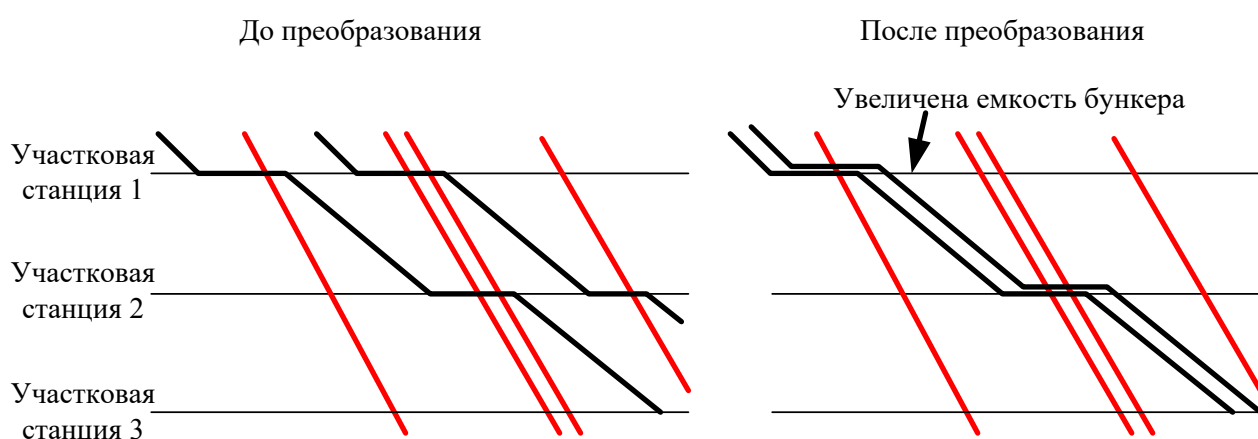


Рисунок 6.5. Увеличение емкости бункера на входе в дуплекс

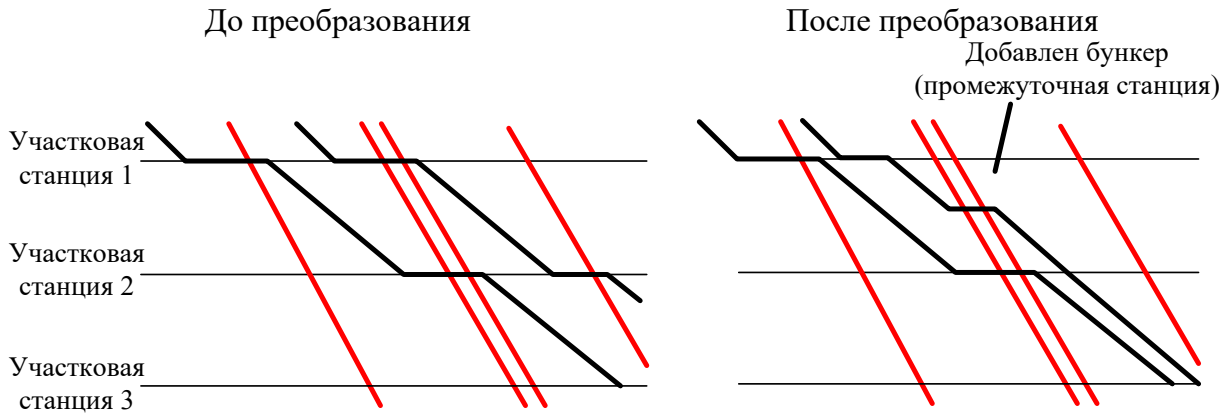


Рисунок 6.6.– Увеличение емкости бункера внутри дуплекса

Критерий выбора способа – минимальные затраты, величина которых обуславливается объемом работ по переустройству, количеством материалов, удаленностью объекта и стоимостью доставки. Необходимо учитывать, что объем и стоимость работ на разных станциях отличается в разы (рисунки 6.7, 6.8). Кроме того, станционная площадка должна иметь возможность удлинения путей; а за станцией должен отсутствовать затяжной подъем. После определения станции производится корректировка модели – для выбранной станции участка изменяются параметры путевого развития (удлинение путей), добавляется возможность остановки на ней длинносоставных поездов. Выполняется очередная серия расчетов для подтверждения правильности принятого решения. Если заложенный в модель на данном шаге поездопоток освоен, то выполнялся следующий шаг по увеличению размеров движения. Алгоритм проведения расчетов приведен на рисунке 6.9.

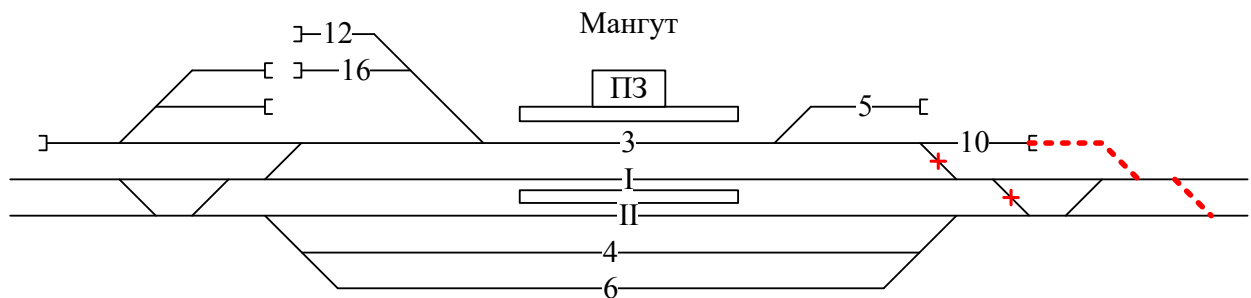


Рисунок 6.7. Удлинение пути на промежуточной станции

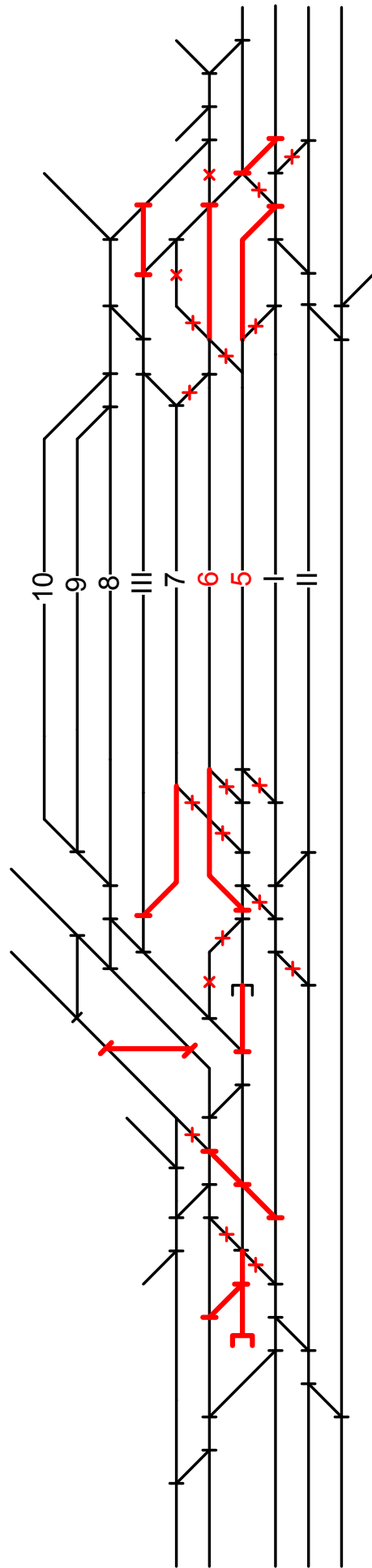


Рисунок 6.8. Удлинение пути на технической станции

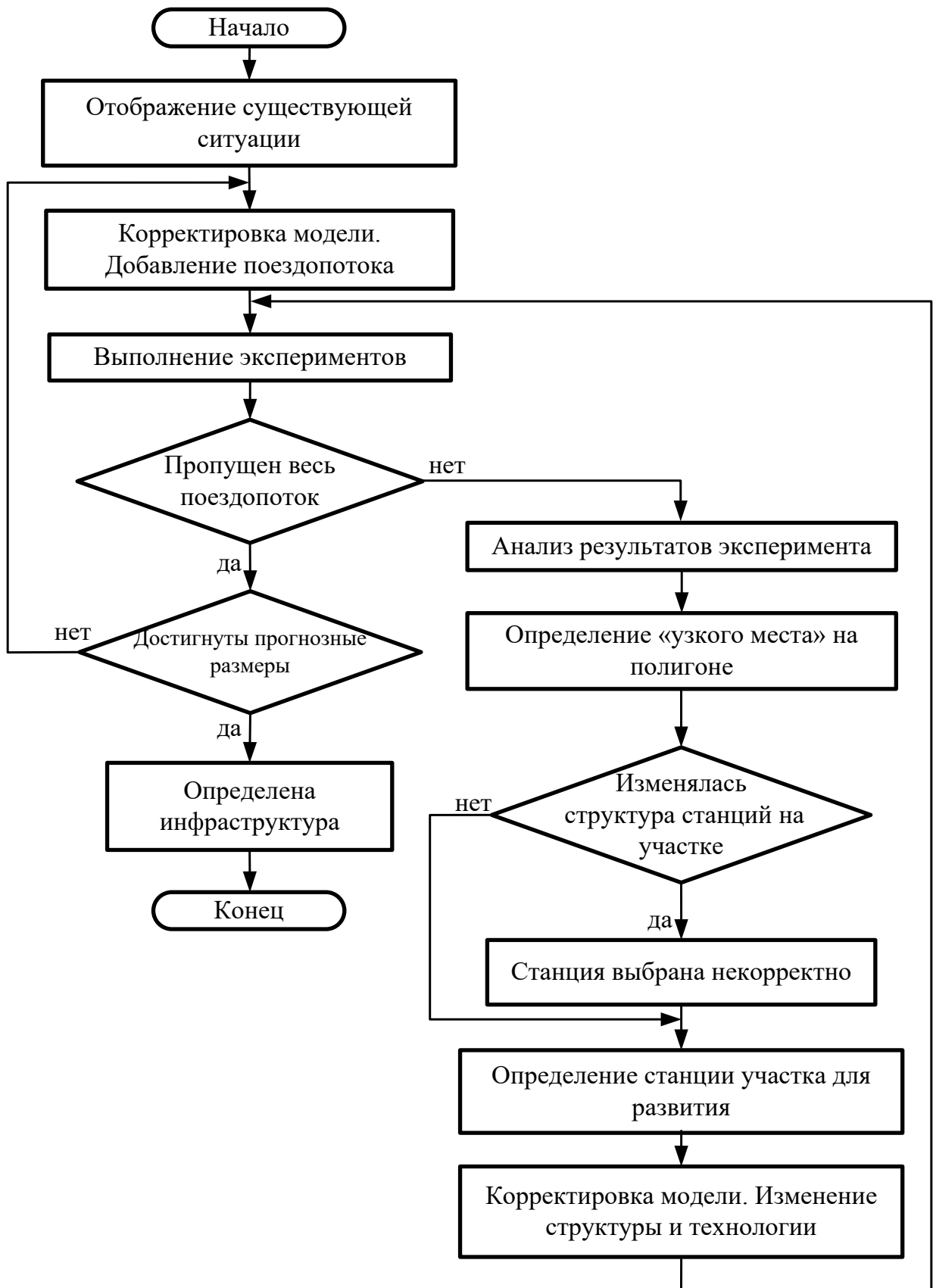


Рисунок 6.9. Схема поиска рациональной инфраструктуры

Таким образом, проведена серия последовательных экспериментов, в каждом из которых либо увеличивался поездопоток, либо удлинялись пути на одной из станций.

На рисунке 6.10 представлен фрагмент схемы экспериментов по определению очередности развития станций полигона. В прямоугольниках указаны участки, являющиеся проблемными местами на каждом этапе имитационного спуска. Красным шрифтом показаны станции, которые не позволят увеличить пропускную способность. Зеленым и синим шрифтом выделены станции, развитие которых позволило увеличить пропускную способность полигона. При этом станции, выделенные зеленым шрифтом, требуют меньших инвестиций, чем станции, выделенные синим шрифтом.

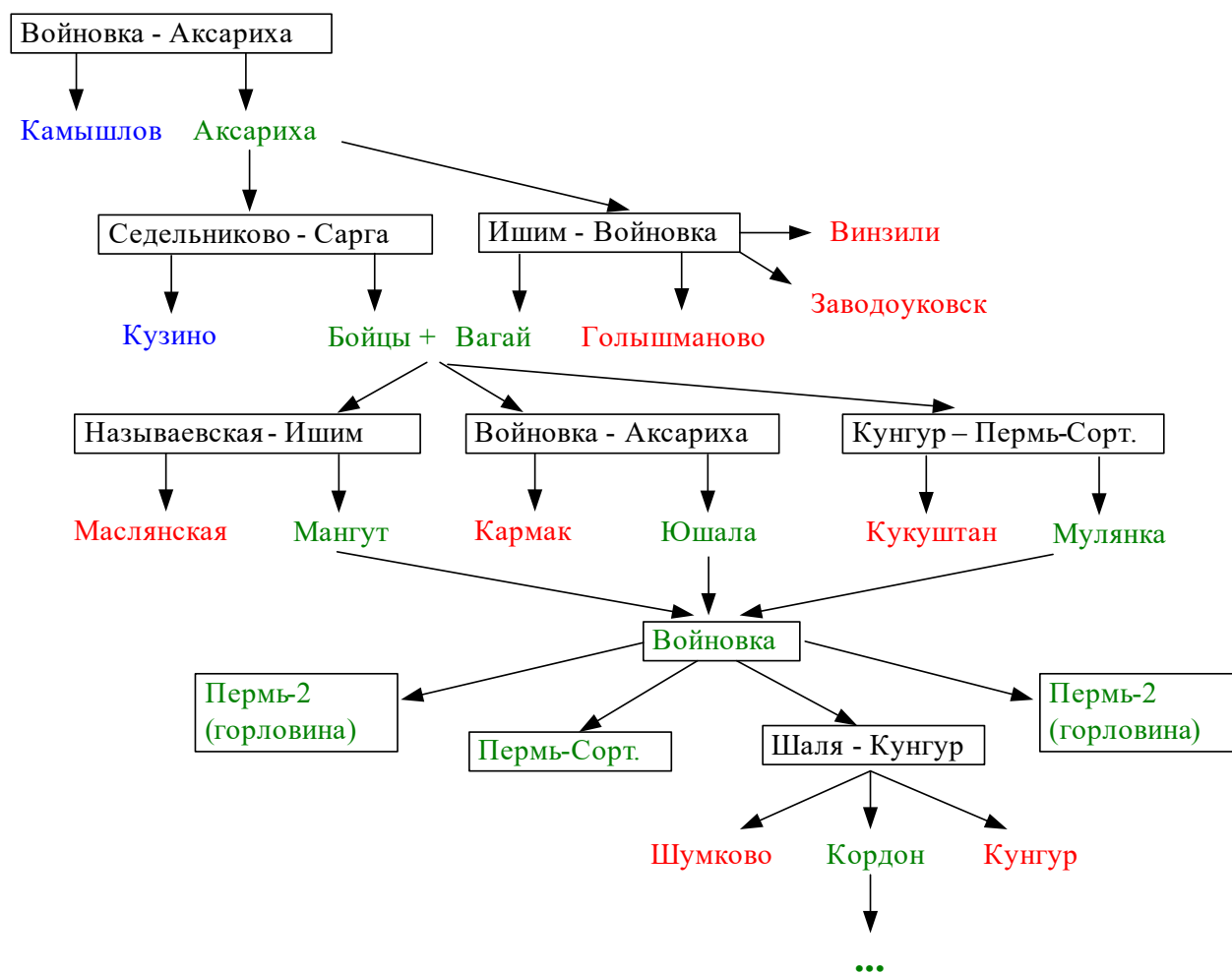


Рисунок 6.10. Фрагмент схемы экспериментов

На рисунке 6.11 показано применение имитационного спуска. Поездопоток двигается в нечетном направлении (на рисунке справа налево). Сверху вниз приведены гистограммы задержек из-за участков. Каждая гистограмма – один шаг имитационного спуска. Красными стрелками показаны местоположения станций, пути которых удлиняются на данном шаге. Так же с каждым шагом при этом возрастает поездопоток. Например, на верхней гистограмме проблемное место – участок Войновка – Мезенский, из-за которого возникают наибольшие на перегоне задержки – 42 часа в сутки. Из-за этого рост поездопотока невозможен. Таким образом, этот участок и станция Войновка (на которой поезда ожидают возможности отправиться) являются дуплексом с минимальной пропускной способностью.

В рассматриваемом примере в месте, показанном красной стрелкой (станция Аксариха), удлиняется станционный путь. Ситуация после удлинения пути приведена на гистограмме ниже. Задержки на участке Войновка – Мезенский снизились в 4 раза и разбились станцией Аксариха на два столбца. Стало возможным увеличить поездопоток. Это выполнялось до тех пор, пока не наступила его остановка из-за следующего проблемного места – участка Седельниково – Сарга с задержками 9,3 часа в сутки. На этом участке найдена станция, на которой удлиняются пути. И так далее. Результатом имитационного спуска будет пошаговый план развития инфраструктуры для поэтапного роста поездопотока с минимальными затратами. На рисунках 6.12 – 6.15 показан результат проведенной оптимизации – указаны станции, которые необходимо развивать с привязкой к размерам движения длинносоставных поездов. Этот перечень станций соотнесен с рассчитанной пропускной способностью и, таким образом, является планом развития полигона.

По оценке специалистов и руководителей Свердловской железной дороги выполненная работа показала высокую эффективность. Вследствие того, что созданная модель детально учитывает все факторы, влияющие на процесс продвижения поездопотока, ее результаты являются гораздо более точными и достоверными, чем результаты расчетов по формулам инструкции. Для освоения перспективного поездопотока необходимо развивать на 6 станций или

на 7 путей меньше по сравнению с нормативом инструкции (таблица 6.2).
 Экономия инвестиционных средств для ОАО «РЖД» – 1,8 млрд. руб.

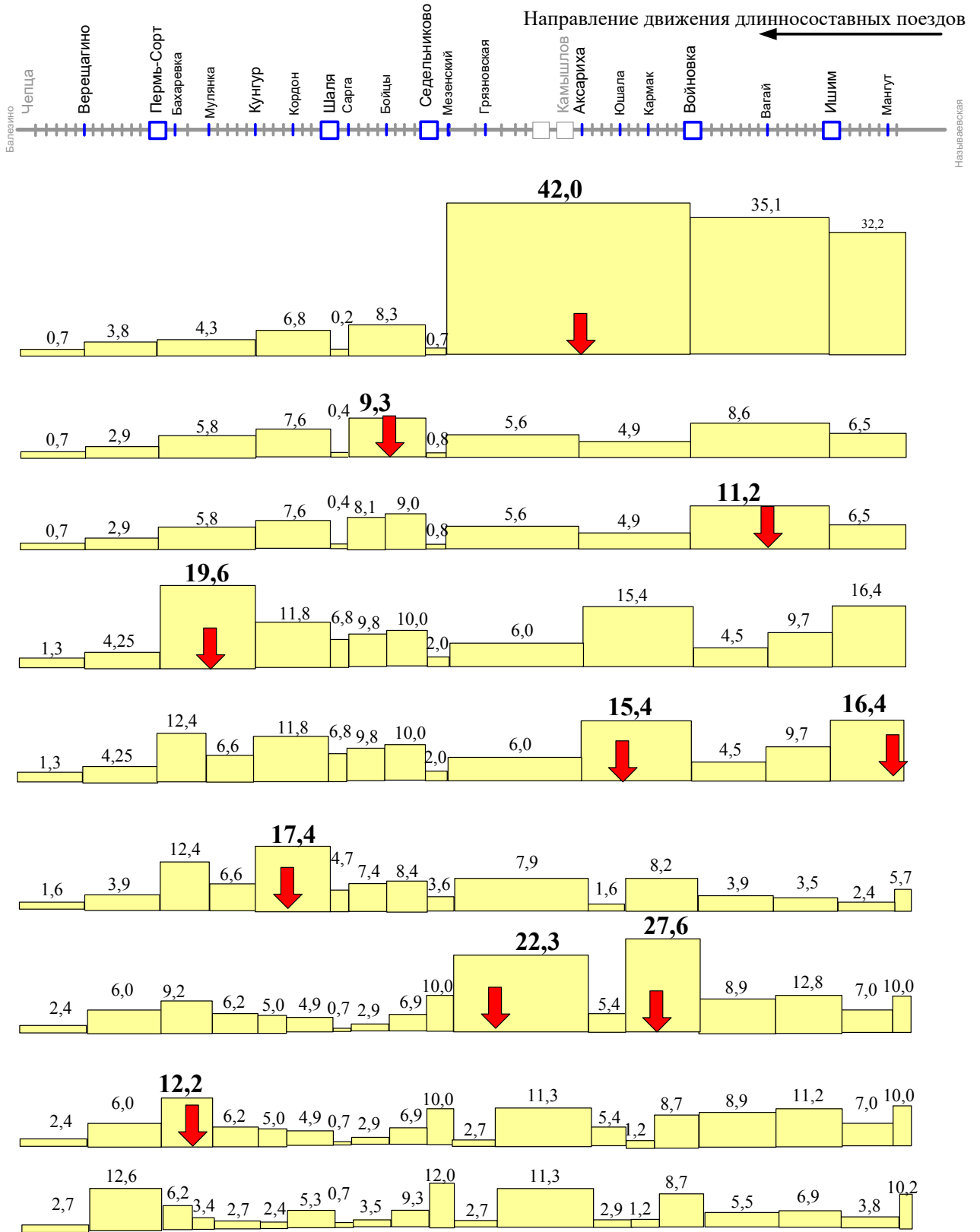


Рисунок 6.11. Применение имитационного спуска

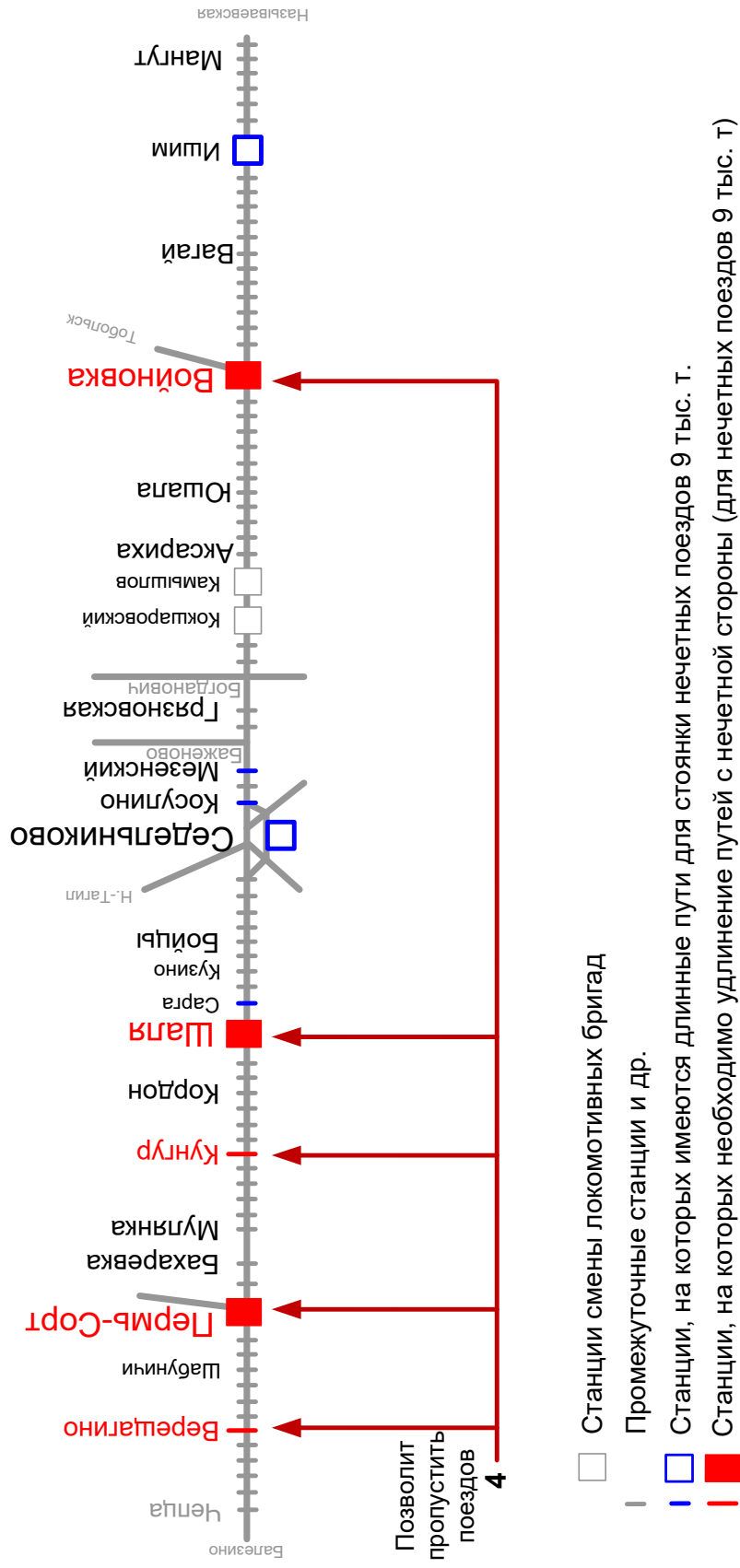


Рисунок 6.12. Перечень станций для удлинения путей для пропуска четырех длиннооставных поездов

