

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО УРГУПС)

На правах рукописи



Слободянюк Инна Геннадьевна

**ТЕХНОЛОГИЯ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами
перевозок (технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук
Тушин Николай Андреевич

Екатеринбург – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. Анализ практических задач и методов расчета станций и транспортных узлов	10
1.1 Изменение условий работы транспортных узлов в рыночной экономике .	10
1.2 Основные задачи развития транспортных узлов.....	14
1.3 Анализ существующих методов расчета станций и транспортных узлов..	25
Выводы к главе 1	33
Глава 2. Теоретические основы макро моделирования железнодорожных станций и узлов.	34
2.1 Концепция моделирования в теории принятия решений.....	34
2.2 Процесс построения модели.....	38
2.3 Выбор программы моделирования	44
2.4 Анализ построения автоматизированной имитационной модели.....	50
2.4.1 Технология моделирования горловин.....	59
2.4.2 Макро моделирование процессов.....	64
2.4.3 Технология моделирования парков.....	69
2.5 Методическое обоснование исследования.....	70
2.6 Структурно-функциональный анализ железнодорожных станций.....	50
2.6.1 О терминологии.....	50
2.6.2 Свойства системы	51
2.6.3 Системный анализ.....	51
2.6.4 Функция железнодорожной станции	52
2.6.5 Структурное взаимодействие	54
2.6.6 Функциональное взаимодействие	56

Выводы к главе 2	73
Глава 3. Определение функциональных свойств горловин в макро моделировании	74
3.1 Основной принцип	74
3.2 Станция Сортировочная Енакиевского металлургического завода.....	75
3.2.1 Структура и технология работы	75
3.2.2 Функциональные свойства горловин	79
3.3 Сортировочная станция Карымская Забайкальской железной дороги	84
3.3.1 Структура и технология	84
3.3.2 Функциональные свойства горловин	87
3.4 Сортировочная станция Каменск-Уральский Свердловской железной дороги	94
3.4.1 Структура и технология	94
3.4.2 Функциональные свойства горловин	97
3.5 Грузовая станция Курган Южно-Уральской железной дороги	100
3.5.1 Функциональные свойства горловин	100
3.6 Пассажирская станция Екатеринбург-пассажирский Свердловской железной дороги	106
3.6.1 Структура и технология	106
3.6.2 Функциональные свойства горловин	107
Выводы к главе 3	112
Глава 4. Макро моделирование парков путей.....	113
4.1 Функциональная емкость парков путей.....	113
4.2 Определение функциональных свойств парков для транзитного потока без переработки.....	115

4.2.1	Нечетный транзитный парк станции Курган	115
4.2.2	Четный транзитный парк станции Курган.	117
4.2.3	Нечетный транзитный парк станции Карымская.....	118
4.2.4	Четный транзитный парк Б станции Карымская	119
4.2.5	Четный транзитный парк Д станции Карымская.....	120
4.2.6	Транзитный парк станции Енакиево.	121
4.3	Определение функциональных свойств парков приема.....	122
4.3.1	Парк приема станции Курган.....	122
4.3.2	Парк приема станции Карымская.....	123
4.3.3	Нечетный парк приема станции Дема.....	124
4.3.4	Четный парк приема станции Дема.....	125
4.3.5	Нечетный парк приема станции Екатеринбург.....	126
4.3.6	Четный парк приема станции Екатеринбург.....	128
4.4	Определение функциональных свойств парков формирования	129
4.4.1	Парк формирования станции Курган.....	129
4.4.2	Парк формирования станции Карымская	130
4.4.3	Парк формирования станции Енакиево	131
4.4.4	Нечетный парк формирования станции Дема.....	132
4.4.5	Четный парк формирования станции Дема	133
4.4.6	Нечетный парк формирования станции Екатеринбург	134
4.4.7	Четный парк формирования станции Екатеринбург	135
4.5	Определение функциональных свойств парков отправления.....	137
4.5.1	Парк отправления станции Дема.	137
4.5.2	Нечетный парк отправления станции Екатеринбург.....	138
4.5.3	Четный парк отправления станции Екатеринбург.....	139

4.6	Технология определения функциональной емкости парков путей.....	140
4.7	Отображение процесса накопления составов в сортировочных парках...	142
4.7.1	Парк формирования станции Карымская.....	143
4.7.2	Нечетный парк формирования станции Дема.....	145
	Выводы к главе 4.....	155
	Глава 5. Сравнительный анализ двух видов моделирования.....	156
5.1	Построение схемы и технологии объекта моделирования.....	156
5.1.1	Структурная схема объекта.....	156
5.1.2	Схема технологического процесса.....	160
5.2	О корректности работы макромоделей.....	162
5.3	Влияние загрузки стрелочных зон на задержки.....	165
5.4	Показатели переработки потоков.....	166
5.5	Показатели взаимодействия структуры и потока.....	168
5.6	Графики исполненной работы.....	169
	Выводы к главе 5.....	174
	Заключение.....	175
	Список литературы.....	176

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы и степень ее разработанности

В современных условиях повышается роль экономических критериев, поэтому уделяется все большее внимание совершенствованию методов оценки проектов. Об этом говорится и в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [1]: для обеспечения экономической эффективности необходимо «проведение имитационной экспертизы инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры (в особенности крупных транспортных узлов), создание имитационных систем, ... комплексное исследование на моделях функционирования проектируемых транспортных объектов с выдачей их реальной пропускной способности, "узких мест" и показателей работы». Наилучшим методом оценки такого рода проектов является имитационная экспертиза, то есть исследование проектируемого объекта на подробной имитационной модели [2]. К настоящему времени был накоплен значительный опыт моделирования железнодорожных станций [2]. Однако даже в транспортных узлах, где станции работают в тесном взаимодействии и существенно влияют друг на друга, они зачастую рассчитывались на моделях обособленно, так как строить подробную модель всего узла, представлялось проблематичным.

В диссертации предлагается технология макро моделирования станций и узлов, которая позволяет получать содержательные результаты и оценивать проекты развития крупных железнодорожных объектов в целом.

В качестве **объекта исследования** выбраны железнодорожные станции. На их базе проводится сравнительный анализ подробных и укрупненных моделей.

Предметом исследования является технология расчета железнодорожных станций на укрупненных моделях.

Целью исследования являлась разработка принципов укрупненного отображения структуры и технологии транспортных объектов, служащих основанием для создания имитационной системы, а также разработка технологии макро моделирования.

Задачи исследования. Для реализации цели потребовалось решить

следующие задачи:

- предложить новый, отличный от структурного, способ отображения железнодорожных станций в имитационной модели;
- установить способ отображения пропускной способности горловин и парков станций в имитационной макромодели;
- выполнить расчеты на подробных имитационных моделях предельной функциональной емкости различного типа парков путей;
- определить зависимости темпа накопления готовых составов в сортировочных парках от уровня их заполнения;
- разработать методику отображения технологических процессов в укрупненной имитационной модели;
- проверить технологию имитационного макромоделирования путем сравнения результатов работы подробных и укрупненных моделей одних и тех же станций.

Научная новизна исследования. В диссертации впервые разработаны принципы и технология макромоделирования крупных объектов железнодорожного транспорта, на основе которых можно строить имитационные системы макромоделирования. В том числе:

- разработан принцип функционального описания параметров структурных элементов железнодорожных станций, заменяющий непосредственное отображение физической структуры при построении укрупненной модели;
- предложен новый термин «виртуальный канал», отражающий число возможных параллельных передвижений;
- сформулирована и обоснована гипотеза об уровне загрузки горловины на основе числа занятых виртуальных каналов;
- разработаны методические основы расчета предельной функциональной емкости парков различных типов для использования в укрупненной модели вместо их физической вместимости;
- разработана технология построения технологических операций и элементарных процессов в укрупненной модели;

– определен характер выдаваемых результатов, обладающих необходимой информативностью для целей макро моделирования.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке технологии макро моделирования железнодорожных станций и узлов на основе функционального способа описания их структуры, укрупненного отображения технологии. Это является вкладом в теорию имитационного моделирования на транспорте.

Практическая значимость. Разработанная в диссертации технология макро моделирования дает возможность содержательно оценивать проекты развития транспортных узлов и проводить имитационные эксперименты по совершенствованию их структуры и технологии в более короткие сроки и с меньшими трудозатратами.

Методология исследования базируется на использовании аппарата оптимизации, теории принятия решений, теории случайных процессов, теории множеств и методологии имитационного моделирования.

Методической основой явились труды ведущих учёных отрасли в области расчёта транспортных систем, технологии работы транспорта и методов их моделирования В.М.Акулиничева, А.Э.Александрова, В.И.Апатцева, А.П.Батурина, А.Ф.Бородина, Н.П.Бусленко, И.П.Владимирской, Ю.В.Дьякова, Ю.И.Ефименко, П.А.Козлова, В.А.Кудрявцева, О.В.Осокина, В.А.Персианова, В.Ю.Пермикина, Н.В.Правдина, С.М.Резера, А.Н.Рахмангулова, Е.А.Сотникова, И.Б.Сотникова, Е.Н.Тимухиной, Н.А.Тушина, В.А.Шарова, а также разработки ведущих научных организаций отрасли.

Результаты исследования, выносимые на защиту:

- принцип функционального описания параметров структурных элементов железнодорожных станций;
- способ задания функциональных возможностей горловин парков на основе числа возможных передвижений;
- способ расчета предельной функциональной емкости парков путей различного типа;

- способ определения зависимости темпа накопления готовых составов в сортировочных парках от уровня их заполнения;
- технология построения технологических операций и элементарных процессов в укрупненной модели.