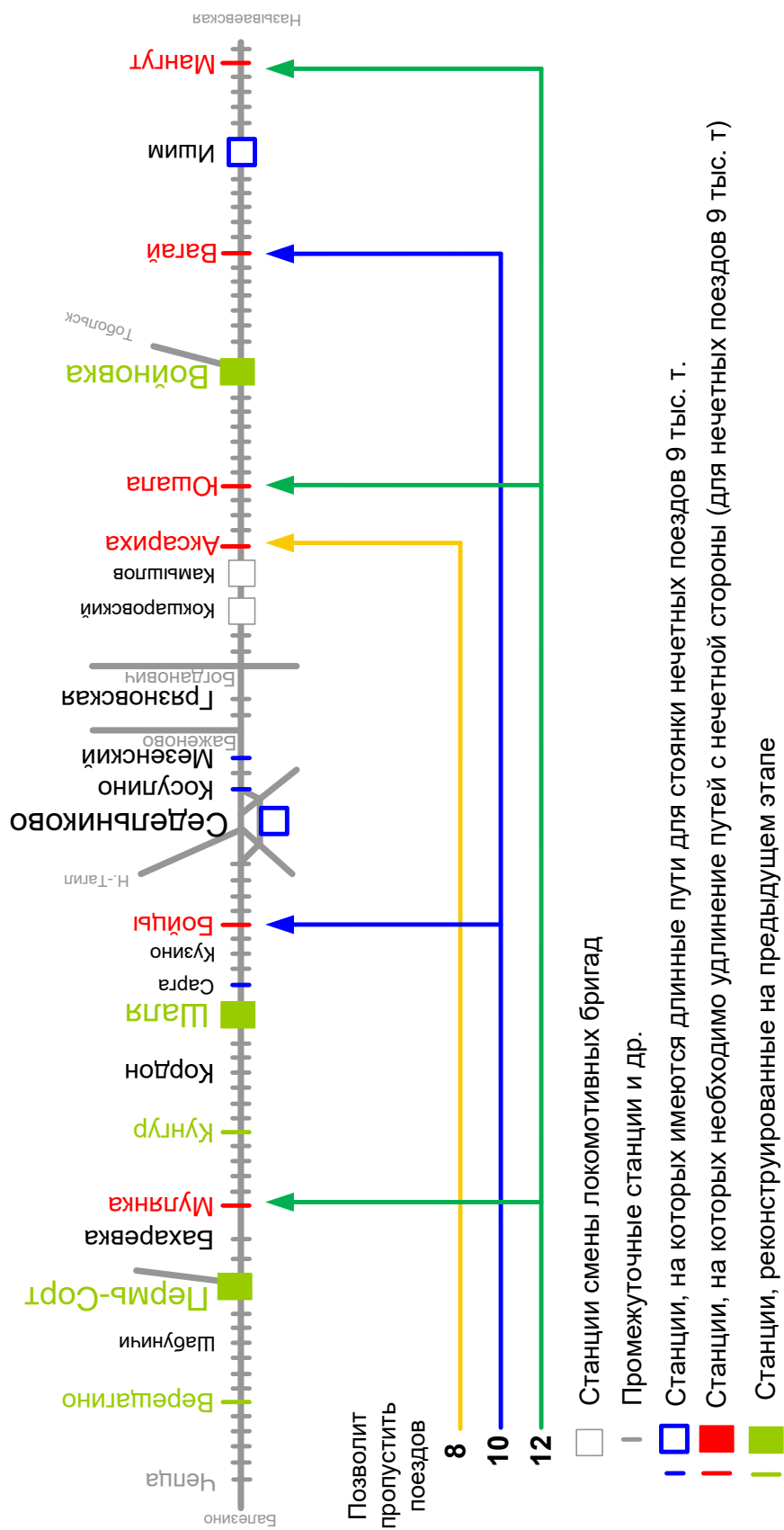


Рисунок 6.13. Перечень станций для удлинения путей для пропуска восьми, десяти и двенадцати длиннооставных поездов

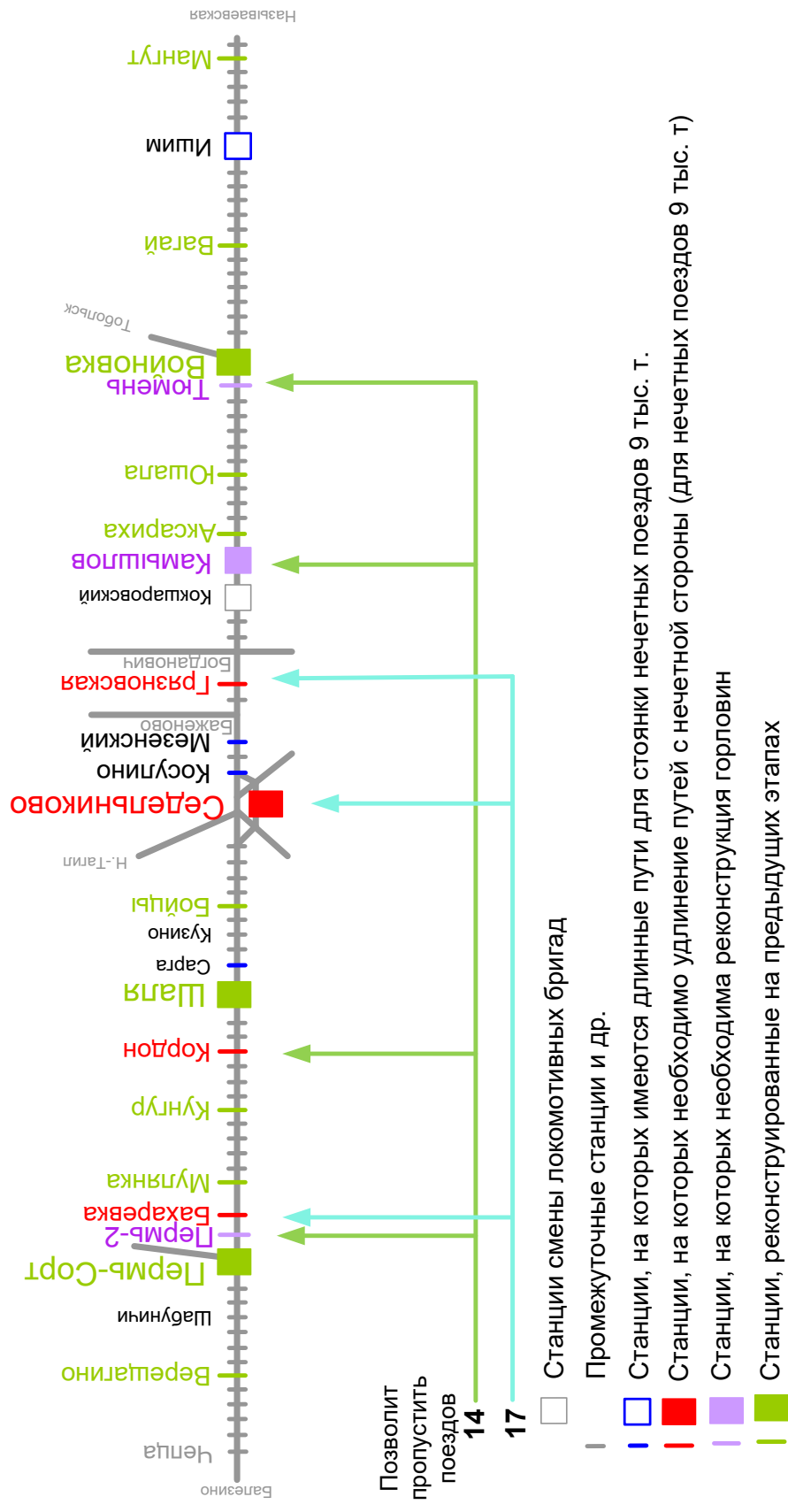
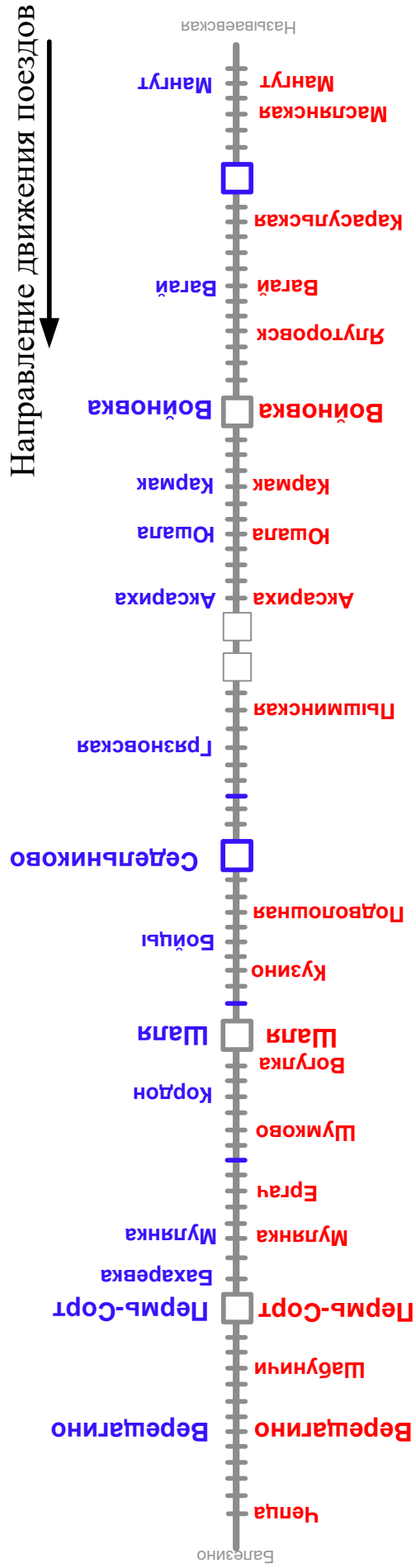


Рисунок 6.14. Перечень станций для удлинения путей для пропуска четырнадцати и семнадцати длиннооставных поездов



Красным цветом – удлинение путей на станциях по расчетам специалистов дороги

Синим цветом – по результатам моделирования методом имитационного спуска

Рисунок 6.15. Перечень станций для удлинения путей (результат работы)

Таблица 6.2. Сравнение результатов модели и норматива инструкции

Необходимо развивать	Норматив инструкции	Имитационная модель	Экономия
станций	21	15	6
путей	31	24	7

Приведенный пример с удлинением путей – не единственный способ оптимизации по затратам. В зависимости от целей исследования целевая функция может различаться, но использование имитационного спуска, аналогичного предложенному, позволит решить практически любую задачу оптимизации [69, 82, 87, 88, 103, 105]. Причем затраты могут быть как капитальными, так и эксплуатационными. В модели можно варьировать вес, длину и количество грузовых поездов, выбирать способ прокладки на графике ниток пассажирских и приоритетных грузовых поездов, расположение отдельных пунктов, в том числе станций смены локомотивов и/или локомотивных бригад, гарантийных участков ПТО и многие другие параметры.

Выводы к главе 6

1. Сформулированы основные направления оптимизации полигона по затратам – капитальным и эксплуатационным. Приведены примеры задач, решение которых актуально для полигонов и возможно выполнить с помощью имитационных моделей.
2. Разработана технология оптимизации затрат на реконструкцию полигона за счет увеличения массы поезда.
3. Адаптирована методология имитационного спуска для решения задачи по оптимизации полигона.
4. На конкретном примере оптимизации продемонстрированы технологический и экономический эффекты разработанной технологии.

ГЛАВА 7. ПРОБЛЕМА ГАРМОНИЧНОГО СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

7.1. Существующие подходы

Выделить какие-то более или менее строгие принципы рационального построения станций из проектной практики и инструкций по проектированию и расчету не представляется возможным. Существуют лишь некоторые эмпирические рекомендации. Диссертационные же исследования мало помогали решению этой задачи. Рассмотрим существующие подходы подробнее.

7.1.1. Парк путей как объект исследования

Основным фактором, определяющим гармоничность структурного построения станции, является согласование параметров парков и горловин.

В соответствии с существующей инструкцией по расчету объектов железнодорожного транспорта [5] парк рассматривается как множество путей, полностью занятых обработкой составов. Основной формулой расчета пропускной способности парка являлась в течение десятилетий следующая:

$$N = \frac{1440m - \sum T_{\text{пост}}}{t_{\text{зан}}}, \quad (7.1)$$

где m – число путей в парке;

$t_{\text{зан}}$ – время занятия пути одним поездом;

$T_{\text{пост}}$ – время занятия устройства в течение суток выполнением постоянных операций, мин».

Если представить схему работы парка по этой формуле, то получится следующая картина (рисунок 7.1).

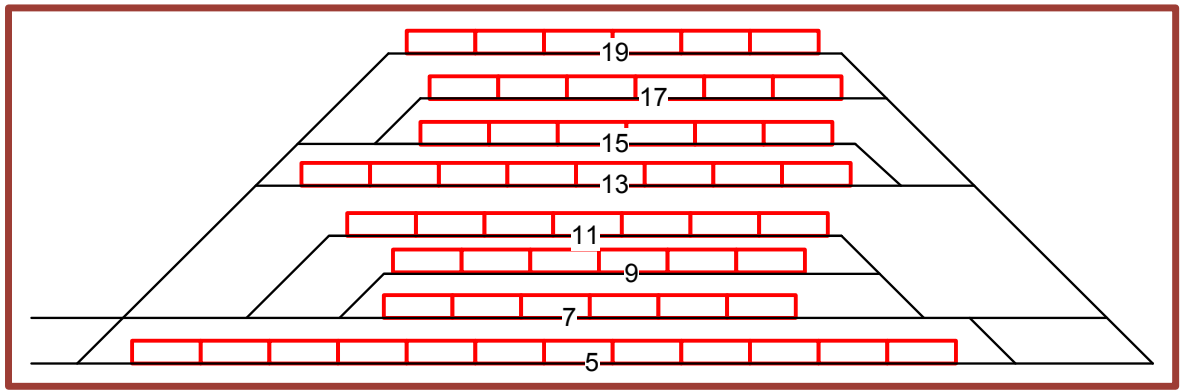


Рисунок 7.1. Схема занятости пути в соответствии с вышеприведенной формулой

Здесь предполагается, что входной поток равномерный и время обслуживания фиксированное. Но в целом ряде научных исследований, в том числе докторских диссертаций, наиболее адекватным аппаратом расчета парков считалась теория массового обслуживания. Как, например, согласовать вышеприведенную формулу с формулой из одной из докторских диссертаций [5]:

$$n_{\text{оч}} = \frac{\Psi(1 + v_{\text{обсл}}^2) + v_{\text{вх}}^2 - 1}{2\left(\frac{1}{\Psi} - 1\right)} + \varepsilon, \quad (7.2)$$

где Ψ – загрузка системы;

$v_{\text{обсл}}$ – коэффициент вариации длительности обслуживания;

$v_{\text{вх}}$ – коэффициент вариации интервалов между моментами поступления требований в систему.

Ведь, если оба коэффициента вариации равны нулю, то и очередь будет равна нулю. Но что объединяет оба подхода, так это то, что парк рассматривается без учета взаимодействия с горловиной. А как было показано выше, влияние это может быть существенным. Горловина может

вызывать значительные задержки (рисунок 7.2). И тогда полезное использование путей резко снижается (рисунок 7.3).

Горловина	графически	факт (чч:мм)	в среднем (мин)
Нечетная Б		46:02	4,1
Четная Б		37:53	4,4
Четная Т		28:42	3,4
Формирования		15:50	6,5
Предгорочная		10:07	2,5
Нечетная Т		9:14	1,9
Входная		1:32	0,6

Рисунок 7.2. Задержки из-за горловины

название	графически	технологией	задержками
7 п. парка Парк Т		7:14	9:57
5 п. парка Парк Т		6:56	9:44
9 п. парка Парк Т		9:00	8:03
3 п. парка Парк Т		9:41	5:17
15 п. парка Парк Т		7:17	8:49
4 п. парка Парк Т		8:06	4:53
13 п. парка Парк Т		7:49	7:35
I п. парка Парк Т		10:19	3:34

Рисунок 7.3. Структура занятости путей (зеленым – полезная, красным – задержками из-за горловины, желтым – простоем без локомотива)

Так что первая формула рассчитывает только зеленую часть, а вторая – красную. И обе, конечно, неправильно. А нужно рассматривать их вместе. Так что для гармоничного построения станции парк и горловины необходимо рассматривать во взаимодействии.

7.1.2. Горловина как объект исследования

Определенной структурированной оценке горловина как объект исследования до сих пор не поддавалась. Действительно, как определять ее параметры? Некоторое множество стрелок, на которое наложена «паутина» связей. Четкий параметр, собственно, только один – число стрелок. Но этот количественный параметр не может служить качественной характеристикой. Разве можно сказать, что, скажем, 40 стрелок лучше, чем 30?

Необходимым требованием для горловин является возможность заезда с любого пути парка на все остальные, то есть граф структуры горловины должен быть связным. Сравним две удовлетворяющих этому требованию горловины реальных станций (рисунок 7.4). Горловина с индексом а) явно обеспечивает большую маневренность и, по-видимому, большую пропускную способность, чем с индексом б). Но количественной оценки этого найти не удавалось.

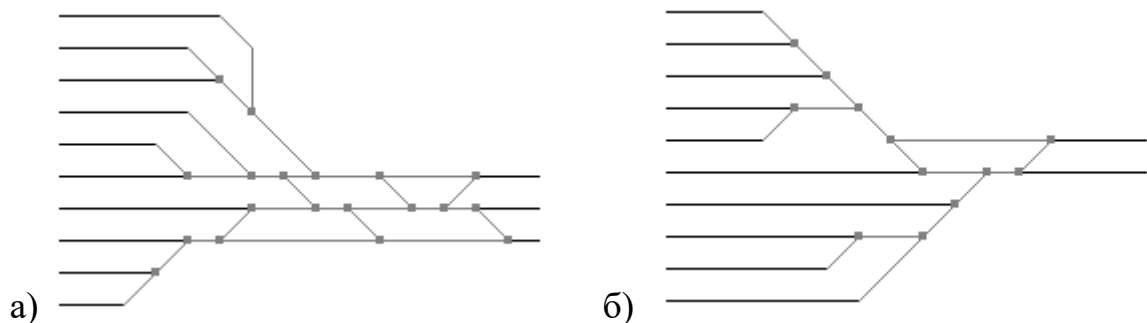


Рисунок 7.4. Схемы горловин

Собственно, в проектах обычно строился суточный план-график работы станции, и это помогало как-то оценивать проектные решения. Хотя сам этот подход и имеет ряд существенных недостатков, в частности, не отображается взаимодействие случайных процессов.

Как уже говорилось (см. главу 2), из-за невозможности сформулировать некоторый параметр, который оценивал бы качественные свойства горловины, в утвержденных методах расчета предложили заменить

ее одной, наиболее загруженной стрелкой (вернее, группой стрелок, которые во всех передвижениях занимают одновременно, фактически или по враждебности). Вот как это описывается в Инструкции [5]:

«Пропускная способность горловины при помощи коэффициента использования рассчитывается в зависимости от продолжительности занятия горловины за сутки всеми операциями, предусмотренными технологическим процессом работы станции.

Перед расчетом пропускной способности горловины составляется сводная таблица передвижений (табл. 2.4 формы № 13 ЦД), в которую вносятся все без исключения передвижения, совершаемые по рассчитываемой горловине» (таблица 7.1).

Далее устанавливается, какой именно элемент является наиболее загруженным. С этой целью для каждого из интенсивно используемых элементов осуществляется следующее.

С использованием данных граф 5 и 9 сводной таблицы передвижений определяется (с точностью до 0,1 мин) общее время занятия элемента всеми предусмотренными операциями, зависящими от размеров движения,

$$T = \sum \tau n'_i (1 + \rho_\Gamma) = \sum t_{\text{зан}}^\Gamma (1 + \rho_\Gamma), \quad (7.3)$$

где $t_{\text{зан}}^\Gamma$ – продолжительность занятия маршрута одной операцией;

n'_i – число операций по соответствующему маршруту (прием – отправление поездов, подача – уборка поездных локомотивов, различного рода маневровые передвижения), увеличивающихся пропорционально росту размеров движения;

ρ_Γ – коэффициент, учитывающий отказы устройств ЭЦ.

Далее для каждого элемента определяется отношение

$$K_0 = \frac{T}{1440 - T_{\text{пост}}^\Gamma} = \frac{\sum t_{\text{зан}}^\Gamma (1 + \rho_\Gamma)}{1440 - \sum t_{\text{зан}}^\Gamma}, \quad (7.4)$$

Сопоставление значений K_0 для интенсивно используемых элементов горловины дает возможность установить наиболее загруженный расчетный элемент. Таким расчетным элементом является тот, для которого значение K_0 будет наибольшим».

Таблица 7.1. Расчет загрузки стрелочных групп

Маршруты (передвижения)	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжитель- ность занятия маршрута одной операцией τ , мин	Число Опера- ций по маршру- ту n	Продолжительность занятия маршрута всеми операциями $t_{\text{мар}} = \tau \cdot n$, мин	
				изменяю- щимися	постоян- ными
1	2	3	4	5	6
Отправление пассажирского поезда на P с пути 3	34, 32, 20, 4, 6	4	10	-	40
Прием пассажирского поезда из P на путь II	2, 8, 10, 16, 22, 24, 30, 36	6	10	-	60
Отправление транзитного грузового поезда на P с путей 4 - 6	40, 26, 24, 22, 20, 4, 6	5	25	125	-
Прием транзитного грузового поезда из P на пути 7 - 9	2, 8, 10, 16, 18, 28, 44	7	38	266	-
То же, участкового поезда	2, 8, 10, 16, 18, 28, 44	7	9	63	-
То же, сборного поезда	2, 8, 10, 16, 18, 28, 44	7	2	-	14
Уборка локомотива от транзитного поезда с путей 4 - 6 за стрелку 6	40, 26, 24, 22, 20, 4, 6	2	25	50	-
То же, от участкового поезда	40, 26, 24, 22, 20, 4, 6	2	9	18	-
То же, от сборного поезда	40, 26, 24, 22, 20, 4, 6	2	2	-	4

Однако, как показывает моделирование, отождествлять горловину с одной стрелкой неправомерно. К примеру, задержки из-за горловины и из-за наиболее загруженной стрелки не всегда коррелируют (рисунок 7.5).

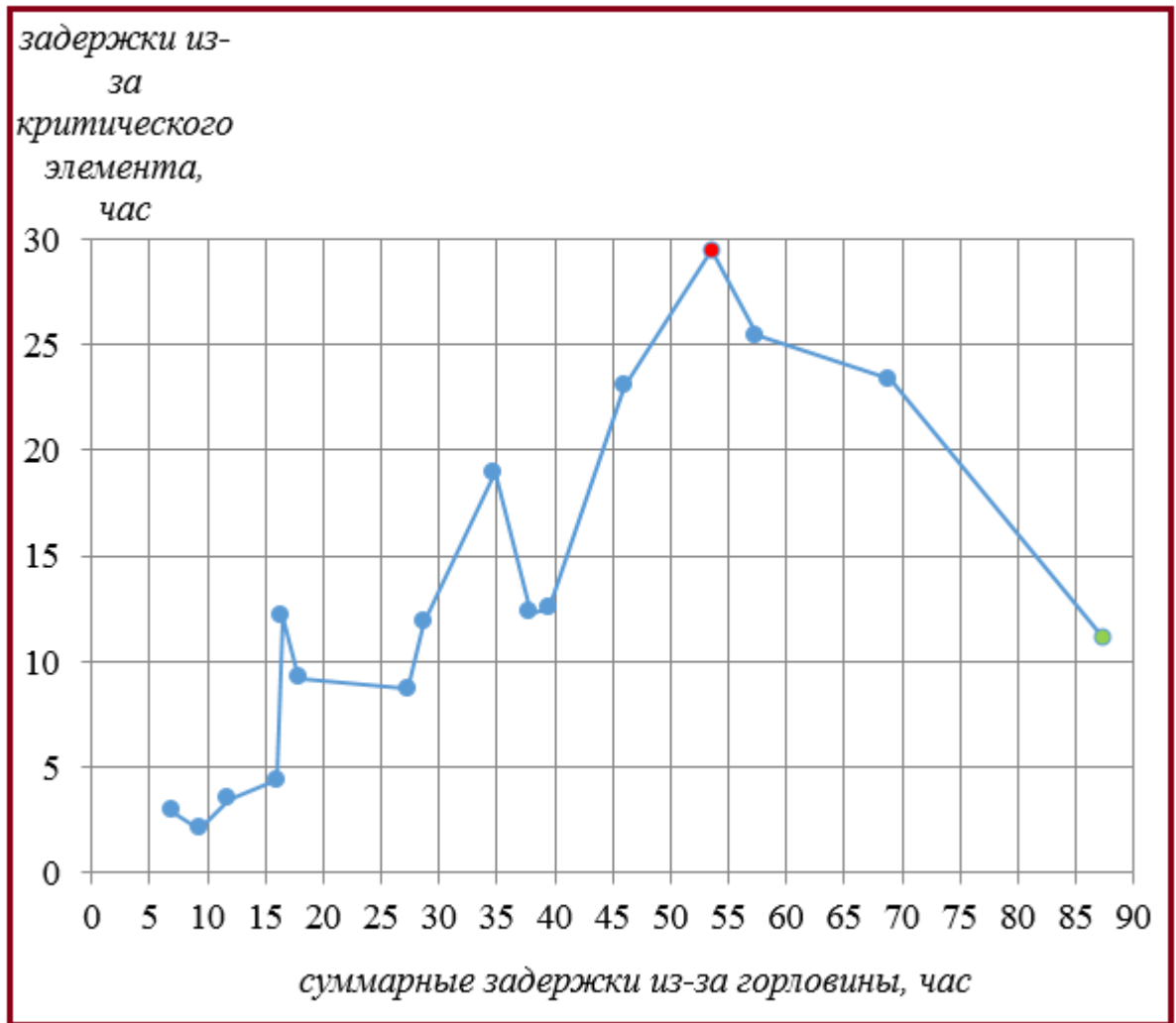


Рисунок 7.5. Задержки из-за горловины и критического элемента

7.2. Структурирование горловины

Предлагается структурировать горловину таким образом, чтобы это имело содержательный смысл [52, 58, 108, 146]. Вводится понятие структурного канала – это группа стрелок, которая обеспечивает одно параллельное передвижение. То есть структурных каналов в горловине столько, сколько возможных одновременно параллельных передвижений (рисунок 7.6).

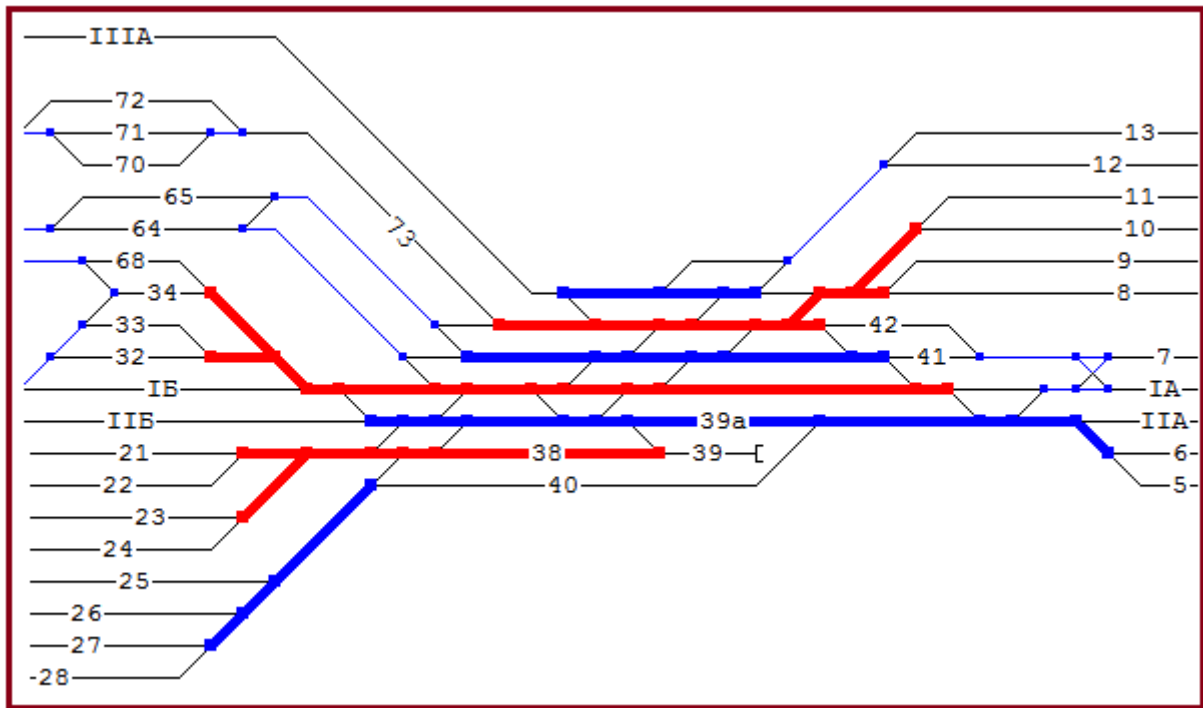


Рисунок 7.6. Структурные каналы в горловине

Итак, горловина представляла собой некоторое, неупорядоченное, множество стрелок и соединений между ними

$X \equiv \{x_i\}$ – множество стрелок;

$Y \equiv \{y_j\}$ – множество соединений;

$Q_{xy} \equiv \{X \cup Y\}$ – горловина из стрелок и соединений.