Степень достоверности исследования и апробация результатов, выводов и рекомендаций подтверждается логичным построением процесса исследования, корректным использованием математических методов и оптимизирующих процедур, а также экспериментальными расчётами и внедрением результатов исследования в практику.

Основные положения и результаты диссертации обсуждались и были одобрены на заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» 10 октября 2018 года. и на научно-практических конференциях: «Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования» (Екатеринбург, 2017), «Современные концепции научных исследований» (Москва, 2014), Современные реалии, тренды и инновации в управлении бизнес-процессами на транспорте (Москва, 2014), Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом (Москва, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 3 – в ведущих изданиях, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

Структура и объём диссертации. Работа содержит 184 страницы машинописного текста, включая 121 рисунок и 40 таблиц. Структура диссертации включает: введение, 5 глав основного текста, заключение, список использованной литературы (102 наименования).

Глава 1. Анализ практических задач и методов расчета станций и транспортных узлов

1.1 Изменение условий работы транспортных узлов в рыночной экономике

Транспортным узлом называется комплекс транспортных устройств в пункте стыка нескольких видов транспорта, совместно выполняющих операции по обслуживанию транзитных, местных и городских перевозок грузов и пассажиров. Такое определение чаще всего встречается в литературе [4,5,6,7]. Транспортный узел понимается как совокупность транспортных процессов и средств для их реализации в местах стыкования двух или нескольких магистральных видов транспорта. Понятие транспортного узла включает собственно перевозочный процесс, технические устройства, средства контроля и управления. Транспортные узлы можно отнести к транспортным системам.

В состав транспортных узлов входят железнодорожные станции и подходы магистральных линий, морские порты и подходы к ним, речные порты, магистральные и местные автомобильные дороги, объекты промышленного транспорта, аэропорты, устройства городского транспорта. В подавляющем большинстве все узлы имеют железнодорожный транспорт. Железнодорожные узлы в перевозочном процессе занимают важное место. Они обеспечивают помимо перевалки грузов с одного вида транспорта на другой, переработку и обслуживание транспортных потоков, выполнение пассажирских операций, ремонт подвижного состава, экипировку, хранение грузов и транспортно-экспедиционное обслуживание грузовладельцев. В узлах выполняется более 60% местной работы, обслуживается более 50% отправляющихся пассажиров и производится более 40% общей переработки вагонов [7]. Это в свою очередь влияет на оборот вагона. Поэтому проблемам, связанным с реконструкцией и развитием железнодорожных узлов, необходимо уделять повышенное внимание.

Железные дороги испытывают затруднения в пропуске вагонопотоков из-за недостаточного развития и слабой технологической связанности станций и узлов. Анализ графиков исполненного движения [8], проведенный на Московской,

Горьковской, Октябрьской и Северо-Кавказской железных дорогах, показал, что продвижение поездопотоков замедляется на участках, примыкающих к сортировочным станциям крупных узлов. Причинами являются неравномерность подхода, низкие темпы обработки составов на станционных технологических линиях, нерациональная развязка поездопотоков, высокая загрузка выходных участков пригородным движением. Не устранены задержки поездов по неприему станциями, несмотря на снижение загрузки их мощности до 60-70% от технически допустимых уровней [8].

Технология и управление пропуском вагонопотоков отстает от требований экономики и уровня развития информационных систем. Несмотря на использование АСОУП и системы ДИСПАРК, вагонные парки и показатели работы продолжают учитываться на отчетный час. Интенсивность обмена поездами увеличивается в конце отчетных периодов. При этом нередко образуются пакеты из 3-5 грузовых поездов. По прибытии на станцию последние поезда такого пакета породят длительные простои вагонов в ожидании обработки, локомотивов и бригад из-за отсутствия потребности. Анализ графиков движения поездов Октябрьской и Северной железной дорог показал, что в последней четверти отчетных суток наблюдается резкая интенсификация как сдачи, так и приема поездов по станции Кошта, в отдельные сутки обмен поездами с 12 до 18 часов приближается к 50% суточной передачи. В свою очередь сгущение поступления поездов по станции Кошта приводит к увеличению интенсивности подвода поездов к станции Волховстрой 1 в период с 0 до 6 часов, но именно в эти часы через станцию проходит большинство пассажирских поездов, которые задерживают грузовые, следующие по диспетчерским расписаниям. Похожие проблемы отмечены при анализе причин увеличения норм простоя транзитных вагонов на сортировочной станции Каменск-Уральский. Сгущенный подвод поездов в переработку составляет за трехчасовой период 40% от всего объема поступлений. Кроме того, моменты окончания формирования поездов совпадают с занятием приемоотправочных парков транзитом, запланированным к сдаче. По причине приоритета приема транзитных поездов без переработки, сформированные на

станции поезда простаивают в ожидании освобождения путей в парке отправления. Приведенные примеры демонстрируют существенное влияние технологий и неравномерности потоков на показатели работы узлов.

В последние два десятилетия на условия работы узлов и станций влияли следующие факторы:

- сокращение путевого развития ряда станций, упрощение станционных схем с разборкой стрелочных съездов и снижением маневренности горловин;
- усложнение управления вагонным парком из-за раздела грузовых вагонов и изменения условий эксплуатации на сети железных дорог СНГ, в том числе более дифференцированная подборка вагонов в состав формируемых поездов;
- объявление списка грузов, подлежащих сопровождению и охране, и необходимость отдельной подборки вагонов с такими грузами;
- ввод новых требований ПТЭ, в том числе расширение перечня запрещенных к роспуску вагонов;
- снижение стабильности вагонопотоков, связанное с изменениями в экономике;
- рост доли топлива в общих затратах на маневровую работу;
- введение нового прейскуранта 10-01 и предоставление скидок с тарифа на групповые и маршрутные отправки и, соответственно, увеличение потребности в дополнительном путевом развитии и маневровой работе;
- разворот экспортных потоков с западного направления на восточное и увеличение непропорциональности загрузки сети;
- организация тяжеловесного движения, пропуск поездов по твердым ниткам графика и необходимость беспрепятственного приема поездов в узел в меняющихся условиях эксплуатации.

Все перечисленные факторы заставляют совершенствовать подходы к задачам выбора вариантов использования мощностей транспортных узлов.

Передача вагонных парков собственникам и операторам сопровождалась как ростом числа операторов, так и увеличением общего количества вагонов на сети. Это привело к появлению технологически излишнего парка и ухудшению эксплуатационных показателей в 2013-2015 (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Вагонные парки в период профицита вагонов

По оценкам РЖД, излишний парк приводил к дополнительной передаче 9 тыс. порожних вагонов в сутки (500 поездов в движении). Количество отставленных от движения организованных поездов с порожними вагонами в феврале 2013 года достигло 1400. На 1024 станциях на эту величину были исключены из технологии приемоотправочные пути. Снижение коэффициента сдвоенных операций (2007г – 1,2, 2013г – 1,05) вызывало дополнительный подвод 1000 порожних вагонов на станции погрузки, 45 тыс. вагонов в сутки на рейсе, 30 тыс. переработок в пути следования. Количество маневровых передвижений увеличилось в 8-10 раз, что привело к росту затрат времени на маневровую работу с 0,5 часа до 3,5 часов. Указанные тенденции не могли не сказаться на работе станций и узлов. Оборот вагона с 2007 по 2013 год вырос на 6 суток.

Технический регламент Таможенного союза [9] и запрет на курсирование грузовых вагонов с продленным после 1 января 2016 года сроком службы развернули рыночную ситуацию. По данным института проблем естественных монополий, произошло сокращение парка в 2014 – 2016 году на 11,5%. Парк в 2015 году составил 1154 тыс. вагонов, а в 2016 году – 1093 тыс. вагонов.

Технологический профицит сменился на технологический дефицит. При этом порядка 100 тыс. вагонов простаивают на сети из-за отсутствия средств на текущий ремонт у операторов. Снижение излишнего парка, улучшение ряда эксплуатационных показателей позволяют снизить оборот вагона. Вместе с тем растет средняя дальность перевозки и ухудшается ситуация с простоями на станциях погрузки-выгрузки. Взаимное действие разнонаправленных факторов позволило снизить оборот только на 1 сутки.

Возникший динамический рынок оперирования вагонами сформировал дополнительные требования к работе станций и узлов. Появилась совершенно новая функция путевого развития станции – обслуживание отдельных перевозчиков. Необходимые для этого технологические резервы мощности и емкости парков требуют детальных исследований. Открыт вопрос, где лучше развивать путевое развитие? В пунктах погрузки, выгрузки или в пунктах обработки и концентрации транзитных вагонов, где проще применять регулировочные меры?

1.2 Основные задачи развития транспортных узлов

Значительные изменения в технологии организации и пропуске вагонопотоков требуют значительной реконструкции. В новых условиях на первый план выходят рациональное использование инфраструктуры, ускорение темпов ее обновления и развития. Работа с полностью приватным парком грузовых вагонов определяет новые подходы к развитию и размещению сортировочных станций [10]. Центральной дирекцией управления движением совместно с ОАО «ИЭРТ», НИИАСом были определены приоритетные объекты программы совершенствования работы и развития сортировочных станций на 2007-2020гг с выделением в отдельный проект 15 сортировочных станций. Комплексная реконструкция станций предусматривает механизацию и автоматизацию сортировочных горок, строительство и изменение приемоотправочных и сортировочных парков, модернизацию освещения и связи, укрепление технической базы эксплуатационных депо с оснащением их устройствами автоматизированного

контроля подвижного состава, внедрение комплексов автоматизированного учета вагонооборота с функциями распознавания и идентификации номеров вагонов, автоматизированной системы коммерческого осмотра поездов и вагонов, строительство путепроводов. При этом более 70% инвестиционных средств намечено направлять на усиление инфраструктуры станций для повышения их пропускной способности.