В горловине можно выделить группы стрелок, которые во всех передвижениях занимают одновременно (фактически или по враждебности). Они и являются, по сути элементами множества, описывающего горловину

$\Delta q_\gamma \equiv \langle \Delta x_\gamma \cup \Delta y_\gamma \rangle$ – элемент структуры горловины;

$\Delta x_\gamma \equiv \langle x_\gamma \rangle$

$\Delta y_\gamma \equiv \langle y_\gamma \rangle$

$Q_\gamma \equiv \{\Delta q_\gamma\}$ – горловина как множество элементов структуры.

В существующих инструкциях расчетным элементом считается наиболее загруженная стрелка (вернее, элемент структуры)

$$\overline{\Delta q} \equiv \Delta q_s \left(\sum_{t=1}^T \tau_s(t) \right) \longrightarrow \max. \quad (7.5)$$

Предполагается, что пропускная способность горловины, как функции состояния множеств стрелок и связей между ними, равняется ее пропускной способности, как функции состояния расчетного элемента

$$(P_{xy} = f(Q_{xy})) = (P_q = f(\overline{\Delta q})). \quad (7.6)$$

Предлагается представить горловину, как упорядоченное множество структурных каналов (их число обозначим m)

$r_s \equiv \langle \Delta q_s \rangle$ – структурный канал;

$R \equiv \langle r_s \rangle$ – горловина как упорядоченное множество структурных каналов.

Обозначим парк путей как множество

$Q_f \equiv \langle z_f \rangle$ – парк путей.

Будем считать пропускную способность горловины как функцию состояния множества структурных каналов равной этому же параметру, как функцию состояния множеств стрелок и соединений

$$(P_{xy} = f(Q_{xy})) = (P_r = f(R)). \quad (7.7)$$

Парк путей является генератором потоков (исходящего и входящего)

$P = f(Q_l) = \overrightarrow{G} + \overleftarrow{G}$ – поток генератора;

\overrightarrow{G} – исходящий поток;

\overleftarrow{G} – входящий поток.

Условие согласованности параметров парка и горловины можно сформулировать так: пропускная способность горловины должна обеспечивать транзит этих потоков

$$(P_{xy} = f(Q_{xy})) \geq (P_1 = f(Q_1)). \quad (7.8)$$

Естественно, это должна обеспечивать и горловина, организованная как множество структурных каналов

$$(P_r = f(R)) \geq (P_1 = f(Q_1)). \quad (7.9)$$

А вот пропускная способность горловины, определяемая как функция состояния одного расчетного элемента, не соответствует действительности

$$P = f(\overline{\Delta q}) = ? \quad (7.10)$$

Здесь приведено чисто структурное рассмотрение горловины. Однако, необходимо учитывать и ее функциональные свойства при заданной технологии. При наложенной технологии структурные возможности могут быть реализованы в большей или в меньшей степени. Возможные параллельные передвижения при наложенной технологии будем называть функциональными каналами.

Рассмотрим это на примере приведенной горловины с 7 структурными каналами. При различных передвижениях число функциональных каналов может изменяться от 7 до 2 (рисунки 7.7 – 7.10).

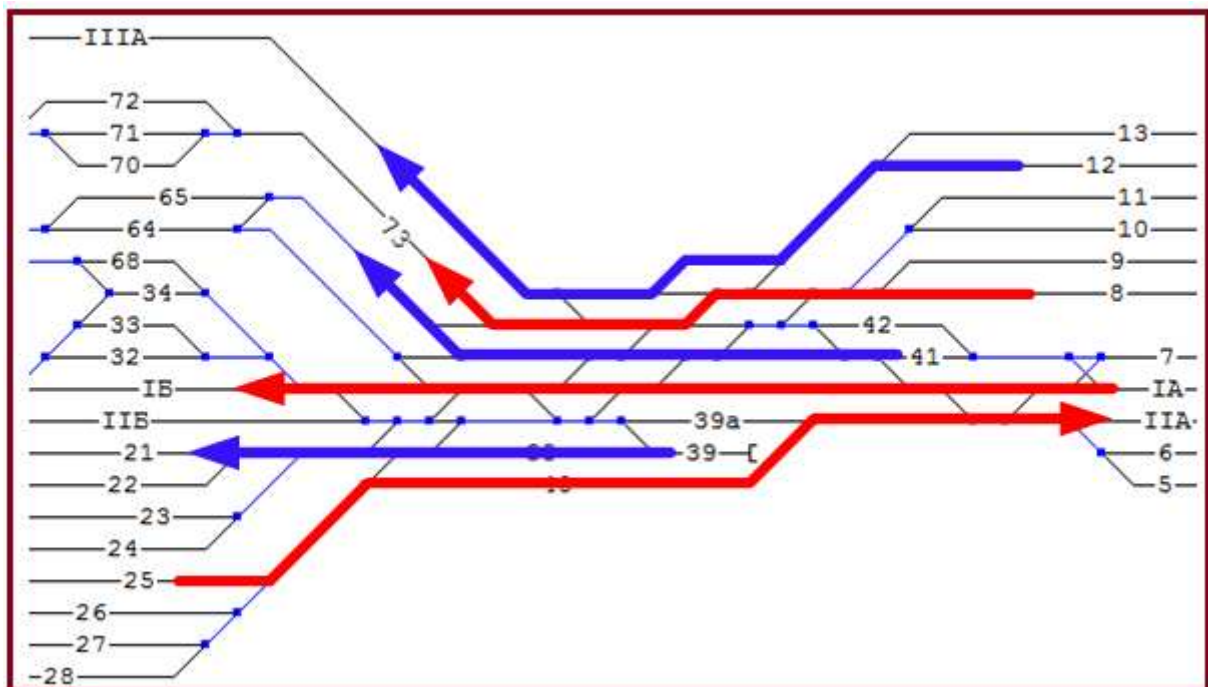


Рисунок 7.7. Схема с 6 функциональными каналами

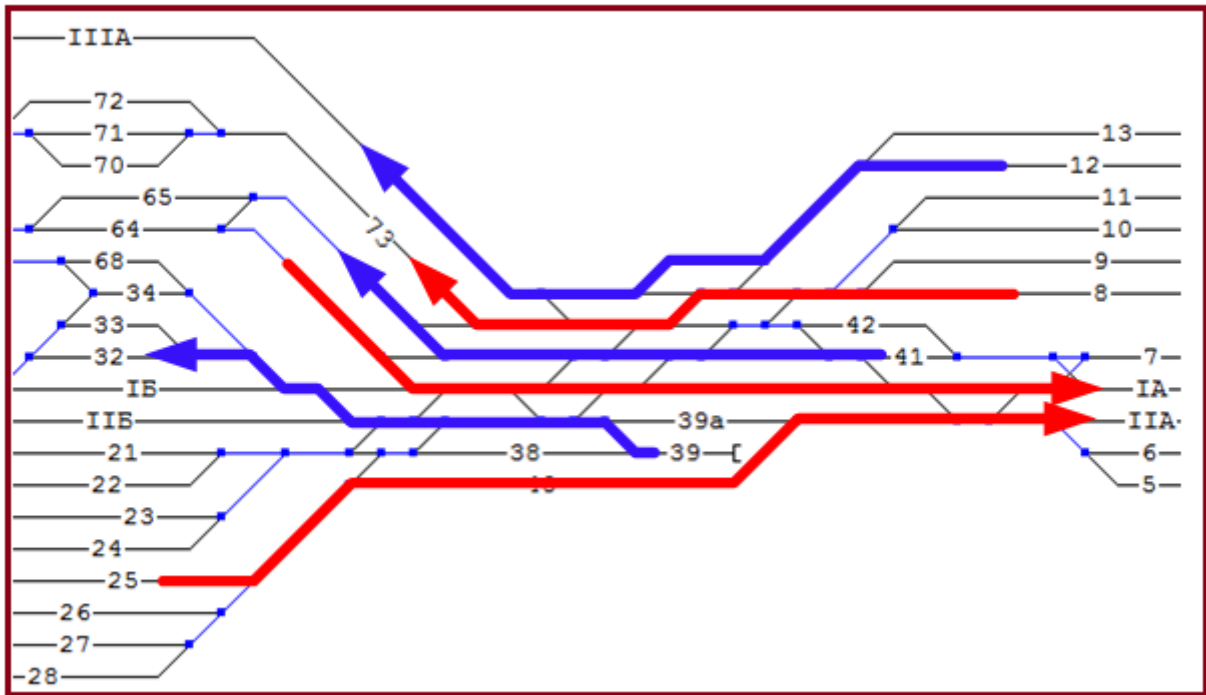


Рисунок 7.8. Схема с 5 функциональными каналами

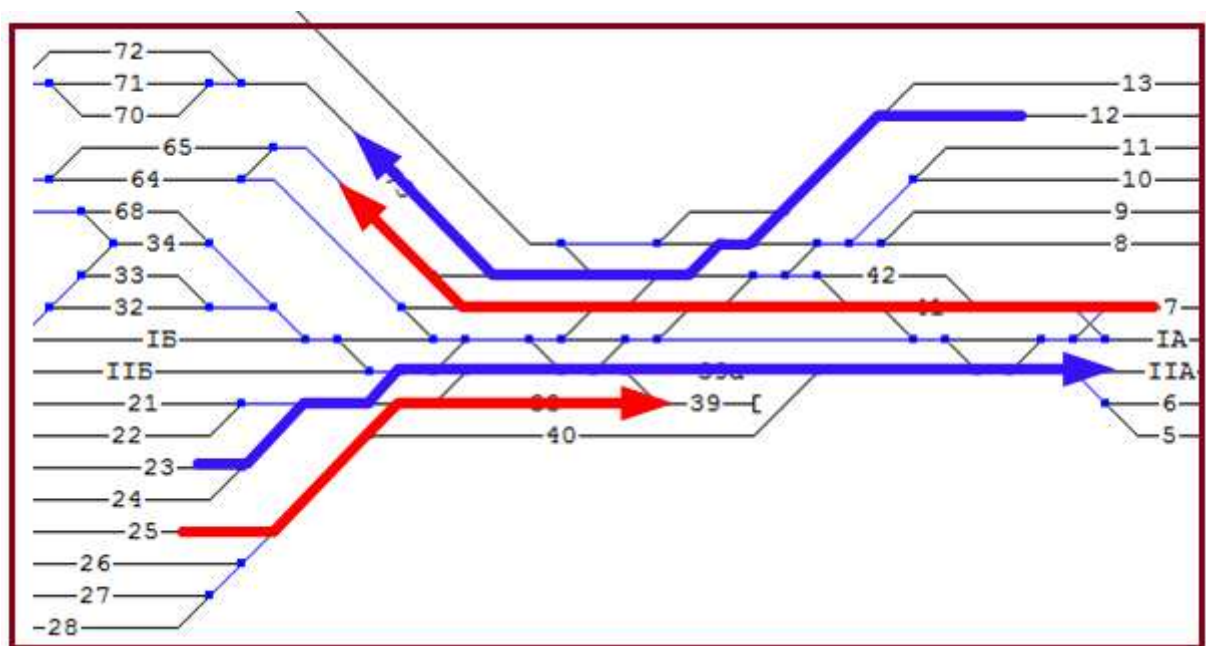


Рисунок 7.9. Схема с 4 функциональными каналами

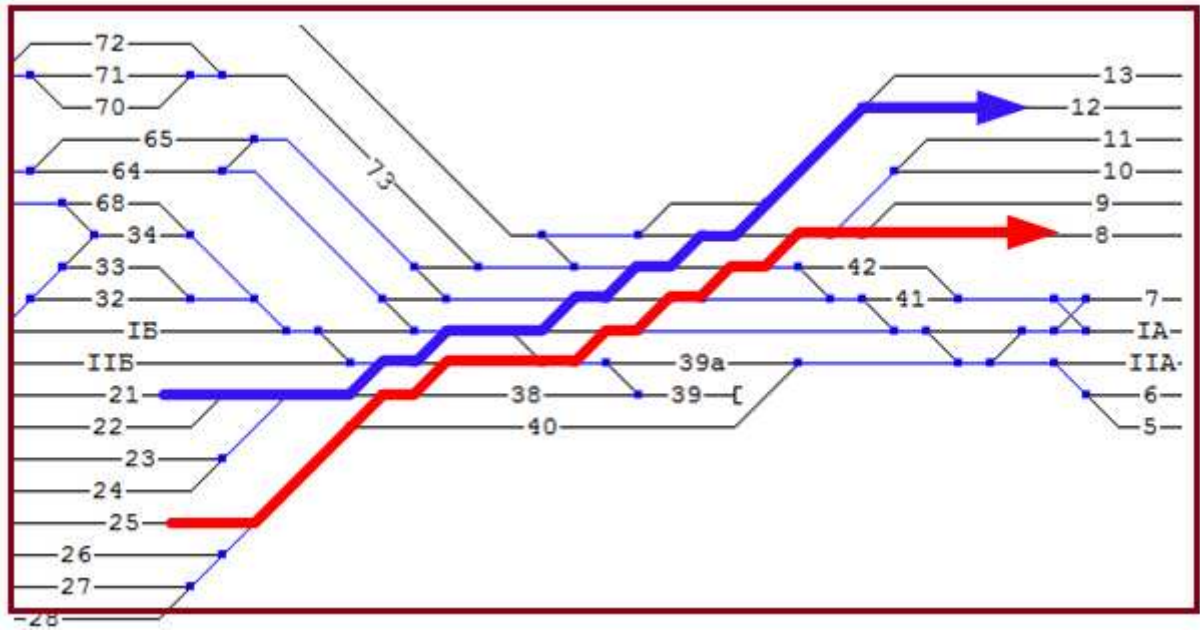


Рисунок 7.10. Схема с 2 функциональными каналами

При различной технологии те или иные варианты возможных параллельных передвижений могут появляться чаще или реже. Маневренность горловины при заданной технологии будет определять *среднее число возможных передвижений за расчетный период*. Это и будет *число функциональных каналов горловины k* .

7.3. Параметры взаимодействия парков и горловин. Содержательные предположения

Говоря абстрактно, параметры парка должны соответствовать параметрам горловины. Парк является либо истоком потока (отправителем), либо стоком (получателем) (рисунок 7.11). Однако причиной и того и другого потока является технология парка.

Теперь можно ввести количественные параметры, которые позволят сравнивать и горловины, и уровень их взаимодействия с парками.

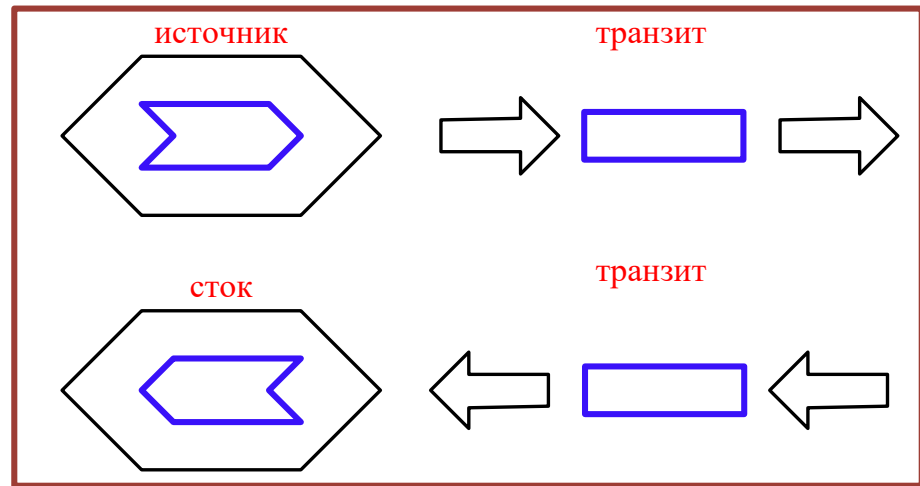


Рисунок 7.11. Схема взаимодействия парка и горловины

Обозначим:

n – число стрелок в горловине,

m – число путей в парке,

k – число структурных каналов,

k^* – число функциональных каналов.

Структурирование горловины позволяют сформулировать содержательно оправданные предположения, которые, однако, необходимо потом доказать проведением многих имитационных экспериментов.

Предположение 1. Если парк является генератором потока, то естественно предположить, что поток может быть тем больше, чем больше путей в парке.

Предположение 2. Чем больше структурных каналов в горловине, тем больше ее пропускная способность.

Предположение 3. Чем меньше стрелок приходится на один структурный канал, тем рациональнее она спроектирована. Характеризовать это может параметр *канало-насыщенность горловины*

$$\alpha = \frac{k}{n}, \quad (7.11)$$

При этом для удобства можно пользоваться и обратным соотношением
- числом стрелок на один канал,

$$\Delta n = \frac{n}{k}, \quad (7.12)$$

Предположение 4. Согласованность структуры парка и горловины может характеризовать параметр *маршрутная обеспеченность парка*

$$\beta = \frac{k}{m}, \quad (7.13)$$

Предположение 5. Согласованность структуры горловины и наложенной технологии может характеризовать параметр *функциональность горловины*:

$$\gamma = \frac{k^*}{k}, \quad (7.14)$$

при этом число функциональных каналов:

$$k^* = \frac{k}{\Delta k}, \quad (7.15)$$

где $\Delta k = \frac{\sum_{t=1}^T k(t)}{h}$ — среднее число структурных каналов, занятых в одной операции,

h — число выполненных операций за время T .

Число функциональных каналов показывает, сколько параллельных передвижений реально возможно при наложенной технологии. Допустим, число структурных каналов равно 6. Но в среднем в операции занимается два. Значит, из 6 возможных параллельных передвижений (их числа

структурных каналов) реализуется только 3. Это и будет число функциональных каналов.

Значит, чем больше коэффициент γ , тем выше согласованность структуры и технологии на станции. Ибо взаимодействие парков и горловин, это определяющий тип взаимодействий железнодорожных станций.

Предположение 6. Универсальным критерием положительности структурно- функциональных решений является *снижение задержек на одну операцию.*

7.4. Технология обоснования параметров взаимодействия

Необходимое условие экспериментальных исследований – сравнительные расчеты следует проводить для однотипных парков и горловин. Из-за особенностей структуры и наложенной технологии работы результаты взаимодействия в разных парках будут значительно отличаться. Исследуем вначале вполне правдоподобное предположение 6. Действительно, задержки должны снижаться и при повышении маршрутной обеспеченности парка, и при возрастании функциональности горловины (увеличении числа функциональных каналов). Но все оказывается не так просто. Слишком тесно взаимосвязаны параметры работы станции. Поэтому модель должна выдавать достаточный набор параметров, характеризующий работу станции, сравнивая которые можно попытаться установить некоторые зависимости (таблица 7.2).

Таблица 7.2. Структурно-функциональные параметры модели станции

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К	Л	М	Н
Станция	Горловина	Структурных каналов	В одной операции занятых каналов	Функциональных каналов	Число путей в парке	Стрелок	Стрелок на структурный канал	Стрелок на функциональный канал	Уд. Задержка на одну операцию, мин	Структ каналов / кол-во путей	Количество операций в сутки	Ср. кол-во занятых путей	Ср. кол-во стрелок занятых в одной операции
входные горловины парков приема													
Екат-сорт	неч НПП	4	2	2,0	11	19	4,8	9,5	0	0,36	90	7,2	9,4
Екат-сорт	чет ЧПП	3	1,3	2,3	12	22	7,3	9,5	0,3	0,25	59	7,2	7,8
Челяб-гл	вх А	3	1,4	2,1	11	17	5,7	7,9	0,3	0,27	178	5,5	6
Алтайская	неч А	4	1,6	2,5	8	19	4,8	7,6	1,1	0,50	215	5,7	7,6
Челяб-гл	вх Г	4	1,4	2,9	18	34	8,5	11,9	0,3	0,22	223	11,1	8,7
выходные горловины парков отправления													
Екат-сорт	чет НПО	3	1,9	1,6	15	25	8,3	15,8	1,7	0,20	290	6,8	9,1
Екат-сорт	неч ЧПО	2	1,7	1,2	12	19	9,5	16,2	2,1	0,17	233	6,9	12,7
Челяб-гл	вых В	2	1,5	1,3	10	18	9,0	13,5	0,8	0,20	202	8,7	10,4
Челяб-гл	вых Б	3	1,9	1,6	10	22	7,3	13,9	0,5	0,30	178	6,9	10,3
Алтайская	неч Б	4	2,1	1,9	9	35	8,8	18,4	1,0	0,44	186	5,1	14,1
горловины приемо-отправочных парков													
Агрыз	чет Б	4	1,9	2,1	16	35	8,8	16,7	4,4	0,25	258	11,0	10,1
Агрыз	чет Т	5	1,6	3,1	11	19	3,8	6,1	3,4	0,45	254	7,1	6,2
Карымская	неч Д	5	1,6	3,1	13	36	7,2	11,6	0,7	0,38	286	6,4	10,8

Эксперимент 1. Задержки в операции и величина потока

При одинаковых структурно-функциональных параметрах средняя задержка существенно зависит от величины потока (таблица 7.3, рисунки 7.12, 7.13).

Таблица 7.3. Зависимость задержек от величины потока

Станция	горловина	Структурных каналов	Занято каналов в среднем в одной операции	Функциональных каналов	Задержка на одну операцию, мин	Количество операций в сутки
Екат-сорт	чет НПО	3	1,9	1,6	1,7	290
Челяб-гл	вых Б	3	1,9	1,6	0,5	178

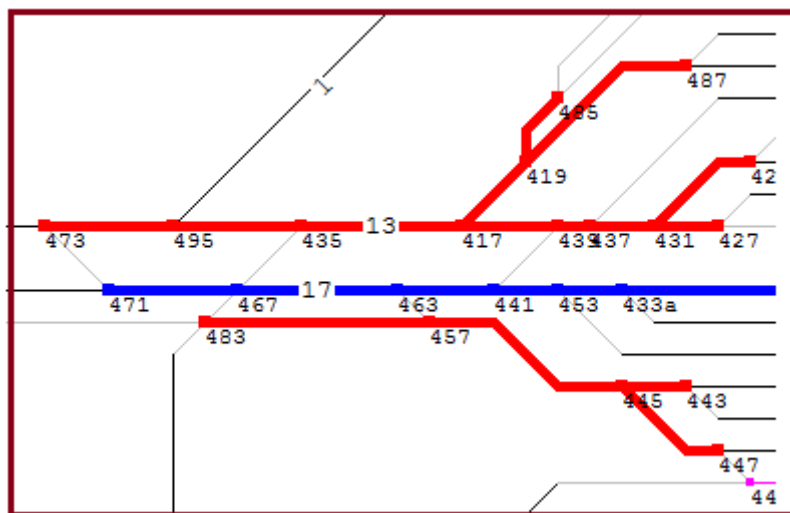


Рисунок 7.12. Схема горловины «чет НПО» ст. Екатеринбург сорт.



Рисунок 7.13. Схема горловины «вых. Б» ст. Челябинск гл.

Эксперимент 2. Задержки и типы параллельных передвижений

Параллельные передвижения могут быть разного типа – с большим или меньшим числом занятых стрелок (рисунок 7.14).

Был проведен эксперимент с моделью станции Челябинск-гл. (таблица 7.4, рисунки 7.15 и 7.16). Следовало ожидать, что при прочих равных условиях во втором случае задержки будут больше. Действительно, в первом случае занято 1.8 стрелки в среднем в одной операции, а во втором – 2.1. Во втором и функциональных каналов меньше – 2.4 вместо 2.8. Поэтому во втором случае задержки существенно возрастают – с 1.4 до 3.6 минуты на операцию .

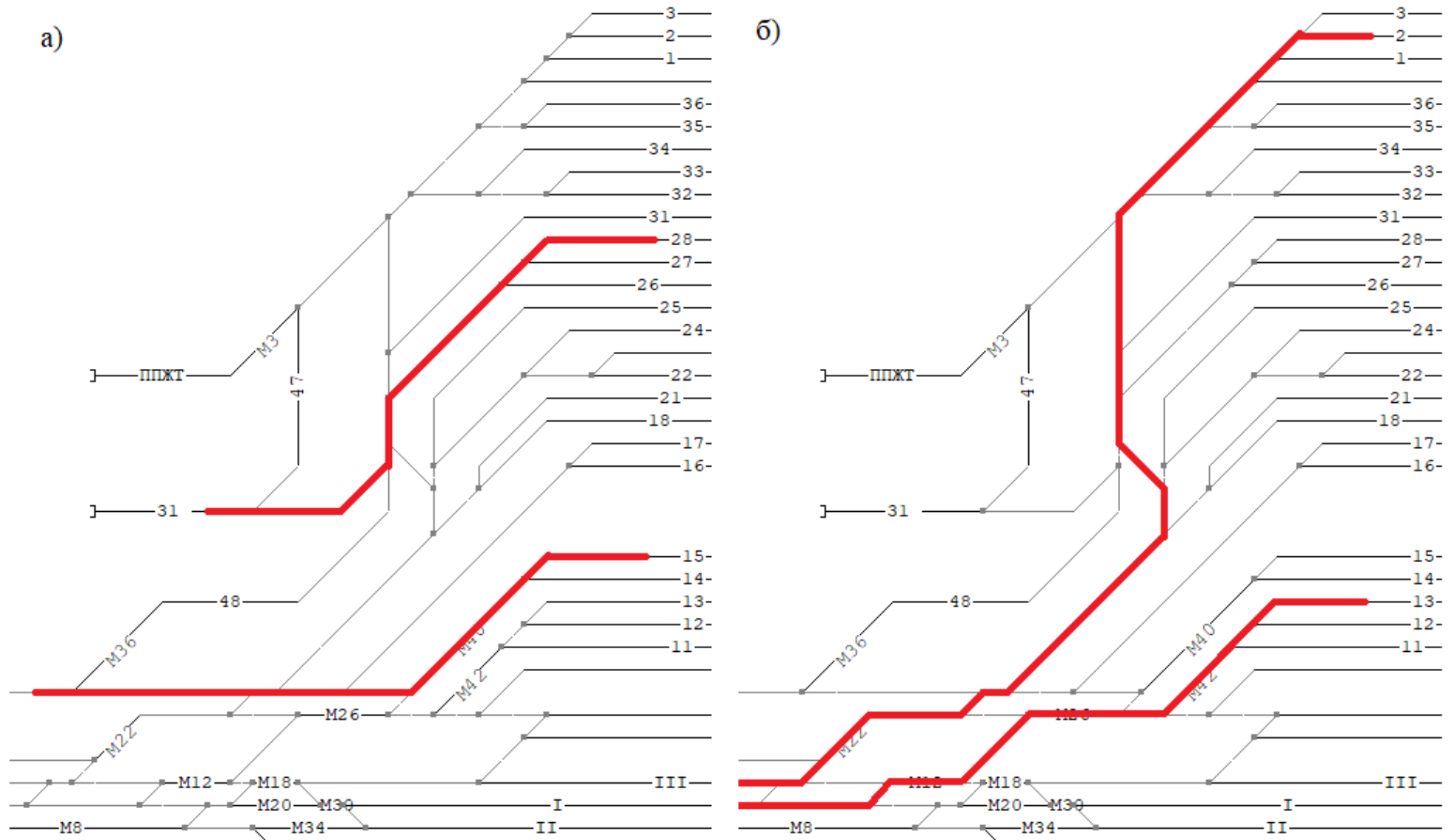


Рисунок 7.14. Параллельные передвижения а) занятых стрелок 6 и 6, б) занятых стрелок 16 и 9

Таблица 7.4. Зависимость задержек от числа занятых в операции стрелок

Станция	горловина	Структурных каналов	Занято каналов в среднем в одной операции	Функциональных каналов	Стрелок	Стрелок на структурный канал	Стрелок на функциональный канал	Задержка на одну операцию, мин
Челяб-гл	форм неч	5	1,8	2,8	61	12,2	21,8	1,4
Челяб-гл	форм чет	5	2,1	2,4	50	10,0	20,8	3,6

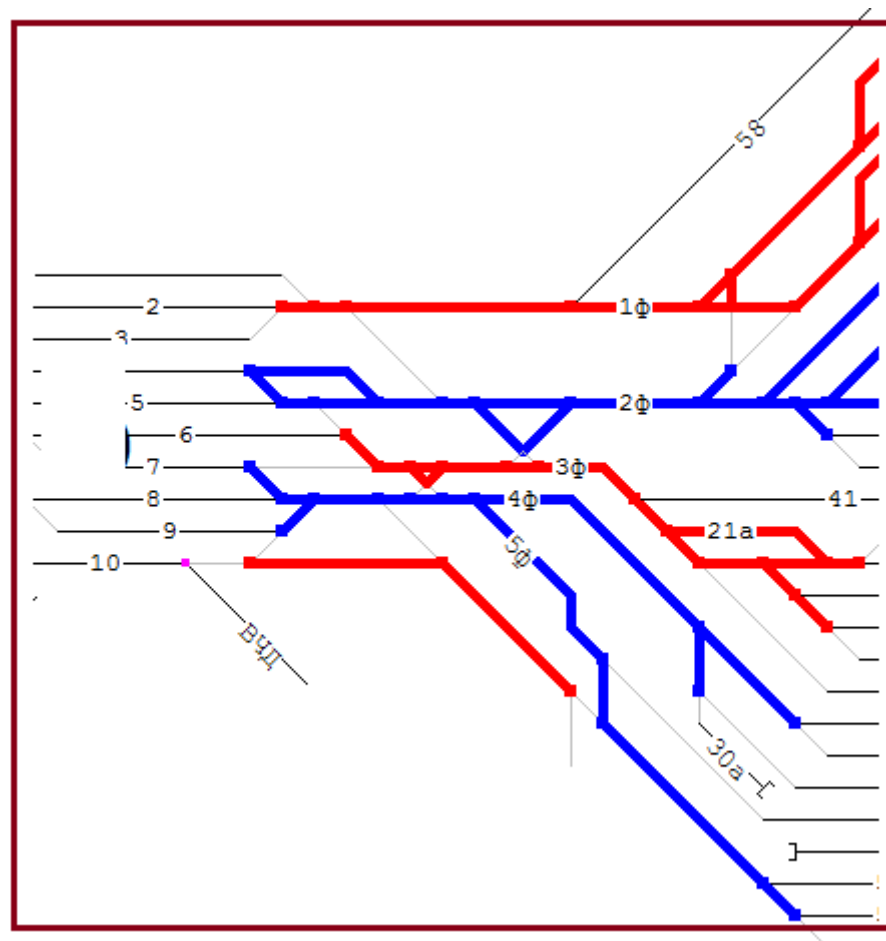


Рисунок 7.15. Схема неч. горловины формирования ст. Челябинск гл.

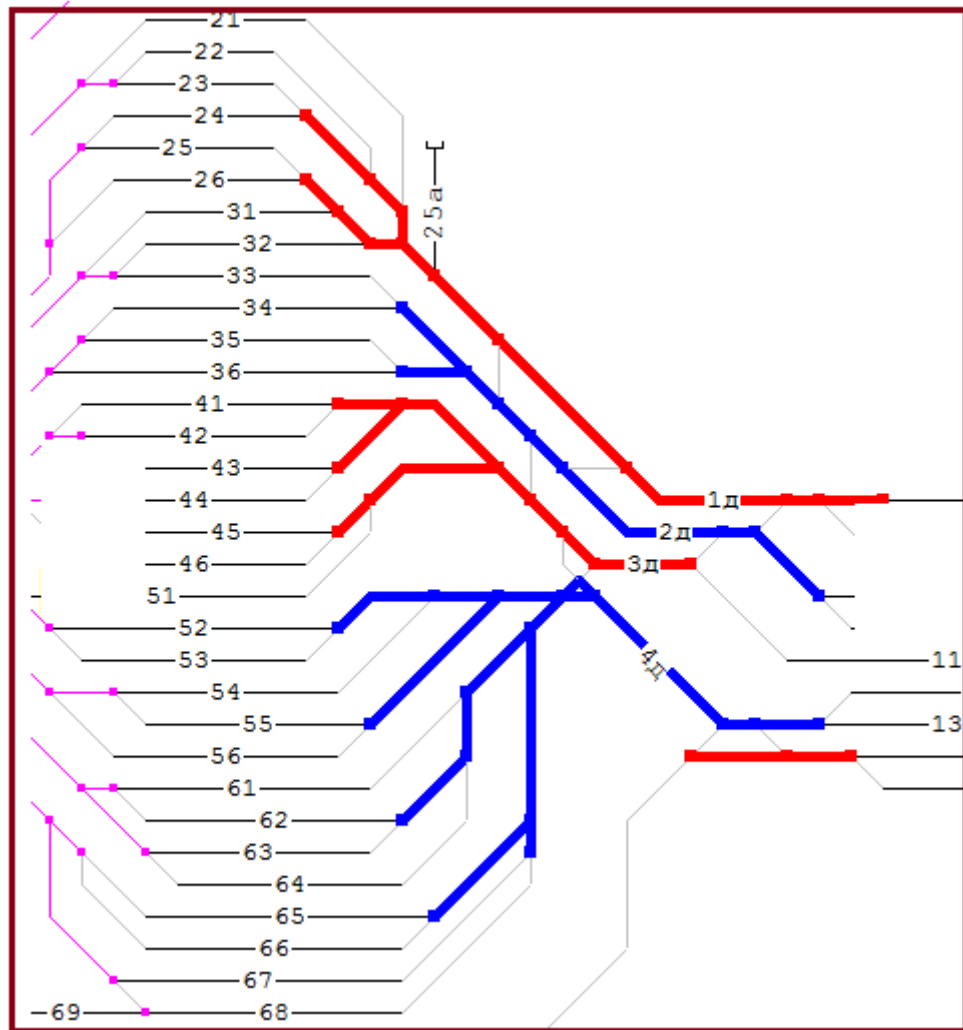


Рисунок 7.16. Схема чет. горловины формирования ст. Челябинск гл.

Эксперимент 3. Задержки и число функциональных каналов

Расчеты показывают, что при увеличении числа функциональных каналов практически пропорционально уменьшаются удельные задержки (таблица 7.5, Рисунки 7.17 и 7.18).

Эксперименты показали, что предположения о влияющих факторах правомерны, но недостаточны. Необходимо учитывать и их совместное действие.

Таблица 7.5. Снижение задержек при увеличении числа функциональных каналов

Станция	горловина	Структурных каналов	Занято каналов в среднем в одной операции	Функциональных каналов	Стрелок	Задержка на одну операцию, мин
Екат-сорт	неч ЧПО	2	1,7	1,2	19	2,1
Алтайская	неч Б	4	2,1	1,9	35	1,0

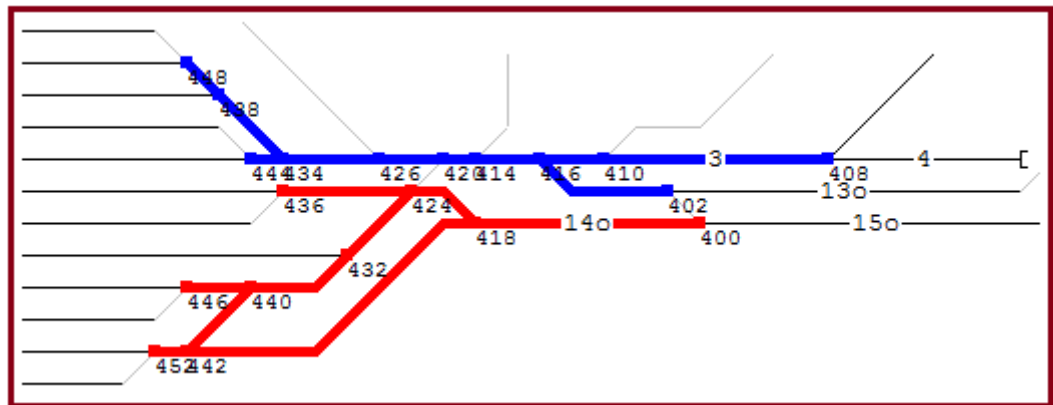


Рисунок 7.17. Схема неч. ЧПО горловины ст. Екатеринбург сорт.

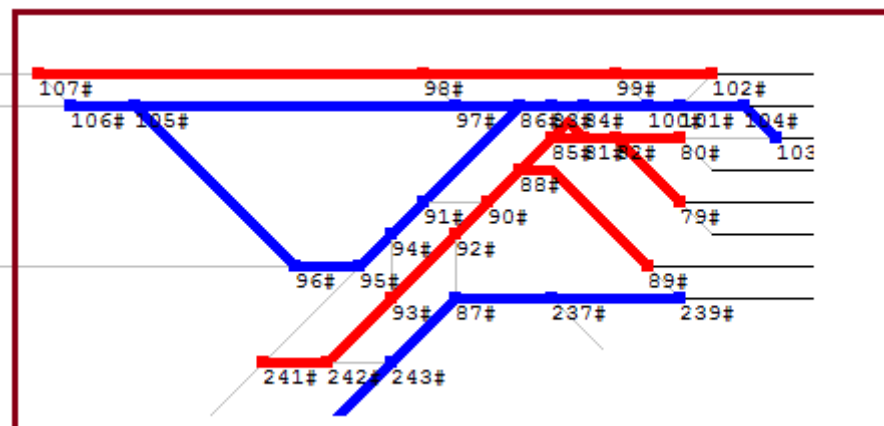


Рисунок 7.18. Схема неч. горловины ст. Алтайская

В дальнейшем следует рассматривать воздействие не только отдельных факторов, но и их сочетаний. Это потребует построения моделей десятков станций, чтобы отсеять влияние случайных факторов и выявить

закономерности. Например, таких: как увеличивается число структурных и функциональных каналов при увеличении числа путей в парках (рисунок 7.19) и изменяется число стрелок на один канал (рисунок 7.20).

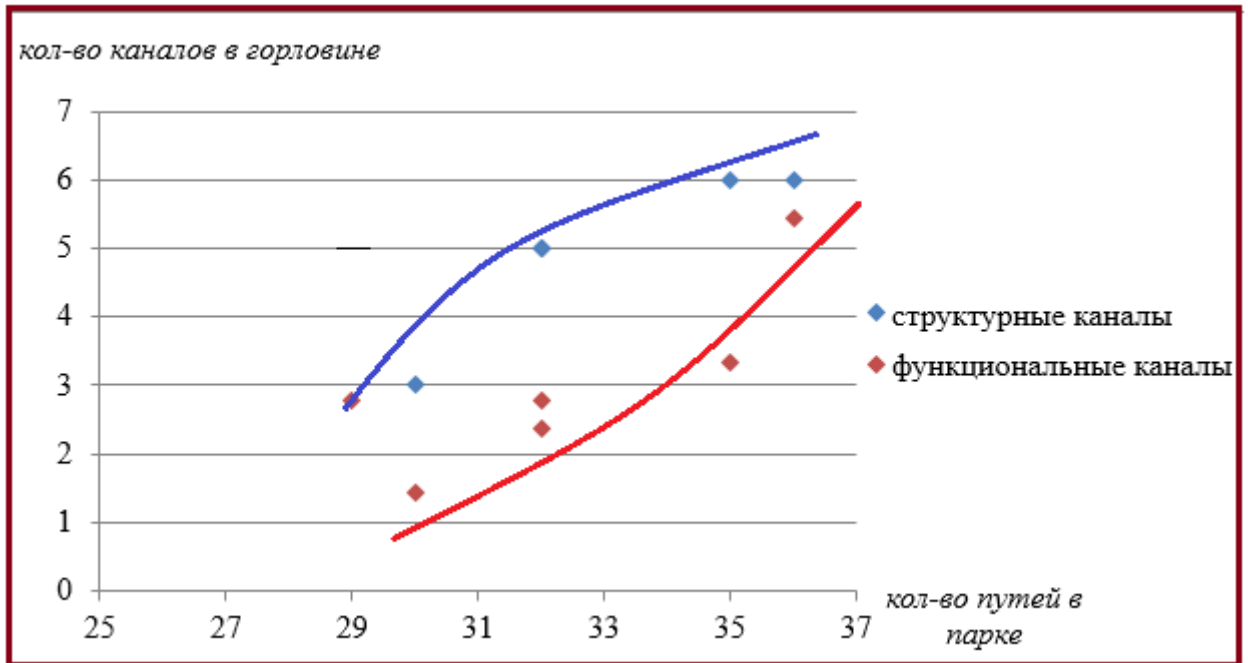


Рисунок 7.19. Увеличение числа каналов при возрастании емкости парков

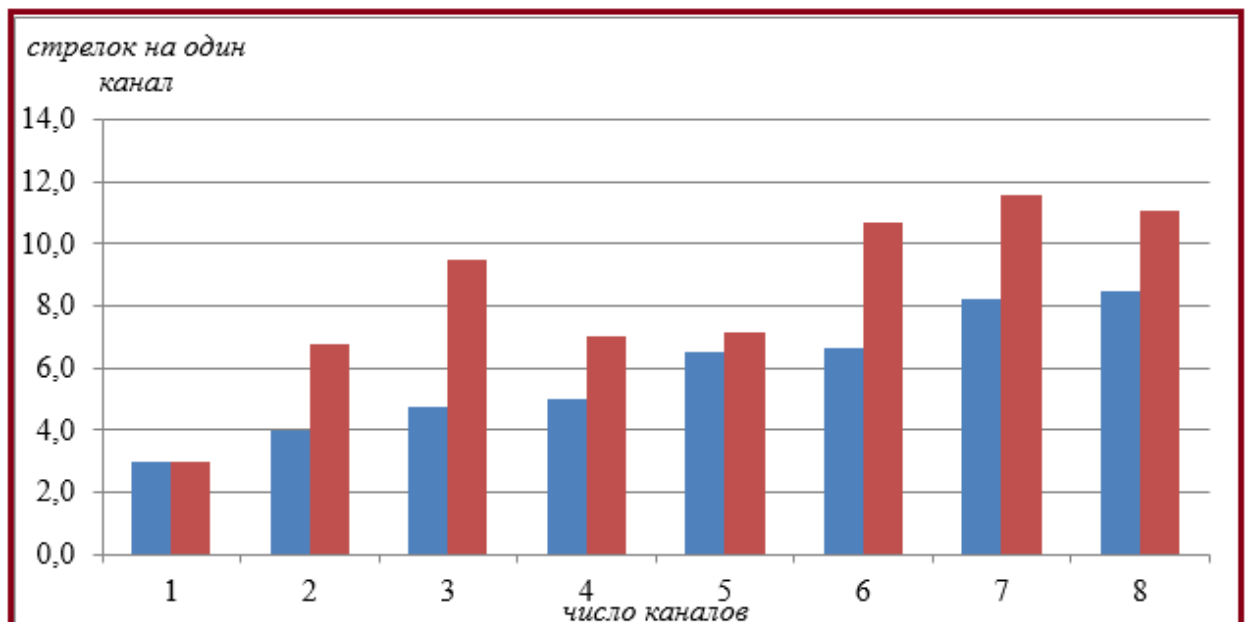


Рисунок 7.20. Возрастание числа стрелок на один канал увеличении емкости парка

После проведения масштабных исследований структурных и функциональных зависимостей, можно сформировать нормативы (или допустимые пределы) для сформулированных выше параметров горловин и их взаимодействия с парками. Это позволит оценить качество проекта станции количественно. И следует закрепить полученные нормативы в инструктивных требованиях.

Выводы к главе 7

1. В подходах к исследованию парков, горловин и их взаимодействия существует ряд теоретических некорректностей. Путь в парке рассматривается как некоторый канал обслуживания, а пропускная способность его определяется при равномерном потоке и фиксированном времени операции. Парк в этом случае есть совокупный канал с многократно завышенной по отношению к реальности перерабатывающей способностью. Но есть и прямо противоположный взгляд – парк в качестве бункера (в теории массового обслуживания). Оба подхода не верны. Горловины вообще не исследованы детально – неупорядоченное множество стрелок с наложением на него неупорядоченного множества соединений. И эти объединенные множества в расчетах просто заменяются одной, наиболее загруженной стрелкой.

2. Для содержательного исследования горловин предложено их структурирование. Вводится понятие – структурный канал, как группа стрелок, обеспечивающая одно независимое параллельное передвижение. Горловина рассматривается теперь как упорядоченное множество структурных каналов. При этом теперь элемент имеет явный содержательный смысл в отличие от стрелки.

3. Структурированный подход позволил ввести содержательно корректные параметры:

- качественно характеризующие горловину – каналонасыщенность и число стрелок на один канал,
- оценивающий уровень согласованности параметров парка и горловины – маршрутная обеспеченность парка,
- отображающий согласованность структуры и технологии в горловине – функциональность горловины.

4. Предложена технология определения нормативных значений описанных параметров для качественной оценки проектов развития станций. Приведены примеры реализации технологии и сформулированы дальнейшие задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработаны теоретические основы и технология исследования, расчета и оптимизации больших полигонов с использованием имитационного моделирования.

В том числе получены следующие результаты:

– показана некорректность принятого в инструкциях поэлементного рассмотрения полигонов, когда рассчитываются отдельно станции и участки без учета их взаимодействия. Такой подход приводит к значительным ошибкам в инфраструктурных проектах и потере существенных инвестиций;

– разработаны принципы и технология макро моделирования станций и участков на полигоне. Показано, что в модели полигона, включающего сотни станций, нецелесообразно применять подробное моделирование. Возникают трудности с оперированием со слишком большими массивами данных. Подробное отображение структуры и технологии необходимо при оценке конкретных проектов развития станций, а при моделировании полигона нужно определить лишь проблемные станции и участки;

– предложен новый расчетный элемент – дуплекс, на основании которого и следует рассчитывать пропускную способность полигона;

– парк рассматривается только как канал, хотя в нем велика роль резервных путей. Полезное использование путей (как каналов) колеблется, как правило, от 40% до 60% и никогда не достигает 100%;

– горловину представляет одна, наиболее загруженная стрелка. Считается, что она может быть использована на 100%. Моделирование показало, что загрузка, как правило, не превышает 70%, возникают структурные и функциональные потери;

– участок в расчетах представляется последовательностью перегонов (каналов), станции не отображаются, а на примерно половине промежуточных станций поезда стоят по неприятию техническими. Предложены принципы отображения занятия перегонов поездами при различных системах СЦБ и количестве путей;

- сформулированы требования к системам моделирования полигонов и к выдаваемым результатам;

- на основании разработанных принципов моделирования полигонов коллективом технологов и программистов с участием автора создана имитационная система ИМЕТРА. Разработана технология ее использования. Технология макро моделирования утверждена как метод расчета полигонов в ОАО «РЖД»;

- построена модель полигона Кузбасс – Усть-Луга, включающего 283 станции. Выполнено структурно-функциональное исследование. Определены структурные элементы и функциональные параметры, вызывающие наибольшие задержки. Проведены эксперименты по их устранению;

- сформулирован «гармонически построенный полигон» как последовательность дуплексов с одинаковой пропускной способностью. Разработаны принципы оптимального развития больших полигонов по критериям – максимум пропускной способности, максимальная скорость пропуска потока, минимальные затраты для достижения требуемых структурно-функциональных параметров;

- для содержательного исследования горловин предложено их структурирование и технология определения нормативных значений описанных параметров для качественной оценки проектов развития станций.

Дальнейшие разработки по теме диссертации будут направлены на уточнение предложенных принципов моделирования и оптимального развития полигонов. Отдельный интерес представляет исследование параметров горловин и их взаимодействия с парками станций.

Предложенная методология исследования, расчета и оптимизации больших полигонов с использованием имитационного моделирования позволит более корректно оценивать масштабные проекты развития транспортной инфраструктуры, что позволит, во-первых, более уверенно достигать поставленных проектных целей, а во-вторых, существенно снизить неоправданные инвестиционные потери.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008. № 1734-р.
2. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 19.03.2019. № 466-р.
3. Стандарт ОАО «РЖД» «Инфраструктура железнодорожного транспорта на участках обращения грузовых поездов повышенного веса и длины. Технические требования» СТО РЖД 1.07.002-2010 : утв. Распоряжением ОАО "РЖД" от 25.11.2010. №2412-р.
4. Программа повышения маршрутных скоростей пассажирских поездов дальнего следования на период 2017 – 2022 годов: утв. распоряжением ОАО "РЖД" от 30.09.2016. № 2028-р.
5. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог : утв. распоряжением ОАО "РЖД" от 10.11.2010. №128-р.
6. 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 : утв. распоряжением ОАО "РЖД" от 09.02.2018. № 2-р.
7. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте: утв. распоряжением ОАО "РЖД" от 31.08.1998. № В-1024у.
8. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : утв. распоряжением ОАО "РЖД" от 21.06.1999. № ВК-477.

9. Протокол заседания объединенного ученого совета открытого акционерного общества «Российские железные дороги» от 24.03.2017. №980.
10. Протокол совещания у президента ОАО РЖД от 06.02.2017.
11. Абрамов А.А. Выбор оптимальных скоростей движения поездов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 28–32.
12. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. – М.: Мир, 1971. – 534 с.
13. Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Корешков А.Н. Математические методы в эксплуатации железных дорог. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
14. Александров А.Э. Оценка инфраструктурных транспортных проектов методом моделирования / Александров А.Э., Козлов, П.А. // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – №5. – С. 43–44.
15. Александров А.Э. Расчёт и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы и методология): дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 285 с.
16. Арсёнов В.И. Оценка вариантов развития транспортной сети с помощью методов линейного программирования // Транспорт ИКТП. – 1967. – вып. 3. – С. 5–20.
17. Бакаев А.Л. Экономико-математические модели планирования и проектирования транспортных систем. – Киев: Техника, 1973. – 129 с.
18. Бартенев П.В. Станции и узлы. – М.: Трансжелдориздат, 1945. – 601 с.
19. Бородин А.Ф. Автоматизированная система прогноза ресурсов сети / Бородин А.Ф., Панин В.В. // Железнодорожный транспорт. – 2017. – №4. – С. 12–21.
20. Бородин А.Ф. Комплексное развитие пропускных и провозных способностей БАМа и Транссиба / Бородин А.Ф., Козлов П.А., Калиниченко А.Я. // MATEC WEB OF CONFERENCES. – 2018.

21. Бородин А.Ф. Научная оценка перспектив модернизации Восточного полигона сети российских железных дорог / Бородин А.Ф., Сторчак М.В. // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО "РЖД". Бородин А.Ф., Сторчак М.В. – 2017. – №2. – С. 65–73.
22. Бородин А.Ф. Проблемы комплексного развития железнодорожной инфраструктуры в припортовых транспортных узлах // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – №4. – С. 45–50.
23. Бородин А.Ф. Проблемы разработки генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО "РЖД" // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 8. – С. 34–42.
24. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
25. Быкадоров А.В. Системное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИИТ, 1981. – 42 с.
26. Вакуленко С.П., Головнич А.К., Правдин Н.В. Основы автоматизации проектирования железнодорожных станций и узлов. – М.: Маршрут, 2004. – 400 с.
27. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. – М.: Советское радио, 1964. – 432 с.
28. Владимирская И.П. Закономерности преобразования потока в транспортных структурах // Транспорт Урала. – 2009. – № 1 (20). – С. 14–17.
29. Владимирская И.П. Метод оптимизации взаимодействия железнодорожного и морского транспорта / Владимирская И.П., Козлов, П.А. // Транспорт Российской Федерации. – 2009. – №1. – С. 53–55.
30. Владимирская И.П. Оптимизация структурно-функционального взаимодействия в транспортных и производственно-транспортных системах: дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург, УрГУПС, 2011. – 268 с.
31. Геронимус Б.Л. Математические методы принятия решений на транспорте: эволюция методологии / Геронимус Б.Л., Житков А.В., Розе В.А.

// Экономика и математические методы. – 1984. – т. XX. – вып. 2. – С. 223–231.

32. Гринкевич О.О. О недостатках подсистемы анализа, моделирования и оптимизации технологии работы железнодорожных станций ИСУЖТ ТС // Аллея науки. – 2018. – № 5. – С.947–949.

33. Данциг Дж. Алгоритм разложения для задач линейного программирования / Данциг Дж., Вулф Ф. // Математика. – 1964, № 1. – С. 151–157.

34. Дмитриев В.А. Народнохозяйственная дефективность электрификации железных дорог применения тепловозной тяги. – М.: Транспорт, 1980. – 292 с.

35. Добросельский К.М. Расчёт враждебности в горловинах станций // Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – № 4. – С. 9–11.

36. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука. – 1976. – 340 с.

37. Ефименко Ю.И. Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб.: ЛИИЖТ, 1992. – 50 с.

38. Жук Е. Имитационное моделирование работы сортировочной станции при составлении графика движения поездов // Вестник ВНИИЖТ. – 1995. – № 3. – С. 45–47.

39. Земблинов С.В., Таль К.К., Гликман М.С. Основы методики расчёта потребного числа путей на участковых и сортировочных станциях : информ. письмо ЦНИИ МПС № 369. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 27 с.

40. Имитационное моделирование производственных систем / Под общ. ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. – 416 с.

41. Канторович Л.В. Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков / Канторович Л.В., Гавурин М.К. // Проблемы повышения эффективности работы транспорта. – 1949. – С. 110–138.

42. Карасёв С.В. Моделирование пропуска поездопотоков через однопутный лимитирующий элемент трассы при организации скоростного движения с использованием существующей инфраструктуры / Карасёв С.В., Калидова А.Д. // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – Т. 77. – № 1. – С. 34–43.
43. Карейша С.Д. Железнодорожные станции. – М.: Трансжелдориздат, 1930. – 304 с.
44. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. — СПб: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.
45. Козаченко Д.Н. Наука и прогресс транспорта / Козаченко Д.Н., Березовый Н.И., Баланов В.О., Журавель В.В. // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2015. – № 2 (56).
46. Козин Б.С., Козлов И.Т. Выбор схем этапного развития железнодорожных линий. – М.: Трансжелдориздат, 1964. – 241 с.
47. Козлов А.М., Гусева К.Г. Проектирование железнодорожных станций и узлов. – М: Транспорт, 1981. – 594 с.
48. Козлов И.Т. Пропускная способность транспортных систем. – М., Транспорт, 1985. – 214 с.
49. Козлов П.А. Закономерности структурного взаимодействия в транспортных системах / Козлов П.А., Владимирская И.П., Осокин О.В. // Транспорт Урала. – 2010. – № 3. – С. 25–28.
50. Козлов П.А. Имитационная экспертиза проекта развития транспортного узла Усть-Луга / Козлов П.А., Владимирская И.П., Иванов И.В., Осокин О.В. // Транспорт Российской Федерации. – 2009. – № 6. – С. 18–21.
51. Козлов П.А. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / Козлов П.А., Тушин Н.А. // Мир транспорта. – 2011. – №2. – С. 22–25.