Необходимость дальнейшего развития и реконструкции транспортных узлов вызывается и традиционными факторами:

- увеличением размеров движения;
- строительством и примыканием новых линий;
- концентрацией пассажирских операций;
- строительством новых крупных предприятий и портов;
- развитием городов (Рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Факторы, влияющие на формирование транспортных узлов

Несмотря на экономические трудности прогнозы долгосрочного социально-экономического развития России предусматривают устойчивый рост. Минэкономразвития России прогнозирует среднегодовой прирост валового внутреннего продукта России в 2018 – 2025 гг. на уровне 2,5 – 5,3% в зависимости от сценария.

Развитие экономики России положительно отразится и на работе железнодорожного транспорта. Прогнозируется рост объемов грузовой работы на перспективу [1] (Рисунок 1.3), что подтверждается результатами исследования «Обоснование долгосрочных перспектив и разработка сценарного прогноза объемов перевозок грузов железнодорожным транспортом на период до 2030 года с использованием межотраслевых балансов», выполненного ОАО «РЖД» с привлечением ОАО «ИЭРТ», Института народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук, Совета по изучению производительных сил РАН.

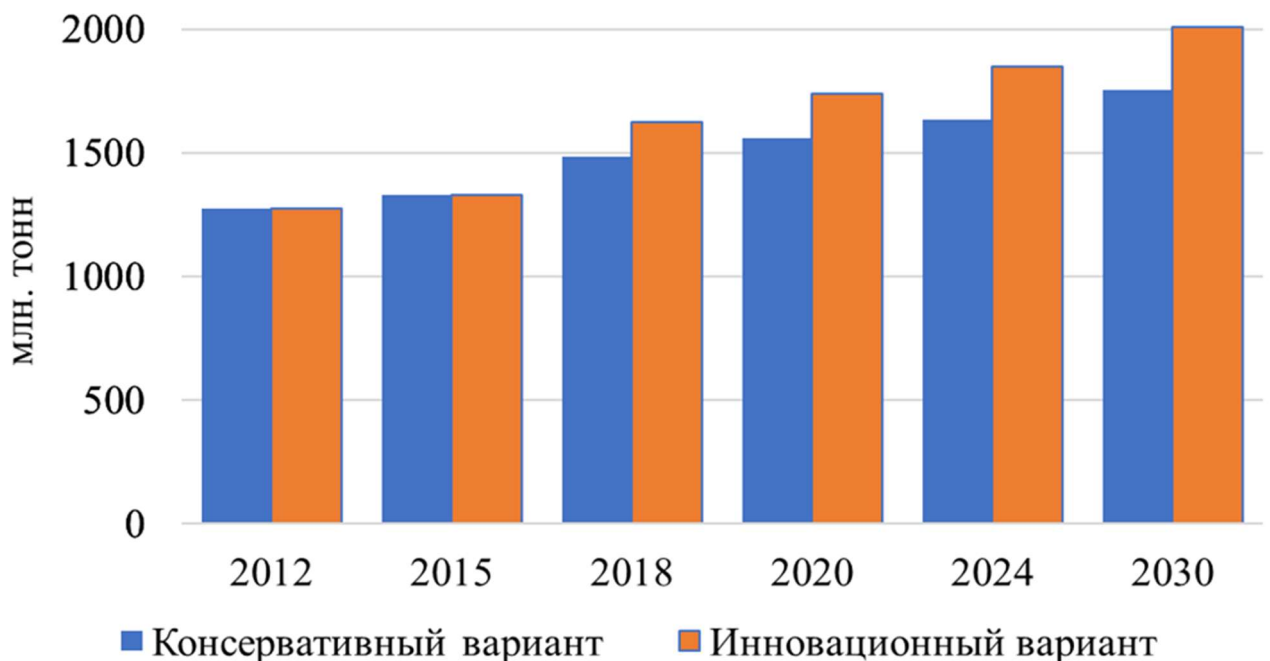


Рисунок 1.3 – Прогноз объемов перевозок

На основе данных об объемных показателях разработаны комплексные мероприятия по развитию инфраструктуры и рассчитаны необходимые инвестиции для их реализации [11,12,13]. Перспективные объемы перевозок грузов (по

основным показателям грузовой работы) на перспективу оценивались по двум вариантам — минимальному и максимальному. По минимальному варианту, соответствующему консервативному (или энерго-сырьевому) сценарию развития экономики, объемы погрузки грузов по сети ОАО «РЖД» на 2018 г. определены в размере 1484 млн. т, грузооборот 2545 млрд. т-км, на 2020 г. соответственно 1558 млн. т и 2860 млрд. т-км. Максимальный вариант объемов грузовых перевозок соответствует инновационному сценарию развития экономики, формируемому в качестве целевого для экономической политики. Объемы погрузки по этому варианту на 2018 г. определены в размере 1621,4 млн. т, грузооборот -2779,8 млрд. т-км, на 2020 г. соответственно 1737,7 млн. т и 2978 млрд. т-км.

Для разработки перспективной загрузки сети ОАО «РЖД» учитывался максимальный вариант объемов грузовых перевозок, при котором потребуется соответствующее развитие пропускных способностей железнодорожной сети страны для своевременного удовлетворения транспортных потребностей экономики России.

На основании рассчитанных основных показателей грузовой работы определена загрузка сети перспективными грузовыми перевозками. Выделено 9 основных сечений сети, характеризующих наибольшую концентрацию грузоперевозок на ней на 2015 г. и 2020 г. По всем приведенным позициям размеры грузопотоков на расчетные сроки характеризуются ростом по отношению к предыдущему периоду. В перспективе прогнозируется значительное увеличение объемов перевозок на железнодорожных направлениях, обеспечивающих доставку грузов в морские порты страны, в связи с их интенсивным перспективным развитием, а также в регионах, характеризующихся концентрацией «точек роста» грузовой базы. С наибольшим приростом объемы грузопотоков складываются на подходах к Ванино-Совгаванскому транспортному узлу. По данным Дальневосточного ТЦФТО доставка угольной продукции увеличилась с 1,1 млн. тонн в 2008 году до 21,7 млн. тонн в 2015 году. Положительная динамика просматривается и на период с 2017 по 2025 год. Перевозки в адрес Ванино-Совгаванского узла могут достигать 83-86 млн. тонн, в 2030 году 100 млн. тонн.

Первые два этапа реконструкции линии Комсомольск-Совгавань по программе модернизации Восточного полигона до 2019 года оценивается в 6,1 млрд. рублей. В результате планируется реконструировать 24 станции. Третий и четвертый этап потребует 185 млрд. рублей, в результате провозная способность линии должна возрасти до 110 млн.тонн. На подходах к Северо-Западному региону планировалось увеличение против показателей 2011 года к 2015 году в 1,4, а к 2020 году в 1,7 раза. Но только за 2016 год по данным Центральной дирекции управления движением погрузка в порт Усть-луга возросла на 50%. Перевозки к Северному Кавказу планируется увеличить к 2020 году в 1,6 раза.

Таким образом, объемы грузовых и пассажирских перевозок определены с ростом к показателям отчетного периода.

Стратегия развития инфраструктуры и ликвидации «узких мест» предусматривает следующие направления реализации [12]. Во-первых, это интенсификация использования существующих основных фондов, в том числе внедрение тяжеловесного и длинносоставного движения грузовых поездов, увеличение переработки на основных сортировочных станциях, повышение скоростей движения ускоренных грузовых и пассажирских поездов, увеличение выработки на единицу маневровых операций. Во-вторых, обновление основных фондов по основным хозяйствам: движения, пути и сооружений, электрификации, СЦБ, связи и т.д. В-третьих, оптимальное перераспределение грузо- и пассажиро- потоков с учетом формирования преимущественно пассажирских и грузовых направлений. И, наконец, развитие самой инфраструктуры при полном исчерпании ее мощностей.

Мероприятия по развитию инфраструктуры предусматривается реализовывать с использованием принципа комплексных проектов. В числе наиболее значительных проектов:

- комплексная реконструкция участка Мга – Гатчина – Веймарн – Ивангород и железнодорожных подходов к портам на южном берегу Финского залива;
- усиление пропускной способности направления Волховстрой – Мурманск;

- развитие участка Коноша – Лабытнанги (при строительстве линии Надым – Салехард);
- комплексная реконструкцию участка Трубная – Верхний Баскунчак – Аксарайская;
- комплексная реконструкция участка им. М. Горького – Котельниково – Тихорецкая – Кореновск – Тимашевская – Крымская с обходом Краснодарского узла;
- развитие железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской магистрали (включая участок Комсомольск-на-Амуре – Советская Гавань);
- развитие участка Тайшет – Междуреченск;
- комплексная реконструкция участка Карымская – Забайкальск;
- реконструкция участка Тобольск – Коротчаево.

В целом по сети железных дорог ОАО «РЖД» на период до 2020 г. для освоения прогнозируемых объемов перевозок потребуется осуществить строительство 2,0 – 5,1 тыс. км дополнительных главных путей, оборудование 800 – 1480 км участков автоблокировкой, электрификацию 1350 км линий [13].

Увеличение объемов работы, общая реконструкция линии, изменение плана организации вагонопотоков требуют рационализации как сортировочных станций, так и рационализацию схемы всех транспортных узлов и изменения характера их работы.

В соответствии с инновационным вариантом ожидается неуклонный рост общего объема пассажиропотока со среднегодовым темпом прироста в период до 2020 года 2,2%. В целях снижения затрат, связанных с ликвидацией узких мест в пропускной способности железнодорожных направлений, были проработаны предложения по перераспределению грузопотоков. Анализ [11,12] перспективной загрузки железнодорожных направлений показал, что на ряде участков будет иметь место чрезмерная концентрация грузовых перевозок при значительных размерах движения пассажирских поездов. При этом имеющиеся мощности там практически исчерпаны. Вместе с тем на сети железных дорог имеются параллельные

направления с резервами пропускной способности как с высокой (например, Казанский ход), так и с низкой технической оснащённостью (Сонковский ход). Перераспределение грузопотоков на параллельных ходах намечено, к примеру, между Пермским и Казанским, Волховстроевским и Сонковским, Кропачевским и Бугульминским направлениями, Транссибом и Средсибом на Западно-Сибирской железной дороге. Генеральной схемой предусматривается также формирование преимущественно пассажирских направлений Москва - Санкт-Петербург, Москва – Нижний Новгород, Москва – Адлер с использованием Курского хода, Омск – Новосибирск, международных сообщений между Москвой и Минском, Киевом. На перспективу до 2020 г. предусматриваются два комплекса программных мероприятий, направленных на повышение скоростей движения на железнодорожном транспорте:

- организация высокоскоростного движения на специализированных магистралях со скоростями до 350 – 400 км/ч на направлениях Москва – Санкт – Петербург, Москва – Нижний Новгород – Казань;

- организация скоростного движения между крупными региональными центрами на существующей железнодорожной инфраструктуре с максимальной скоростью 160-200 км/ч на направлениях Москва – Суземка (с дальнейшим продлением до Киева), Москва – Ярославль и Москва – Красное (с дальнейшим продлением до Минска и далее в Европу).

Реализация проектов строительства высокоскоростных магистралей, помимо организации движения поездов, позволит в перспективе переключить часть тяготеющего к магистрали пассажирского поездопотока в дальнем следовании с существующих линий на высокоскоростную магистраль с высвобождением части пропускной способности линий для перевозки грузов. С точки зрения развития узлов проекты строительства высокоскоростных магистралей формируют новые требования к развязке подходов и специализации станций.

С точки зрения нового строительства приоритетные проекты – это Северный широтный ход (Салехард – Надым), а также строительство обходов

Краснодарского и Саратовского узлов [14]. Развитие экономики страны, особенно Западносибирского нефтегазового комплекса, Дальневосточного экономического региона, севера Уральского региона, Нижнего Приангарья определяет необходимость реконструкции и строительства крупных промышленных предприятий, комбинатов, угольных разрезов (Таблица 1.1). Для обслуживания таких промышленных центров возникает необходимость развития действующих или строительство новых узлов (Рисунок 1.4). В них неизбежно требуется строительство сортировочных и специальных промышленных станций. Следовательно, необходимы методы расчета транспортных узлов, учитывающих взаимодействие на стыке производство-транспорт.

Таблица 1.1 – Планируемый ввод мощностей по добыче угля

Группа/холдинг	Предприятие	Прирост мощностей, тыс. тонн
Мечел	Эльгинское месторождение	2000
Стройсервис	уч. Березовский-Восточный	1700
МПО «Кузбасс»	шахтоуправление Анжерское	325
МПО «Кузбасс»	шахта Сибирская	4000
МПО «Кузбасс»	шахта Алексеевская	1000
Энергоуголь	разрез Подгорный	200
Интауголь	шахта Интинская	750

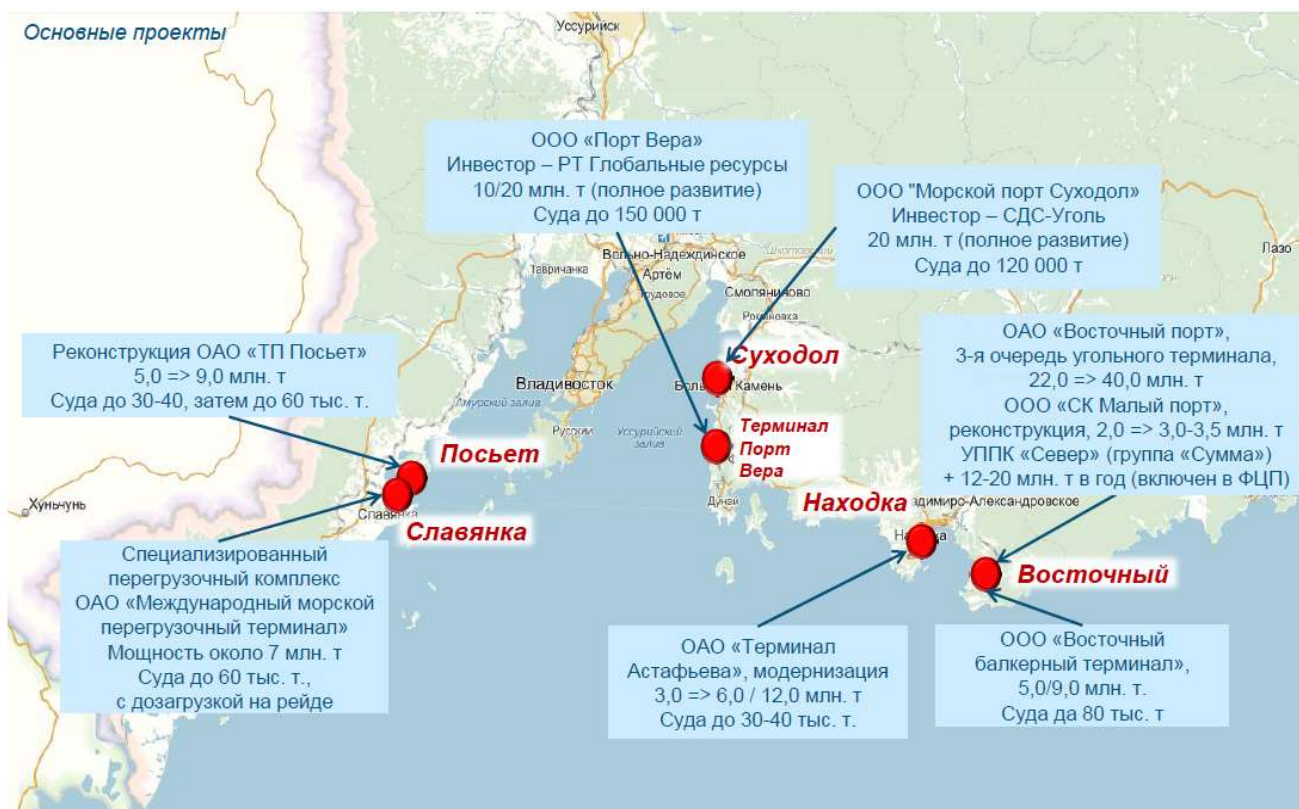


Рисунок 1.4 – Основные проекты развития и строительства узлов

Развитие экспортного потенциала страны и международных транспортных коридоров повлекло масштабные проекты развития портов и подходов к ним. Целесообразное размещение предпортовой сортировочной станции, районных парков порта, обеспечение слаженного взаимодействия, расчет технических и технологических параметров являются особенностями проектирования узлов, обслуживающих морские и речные порты. Очень важно обеспечить слаженное взаимодействие железнодорожных узлов с другими видами транспорта. Однако часто этим проблемам не придается должного значения. Стык между железнодорожным и морским транспортом можно назвать «узким местом» в транспортной системе. В пиковые периоды ежедневно на подходах к припортовым станциям ожидают приема сотни поездов, а на перегрузочных комплексах простаивают тысячи вагонов в ожидании перегрузки. Основными причинами нестабильной работы транспортных узлов, обслуживающих порты, можно назвать [15, 16]:

- несоответствие уровня технического развития портовых мощностей объему экспортно-импортных перевозок, это сдерживает уровень выгрузки вагонов;
- использование «складов на колесах», когда выполняется хранение груза в подвижном составе, при несогласованных ритмах подвода;
- недостаточное количество складских площадей из-за не рациональных логистических схем отгрузки груза для дальнейшей реализации покупателям;
- ожидание наилучшей конъюнктуры рынка, когда трейдеры извлекают максимальную прибыль и приводят своими действиями к сбоям в технологии работы железнодорожного транспорта;
- несогласованные ритмы работы разных видов транспорта, несоблюдение графиков подвода судов в порты, несоответствие тоннажа и отсутствие контроля за вывозом грузов со стороны Минтранса России;
- несогласованность действий руководства припортовых дорог, портов и стивидорных компаний;
- отсутствие современных логистических технологий, обеспечивающих стабильную работу в сложных погодных условиях портовых мощностей;
- нехватка пропускной способности припортовых станций, спроектированных в советское время, когда доля экспорта была больше. Расположение парков прибытия, сортировки и отправления не соответствует структуре потоков;
- завышенные планы погрузки портами, превышающие перерабатывающие мощности, что приводит к накоплению вагонов в транспортных узлах.

Приоритетным направлением совершенствования технологии перевозок грузов и пассажиров на стыке различных видов транспорта является формирование сети мультимодальных транспортно-логистических центров. Повышение эффективности взаимодействия в этом сегменте в значительной степени позволит реализовать перспективные объемы перевозок и обеспечить экспортный потенциал страны [11,17].

Важной задачей является разработка генеральных схем развития узлов в увязке с планировкой городов, их перспективного роста и образования городов-спутников. В среднесрочной и долгосрочной перспективе значительное развитие получают агломерации, что соответствует государственной политике и требует развития транспортной инфраструктуры как необходимого условия их функционирования. Основным требованием к развитию транспортных узлов является безусловное подчинение будущего развития всех элементов и подсистем узла достижению стратегической цели – стабильности и постоянного улучшения качества жизни всех слоев населения. Социально-целевая установка становится определяющей в развитии агломераций. Меняющаяся градостроительная обстановка и ужесточение требований по охране окружающей среды становятся факторами, определяющими направление развития узлов. Проблема рационального использования и функциональной организации городской территории является одной из наиболее острых. Значительные территории, особенно в центральной части городов, заняты объектами и сооружениями, размещение которых противоречит интересам развития города. В Екатеринбургском узле к числу таких объектов относятся: сортировочная станция Екатеринбург-Сортировочный, грузовая станция Екатеринбург-Товарный, вспомогательная сортировочная станция Шарташ, первый район АО «Уралпромжелдортранс» на станции Аппаратная.