52. Козлов П.А. Макромоделирование железнодорожных станций и узлов / Козлов П.А., Тушин Н.А., Слободянюк И.Г. // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 2. – С. 82–88.
53. Козлов П.А. Моделирование транспортных узлов / Козлов П.А., Тушин Н.А., Пермикин В.Ю., Слободянюк И.Г. // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 10. – С. 38–40.
54. Козлов П.А. О методах расчета систем железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 12. – С. 28–32.
55. Козлов П.А. От Кузбасса до Усть-Луги – единая модель / Козлов П.А., Набойченко И.О., Пермикин В.Ю. // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 3. – С. 26–29.
56. Козлов П.А. Расчет инфраструктурного развития полигона для тяжеловесного движения / Козлов П.А., Набойченко И.О. // Транспорт Урала. – 2015. – №2. – С. 3–6.
57. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: дис. ... д-ра техн. наук. – Липецк: ЛПИ, 1986. – 377 с.
58. Козлов П.А. Технология макромоделирования транспортных узлов / Козлов П.А., Тушин Н.А., Пермикин В.Ю., Слободянюк И.Г. // Транспорт Урала. – 2014. – № 3. – С. 3–6.
59. Козлов П.А. Универсальная имитационная система транспорта «ИСТРА» // Межвуз. сб. Организация работы транспорта промышленных предприятий. – Калинин: КГУ, 1984. – С. 3–8.
60. Козлова В.П. Инвестиционные риски при создании логистических центров / Козлова В.П., Козлов П.А. // Транспорт Урала. – 2007. – №1. – С. 48–53.
61. Козлова В.П. Расчет технико-технологических параметров для оценки эффективности инвестиционных транспортных проектов // Транспорт Урала. – 2007. – №3. – С. 9–12.

62. Козлова В.П. Снижение экономических рисков в проектах развития транспортной инфраструктуры : автореф. дис. ... д-ра экон. наук. – М.: Гос. ун-т упр. – 2008. – 46 с.

63. Кокурин И.М. Методы определения "узких мест", ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений / Кокурин И.М., Тимченко В.С. // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – №1, – С. 15–22.

64. Колокольников В.С. Автоматизированное моделирование, исследование железнодорожных станций // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 81 с.

65. Колокольников В.С. Автоматизированное построение имитационных моделей / Осокин О.В., Колокольников В.С., Кашеева Н.В. // Транспорт: наука, техника и управление. – 2014. – № 5. – С. 50–53.

66. Колокольников В.С. Автоматизированное построение имитационных моделей крупных транспортных объектов / Козлов П.А., Пермикин В.Ю., Колокольников В.С. // Транспорт Урала. – 2013. – № 2. – С. 3–6.

67. Колокольников В.С. Автоматизированное структурно-технологическое исследование железнодорожных станций: дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрГУПС, 2013. – 151 с.

68. Колокольников В.С. Активизация динамических резервов в транспортном узле за счет гибкого взаимодействия / Пермикин В.Ю., Колокольников В.С. // Инновационный транспорт. – 2013. – № 2. – С. 67–70.

69. Колокольников В.С. Влияние отказов технических средств на выполнение графика движения поездов / Ковалев И.А., Колокольников В.С. // Транспорт Урала. – 2014. – № 2. – С. 54–57.

70. Колокольников В.С. Имитационная экспертиза проектов развития сортировочных станций / Ковалев И.А., Колокольников В.С. // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: Сб. статей

XIV Междун. научн.-технич. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2010. – С. 118–121.

71. Колокольников В.С. Исследование проектов развития железнодорожных станций и линий с использованием аппарата имитационного моделирования / Козлов П.А., Осокин О.В., Колокольников В.С. // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 6. – С. 12–16.

72. Колокольников В.С. Макроструктурный подход в исследовании железнодорожных станций / Козлов П.А., Колокольников В.С. // Транспорт Урала. – 2017. – № 2. – С. 3–7.

73. Колокольников В.С. Моделирование больших полигонов железнодорожного транспорта / Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А., Тимухина Е.Н. // МАТЕС WEB OF CONFERENCES. – 2018.

74. Колокольников В.С. Модель проверяет скорость / Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А., Тимухина Е.Н. // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 42–44.

75. Колокольников В.С. О загрузке стрелок и пропускной способности горловин / Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А. // Транспорт Урала. – 2016. – № 4. – С. 3–7.

76. Колокольников В.С. О построении интеллектуальных систем управления железнодорожными станциями / Козлов П.А., Вакуленко С.П., Колокольников В.С. // Наука и техника транспорта. – 2019. – №2. – С. 70–76.

77. Колокольников В.С. О результирующей пропускной способности последовательно расположенных устройств / Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А. // Вестник УрГУПС. – 2017. – № 1. – С. 53–62.

78. Колокольников В.С. О согласованном структурно-функциональном построении железнодорожных станций / Козлов П.А., Колокольников В.С. // Наука и техника транспорта. – 2017. – № 3. – С. 106–110.

79. Колокольников В.С. О технологии расчета железнодорожных станций / Козлов П.А., Тушин Н.А., Колокольников В.С. // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 6. – С. 42–46.

80. Колокольников В.С. Об имитационном моделировании и имитационных системах // Козлов П.А., Колокольников В.С., Копылова Е.В. // Транспорт Урала. – 2019. – № 1. – С. 3–6.

81. Колокольников В.С. Об использовании моделей оптимального управления транспортными потоками / Козлов П.А., Тушин Н.А., Колокольников В.С., Осокин О.В. // Вестник УрГУПС. – 2019. – № 1. – С. 60–69.

82. Колокольников В.С. Обоснование эффективности увеличения ходовых скоростей грузовых поездов / Колокольников В.С., Тунева Т.С. // Транспорт Урала. – 2019. – № 1. – С. 61–65.

83. Колокольников В.С. Определение параметров парков и горловин станций с учетом их взаимодействия / Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А. // Транспорт Урала. – 2017. – № 1. – С. 3–7.

84. Колокольников В.С. Определение рациональной инфраструктуры железнодорожных станций для пропуска тяжеловесных поездов / Колокольников В.С., Тимухина Е.Н., Кашеева Н.В. // Транспорт: наука, техника и управление. – 2017. – № 7. – С. 32–36.

85. Колокольников В.С. Оптимизация оборота локомотивов при заданных поездопотоках / Козлов П.А., Колокольников В.С., Вакуленко С.П. // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 10. – С. 34–37.

86. Колокольников В.С. Оценка возможности развития путевой инфраструктуры промышленных предприятий // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. ст. Десятой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. проф. Щурина К.В. – Оренбург: Оренбург. гос. ун-т.; ООО «Руссервис», 2011. – С. 164–166.

87. Колокольников В.С. Повышение экономической эффективности функционирования существующих систем железнодорожного транспорта за

счет применения уточненного подхода к расчету перерабатывающей способности обслуживающих устройств / Колокольников В.С., Тимухина Е.Н., Кощев А.А., Кащева Н.В. // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 2 (49). – С. 26–33.

88. Колокольников В.С. Повышение эффективности работы промышленных транспортных систем с использованием контактного графика / Ковалев И.А., Колокольников В.С. // Общие вопросы транспорта. Моделирование и оптимизация в логистических транспортных системах: Сб. науч. трудов // под научн. ред. Е.Н. Тимухиной, к.т.н. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2011. – С. 144–148.

89. Колокольников В.С. Построение имитационных моделей в автоматизированных системах // Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы I Междун. научн.-технич. конф. – Курган, 2013. – С. 333–336.

90. Колокольников В.С. Построение эффективных полигонов железнодорожного транспорта на основе имитационной экспертизы // Бородин А.Ф., Козлов П.А., Колокольников В.С., Осокин О.В. // VII International Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia 2019, Volume 2. – 2019. – №1116.

91. Колокольников В.С. Применение имитационного моделирования для исследования проектов развития железнодорожных станций и линий / Козлов П.А., Колокольников В.С., Осокин О.В. // Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей»: сборник научных трудов международной научной конференции, Ростов-на-Дону. – 2018. – С. 219–227.

92. Колокольников В.С. Применение структурно-технологического исследования при планировании развития транспортных систем промышленных предприятий / Ковалев И.А., Колокольников В.С. // Инновационный транспорт. – 2015. – № 4. – С. 62–66.

93. Колокольников В.С. Проблема организации единой транспортной системы / Козлов П.А., Вакуленко С.П., Колокольников В.С. // Вестник РГУПС. – 2017. – № 3. – С. 96–101.

94. Колокольников В.С. Проблемы развития железнодорожных узлов на современном этапе / Пермикин В.Ю., Колокольников В.С. // Молодой ученый. – 2012. – №11. – С. 73–75.

95. Колокольников В.С. Развитие железнодорожной инфраструктуры портов // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2019. – № 3 (20). – С. 44–48.

96. Колокольников В.С. Расчет и оптимизация полигонов железнодорожного транспорта / Козлов П.А., Колокольников В.С. // Вестник РГУПС. – 2017. – № 3. – С. 96–101.

97. Колокольников В.С. Расчет параметров гармонически построенной сети железных дорог / Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А. // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 12. – С. 18–21.

98. Колокольников В.С. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / Козлов П.А., Сорокин В.И., Колокольников В.С. // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 3–8.

99. Колокольников В.С. Современные методы расчета систем железнодорожного транспорта / Козлов П.А., Пермикин В.Ю., Колокольников В.С. // Механика и трибология транспортных систем: сборник докладов международной научной конференции, Ростов-на-Дону. – 2016. – С. 30–36.

100. Колокольников В.С. Согласованная оптимизация составных технологических процессов / Козлов П.А., Колокольников В.С., Вакуленко С.П. // Транспорт Урала. – 2018. – № 1. – С. 3–6.

101. Колокольников В.С. Сравнение современных методов расчета железнодорожных станций / Ковалев И.А., Колокольников В.С. // Инновационный транспорт. – 2015. – № 1. – С. 80–82.

102. Колокольников В.С. Структура современной имитационной системы / Козлов П.А., Осокин О.В., Колокольников В.С. // Труды ОАО «НИИАС». Сборник научных трудов. – 2014. – Выпуск 10. – С. 102–111.

103. Колокольников В.С. Структурно-функциональная оптимизация больших полигонов железнодорожного транспорта / Козлов П.А., Колокольников В.С. // Транспорт Урала. – 2018. – № 3. – С. 3–7.

104. Колокольников В.С. Структурно-функциональное исследование железнодорожных станций / Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А. // Вестник РГУПС. – 2016. – № 4. – С. 86–91.

105. Колокольников В.С. Структурно-функциональное исследование систем железнодорожного транспорта / Козлов П.А., Пермикин В.Ю., Колокольников В.С. // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Сб. статей V научн.-технич. конф. С междун. участием – Москва: ОАО «НИИАС», 2016. – С. 240–243.

106. Колокольников В.С. Теоретические аспекты взаимодействия потока и элементов структуры в транспортных системах / Козлов П.А., Колокольников В.С. // Транспорт Урала. – 2019. – № 4. – С. 3–7.

107. Колокольников В.С. Теоретические основы гибкого взаимодействия станций в узле / Козлов П.А., Колокольников В.С. // Транспорт Урала. – 2013. – № 2. – С. 28–32.

108. Колокольников В.С. Технология макромоделирования полигонов / Колокольников В.С., Слободянюк И.Г. // Транспорт Урала. – 2019. – № 3. – С. 48–51.

109. Кочнев Ф.П., Акулиничев В.М., Макарович А.М. Организация движения на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1979. – 567 с.

110. Кудряшова М.С. Совершенствование организации технологических перевозок в транспортных системах металлургических комбинатов: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 1985. – 147 с.

111. Кужель А.Л. Эффективность продвижения вагонопотоков при переходе на полигонные технологии / Кужель А.Л., Шапкин И.Н., Вдовин А.Н. // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 8. – С. 4–10.
112. Лapidус Б. М. Научное сообщество железнодорожного транспорта – для опережающего развития российской экономики // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2019. – № 2. – С. 1–11.
113. Левин Б.Ю., Лившиц В.Н. Нелинейные сетевые транспортные задачи. – М.: Транспорт, 1971. – 227 с.
114. Лещинский Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.
115. Мартынов И.М., Сотников Е.А., Тулупов Л.П., Кутыев Г.М., Шабалин Н.Н. Эксплуатационные расчёты с применением теории вероятностей. – М.: Транспорт, 1970. – 239 с.
116. Макаровичкин А.М., Дьяков Ю.В. Использование и развитие пропускной способности железных доро. – М.: Транспорт, 1981. – 287 с.
117. Математическое моделирование экономических процессов / Под ред. И.В. Белова и А.М. Макаровичкина. – М.: Транспорт, 1977. – 246 с.
118. Митаишвили А.А. Роль транспорта в едином народнохозяйственном механизме // Железнодорожный транспорт. – 1977. – №3. – С.15–35.
119. Мишарин А.С. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / Мишарин А.С., Козлов П.А. // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 4. – С. 52–54.
120. Моисеев Н.Н. Имитационные модели. – М.: Политиздат, 1977. – 84 с.
121. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 352с.
122. Мугинштейн Л.А. Полигонные технологии движения поездов по графикам на основе автоматизированной системы "Эльбрус" / Мугинштейн

Л.А., Виноградов С.А., Кирякин В.Ю., Ляшко О.В., Анфиногенов А.Ю., Новгородцева А.В. // Железнодорожный транспорт. – 2015. – №3. – С. 13–19.

123. Негрей В.Я. Научные основы расчётов и проектирования железнодорожных станций и узлов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л.: ЛИИЖТ, 1987. – 35 с.

124. Новиков П.А. Организация эффективного взаимодействия ж.-д. и морского транспорта в припортовых транспортных узлах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 25 с.

125. Образцов В.Н., Энгельгардт Ю.В. Экономические подъездные пути. – М.: Изд-во Московского военно-промышленного комитета, 1916. – 85 с.

126. Образцов В.Н. Железнодорожные узлы. Транспортные узлы и техника их проектирования. – М.-Л.: Госжелдориздат, 1933. – 131 с.

127. Образцов В.Н., Никитин В.Л., Шаульский Ф.И., Буганов С.П. Станции и узлы. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 540 с.

128. Осокин О.В. Автоматизация расчёта транспортных объектов методом имитационного моделирования на основе системы ИСТРА-САПР // Общие вопросы транспорта. Моделирование и оптимизация в логистических транспортных системах: сб. науч. трудов: под науч. ред. Е.Н. Тимухиной. – вып. 89 (172). – Екатеринбург: УрГУПС, 2011. – С. 169–177.

129. Осокин О.В. Интеллектуальная информационная среда – основа для создания современных технологий / О. В. Осокин, П. А. Козлов, Н. А. Тушин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 11. – С. 11–14.

130. Осокин О.В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте // Транспорт Урала. – № 4 (39). – 2013. – С. 3–7.

131. Осокин О.В. Принципы и задачи автоматизированного анализа на железнодорожном транспорте // Транспорт Урала. – 2012. – № 4. – С. 6–9.

132. Осьминин А.Т. Основные факторы и условия перехода на полигонную систему управления / Осьминин А.Т., Сотников Е.А. // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 5. – С. 22–27.

133. Пазойский Ю.О. Типизация железнодорожных станций / Пазойский Ю.О., Батурич А.П., Шмулевич М.И. // Мир транспорта. – 2011. – № 5. – С. 112–119.

134. Панфилова Т.В. Совершенствование технологии взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта // В сб. Вопросы развития и планирования промышленного транспорта. – М.: ИКТП при Госплане СССР. – 1982. – С. 20–34.

135. Пермикин В.Ю. Автоматизация структурно-технологической оптимизации железнодорожных станций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрГАПС, 1999. – 31 с.

136. Персианов В.А., Скалов В.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.

137. Персианов В.А., Усков Н.С. Системо-технические расчеты транспортных устройств методом моделирования. М.: Труды Союздорнии. – 1968. – №36. – С. 88.

138. Пехтерев Ф.С. Эффективность организации движения поездов весом 9000 тонн на выделенных направлениях // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 6. – С. 6–10.

139. Пешков А.М. Совершенствование методов расчёта пропускной способности технических станций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1992. – 22 с.

140. Поттгофф Г. Метод расчёта пропускной способности входных горловин станций // Железнодорожный транспорт. – 1963. – № 8. – С. 88–91.

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

142. Савченко И.Е., Земблинов С.В., Страковский И.И. Железнодорожные станции и узлы / Учеб. для вузов ж.-д. трансп. ; под ред.

В.М. Акулиничева, Н.Н. Шабалина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 479 с.

143. Савченко И.Е., Скалов К.Ю. Развитие железнодорожных станции и узлов. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 296 с.

144. Салежинской Ф.Н. Оценка неравномерности груженых вагонопотоков при составлении единых технологических процессов работы подъездных путей и станций примыкания. – М.: МИИТ, 1975. – С. 125–131.

145. Скалов К.Ю. Развитие и реконструкция станций и узлов. – М., Транспорт, 1972. – 286 с.

146. Слободянюк И.Г. Функциональный подход к моделированию транспортных систем // Транспорт Урала. – 2017. – № 2. – С.96–101.

147. Смехов А.А. Математические модели процессов грузовой работы. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.

148. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1985. – 271 с.

149. Сотников Е.А. Планирование работы станций с использованием ЭВМ. – М.: Транспорт, 1973. – 51 с.

150. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.

151. Стефаненко М.Н. Определение технической оснащённости грузовых фронтов промышленных предприятий методами математического моделирования на ЭЦВМ: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 1969.

152. Таль К. К. О методике расчетов пропускной способности станций // Железнодорожный транспорт. – 1960. – № 12. – С. 47–51.

153. Тимухина Е.Н. Повышение функциональной надёжности железнодорожных станций при технологических сбоях: дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 384 с.

154. Тимченко В.С., Ковалев К.Е., Хомич Д.И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте: монография // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017.

155. Тушин Н.А. Системная интеграция в транспортных процессах (теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации): дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 291 с.
156. Угрюмов А.К. Неравномерность движения поездов. – М.: Транспорт, 1968. – 112 с.
157. Федотов Н.И. Мощности станционных устройств при колебаниях объёма работы // Новосибирск. Труды НИИЖТ. – 1968. – вып. 81. – С. 4–97.
158. Флейшман Б.С. О методах математического моделирования сходных систем / Флейшман Б.С., Брусиловский П.М. Розенберг Г.С. // Системные исследования: Методологические проблемы. – 1982. – С. 65–79.
159. Хачатуров Т.С. Экономика транспорта. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 475 с.
160. Шабалин Н.Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях. – М.: Транспорт, 1973. – 184 с.
161. Шабалин Н.Н. Расчёт мощности сортировочных устройств // Железнодорожный транспорт. – 1967. – № 7. – С. 39–42.
162. Шаров В.А. Развитие системы управления железными дорогами в условиях полигонных технологий // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 7. – С. 4–8.
163. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 215 с.
164. Шмидт Б. Искусство моделирования и имитации. Введение в имитационную систему Simplex 3. Международное общество моделирования и имитации SCS. Европейское издательство, 2003.
165. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
166. Яковлев Е.И. Машинная имитация. – М.: Наука 1975. – 117 с.
167. Якушев Н.В. Построение распределённых транспортно-складских систем с логистической организацией грузопотоков: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – 24 с.

168. Adamko N. Designing railway terminals using simulation techniques / Adamko N., Klima V., Marton P. // *International Journal of Civil Engineering*. – 2010. – Vol.8, No. 1. – P. 58–67.
169. Altiok T., Melamed B. *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. – Academic Press, 2007. – 456.
170. Bellman R.E., *Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957.
171. Giorgio Medeossi. Capacity and reliability on railway networks: a simulative approach/ Giorgio Medeossi. // *Triest: Anno accademico, 2009*. – P. 31–80.
172. *Highway Capacity Manual 2000*. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., USA, 2000. – 1134 p.
173. Hudson G. Slow progress on capacity. // *Modern Railways*. – vol. 660. – 2003. – № 9. – P. 58–60.
174. Jacques Ferber, *Multi-Agent Systems: An Introduction to Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, 1999.
175. Jovanovich D, Harker PT. Tactical scheduling of train operations: the SCAN I system. // *Transportation Science*. – 1991. – v.25. – P. 46–64.
176. Merkuryev Y., Niemi E. Modern approaches to flexible manufacturing systems simulation. //Helsinki University of Tehnology, Control Engineering Laboratory. – 1988. – Report 79. – 61 p.
177. OpenTrack Моделирование железнодорожных сетей [Электронный ресурс] — Электрон. Текстовые дан. — Режим доступа: <http://www.opentrack.ch>, свободный.
178. Ortuzar J. D., Willumsen L. G. *Modeling Transport / 3-rd edition*. – John Willey & Sons Ltd, 2008. – 499 p.
179. Papacostas C. S., Prevedouros P. D. *Transportation Engineering and Planning / 3-rd edition*. – Prentice Hall, 2001. – 685 p.

180. Simcon Моделирование железнодорожных станций [Электронный ресурс] — Электрон. Текстовые дан. — Режим доступа: <https://www.simcon.sk/en/tools/villon>, свободный.

181. Steffen Bangsow. Tecnomatix Plant Simulation. Modeling and Programming by Means of Examples. — Switzerland: Springer International Publishing, 2015.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Структурно-технологическое исследование станции на подробной имитационной модели

Здесь в сокращенном изложении (полный технический отчет составляет более 200 страниц) приведен пример структурно-технологического исследования на подробной имитационной модели. Объектом исследования является технология работы железнодорожного пути необщего пользования при существующей и проектных схемах путевого развития и планируемых объемах перевозок.

Цель исследования – определение максимальной перерабатывающей и пропускной способности, выбор основных технико-технологических решений поэтапной реконструкции железнодорожного пути необщего пользования.

Проектной организацией разработано четыре принципиальных схемы перспективного путевого развития. Они отличаются:

- местом размещения нового вагоноопрокидывателя и путевым развитием, обеспечивающим его работу;
- конфигурацией горловин станции;
- количеством и местом размещения приемо-отправочных путей станций.

Различные комбинации этих схем, на которые накладываются меняющиеся размеры движения, количество локомотивов и штат сотрудников создают большое многообразие вариантов модели. Всего проведено более 80-ти различных экспериментов, в каждом из них не менее 10 расчетов. В ходе работы:

- разработана имитационная модель железнодорожного пути необщего пользования (текущее состояние и полное стратегическое развитие);
- проведены эксперименты на модели по проверке работоспособности транспортной инфраструктуры;
- определено достаточное для устойчивой работы рациональное развитие железнодорожного комплекса;
- выявлены «узкие» места, проведена оценка возможных резервов перерабатывающей способности по всем вариантам расчётов;
- выполнен анализ работы и разработаны рекомендации по выбору наиболее целесообразных вариантов и этапов его развития.

Схема существующего путевого развития пути необщего пользования приведена на рисунке П.1. Путевое развитие состоит из трех парков – парк прибытия (из 10-ти путей, три пути надвига №№12, 13, 14, два пути выгрузки №№15 и 16, на каждом из которых установлен тандемный вагоноопрокидыватель), сортировочно-отправочный парк (из 6-ти путей) и парк отправления (один главный и семь приемо-отправочных путей).

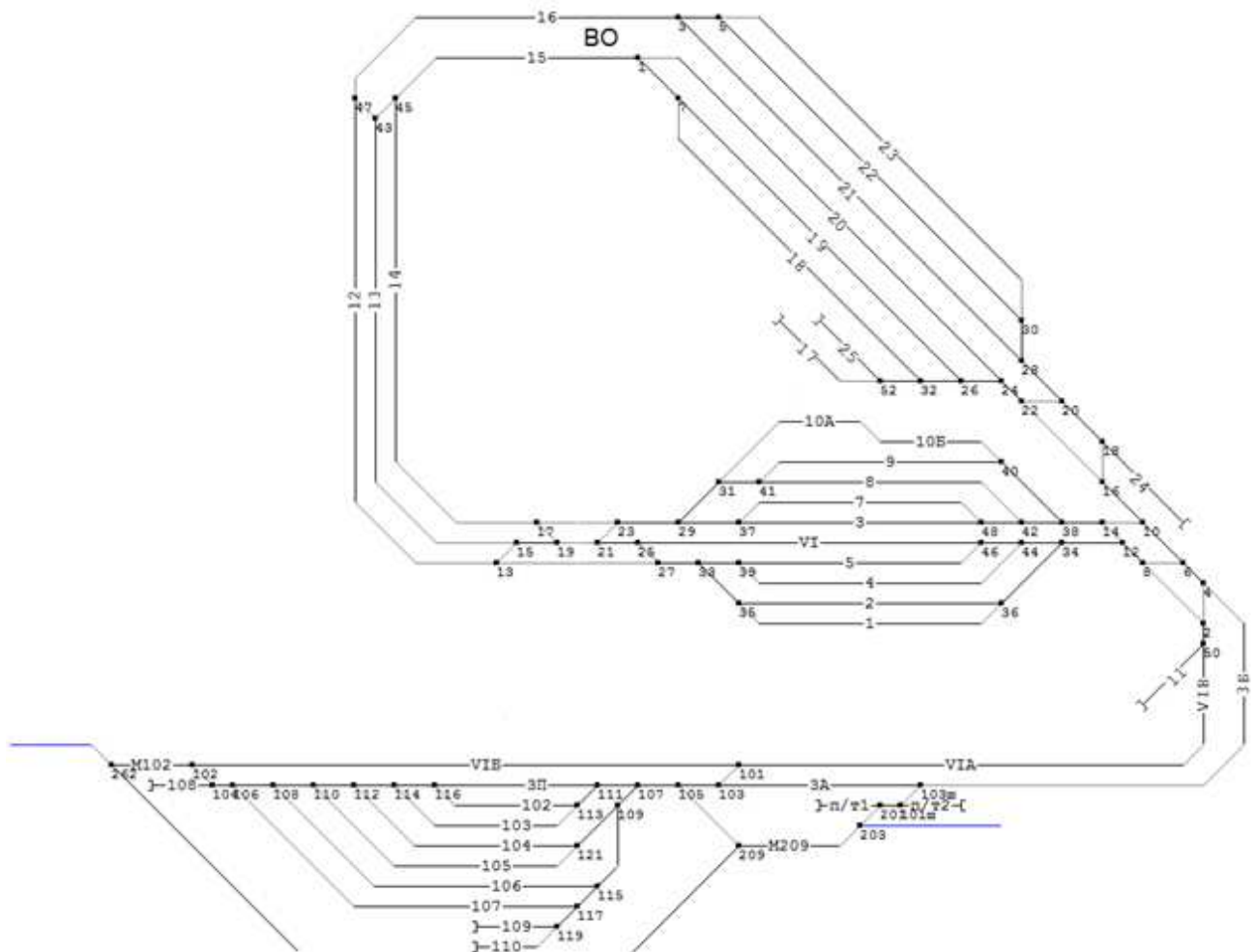


Рисунок П.1. Схема существующего путевого развития

Вариант №1 (рисунок П.2) предусматривает расположение нового вагоноопрокидывателя (путь №34) в районе существующих (пути №№15-16). Для обеспечения подачи вагонов новый путь выгрузки подключается к пути надвига №12, а для подачи вагонов на путь №16 используется путь надвига №13. На выходе вагонов из вагоноопрокидывателя устраиваются пути №№30-32 для подготовки вагонов после выгрузки по аналогии с принятой технологией работы

на путях №№18-23. В четной горловине добавляются два съезда для обеспечения параллельности передвижений. В парке прибытия предлагается строительство трех путей №26-28. Достаточное их количество на разные условия эксплуатации будет определено расчетами на модели. В четной горловине парка прибытия размещается локомотивный тупик №29 для смены кабины управления поездных локомотивов бригадами. Предлагаются два варианта примыкания путей №№26-28 к четной горловине. Рациональный вариант примыкания определяется расчетами на модели.

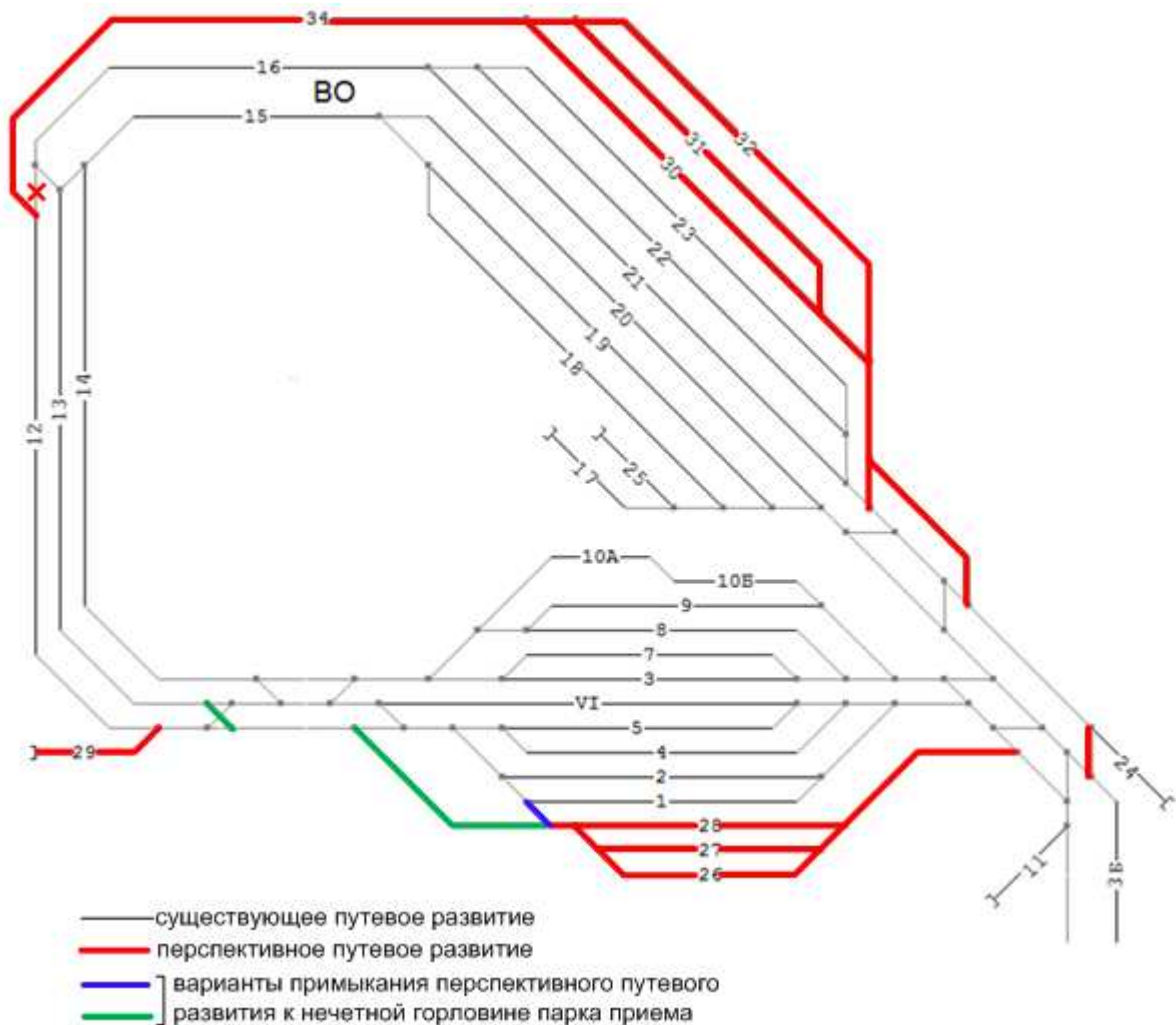


Рисунок П.2. Схемное решение №1

Вариант №2 (рисунок П.3) предусматривает расположение нового вагонопрокидывателя (путь №36) в районе нового угольного склада. На выходе вагонов из вагонопрокидывателя устраиваются пути №№38-40 для подготовки вагонов после выгрузки по аналогии с принятой технологией работы на путях №№18-23. Далее пути №38-40 подключаются к существующему пути №12,

который вместо пути надвига становится соединительным путем для перестановки порожних составов в парк прибытия и отправления. В четной горловине добавляются два съезда для обеспечения параллельности передвижений. В парке прибытия предлагается строительство трех путей №26-28. Достаточное их количество на разные условия эксплуатации будет определено расчетами на модели.

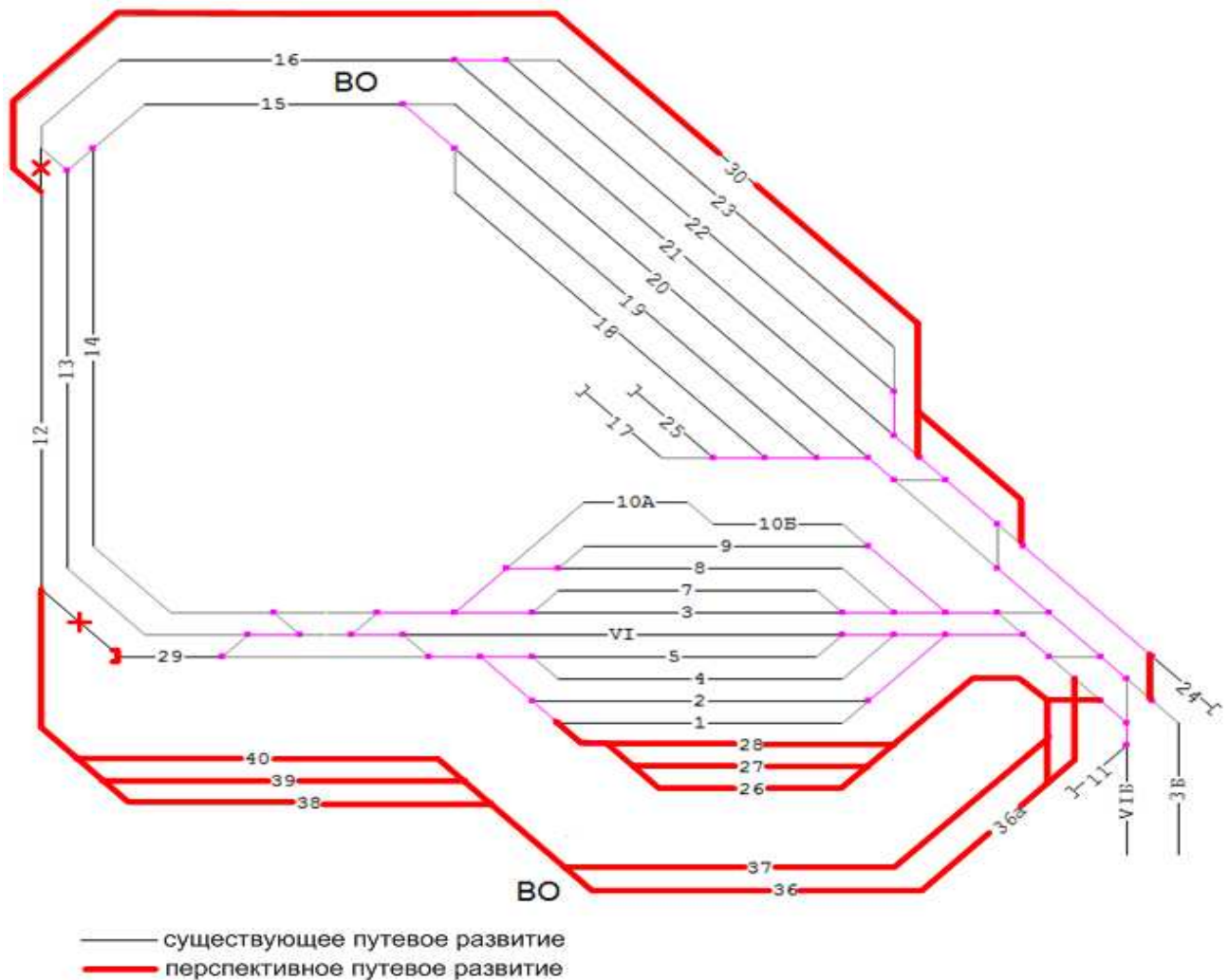


Рисунок П.3. Схемное решение №2

В четной горловине парка прибытия путь надвига №12 укорачивается и становится локомотивным тупиком №29 для смены кабины управления поездных локомотивов бригадами. Параллельно пути выгрузки №36 предусмотрен путь №37, как резервный выход с выставочных путей №38-40 на пути парка прибытия.

Вариант №3 (рисунок П.4) предусматривает вместо строительства трех путей в парке прибытия укладку их в сортировочно-отправочном парке. Таким образом, перераспределяя часть работы из парка прибытия в сортировочно-отправочный парк, мы изменяем загрузку четной горловины станции. Необходимое количество дополнительных путей в сортировочно-отправочном парке определяется расчетами на модели.

Вариант №4 (рисунок П.5) предусматривает реконструкцию парка отправления. Предусматривается строительство трех дополнительных путей и полная реконструкция четной горловины, в которой устраивается вытяжной путь. Удлинняются тупики для ремонта вагонов №№109 и 110, параллельно им строится локомотивное депо.

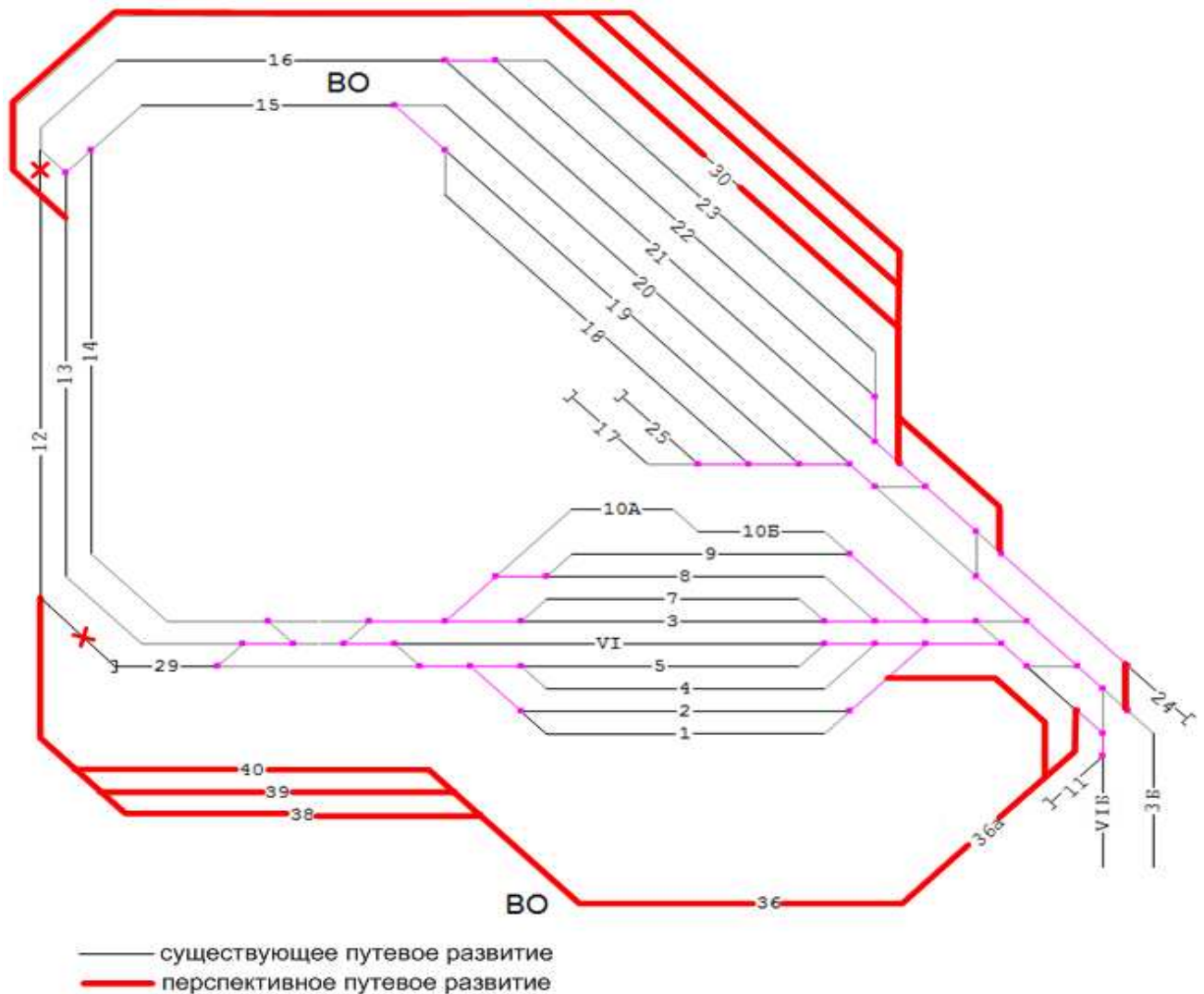


Рисунок П.4. Схемное решение №3

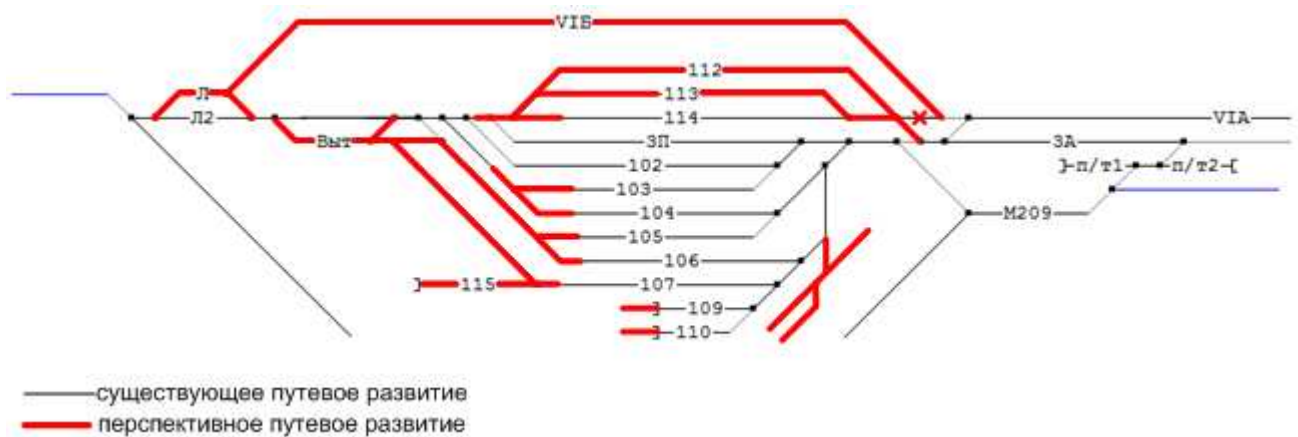


Рисунок П.5. Схемное решение №4

Условия работы пути объекта принципиально отличаются в летний и зимний периоды времени. В связи с этим проведены следующие эксперименты.

В созданной имитационной модели **зимнего периода** ежедневно выполняется прибытие 16-ти поездов и отправление 15-ти. Система полностью перерабатывает поездопоток. Полная занятость путей парка прибытия составила 72%, причем занятость технологическими операциями не превышает 17% (таблица П.1). Остальное время груженные вагоны простаивают в ожидании выгрузки, а порожние – в ожидании операций по отправлению.

Таблица П.1. Занятость путей парка прибытия

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
9 п. парка Терминал1		0:10	0:01	23:48	24:00
VI п. парка Терминал1		0:56	0:02	19:52	20:50
2 п. парка Терминал1		4:24	0:05	13:55	18:25
10А п. парка Терминал1		9:47	0:04	8:07	17:58
5 п. парка Терминал1		1:45	0:16	15:34	17:35
8 п. парка Терминал1		6:30	0:26	9:18	16:15
4 п. парка Терминал1		3:07	0:07	12:53	16:07
3 п. парка Терминал1		3:19	0:12	10:45	14:16
7 п. парка Терминал1		4:06	0:22	9:12	13:39
1 п. парка Терминал1		2:54	0:28	10:16	13:37

* Здесь и далее зеленым цветом показана занятость путей операциями, желтым – стоящими вагонами в ожидании операций, красным – задержками

Занятость путей выгрузки достигает 100% (рисунок П.6) с учетом времени на проведение ТО вагоноопрокидывателей, остановки выгрузки при объединении групп вагонов, протяжки вагонов в сортировочно-отправочном парке и смены штабеля стакер-реклаймерами. Полезная занятость путей выгрузки (только выгрузкой вагонов) составляет 91%. Пути надвига все это время заняты группами вагонов, ожидающими выгрузки (таблица П.2).

Пути сортировочно-отправочного парка заняты проведением подготовки вагонов и накоплением поездов (таблица П.3). Полная занятость путей парка отправления– 60% (таблица П.4).

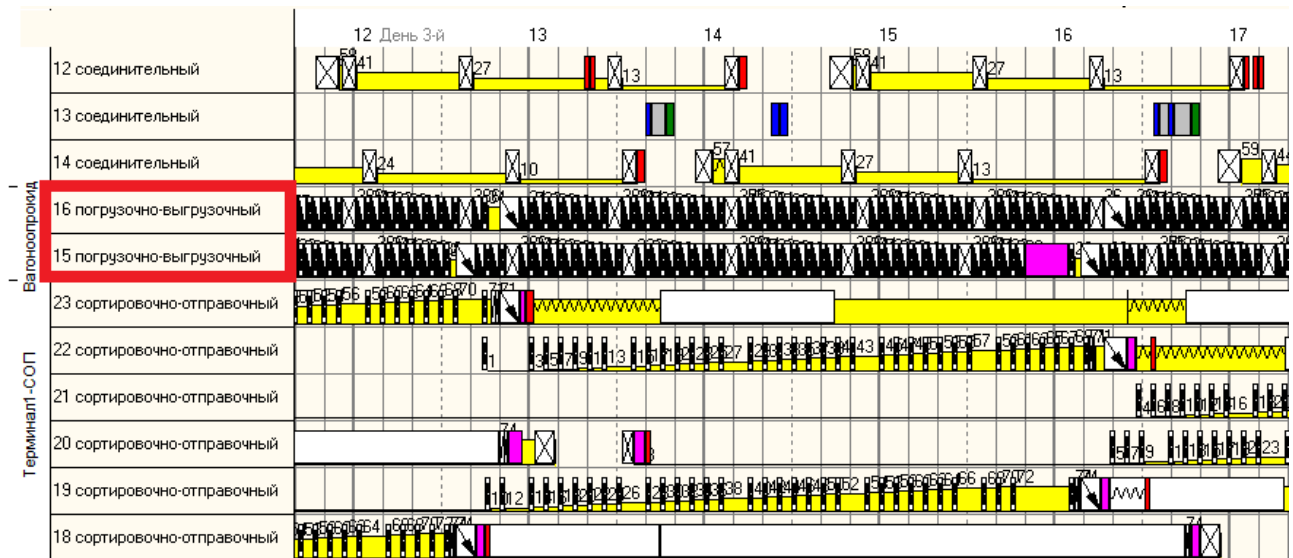


Рисунок П.6. Работа вагоноопрокидывателей в зимний период

Таблица П.2. Занятость путей надвига и выгрузки

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
12 п. соединительный		3:47	0:06	19:14	23:08
14 п. соединительный		3:31	0:05	18:58	22:33
15 п. парка Вагоноопрокид		22:00	0:05	1:56	24:00
16 п. парка Вагоноопрокид		22:00	0:03	1:57	24:00

Таблица П.3. Занятость путей сортировочно-отправочного парка

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
21 п. парка Терминал1-СОП		0:00	0:00	24:00	24:00
17 п. парка Терминал1-СОП		0:40	0:00	22:24	23:03
23 п. парка Терминал1-СОП		9:04	0:33	10:21	19:59
22 п. парка Терминал1-СОП		9:09	0:32	10:04	19:45
20 п. парка Терминал1-СОП		8:00	0:40	9:46	18:26
19 п. парка Терминал1-СОП		7:26	0:42	9:17	17:25
18 п. парка Терминал1-СОП		2:41	0:12	5:14	8:07

Основные задержки вызваны следующими элементами (таблица П.5). При такой величине задержек и 100%-ной загрузке *пути выгрузки 15 и 16 являются узкими местами и не позволяют увеличить объемы выгрузки в зимний период*. В отдельные сутки при благоприятном подходе поездов и других сопутствующих условиях (прибытие поездов одной маркой угля в составе, минимальные перерывы в работе стакер-реклаймеров, нет перерыва для выполнения ТО вагоноопрокидывателей, несмерзшийся уголь, своевременное обеспечение поездов поездными локомотивами, отсутствие технологических «окон» и т.д.) возможно увеличение объемов выгрузки (до 1050 вагонов), но затем, как правило, последуют сутки с меньшим объемом. Среднесуточная выгрузка в зимний период составляет 15,5 поездов (900 вагонов).

Таблица П.4. Занятость путей парка отправления

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
105 п. парка Терминал2		0:58	0:00	23:02	24:00
106 п. парка Терминал2		5:17	0:21	18:22	24:00
3П п. парка Терминал2		9:56	0:51	7:32	18:19
102 п. парка Терминал2		8:35	0:49	7:00	16:23
103 п. парка Терминал2		9:36	1:05	4:27	15:08
104 п. парка Терминал2		4:26	0:14	5:02	9:42
VIБ п. парка Терминал2		5:04	0:02	0:00	5:06
107 п. парка Терминал2		0:59	0:00	2:17	3:17

Таблица П.5. Задержки из-за элементов системы

элемент	графически	факт
16 п. парка Вагоноопрокид		17:49
15 п. парка Вагоноопрокид		17:43
Лок.Терминал1		12:21
Лок.Поездные РЖД		11:37
Лок.Терминал2		8:00

Чтобы не останавливать выгрузку, маневровые локомотивы практически постоянно сопровождают составы на путях надвига для объединения групп вагонов для их своевременного размораживания, из-за чего велика их занятость межоперационными простоями (таблицы П.6. и П.7). Этим объясняются общие высокие задержки из-за локомотивов и их высокая загрузка – 75%.

Наиболее часто задерживаемые операции и величины задержек приведены в таблице П.8. Величина простоя вагонов по паркам системы в зимний период представлена на рисунке П.7. Средний простой одного вагона – 13,0 часа.

Таблица П.6. Занятость локомотивов

локомотив	графически	полезн.зан.	межопер.прост.	полн.зан.
Лок. 1 Терминал1		9:07	10:34	19:41
Лок. 2 Терминал1		9:45	10:19	20:04
Лок. 3 Терминал1		9:29	8:36	18:05
Лок. 4 Терминал1		9:02	5:22	14:24
Лок. 1 Терминал2		14:32	1:31	16:03

Таблица П.7. Структура занятости локомотивов

операция	графически	полезн.зан.	межопер.прост.
Объединение на 15 пути, отпуск тормозов и растяжка		0:27	2:43
Раскрепление состава в СОП		1:31	0:00
Объединение на 16 пути, отпуск тормозов и растяжка		0:13	1:13
Перестановка из СОП на Терминал2		1:07	0:18
Подача на СМРК		0:46	0:24
Следование локомотива из Т2 на Т1 (1)		0:55	0:04
Проход составителя в голову состава		0:25	0:00
Заезд второго локомотива для перестановки в ПП		0:06	0:19
Уборка локомотива из ПП (со стороны ВО)		0:16	0:01

Таблица П.8. Задержки в операциях

операция	графически	в сутки	кол-во	на операцию
Объединение на 15 пути, отпуск тормозов и растяжка		17:09	32	0:32
Объединение на 16 пути, отпуск тормозов и растяжка		16:57	32	0:32
Подача на СМРК		10:25	5	2:05
Заезд локомотива в ПП для подачи на выгрузку		9:07	13,3	0:41
Подача поездного локомотива Т2		9:04	11,7	0:47

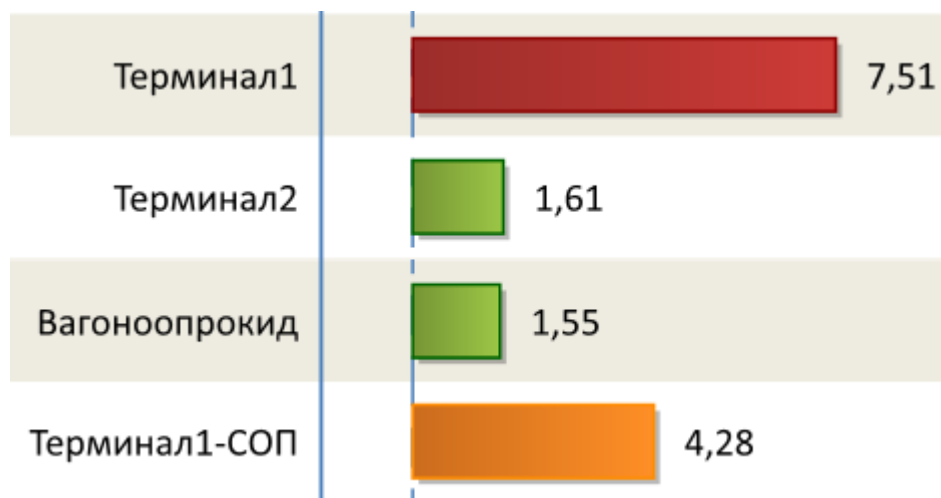







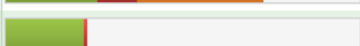


Рисунок П.7. Простой вагонов по паркам (в часах)

Дополнительно проведен эксперимент с формированием отправительских маршрутов из порожних вагонов. В среднем за сутки удается сформировать 8 маршрутов. При этом увеличились:

- загрузка путей парка отправления (таблица П.9) с 60 до 80%,
- загрузка маневрового локомотива – с 67 до 79%;
- простой вагонов в парке отправления – с 1,6 до 3 часов.

Таблица П.9 Занятость путей парка отправления при формировании маршрутов

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
105 п. парка Терминал2		0:46	0:02	23:13	24:00
106 п. парка Терминал2		3:12	0:22	20:26	24:00
3П п. парка Терминал2		8:48	1:59	10:18	21:05
103 п. парка Терминал2		8:02	2:29	10:23	20:54
102 п. парка Терминал2		7:40	3:04	9:47	20:32
104 п. парка Терминал2		7:12	3:23	9:55	20:30
107 п. парка Терминал2		6:00	2:31	8:28	17:00
VIБ п. парка Терминал2		5:15	0:01	0:00	5:16

Однако объемы переработки при формировании маршрутов не изменились по сравнению с вариантом, когда маршруты не формируются. Перерабатывающую способность комплекса ограничивают вагоноопрокидыватели. Таким образом, для увеличения объемов выгрузки в зимний период необходимо строительство третьего вагоноопрокидывателя.

В имитационной модели на летний период выполняется прибытие 22-23 поездов ежедневно. Система перерабатывает входной поездопоток, выгрузка обеспечивается на уровне 1300 вагонов. Отправление порожних поездов при отсутствии формирования маршрутов составило 18 единиц. Полная занятость путей парка прибытия уменьшилась по сравнению с зимним периодом на 10% и составила 62% (таблица П.10). Улучшение показателей связано с более быстрой

подачей вагонов на выгрузку (летом выгрузка выполняется быстрее, чем зимой) и отсутствием работы СМРК.