Новая функционально-планировочная структура производственных территорий предусматривает выделение зон различной степени их трансформации, а также полифункциональных «контактно-стыковых зон». Объекты транспорта рассматриваются в составе зон стабилизации, частичной и полной трансформации. В зоне стабилизации предполагается сохранение основного функционального назначения и планировочной структуры производственных территорий. Здесь располагается и большинство объектов транспорта. Реорганизация предприятий, находящихся в этих зонах, заключается в технологической модернизации, упорядочении границ предприятий, создании условий для прокладки новых транспортных коридоров. В зоне полной трансформации производится полное

изменение функционального назначения территории, производственные функции переходят в непроизводственные. Железнодорожные станции и объекты подлежат выносу, а освобождаемая территория используется под деловую и жилую застройку.

Повышение роли экономических критериев требует новых методических и организационных решений. Большое внимание уделяется методике оценки проектов и определению оптимальной последовательности производства работ [18,19]. На основе этапной оптимизации технических и эксплуатационных параметров корректируются проектные решения во времени и в пространстве. Жесткие требования выдвигаются к срокам проведения оценки. Концептуальные решения должны быть выработаны и согласованы за очень короткий промежуток времени (2-4 месяца).

Возрастание стоимости модернизации инфраструктуры повышает риски ошибок. Снижение же стоимости проектируемых станций и узлов на 5-10% может дать экономию в несколько миллиардов рублей. Целесообразность применения процедуры оптимизации параметров станций определяется риском перерасхода средств при эксплуатации в неоптимальном режиме, а также необходимостью учета ограниченности ресурсов. Вероятность просчета в результате субъективных решений возрастает. Для обеспечения экономической эффективности Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года предусматривается создание имитационных систем, а также исследование проектируемых транспортных объектов на соответствующих моделях [1].

1.3 Анализ существующих методов расчета станций и транспортных узлов

Вопросы оптимизации проектных решений и развития транспортных узлов всегда занимали особое место в исследованиях транспортных сетей. Под развитием транспортного узла понимается как структурное изменение его схемы, так и рационализация технологии. Выбор оптимального варианта из допустимых по совокупности ограничений и исходных данных, проводится по критерию оптимальности. Численное выражение критерия называют показателем

эффективности. Структурная и технологическая связанность требует рассматривать узел как целостную систему. Связи между оптимизируемыми параметрами, учитываемыми факторами и ограничениями не линейны. Замена их линейными приведет к ошибочным результатам. Большая группа параметров носит дискретный характер, а значительная часть информации имеет неопределенный характер. Поэтому для получения достаточно точных параметров эффективного варианта необходимо в технико-экономических расчетах применять имитационные модели.

Первой попыткой систематизации материалов по размещению железнодорожных узлов и станций стал выпущенный в 1887 году статистическим отделом МПС альбом «Планы узловых и конечных пунктов сети железных дорог». Первые теоретические выводы по вопросам размещения распорядительных станций относятся к 1908 году, когда в журнале «Железнодорожное дело» появилась статья В.Н. Образцова. Наибольший авторитет приобрела Советская школа станционников. Наряду с В.Н. Образцовым известны имена таких основоположников, как П.В. Бартенев, С.В. Земблинов, В.Д. Никитин, К.Ю. Скалов, Н.Г. Ющенко. Рост экономики и развитие сети путей сообщения в советский период в практическом плане требовал решения проблемы наилучшего использования перерабатывающей способности станций и пропускной способности участков и узлов. Поэтому большинство исследований в то время посвящалось указанной проблеме. Это позволило накопить значительный опыт технико-экономических расчетов по определению:

- пропускной и перерабатывающей способности станции и отдельных устройств;
- потребности в путевом развитии и постоянных устройствах;
- времени нахождения подвижного состава на станциях.

В числе первых работ следует отметить П.П. Леонова и А.Ф. Люца, которые в 1924 году предложили определять пропускную способность парков в зависимости от числа путей и нормы занятия пути одним поездом. Для учета

факторов, дополнительно влияющих на пропуск поездов, применялся поправочный коэффициент. В.Д. Никитин предложил формулу определения пропускной способности приемоотправочных путей [20]. С.Д. Карейша учитывал общие потери от неравномерности движения поездов и потери от некратности продолжительности занятия пути поездом интервалам в графике движения [21]. С.Г. Писарев в исходные формулы ввел коэффициент резерва и коэффициент, учитывающий неравномерность движения поездов [22]. И.И. Васильев предложил учитывать различные технологические потери с помощью дополнительного коэффициента [23]. Аналогичный подход корректировки исходной формулы с помощью коэффициентов, учитывающих различные особенности взаимодействия структуры и технологии, применяли Б.Д. Штанге, И.Г. Тихомиров, П.Б. Бартнев, В.А. Сокович, Б.М. Максимович [24,25,26,27,28].

В рассмотренных работах сформулированы основные подходы к аналитическим методам расчета пропускных способностей. В качестве альтернативы разрабатывался графический способ. Этому методу посвящены работы С.В. Земблинова [29], К.К. Таля [30,31,32]. К.К. Таль предложил двухэтапный графический расчет и рекомендации по увеличению пропускной способности горловин. В целом, графический способ позволял провести графическую проверку возможности переработки и пропуска поездов при заданных размерах движения.

Дальнейшим шагом в развитии методов расчета станций и узлов стало применение теории массового обслуживания в трудах таких ученых, как В.М. Акуличев, А.В. Быкадоров, И.Б. Сотников, Н.Н. Шабалин [33,34,35,36,37,38]. Расчеты по формулам теории массового обслуживания в основном позволяли оценить потребность в резервных путях для составов, ожидающих обработки. Недостатки такого подхода, связанные с отсутствием отображения управления и сложного путевого развития, приводили к завышению показателей.

Следующим этапом в развитии теоретических исследований стало создание Отдела транспортных узлов в Институте комплексных транспортных проблем. Научные труды этого отдела связаны с именами его руководителей С.В.

Земблинова и К.Ю. Скалова [39,40,41,42] и послужили базой для формирования математических и специальных инструментальных методов исследований [43,44,45,46,47]. Начиная с 60х годов для расчета транспортных систем с учетом сложных взаимосвязей между структурой, потоками и технологией находит применение имитационное моделирование [48,49,50,51,52,53,54].

К преимуществам имитационного моделирования перед другими методами расчета можно отнести следующее [55]:

- разработка имитационной модели зачастую позволяет лучше понять реальную систему;
- в ходе моделирования возможно «сжатие» времени;
- моделирование не требует прерывания текущей деятельности реальной системы;
- меньшая трудоемкость проведения экспериментов;
- моделирование обеспечивает более реалистичное воспроизведение системы, чем математический анализ (учет внутренней структуры, учет взаимодействия и управления, отображение случайных процессов);
- несформированное задание целевой функции;
- имитационное моделирование можно использовать для анализа переходных процессов;
- моделирование можно использовать в качестве средства обучения персонала.

Существуют имитационные системы универсальные, рассчитанные на применение во многих областях деятельности, и специализированные. Универсальные предназначены для широкого круга пользователей и моделирования большого количества разнообразных объектов и процессов, но требуют значительной доработки и адаптации под конкретный процесс. Специализированные имеют более богатые возможности для отображения, позволяют быстрее и точнее создавать модели для конкретных объектов, а также получать на них лучший набор результатов.

Первую модель для железнодорожного транспорта предложили В.А. Персианов и Н.С. Усков [41]. Для построения моделей использовались универсальные языки моделирования. Примером может служить программа анализа технологии работы сортировочных станций А.М. Жидкова, реализованная в GPSS. Строились и узкоспециализированные модели, в которых структура и технология фиксировались в алгоритмах.

Наибольшее признание и применение получила имитационная система ИСТРА, разработанная профессором П.А. Козловым на специальном языке моделирования [56]. Имитационной системой называют комплекс программ, алгоритмов и процедур, позволяющий создавать на ЭВМ имитационные модели для решения конкретных задач.

За рубежом получила распространение универсальная система имитационного моделирования Arena компании Systems Modeling, позволяющая строить имитационные модели, проигрывать их и проводить анализ результатов их работы. Это наиболее простая универсальная система. В основе модели система массового обслуживания, реализованного в динамике. Характеристика возникающих очередей и есть основной результат моделирования.

Универсальная система моделирования с добавленным специфическим сервисом eM-Plant Simulation – визуальная объектно-ориентированная среда, используемая для построения имитационных моделей широкого класса систем. Подвижные объекты в модели перемещаются по сгенерированной структуре, создавая в моменты времени события, которые определяются параметрами объектов. По результатам работы модели возможен анализ статистики – производительность, время занятости оборудования, использование накопителей.

Системы массового обслуживания в большинстве случаев послужили теоретической базой для специализированных зарубежных систем моделирования. Для оптимизации городских транспортных потоков разработаны инструменты: PASSER, PROGO, TSDWIN. К числу достаточно апробированных в развитых странах мира программных продуктов, предназначенных для транспортного моделирования, относятся пакеты Trans Cad, TRPS, CUBE, CATURU, AIMSUN2,

DRACULA, VISSIM. Указанные модели требуют осторожного применения, так как имеется специфика в организации движения в городах и на железнодорожном транспорте. Существует также опыт создания специализированных систем для моделирования железнодорожных станций: OpenTrack (Швейцария) [57], Villon (Словакия) [58,59].