Таблица П.10 Занятость путей парка прибытия

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
10А п. парка Терминал1		0:24	0:03	23:33	24:00
9 п. парка Терминал1		7:56	0:52	7:43	16:31
8 п. парка Терминал1		6:39	0:58	8:16	15:53
5 п. парка Терминал1		2:41	0:38	11:57	15:16
VI п. парка Терминал1		1:19	0:07	13:39	15:04
2 п. парка Терминал1		7:42	0:13	6:49	14:44
1 п. парка Терминал1		4:12	0:51	9:02	14:05
7 п. парка Терминал1		4:29	0:40	7:33	12:42
4 п. парка Терминал1		4:00	0:08	7:28	11:36
3 п. парка Терминал1		4:01	0:28	4:35	9:04

Занятость путей выгрузки остается на уровне 100%, но значительное время занимают простои в работе, связанные с ожиданием выставки вагонов в сортировочный парк, либо с ожиданием подачи груженных вагонов (рисунок П.8). Полезная занятость путей выгрузки составляет 76%. Пути надвига заняты вагонами значительно меньше по сравнению с зимним периодом (на 25% меньше), поскольку объединять вагоны перед позиционером приходится реже (таблица П.11). В летний период пути выгрузки не являются узким местом и имеют резерв перерабатывающей способности. Полезная занятость путей сортировочно-отправочного парка уменьшилась за счет меньшей продолжительности работы бригады пробивки в летний период. Увеличилось время задержки при перестановках готовых составов из-за высокой занятости маневровых локомотивов (таблица П.12). Пути парка отправления заняты больше, чем в зимний период из-за большего объема работы (таблица П.13).

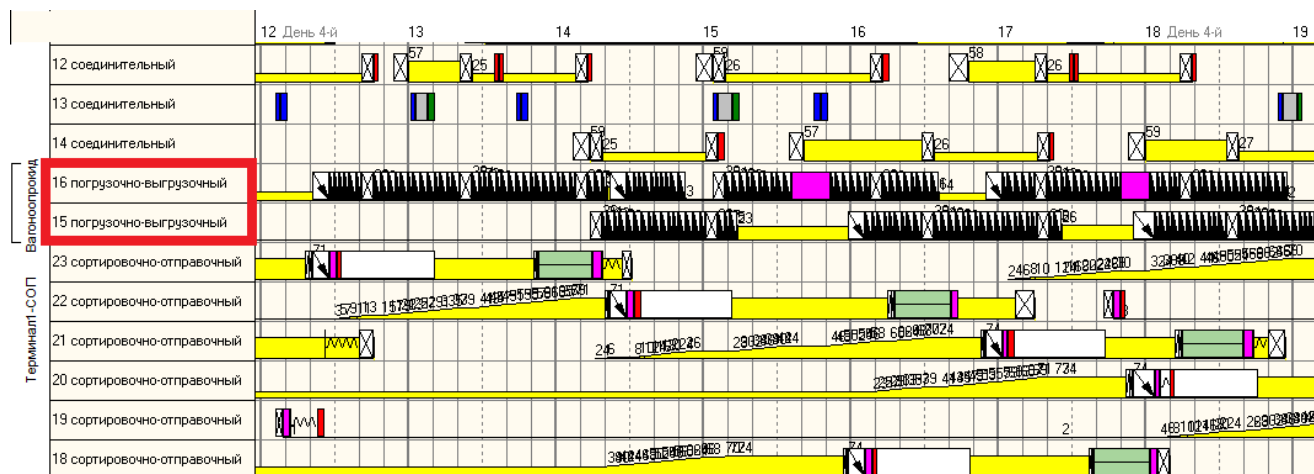


Рисунок П.8. Работа вагоноопрокидывателей в летний период

Таблица П.11 Занятость путей надвига и выгрузки

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
12 п. соединительный		3:35	0:03	14:34	18:12
14 п. соединительный		2:59	0:02	13:04	16:05
15 п. парка Вагоноопрокид		17:39	0:03	6:18	24:00
16 п. парка Вагоноопрокид		18:53	0:03	5:04	24:00

Таблица П.12. Занятость путей сортировочно-отправочного парка

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
21 п. парка Терминал1-СОП		1:17	0:03	18:52	20:12
23 п. парка Терминал1-СОП		8:16	0:48	10:56	20:00
22 п. парка Терминал1-СОП		8:12	0:40	11:02	19:54
20 п. парка Терминал1-СОП		7:17	0:51	10:16	18:24
19 п. парка Терминал1-СОП		6:34	0:42	9:59	17:15
18 п. парка Терминал1-СОП		2:36	0:13	5:56	8:45

Полезная нагрузка локомотивов увеличилась, что связано с более быстрой выгрузкой и меньшим простоем локомотивов на путях надвига, а так же увеличенным объемом работы (таблица П.14). Полная нагрузка локомотивов составила 88%. Существенно выросли и задержки из-за локомотивов по сравнению с зимним периодом – с 12 до 19 часов (таблица П.15), что связано с увеличившимся объемом работы.

Таблица П.13. Занятость путей парка отправления

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
105 п. парка Терминал2		1:01	0:01	22:58	24:00
106 п. парка Терминал2		4:28	0:27	19:05	24:00
3П п. парка Терминал2		10:14	1:37	7:14	19:04
102 п. парка Терминал2		8:30	1:33	6:44	16:47
103 п. парка Терминал2		7:27	1:48	6:01	15:16
104 п. парка Терминал2		4:27	1:22	4:07	9:56
107 п. парка Терминал2		2:47	1:27	2:42	6:57
VIБ п. парка Терминал2		6:21	0:08	0:00	6:30

Таблица П.14. Занятость локомотивов

локомотив	графически	полезн.зан	межопер.прост	полн.зан
Лок. 1 Терминал1		12:44	9:14	21:57
Лок. 2 Терминал1		12:09	9:12	21:16
Лок. 3 Терминал1		12:19	8:27	20:46
Лок. 4 Терминал1		11:48	8:21	20:09
Лок. 1 Терминал2		12:54	1:37	14:32

Таблица П.15. Задержки из-за элементов системы

элемент	графически	факт
Лок.Терминал1		19:09
15 п. парка Вагоноопрокид		16:02
16 п. парка Вагоноопрокид		15:56
Лок.Поездные РЖД		13:31

Величина простоя вагонов по паркам представлена на рисунке П.9. Простой в парке прибытия и на путях выгрузки уменьшился (за счет меньшего времени выгрузки), а в сортировочно-отправочном парке и в парке отправления увеличился за счет большего количества поездов и времени их обработки. Средний простой одного вагона – 11,5 часа.

Модель с формированием маршрутов позволяет перерабатывать лишь 20 поездов. Дальнейшее увеличение потока невозможно в силу того, что выгрузка постоянно останавливается из-за несвоевременной протяжки вагонов в сортировочно-отправочном парке и вывода из него готовых составов (рисунок П.10).



Рисунок П.9. Простой вагонов по паркам (в часах)

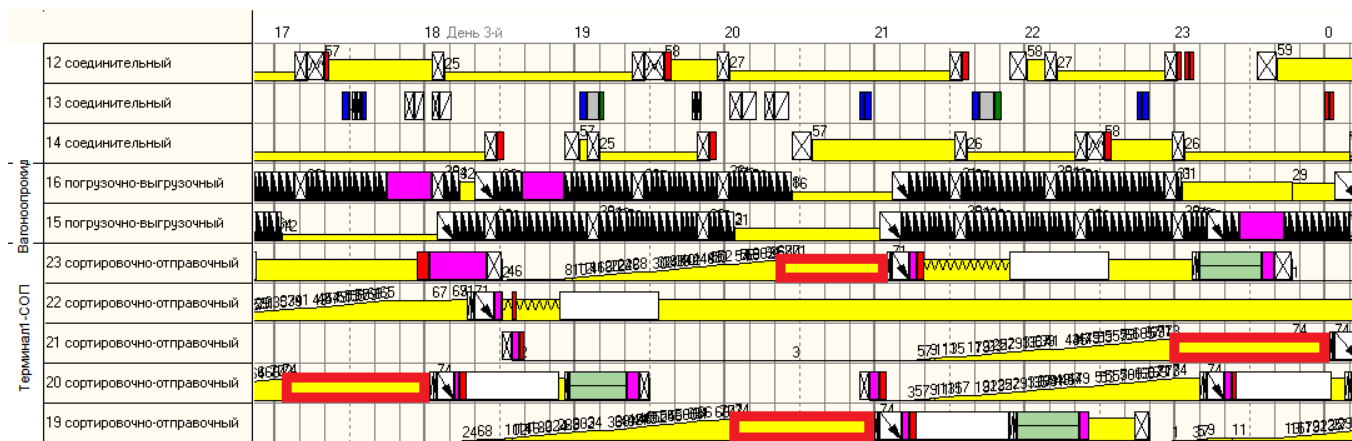


Рисунок П.10. Задержки при выгрузке вагонов из-за несвоевременного выполнения протяжки вагонов в сортировочно-отправочном парке

Причиной истощения перерабатывающей способности является недостаток маневровых локомотивов. Так же требуется добавить двух осмотрщиков для работы в парке отправления. Добавление маневрового локомотива и увеличение штата ПТО позволяет увеличить количество поездов

до 24 ежесуточно. Система перерабатывает входной поездопоток, выгрузка достигает 1400 вагонов. Отправление порожних поездов при отсутствии формирования маршрутов составило 20 единиц.

Полная занятость путей парка прибытия увеличилась по сравнению предыдущим экспериментом на 9% и составила 71%, что аналогично зимнему периоду эксплуатации (таблица П.16).

Занятость путей выгрузки остается на уровне 100%, но значительное время занимают простои в работе, связанные с ожиданием выставки вагонов в сортировочный парк (рисунок П.11). Полезная занятость путей выгрузки (только выгрузкой вагонов) увеличилась и составляет 87% (таблица П.17).

Таблица П.16. Занятость путей парка прибытия

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
10А п. парка Терминал1		0:22	0:06	23:32	24:00
5 п. парка Терминал1		3:07	1:13	17:18	21:38
VI п. парка Терминал1		0:20	0:02	21:12	21:33
9 п. парка Терминал1		7:00	1:06	11:59	20:05
8 п. парка Терминал1		6:05	1:04	11:05	18:15
2 п. парка Терминал1		8:10	0:14	7:56	16:20
7 п. парка Терминал1		5:38	0:46	9:30	15:54
4 п. парка Терминал1		4:30	0:15	10:14	14:58
3 п. парка Терминал1		5:00	0:27	6:20	11:46
1 п. парка Терминал1		5:14	1:24	3:09	9:48

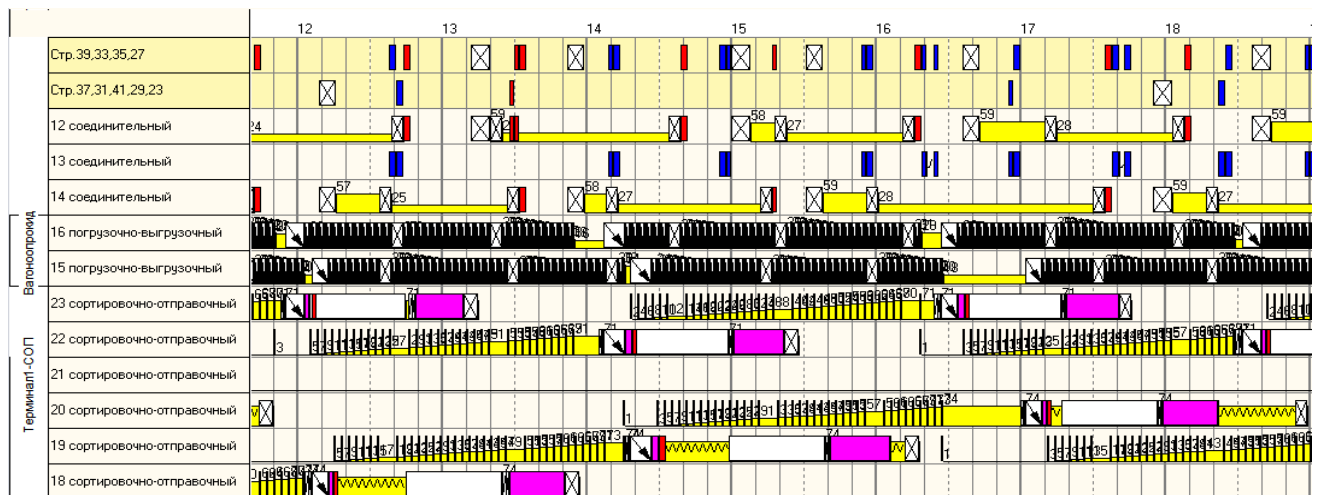


Рисунок П.11. Работа вагоноопрокидывателей в летний период

Таблица П.17. Занятость путей надвига и выгрузки

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
12 п. соединительный		3:54	0:05	15:03	19:02
14 п. соединительный		3:27	0:02	14:29	17:58
15 п. парка Вагоноопрокид		20:38	0:06	3:16	24:00
16 п. парка Вагоноопрокид		20:42	0:02	3:16	24:00

При добавлении шестого локомотива пути выгрузки становятся узким местом и практически не имеют резерва перерабатывающей способности. С увеличением количества локомотивов их полная загрузка уменьшилась на 11% и составила 77%. Полезная загрузка выросла на 5% (таблица П.18).

Таблица П.18. Занятость локомотивов

локомотив	графически	полезн.зан	межопер.прост	полн.зан
Лок. 1 Терминал1		11:44	8:52	20:35
Лок. 2 Терминал1		9:59	9:09	19:08
Лок. 3 Терминал1		12:01	8:00	19:59
Лок. 4 Терминал1		9:18	7:38	16:56
Лок. 5 Терминал1		8:39	6:30	15:10
Лок. 1 Терминал2		15:24	2:55	18:19

Величина простоя вагонов по паркам изменилась незначительно и представлена на рисунке П.12. Средний простой одного вагона – 11,8 часа.

Модель с формированием маршрутов позволяет перерабатывать на один поезд меньше из-за увеличения загрузки локомотива до 87% и роста задержек из-за него до 20 часов (рисунок П.13). При этом количество формируемых маршрутов за сутки не превышает 7-8 (как и в настоящее время), несмотря на то, что объемы переработки увеличены.



Рисунок П.12. Простой вагонов по паркам (в часах)

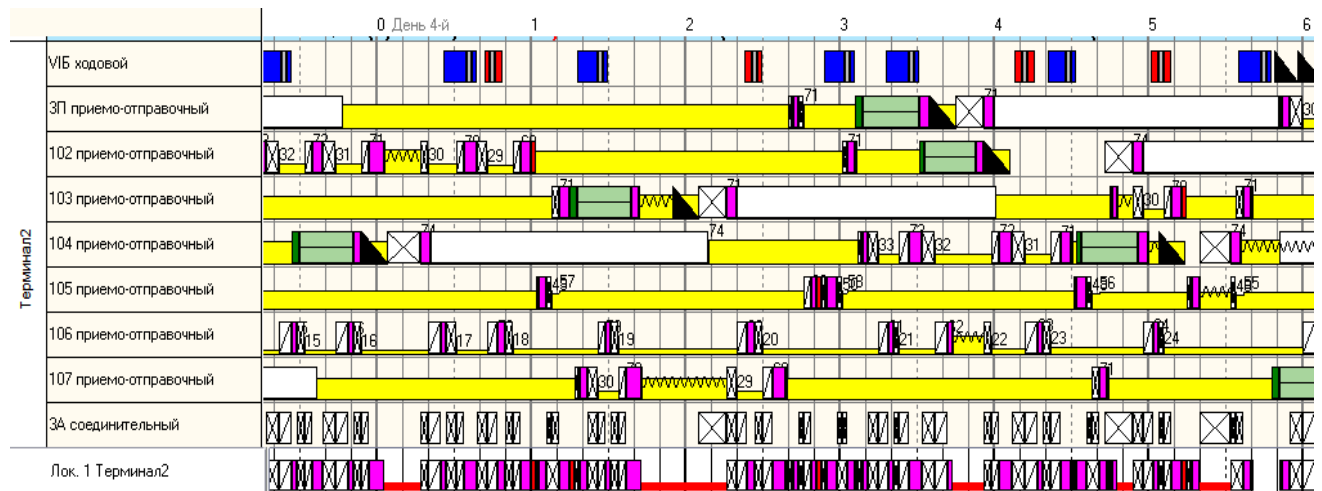


Рисунок П.13. Работа парка отправления

Далее кратко описаны эксперименты на модели после реконструкции. Все прибывающие поезда, в отличие от существующей ситуации, имеют длину 71 условный вагон. Ввод в эксплуатацию третьего вагоноопрокидывателя подразумевает обязательное наличие шестого маневрового локомотива, который, в отличие от предыдущей серии экспериментов, необходим не опционально (для увеличения перерабатывающей способности), а постоянно (для обеспечения стабильной устойчивой работы).

В имитационной модели выполняется прибытие 20-ти поездов длиной 71 условный вагон ежедневно. Система способна выгрузить 1400 вагонов, но отправление порожних поездов составило лишь 18 единиц. Причиной является высокая загрузка (89%) и недостаток маневровых локомотивов. Шести маневровых локомотивов достаточно для переработки только 1300 вагонов.

Добавляем седьмой маневровый локомотив. В этом случае удастся принять, выгрузить и отправить 1450 вагонов в сутки.

Новый вагоноопрокидыватель, как и существующие, задействован практически на полную мощность (рисунок П.14). Полезная занятость путей выгрузки №№15, 16, 34 составляет 88%, а полная достигает 100%.

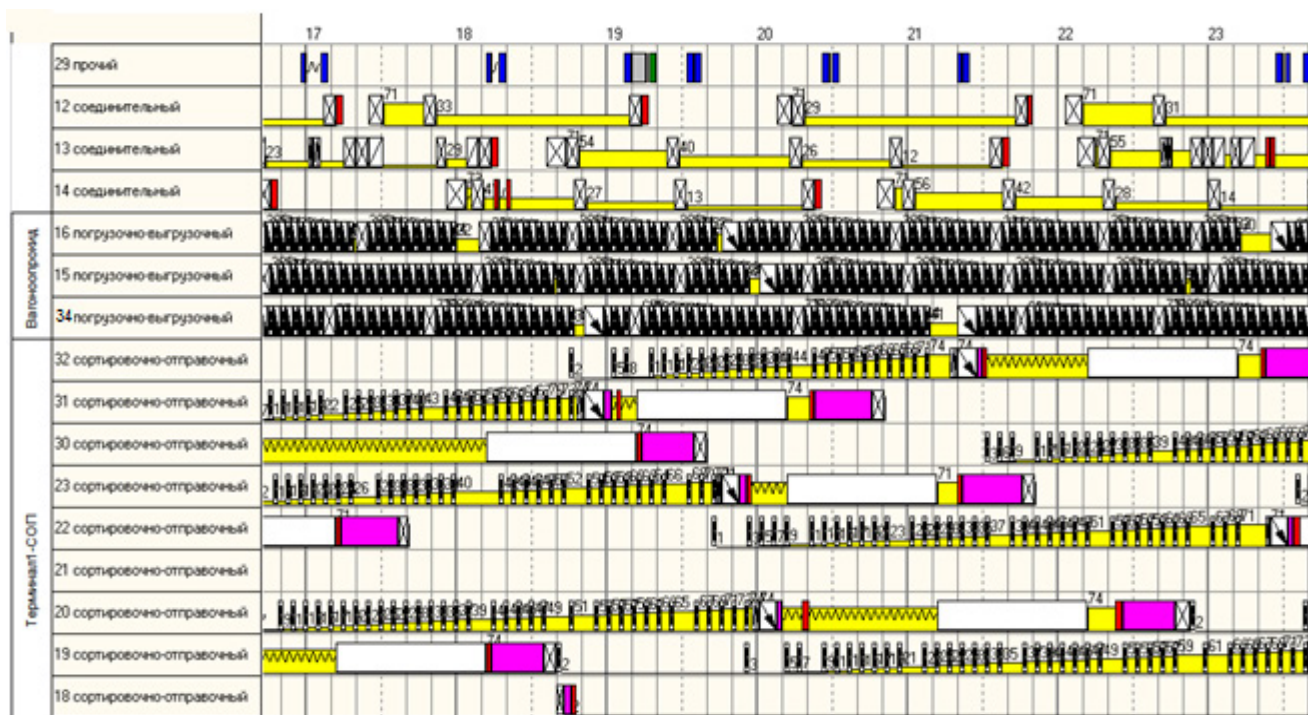









Рисунок П.14. Работа вагоноопрокидывателей и путей надвига

Чтобы не останавливать выгрузку, маневровые локомотивы практически постоянно сопровождают составы на путях надвига для объединения групп вагонов для их своевременного размораживания, из-за чего в их занятости велика доля межоперационных простоев (таблица П.19). Этим объясняются общие высокие задержки из-за локомотивов и их высокая занятость – 78%. Загрузка локомотива – 84%. Оценить уровень загрузки локомотивов можно так же на графике их работы (рисунок П.15). Межоперационные простои показаны красными горизонтальными линиями.

Таблица П.19. Занятость локомотивов

локомотив	графически	полезн.зан	межопер.прост	полн.зан
Лок. 1 Терминал1		11:26	10:23	21:59
Лок. 2 Терминал1		11:27	8:57	20:23
Лок. 3 Терминал1		10:33	10:07	20:40
Лок. 4 Терминал1		9:24	8:46	18:10
Лок. 5 Терминал1		8:08	8:11	16:19
Лок. 6 Терминал1		5:34	8:49	14:23
Лок. 1 Терминал2		13:54	6:15	20:09

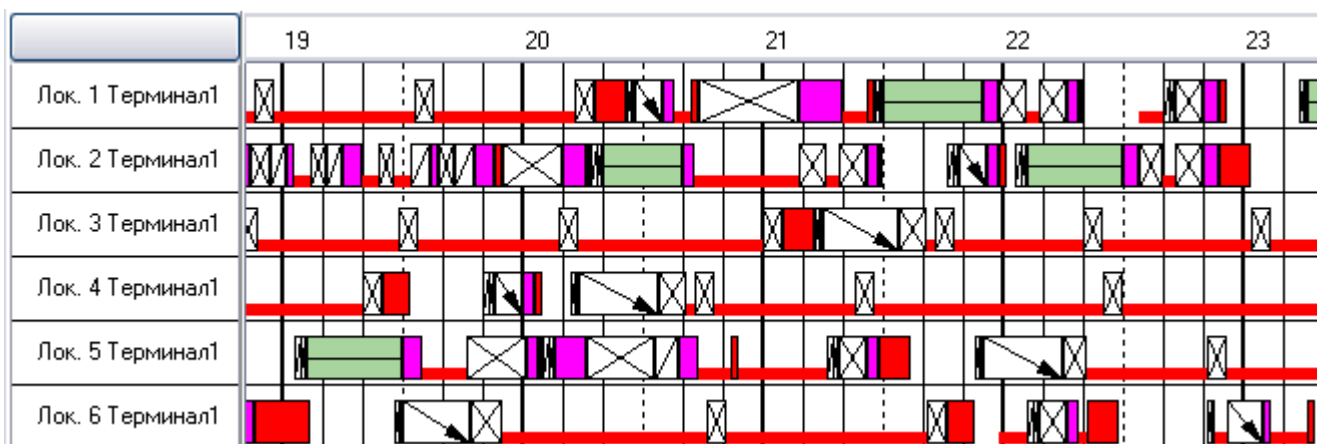







Рисунок П.15. График работы локомотивов (фрагмент)

Высокая величина полной загрузки локомотивов и относительно низкая доля полезной позволяют судить о не слишком эффективном их использовании. Межоперационные простои в работе локомотивов связаны с занятостью станционных горловин и вытяжных путей, но основная причина объясняется длительными простоями в ожидании передачи вагонов с путей надвига на позиционеры. При работе шести локомотивов в зимний период эксплуатации межоперационные простои в расчете на один локомотив составляют 10,5 часов, из них 7,6 часа – в ожидании объединения групп вагонов на путях выгрузки, и лишь 2,9 часа – в ожидании других операций. В связи с этим, для повышения уровня полезной загрузки локомотивов поставлен следующий эксперимент с измененной технологией работы. Составы подаются на выгрузку, как и прежде,

любым локомотивом. Но после первого объединения групп вагонов перед вагоноразмораживателем локомотив оставляет состав и следует выполнять другую работу. Для объединения вагонов на путях №№15, 16, 34 выделяется отдельный локомотив, который по мере необходимости перемещается между путями надвига с целью оперативного объединения групп вагонов на трех путях. С целью снижения времени простоя локомотива в случае, когда требуется одновременное объединение вагонов на двух путях, необходимо организовать работу двух составителей поездов для сокращения времени закрепления и снятия закрепления вагонов. Эксперимент показал, что количество локомотивов при такой технологии можно сократить с 6-ти до 5-ти. Их полезная загрузка увеличилась с 38% до 54%, а полная – за счет уменьшения непроизводительного простоя на путях надвига – сократилась с 87% до 70% (таблица П.20). Сокращение величины межоперационных простоев хорошо видно и на графике работы локомотивов (рисунок П.16).

Таблица П.20. Структура занятости локомотивов

локомотив	графически	полезн.зан	межопер.прост	полн.зан
Лок. 1 Терминал1		15:49	2:35	18:24
Лок. 2 Терминал1		13:38	4:32	18:10
Лок. 3 Терминал1		14:23	3:13	17:33
Лок. 4 Терминал1		12:19	3:45	16:05
Лок. 5 Терминал1		8:51	4:30	13:21

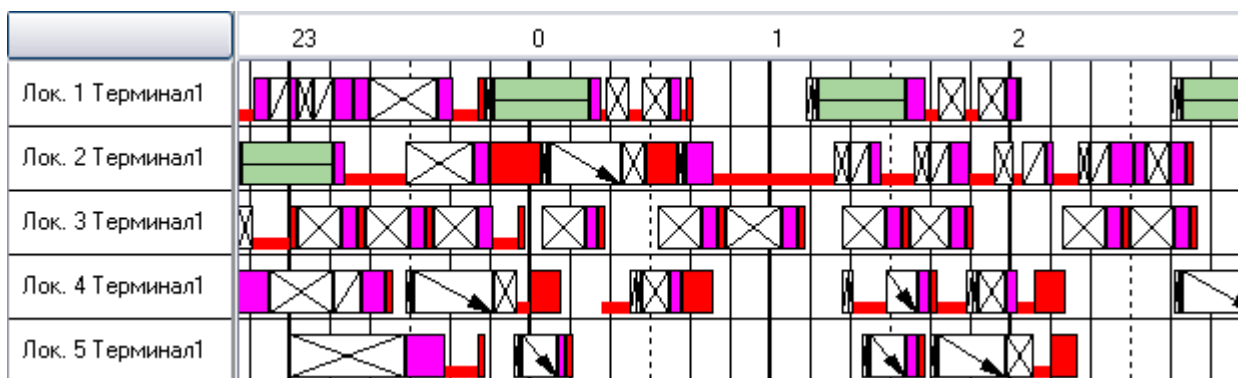


Рисунок П.16 График работы локомотивов (фрагмент)

Однако даже несмотря на работу двух составителей поездов при локомотиве, выполняющем подачу вагонов на позиционеры, не всегда удастся объединить вагоны в тот же момент, когда возникла такая необходимость. Случается, что объединения требуют вагоны сразу на двух путях выгрузки, а значит, вагоны на одном из путей будут ожидать освобождения локомотива со второго пути. В результате этого на путях выгрузки наблюдаются дополнительные простои в работе вагоноопрокидывателей (показаны зелеными стрелками на рисунке П.17). В связи с этим среднесуточный объем выгрузки будет примерно на 50 вагонов меньше, чем в варианте с шестью локомотивами.

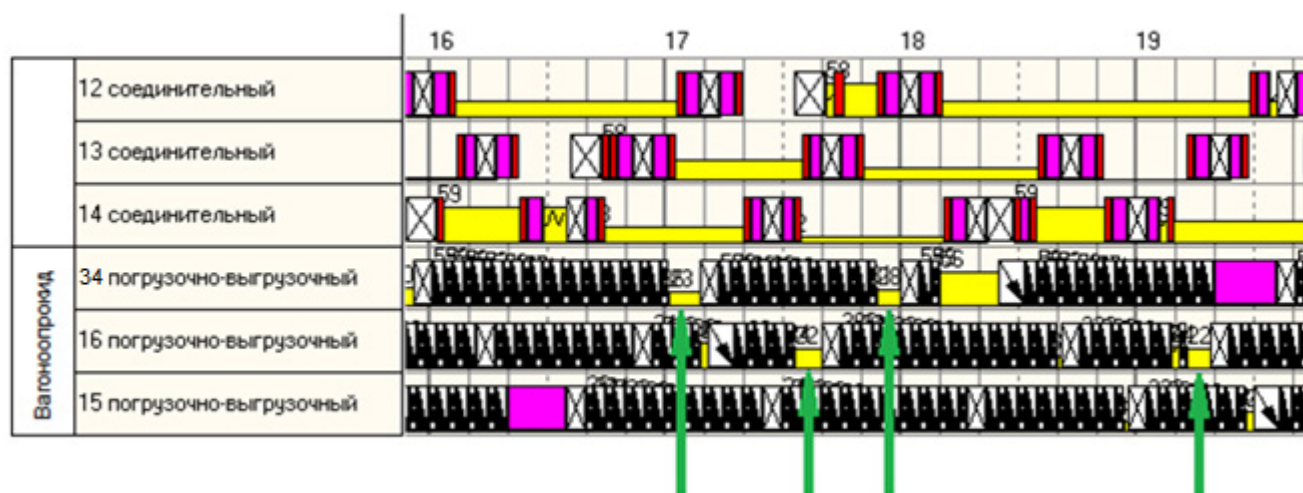


Рисунок П.17. Работа вагоноопрокидывателей и путей надвига с подачей вагонов отдельным локомотивом (фрагмент)

Как было сказано ранее, загрузка локомотива парка отправления при выгрузке более 1400 вагонов в сутки составляет 94%. Строительство в четной горловине вытяжного пути и организация работы на нем отдельного локомотива позволяет снять часть работы по формированию поездов и маршрутов с локомотива, работающего в нечетной горловине парка. Таким образом, в экспериментах, описанных ниже, предусмотрена работа восьми маневровых локомотивов.

Отметим, что при достижении размеров выгрузки 1600 вагонов среднесуточно количество неисправных вагонов, подлежащих ремонту, превысит перерабатывающую способность пункта ремонта вагонов,

находящегося на пути №17. В экспериментах модели с размерами выгрузки 1600 вагонов и более включен в работу дополнительный пункт ремонта в парке отправления с двумя путями №109 и 110, вместимостью по 12 вагонов каждый.

Поскольку в зимний период эксплуатации при достижении объемов выгрузки 1450 – 1500 вагонов в сутки «узким» местом становятся вагоноопрокидыватели, реконструкция парка отправления не позволяет увеличить объемы переработки. В имитационной модели выполняется прибытие 21-ого поезда длиной 71 условный вагон ежедневно, а выгружается до 1500 вагонов. В то же время, при условии формирования маршрутов удастся заметно повысить их количество – до 13 поездов в сутки. Этому способствует привлечение второго локомотива и большее количество приемо-отправочных путей.

Полная занятость путей парка прибытия составляет 70% (таблица П.21). Полезная загрузка вагоноопрокидывателей – 90% (рисунок П.18), путей сортировочно-отправочного парка – 66% (таблица П.22).

Полная занятость путей парка составляет 67% (таблица П.23), что существенно ниже варианта без реконструкции и позволяет иметь достаточный резерв перерабатывающей способности, в том числе и для увеличения объемов работы в летний период эксплуатации.

Таблица П.21. Занятость путей парка прибытия

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
9 п. парка Терминал1		0:14	0:04	23:43	24:00
5 п. парка Терминал1		2:43	1:14	19:15	23:12
2 п. парка Терминал1		3:49	0:48	16:02	20:39
10А п. парка Терминал1		9:54	0:30	9:13	19:36
4 п. парка Терминал1		4:38	0:54	12:51	18:23
3 п. парка Терминал1		4:53	0:26	12:40	17:59
1 п. парка Терминал1		5:47	1:16	9:47	16:50
7 п. парка Терминал1		4:50	0:40	9:06	14:35
8 п. парка Терминал1		3:21	0:26	7:31	11:18
VI п. парка Терминал1		1:45	0:34	0:00	2:19

Структура занятости маневровых локомотивов представлена в таблице П.24. Второй локомотив парка отправления активно загружен, что и позволило увеличить количество формируемых маршрутов.

Таким образом, реконструкция парка отправления не позволяет в зимний период эксплуатации увеличить объем переработки, но создает необходимый резерв для более надежной работы.

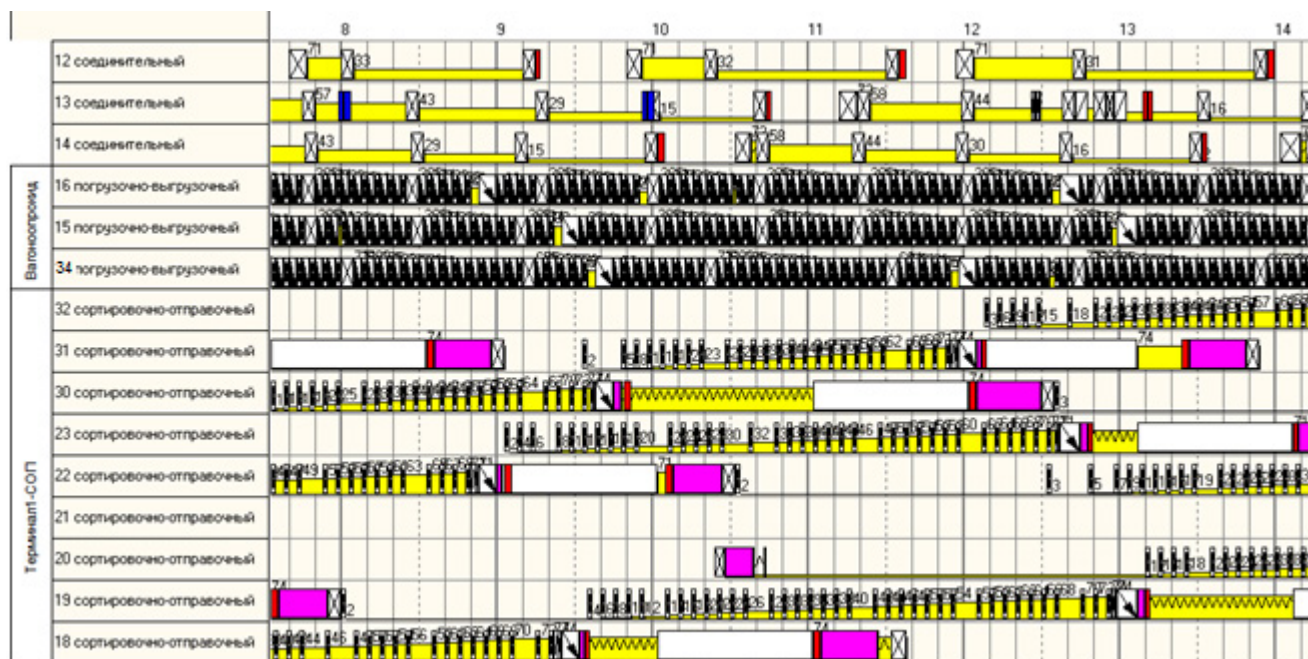


Рисунок П.18. Работа вагоноопрокидывателей и путей надвига

Таблица П.22. Занятость путей сортировочно-отправочного парка

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
19 п. парка Терминал1-СОП		7:49	1:33	14:02	23:23
23 п. парка Терминал1-СОП		8:32	1:05	11:19	20:55
22 п. парка Терминал1-СОП		8:24	1:14	10:27	20:05
30 п. парка Терминал1-СОП		9:11	2:10	7:16	18:37
18 п. парка Терминал1-СОП		4:59	1:08	11:20	17:27
31 п. парка Терминал1-СОП		8:24	1:19	7:11	16:54
20 п. парка Терминал1-СОП		5:58	1:25	6:52	14:15
32 п. парка Терминал1-СОП		5:48	1:11	3:51	10:50

Таблица П.23. Занятость путей парка отправления

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
105 п. парка Терминал2		1:20	0:01	22:39	24:00
106 п. парка Терминал2		6:51	0:09	16:59	24:00
113 п. парка Терминал2		12:07	0:22	8:36	21:05
114 п. парка Терминал2		12:11	0:25	6:24	19:00
112 п. парка Терминал2		11:39	0:18	7:03	19:00
104 п. парка Терминал2		10:36	0:10	7:51	18:37
103 п. парка Терминал2		9:54	0:17	5:38	15:50
102 п. парка Терминал2		7:13	0:08	6:21	13:42
ЗП п. парка Терминал2		3:46	0:37	1:34	5:58
107 п. парка Терминал2		0:02	0:00	0:00	0:03

Таблица П.24. Структура занятости маневровых локомотивов

локомотив	графически	полезн.зан	межопер.прост	полн.зан
Лок. 1 Терминал1		12:10	8:09	20:19
Лок. 2 Терминал1		9:37	11:29	21:07
Лок. 3 Терминал1		9:51	9:46	19:37
Лок. 4 Терминал1		8:46	8:07	16:52
Лок. 5 Терминал1		6:47	10:12	16:58
Лок. 6 Терминал1		6:18	6:12	12:40
Лок. 1 Терминал2		17:12	2:51	20:05
Лок. 1 Терминал2чет		15:40	0:43	16:24

В летний период эксплуатации с уменьшением времени выгрузки каждого вагона, вагоноопрокидыватели перестают являться узкими местами, имеют перерывы в работе, что обеспечивает бóльшую, чем зимой, перерабатывающую способность и наличие резервов (таблица П.25). Загрузку вагоноопрокидывателей и наличие перерывов в их работе в ожидании груженых вагонов наглядно демонстрирует рисунок П.19.

Таблица П.25. Занятость путей парка прибытия

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
5 п. парка Терминал1		4:56	5:10	13:54	24:00
10А п. парка Терминал1		0:31	0:16	23:13	24:00
4 п. парка Терминал1		7:58	3:22	9:06	20:26
3 п. парка Терминал1		7:51	1:53	10:38	20:21
7 п. парка Терминал1		8:20	1:51	8:28	18:39
1 п. парка Терминал1		7:24	2:39	8:15	18:18
2 п. парка Терминал1		5:34	2:52	9:48	18:15
8 п. парка Терминал1		7:43	1:20	7:12	16:15
9 п. парка Терминал1		7:07	1:41	7:16	16:04
VI п. парка Терминал1		3:32	1:21	0:00	4:53

Загрузка локомотивов и задержки из-за них не представляют собой критическую величину. Однако эксперимент с добавлением девятого локомотива показал эффективность. Выгрузка увеличилась до 1950 вагонов без формирования маршрутов и до 1800 вагонов с формированием. В периоды сгущенного подхода поездов дополнительный локомотив позволяет быстрее организовать надвиг на вагоноопрокидыватели и за счет этого увеличить выгрузку. Дальнейшее ограничение перерабатывающей способности вызвано высокой загрузкой путей парка прибытия.

При увеличении количества путей в парке прибытия летом прибывает и выгружается до 2000 вагонов без формирования маршрутов (28 поездов длиной 71 условный вагон) и 1900 с формированием (26-27 поездов). Полная занятость путей парка прибытия значительно снизилась и составляет в среднем 42% (таблица П.26). Даже в периоды сгущенного подвода поездов все пути парка не используются (рисунок П.20). Для сглаживания всплесков неравномерности достаточно одного дополнительного пути вместо трех.

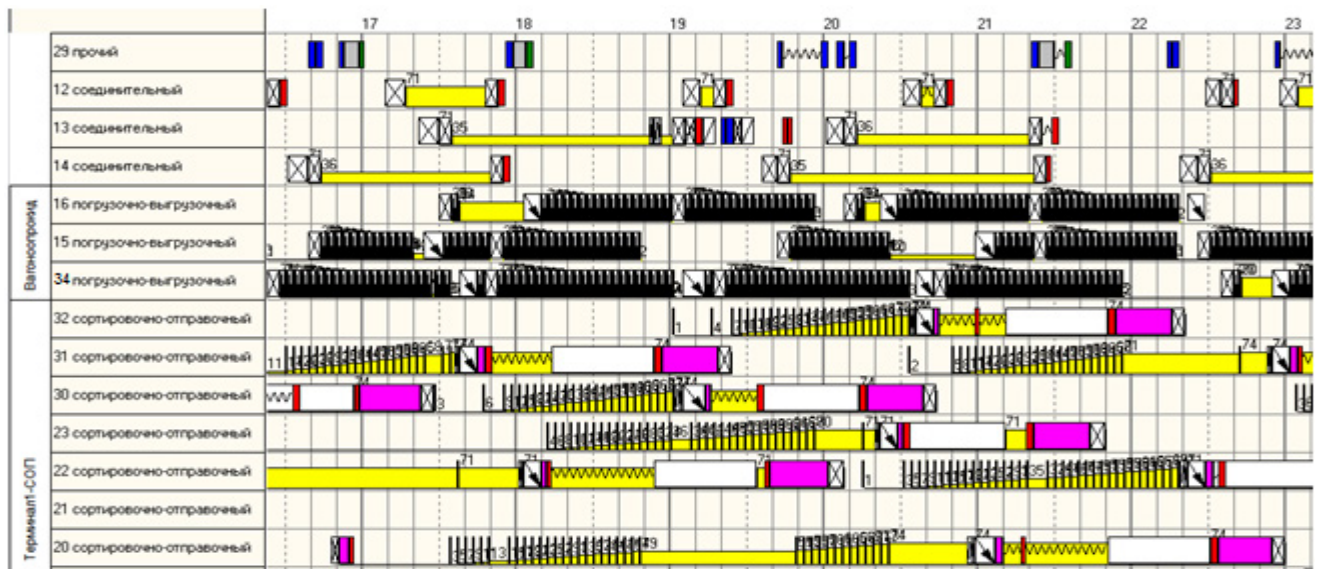


Рисунок П.19. Работа вагоноопрокидывателей

Таблица П.26. Занятость путей парка прибытия

название	графически	технологией	задержками	вагонами	в целом
10А п. парка Терминал1		0:25	0:08	23:28	24:00
9 п. парка Терминал1		9:55	3:14	9:50	22:59
26 п. парка Терминал1		9:17	3:00	8:19	20:36
27 п. парка Терминал1		7:20	2:33	6:09	16:02
1 п. парка Терминал1		9:43	1:29	3:40	14:52
2 п. парка Терминал1		5:34	1:58	3:06	10:38
7 п. парка Терминал1		3:48	0:28	1:57	6:14
3 п. парка Терминал1		2:24	0:53	1:52	5:09
4 п. парка Терминал1		1:52	0:29	1:52	4:12
8 п. парка Терминал1		1:39	0:15	1:13	3:07
28 п. парка Терминал1		0:43	0:10	1:37	2:30
VI п. парка Терминал1		0:11	0:04	0:00	0:15

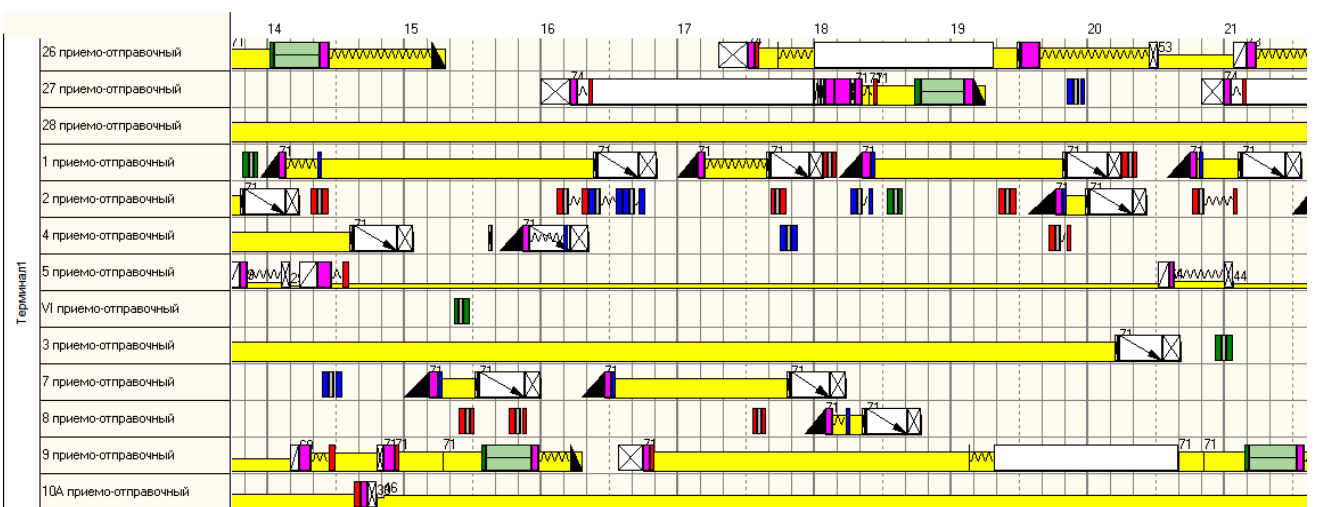


Рисунок П.20. Работа парка прибытия

Выводы и рекомендации

В существующих условиях эксплуатации максимальная перерабатывающая способность железнодорожной инфраструктуры за средние сутки составляет: в зимний период 900 вагонов; в летний период – до 1300 вагонов. При добавлении шестого маневрового локомотива и увеличении штата ПТО (на 2 человека в смену) в летний период возможно увеличение объема переработки до 1400 вагонов в сутки. «Узкими местами» являются вагоноопрокидыватели. Годовые объемы выгрузки приведены в таблице П.27.

Таблица П.27. Перерабатывающая способность ж.д. инфраструктуры при существующих схеме путевого развития и технологии работы

при работе	объем выгрузки, млн.т в год	
	при формировании маршрутов	без формирования маршрутов
5 локомотивов и существующий штат ПТО	26,5	28,3
6 локомотивов и увеличенный штат ПТО	28,8	30,2

После проведения первого этапа реконструкции максимальная перерабатывающая способность за средние сутки составит: в зимний период – 1450 вагонов); в летний период – до 1540 вагонов. Увеличить количество формируемых маршрутов не удастся из-за ограниченного путевого развития парка отправления. «Узкими» местами в зимний период эксплуатации являются вагоноопрокидыватели, а в летний – пути парка отправления. Годовые объемы выгрузки приведены в таблице П.28.

Таблица П.28 – Перерабатывающая способность после реконструкции 1 этапа

при работе	объем выгрузки, млн.т в год	
	при формировании маршрутов	без формирования маршрутов
6 локомотивов	33,5	35,3
7 локомотивов	37,4	38,9

После проведения второго этапа реконструкции максимальная перерабатывающая способность за средние сутки составит: в зимний период – 1500 вагонов; в летний период – до 1850 вагонов. Количество формируемых маршрутов после проведения реконструкции возможно увеличить до 13 за средние сутки. «Узкими» местами в зимний период эксплуатации являются вагоноопрокидыватели, а в летний – пути парка прибытия. Годовые объемы выгрузки приведены в таблице П.29.

Таблица П.29. Перерабатывающая способность после реконструкции 2 этапа

при работе	объем выгрузки, млн.т в год	
	при формировании маршрутов	без формирования маршрутов
8 локомотивов	42,4	44,0
9 локомотивов	43,4	45,3

На третьем этапе реконструкции проектом предусматривается строительство трех дополнительных путей в парке прибытия. Эксперименты показали, что вместо трех дополнительных путей достаточно построить только один. Максимальная перерабатывающая способность за средние сутки составит: в зимний период – 1500 вагонов; в летний период – 2000 вагонов. Для переработки таких объемов потребуются 9 маневровых локомотивов. «Узкие» места в зимний период эксплуатации – вагоноопрокидыватели, в летний – четная горловина станции. Годовые объемы выгрузки приведены в таблице П.30.

Таблица П.30. Перерабатывающая способность после реконструкции 3 этапа

при работе	объем выгрузки угля, млн.т в год	
	при формировании маршрутов	без формирования маршрутов
8 локомотивов	44,7	46,0
9 локомотивов	46,0	47,3

На рисунке П.21 приведена этапность увеличения перерабатывающей способности и перечислены необходимые для реализации мероприятия.

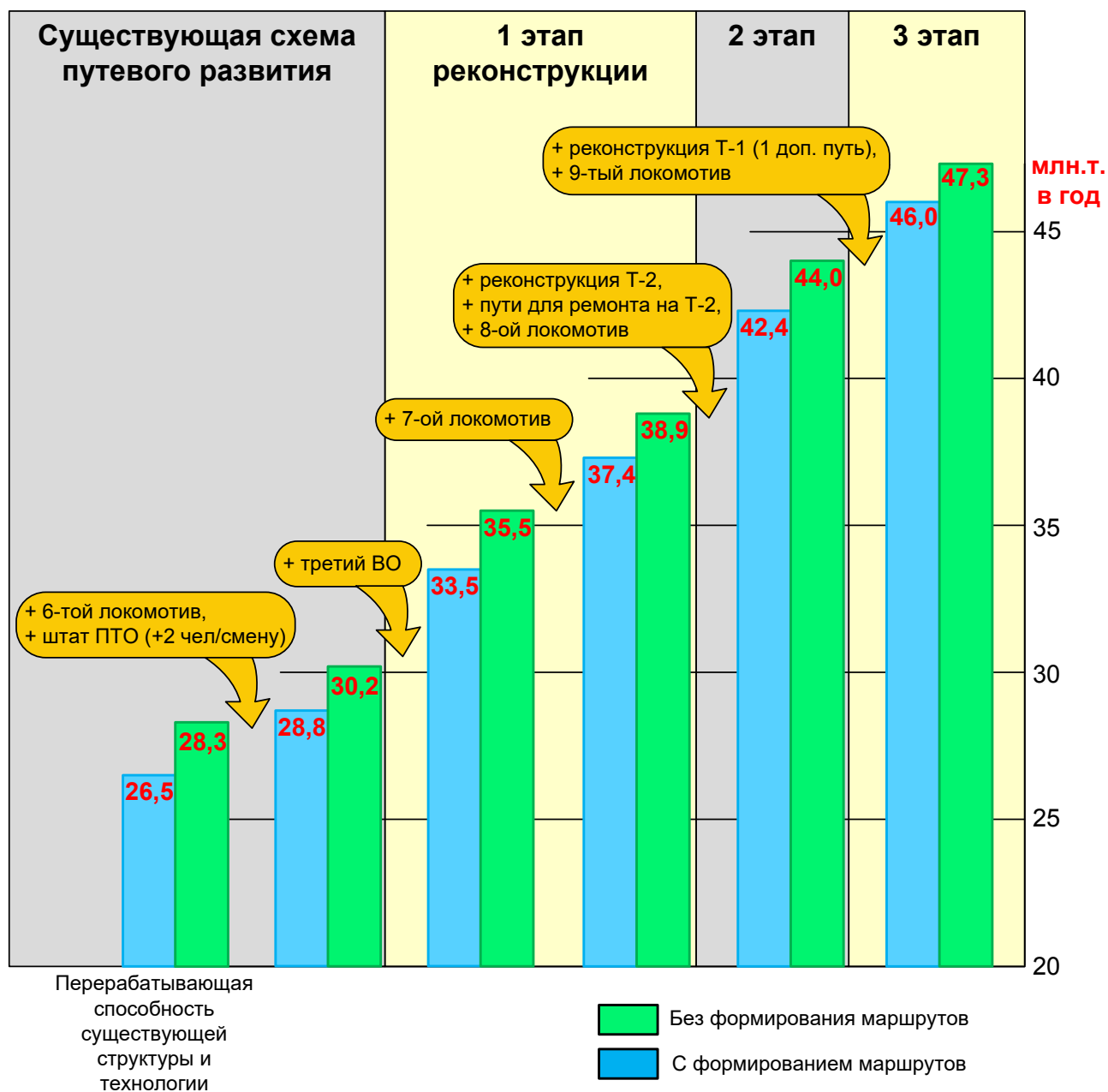


Рисунок П.21. Этапность увеличения перерабатывающей способности

Таким образом, для достижения проектной перерабатывающей способности необходимо выполнить реконструкцию в соответствии с проектом по варианту №1 за исключением строительства трех дополнительных путей в парке прибытия. Потребуется так же увеличить штат ПТО (на 2 человека в смену) и организовать работу восьми маневровых локомотивов.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б


Акт внедрения результатов работы



Юридический адрес: Новорязанская ул., 24, Москва, 105066
Телефон/факс: (499) 262-8996/262-8231 • e-mail: iedt@iedt.ru • e-mail cemu РЖД: iedt@iedt.com.rzd
ИНН/КПП 7709859170/770101001, Р/сч. 40702810200160000496, БИК 044525187, кор.сч. 30101810700000000187 в ПАО Банк ВТБ

07.12.2020 № 07-19/82
На № _____ от _____

Утверждаю:
Зам. генерального директора
АО «ИЭРТ»,
кандидат технических наук
В.В. Панин
_____ 2020 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Колокольников Виталия Сергеевича на тему: «Структурно-функциональная
оптимизация полигонов на сети железных дорог»

В АО «ИЭРТ» принято в промышленную эксплуатацию Программное обеспечение имитационного моделирования работы железнодорожных направлений и узлов ИМ ЖНУ (акт №2 от 30.10.2017, акт №2 от 09.11.2018, акт №2 от 29.11.2019).

Основным назначением ИМ ЖНУ является макро моделирование полигонов железнодорожной сети для автоматизации работ по технологическому обоснованию развития железнодорожной инфраструктуры на предпроектных стадиях и повышения корректности результатов.

В автоматизированной системе ИМ ЖНУ применены результаты диссертационного исследования В.С. Колокольников, выполненного на тему «Структурно-функциональная оптимизация полигонов на сети железных дорог», включающие в себя:

методологию и алгоритмы макро моделирования работы участков, станций, железнодорожных узлов, а также полигонов железнодорожной сети с произвольной топологией, конфигурацией и мощностью транспортных потоков;

технологии имитационного моделирования больших полигонов железнодорожной сети с оптимизацией технологии организации и продвижения поездопотоков.

Опыт применения ИМ ЖНУ при обосновании вариантов развития Северного широтного хода, Санкт-Петербургского и Барнаульско-Алтайского узлов, направления Дмитров – Сонково – Мга, перспективной

технологии организации движения на полигонах сети подтверждает возможность повышения обоснованности решений по развитию железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов во взаимоувязке с технологией эксплуатационной работы и тягового обслуживания.

Начальник отдела
автоматизированного управления
транспортными потоками,
кандидат технических наук



С.Л. Щепанов

Начальник отдела
технологического обеспечения
автоматизированных систем



Д.В. Рубцов