К отечественным разработкам можно отнести универсальную систему Any Logic [60], разработанную группой ученых из Санкт-Петербургского Политехнического университета и специализированные системы моделирования для железнодорожного транспорта: Aurora Ленгипротранс и ИСУЖТ ТС института НИИАС.

Создание имитационных систем стало новым этапом в использовании имитационного моделирования. Широкому распространению имитационного моделирования до настоящего времени препятствовал ряд присущих ему недостатков:

- на разработку модели может уйти значительное количество времени и труда;
- моделирование сложных систем может оказаться более дорогой затеей, чем полученный результат;
- для прогона сложных моделей требуется значительное компьютерное время;
- полное соответствие модели работе реальной системы нельзя строго доказать.

В настоящее время исследования практики применения моделирования в трудах А.Э. Александрова, П.А. Новикова, В.Ю. Пермикина, И.П. Владимирской [15,61,62,63,64,65,66,67,68,69] позволили существенно нивелировать недостатки и показали лучшую адекватность.

Относительная сложность в пользовании побудила многих авторов продолжать развивать аналитические методы. Формулы усложнялись, вносились эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние различных факторов. Вклад в развитие аналитических методов внесли И.Г. Тихомиров, П.С. Грунтов, Н.Н. Шабалин, Н.И. Федотов [70,71,72,73]. При этом теория развивалась в основном для

решения задач расчета мощности сортировочных технологических линий и емкостей станционных парков, а также нормирования простоев вагонов с учетом неравномерности транспортных потоков и станционных процессов. Практически не уделялось внимание обоснованию резервов, необходимых для погашения задержек и упреждающего управления продвижением транспортных потоков. Влияние современных факторов, увеличивающих требуемую вместимость путевого развития станции, исследуют в своих работах Е.А. Сотников [74]. А.Ф. Бородин вводит понятие предельной емкости станционного путевого развития [75] и исследует влияние на результирующую перерабатывающую способность. В работе [8] формулируются «требования к рациональному использованию мощностей сортировочных комплексов с учетом своевременной доставки грузов». Качество функционирования характеризуется минимизацией целевой функции среднесуточных затрат. Ограничениями являются допустимые размеры переработки, число назначений формируемых поездов, а также допустимые (по условиям сроков доставки) нормативы времени нахождения вагонов в пределах станции. И хотя ограничения имеют вероятностную природу, в расчетах предлагается замена на систему детерминированных неравенств. Несмотря на то, что для определения допустимого времени нахождения вагонов в пределах сортировочного комплекса используются данные имитационного моделирования работы станции, предложенные подходы являются дальнейшим совершенствованием аналитических методов расчетов. Усложнение формул и последовательности расчетов лишает аналитические методы своего главного преимущества – простоты и быстроты получения результата.

Модели строгой оптимизации и другие аналитические модели имеют потенциал, ограниченный довольно низким уровнем формализации знаний о транспортных системах [76]. Основная часть знаний не позволяет сформулировать строгие количественные зависимости между параметрами, т.е. является частично формализованной или носит опытный характер. Кроме того, для развития транспортных сетей характерна нелинейность затрат [77, 78]. При решении задач развития транспортных систем на перспективу многие исходные данные носят

вероятностный характер. Большое влияние на применение моделей строгой оптимизации оказывает размерность сети. Классические математические методы, применяемые для расчета небольших сетей, оказываются практически малоэффективными при решении задач в области больших по размеру комплексных транспортных сетей. Не нашли должного применения при решении задач развития транспортных систем и методы статистического моделирования, хотя возможность и целесообразность такой постановки изучалась [77].

В имитационных моделях не решается некоторая математическая задача, поэтому не требуется ограничивать вид сведений математическим аппаратом. При имитационном моделировании в ускоренном режиме воспроизводится работа моделируемой системы. Поэтому возможно применение частично формализованных знаний. Рациональное решение находится в результате проведения серии экспериментов. Правда, процесс создания модели является трудоемким, долговременным и, из-за отсутствия типовых методик во многом уникальным. Построение полноценных подробных моделей узлов на практике оказалось не реальным. Станции в транспортных узлах рассчитывались на моделях по отдельности, несмотря на существенное взаимодействие и влияние друг на друга [79]. Но детальное, подробное моделирование и не нужно. При моделировании узла решаются другие задачи.

Если при моделировании отдельных станций определяется перерабатывающая способность, среднее время нахождения вагонов, то при моделировании узла производится оценка принятых проектных решений. Основная задача такой экспертизы – выявить соответствие параметров объекта заданным в проекте. Необходимо определить соответствие принятой технологии структуре, выявить «узкие» места, оценить качество обслуживания и уровень полезного использования терминалов. Результатом экспертизы являются рекомендации по улучшению структуры и технологии переработки потоков. Поэтому меняются и принципы моделирования. Однако в научных исследованиях этой проблеме не уделялось должного внимания. В диссертации ставится задача в некоторой мере восполнить этот пробел.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 1

1. Динамика экономических связей меняет транспортные потоки, приводит к затруднениям пропуска потоков через узлы и обуславливает необходимость дальнейшего развития транспортной инфраструктуры.
2. Значительная капиталоемкость реализации проектов совершенствования транспортных узлов, высокие риски ошибок предъявляют жесткие требования к выбору методов расчета.
3. В течение длительного периода развития методов расчета железнодорожных станций и узлов авторами были предложены различные подходы с акцентом на отображение тех или иных свойств. Анализ существующих методов расчета позволяет сделать вывод, что имитационное моделирование является наиболее адекватным.
4. Крупные транспортные и железнодорожные узлы включают в себя десятки станций. Детальное, подробное моделирование трудноосуществимо и не нужно. При моделировании узла главной задачей является оценка роли и характера взаимодействия станций.
5. Расширение применения имитационного моделирования требует разработки принципов макро моделирования крупных железнодорожных объектов.

Глава 2. Теоретические основы макро моделирования железнодорожных станций и узлов.

2.1 Концепция моделирования в теории принятия решений

Наука управления зародилась в Англии во время второй мировой войны, когда группа ученых получила задания на решение сложных военных проблем. В 50-60 е годы методология была преобразована в целый ряд методов и стала широко применяться для решения проблем в промышленности и принятия решений в разных ситуациях [80]. Основная задача науки – обеспечение руководителей научной базой для решения проблем.

В силу высокой степени специализации каждая функциональная единица обязана выполнять часть общей работы, важную и необходимую для достижения общих целей организации. Но в результате разделения труда каждое функциональное подразделение разрабатывает собственные цели. Эти цели не всегда согласуются, а часто вступают в противоречие друг с другом. Специалисты пытаются оценить компромиссы, обеспечить баланс противоречивых целей. Понимание проблемы с научной позиции помогает выработке эффективных решений.

Сегодня в разных источниках можно встретить понятия «теория принятия решений», «наука о системах», «наука управления», «исследование операций», «системный анализ», которые используются как взаимозаменяемые. Эти термины распространяются на количественные методы. Независимо от терминологии, для науки управления можно выделить следующие особенности:

- Использование научного метода.
- Системная ориентация.
- Использование моделей. [80]

Научный метод является функциональной процедурой любого научного исследования (Рисунок 2.1). Применяя указанный метод для решения проблем управления в организации, нельзя забывать, что это открытая система, состоящая

из взаимосвязанных частей. Поэтому одной из особенностей научного подхода к управлению является системная ориентация.

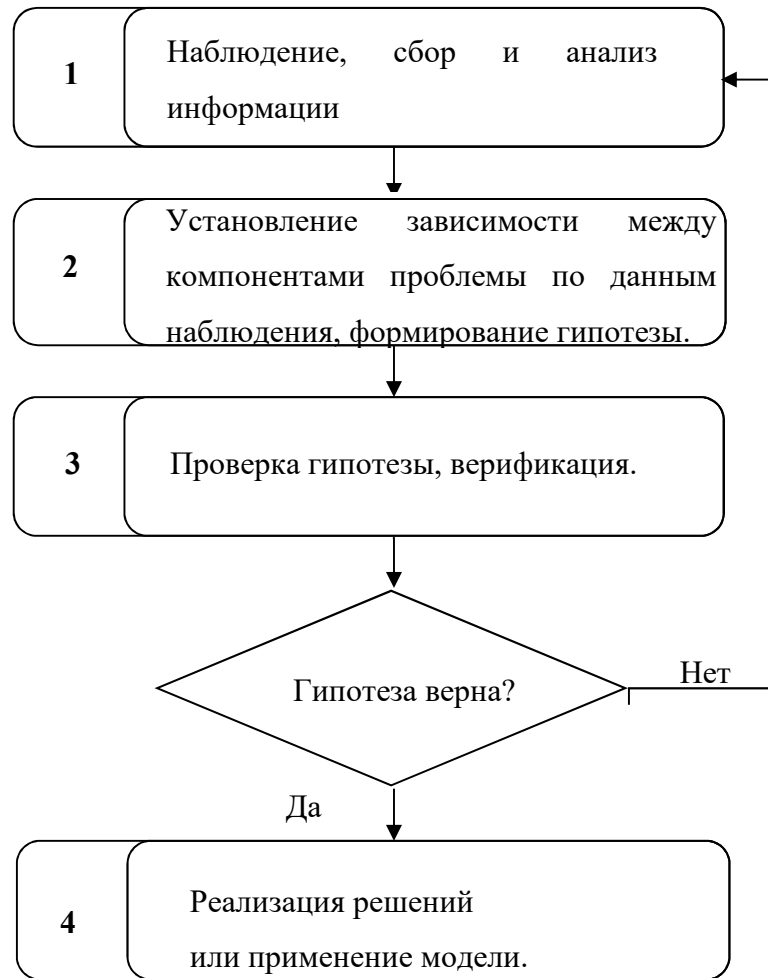


Рисунок 2.1 – Научный метод в управлении

Важная особенность науки управления – использование моделей. Моделирование часто необходимо в силу сложности проблем управления и трудности проведения экспериментов в реальной жизни. Модели позволяют принимать объективные решения в ситуациях, слишком сложных для простой причинно-следственной оценки альтернатив [80]. Часть из таких моделей весьма сложны. Не всегда возможно самостоятельно ими воспользоваться. Отсутствие представления о моделях может привести к методу перебора вариантов и принятию необдуманных решений.

Несмотря на сложность некоторых моделей, необходимость применения компьютеров, концепция моделирования проста. По определению Шеннона [81]:

«Модель – это представление объекта системы или идеи в некоторой форме, отличной от самой целостности». Главная характеристика модели – упрощение реальной ситуации. Устраняются данные, не имеющие отношения к делу. Форма модели становится проще, что помогает понимать и решать проблемы в реальной жизни.

Моделирование вместо непосредственного взаимодействия с объектом бывает необходимо в связи с естественной сложностью многих структур и ситуаций, невозможностью проведения экспериментов в реальной жизни и ориентацией на будущее [80,81].

Сложность.

Наука управления необходима для решения организационных проблем сложного реального мира организации. Фактическое число переменных, характеризующих каждую конкретную проблему, превосходит возможности человека в значительной степени. Модель упрощает реальный мир, следовательно, повышает возможности человека постичь его.

Проведение экспериментов.

Существует множество управленческих ситуаций, когда альтернативные варианты решения проблемы нуждаются в экспериментальной проверке. Но экспериментирование в реальных условиях требует значительных финансовых и временных затрат, либо вовсе отсутствует возможность экспериментировать. Например, когда необходимо построить сортировочную станцию. Ясно, что решить проблему выбора места и схемы станции невозможно, построив в качестве эксперимента станцию в каждом месте.

Ориентация управления на будущее.

Экспериментально исследовать еще несуществующее явление невозможно. В тоже время только реальное и осязаемое используется многими руководителями для принятия решений. В настоящее время моделирование — это единственный систематизированный способ, дающий возможность увидеть альтернативы будущего. Результаты моделирования позволяют объективно сравнивать различные варианты решений и выбрать лучший, чтобы распределить ресурсы и

определить последовательность действий. Модели науки управления лучше всего подходят для этих целей и позволяют преодолевать множество проблем, связанных с принятием решений в сложных ситуациях.

Различные типы задач решаются с применением разных типов моделей. Сейчас стало широко использоваться имитационное моделирование при котором некоторое устройство используется для имитации реальной системы с целью исследования ее свойств, поведения и характеристик [80]. Т. Нейлор описывает имитационное моделирование как «численный метод проведения на ЭВМ экспериментов с моделями, описывающими поведение сложных систем в течение продолжительных периодов времени» [82]. Имитация используется в ситуациях, слишком сложных для математических методов. При чрезмерно большом числе переменных, трудностях математического анализа определенных зависимостей между переменными и высоком уровне неопределенности. Эксперименты на моделях системы помогают проследить её реакции на определенные события или изменения при отсутствии возможности наблюдать систему в реальности. Если в результате экспериментирования на имитационной модели получены данные о том, что изменения ведут к улучшению, с большей уверенностью можно принимать решение в реальной системе.

Системы имитационного моделирования базируются на различных подходах: системной динамике, агентном моделировании и дискретно-событийном. Системная динамика используется в основном для описания непрерывных процессов в долгосрочных стратегических моделях и принимает высокий уровень абстракции. Агентное моделирование даёт представление об общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном поведении её отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе, и характерно для исследования децентрализованных систем. При дискретно-событийном моделировании функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий. Для железнодорожного транспорта, где управление имеет жестко централизованный характер, дискретно-событийное моделирование подходит лучше всего.

2.2 Процесс построения модели

Построение модели является процессом. Основные этапы процесса – постановка задачи, построение, проверка на достоверность, применение, обновление модели и проведение новых исследований (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Фазы моделирования

Постановка задачи – это первый и самый важный этап создания модели. Правильное использование математики или компьютера для решения управленческой проблемы не принесет никакой пользы, если сама проблема не будет точно диагностирована [81]. Осведомленность о существовании проблемы

еще не означает её идентификации. Необходимо отличать симптомы от причин. Опыт общения с диспетчерским аппаратом железнодорожных объектов показывает, что основной причиной называется отсутствие достаточного количества локомотивов. Истинная проблема, как правило, оказывается в задержках структурного характера. Формулирование задачи применительно к моделированию отличается от определения задачи для других инструментов анализа. Оно заключается в указании целей и идентификации соответствующих управляемых и неуправляемых переменных системы.

Построение модели.

Следующий этап процесса после постановки задачи – построение модели. Отличие имитационного моделирования от методов линейного программирования или теории массового обслуживания состоит в необходимости настраивать модель на каждую конкретную ситуацию. Правила построения и «подгонки» модели носят скорее рекомендательный характер. Разработчик должен определить главную цель модели, какие свойства системы должны фиксироваться в качестве параметров, а какие будут меняться в процессе моделирования, являясь переменными. Основное внимание при этом уделяется определению переменных в различные моменты времени, например, загрузке горловины.

Для изучения поведения модели в определенных условиях необходимо сформулировать операционные правила, или правила принятия решений. Эти правила прямо или косвенно становятся объектом большинства исследований в моделировании. Такими правилами выступают правила формирования приоритетов, например, какую заявку обслуживать первой, какую операцию выполнять в первую очередь. В определенных ситуациях они имеют важное значение и учитывают большое количество переменных в системе.

Имитационное моделирование использует две категории распределения вероятности – эмпирические плотности или стандартные математические распределения. Эмпирически плотность распределения определяется по результатам натуральных наблюдений. Это «узкоспециализированное» распределение. Но зачастую разброс можно довольно точно аппроксимировать

стандартным пуассоновским или нормальным математическим распределением. Такой подход делает существенно проще и сбор данных, и последующую реализацию на компьютере. В любом случае необходимо определить правила задания распределения вероятностей.

Другой задачей при построении моделей является выбор способа приращения времени. В имитационных моделях время можно изменять фиксированными или переменными порциями. При использовании фиксированных приращений устанавливают одинаковые шаги времени (минуты, часы, дни). Работа модели проходит через фиксированные интервалы. В определенные моменты проводится сканирование системы. Выясняется, какие операции произошли за это время. Если никаких событий не было, все равно выполняется приращение времени на один период. Применение фиксированных приращений оказывается предпочтительнее, когда операции происходят достаточно регулярно или их количество велико. В случаях, когда выявляется небольшое количество событий, предпочтительнее использовать способ переменных приращений времени. Это потребует меньшей загрузки компьютеров. При таком способе «пустые» интервалы времени пропускаются. Модель переходит сразу к следующему моменту, когда происходит то или иное событие.

Интервалы моделирования, или время прогона, зависит от цели. Наибольшее распространение получил подход, согласно которому процесс моделирования продолжается до тех пор, пока не достигнуто состояние равновесия с фактическими данными. Другой подход заключается в выполнении расчетов для заданного интервала времени (месяц, год). Третий подход состоит в том, чтобы установить такой интервал прогона, который позволит получить выборку, достаточную для проверки статистических гипотез.

Значение переменных по определению меняются в ходе моделирования. Значение параметров остается постоянным. В некоторых случаях, когда изучается несколько вариантов, параметры могут изменяться. Одно из важных решений в моделировании – определение начальных условий для переменных. Для того чтобы модель не попала в область неустойчивого состояния или не отклонялась в сторону

от интересующей области исследования, необходимо очистить результат от эффекта начального периода.

Проверка модели на достоверность.

Построенная модель должна быть проверена на достоверность. На этом этапе необходимо получить подтверждение того, что моделирование выполнено правильно и результаты соответствуют реальному миру. Согласиться с результатами можно, убедившись в отсутствии ошибок программирования и логических ошибок. При наличии ошибок программирования программа не будет выполняться, поэтому выявить их сравнительно не сложно. Ошибки в логике найти намного труднее. Программа работает, выдавая неверные результаты. Много времени затрачивается на адекватное отражение в модели адаптивного управления в реальных системах. Существуют определенные трудности выявления во время натурных наблюдений управленческих воздействий. Признанный способ проверки модели – опробование ее на ситуации из прошлого [55,80]. В модель вводятся такие исходные данные, для которых уже есть фактические результаты. Полученные результаты моделирования сопоставляются с фактическими. Если полученная на модели информация смогла бы помочь управленцам в решении производственных трудностей, считается, что модель точна.

Применение модели и проведение новых исследований.

После проверки на достоверность модель готова к использованию на практике. Основная сложность этого этапа заключается в неприятии моделей руководителями. В большинстве случаев управленцы и аналитики обладают определенной информацией о функционировании подобных систем и сравнивают результаты моделирования с собственным интуитивным пониманием функционирования реальной системы. Такой информации недостаточно, чтобы быть уверенным в выводах, сделанных на основе результатов моделирования. Поэтому руководители или не понимают, или опасаются применения моделей. Применение моделей на практике увеличивается, если линейные руководители принимают участие в постановке задачи и установлении требований к результатам. Успех применения модели потребует обновления и проведения новых

исследований. Руководители могут обнаружить, что полученные данные не ясны или требуются дополнительные данные. Новые эксперименты можно проводить, меняя множество факторов: параметры, переменные, правила принятия решений, начальные условия и интервал моделирования. Проверка различных операционных правил интересна и в случае получения неудовлетворительных результатов. Первый прогон модели может заставить взглянуть на проблему по-новому. На практике, как правило, возникает потребность формирования целого плана проведения экспериментов (Рисунок 2.3).

Общие проблемы моделирования.

Имитационные модели, так же как другие средства и методы, обладают рядом недостатков. На эффективность моделирования влияет ряд потенциальных погрешностей. Чаще всего встречаются следующие проблемы:

- ограниченные возможности получения необходимой информации;
- недостоверные исходные допущения;
- страхи пользователя;
- слабое использование на практике.

Существенным риском применения моделей может стать высокая стоимость, она должна с избытком оправдываться приобретаемыми от использования модели выгодами.

Разработка имитационной модели может оказаться долговременным и трудоемким процессом, при этом получение ответов на поставленные вопросы не гарантировано. При расчете затрат на моделирование следует учитывать и затраты времени на построение модели, сбор информации, обучение. Трудоемкость процесса создания имитационных моделей можно существенно снизить путем совершенствования специализированных программ (например, ИСТРА, MAP/1). Использование накопленного опыта для процессов моделирования создает предпосылки к снижению трудовых и временных издержек. Удешевление «настройки» имитационных моделей для каждого конкретного объекта или ситуации даст возможность расширить спектр применения.

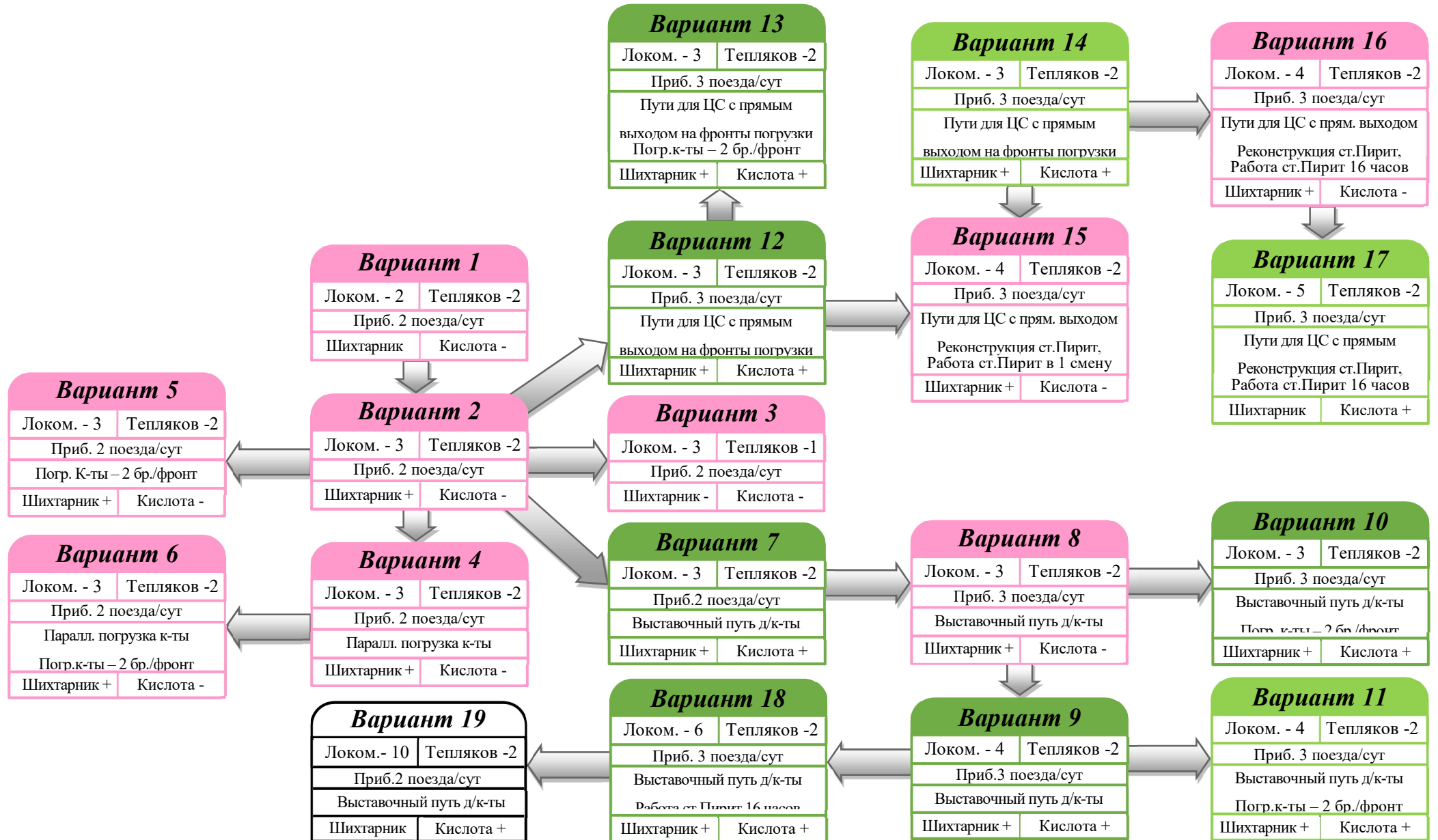


Рисунок 2.3 – План проведения экспериментов для исследования грузовой станции

2.3 Выбор программы моделирования

Для работы с программами моделирования требуется затратить некоторое время на обучение. Освоив какую-то одну программу, пользователь неохотно переходит к работе с другой. В связи с этим, требуется ответственно подходить к проблеме выбора. Программа моделирования должна отвечать следующим требованиям [55]:

- Освоение не должно быть чрезмерно трудоемким.
- Обеспечивать возможность пользовательской отладки, при которой в интерактивном режиме отслеживаются потоки в модели и ошибки.
- Предусматривать, кроме интерактивного, автоматический режим выполнения, т.е. полный цикл работы без вмешательства пользователя.
- Предусматривать возможность создания и объединения модулей.
- Обеспечивать возможность описания материальных потоков и отображать их в графическом виде.
- Предусматривать возможность описания информационных потоков. Отображать управление.
- Включать модули со встроенными командами, на пример, для статистического анализа и принятия решений.
- Выводить статистику.

В настоящее время в России существуют имитационные системы для моделирования объектов железнодорожного транспорта (станций, узлов, полигонов) разработки разных организаций:

- система моделирования станций Aurora (Ленгипротранс) — программный комплекс для расчёта систем массового обслуживания, например, для расчёта числа путей в парке приёма при неравномерном прибытии поездов;
- система моделирования станций ИСУЖТ ТС (НИИАС) — Подсистема анализа, моделирования и оптимизации технологии работы железнодорожных станций для ПТК ИСУЖТ регионального уровня;

– системы, предназначенные для моделирования и помощи в организации перевозочного процесса, построения прогнозных графиков движения поездов и планирования железнодорожных перевозок: Эльбрус (ВНИИТЖ), ПРОГРЕСС (ИЭРТ), АС Модель (ПКТБ ЦКИ, ОЦРВ).

Для расчета пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных объектов с использованием имитационного моделирования, лучше всего использовать имитационную систему ИСТРА (Таблица 2.1). Эта специализированная система включает встроенные процедуры оптимизации, в процессе применения на практике накоплен огромный опыт использования и отладки. На создание и совершенствование системы затрачено более 250 тыс. человеко-часов. В системе отработаны и успешно применяются методы устранения основных недостатков, присущих моделированию [83,84,85,86,87].

Имитационная система – это упорядоченный комплекс формальных и неформальных процедур и алгоритмов. В системе ИСТРА существует возможность создавать детерминированные или вероятностные модели для решения различных задач.

Таблица 2.1 – Методы нивелирования проблем моделирования в системе ИСТРА

№п/п	Проблема	Нивелирующие методы
1	Создание моделей сложных систем затратно и трудоемко.	Автоматизированное построение имитационных моделей.
2	Цикл работы сложных моделей занимает значительное количество времени.	Управление процессом по конечным ритмам – И-МДС. Планирование направленных экспериментов – «имитационный спуск».
3	Невозможно доказать, полное соответствие модели работе реальной системы.	Адаптация технологии к структуре в модели. Накопленный опыт практического применения.
4	Стабильная система при неблагоприятном стечении событий может «пойти вразнос».	Возможность настройки адаптивного управления.
5	Моделирование менее точный метод по сравнению с математическим анализом.	Двухуровневые системы. Работа совместно с математическими моделями строгой оптимизации.

Универсальная абстрактная модель в системе ИСТРА представляет собой упорядоченное множество [84, 87]:

$$S = (X, P, f), \quad (2.1)$$

где X – множество элементов;

P – множество операций;

f – оператор управления.

Элемент $x_i \in X$ – линейный дискретный полуавтомат, определяемый следующими параметрами:

– состояние $q_i(t)$ из пространства Q_i , $q_i(t) \in Q_i$;

$$Q_i = \{0, 1, 2, \dots, Q_i\}, t \in Z_0, Z_0 = \{0, 1, 2, \dots\}; \quad (2.2)$$

– вход $\Delta q_i^+(t) \in Q_i^+$;

– выход $\Delta q_i^-(t) \in Q_i^-$;

– линейная функция перехода в новое состояние

$$q(t+1) = q(t) + \Delta q(t) - \Delta q(t). \quad (2.3)$$

Элемент функционирует в дискретном времени с шагом дискретизации, выбираемым в зависимости от размеров объекта и цели моделирования [87].

На множестве X задаются два подмножества:

Числовые элементы $X^c \subset X$, логические элементы $X^l \subset X$

$$X = X^c \cup X^l, X^c \cap X^l = \emptyset. \quad (2.4)$$

Различные состояния числовых элементов отличаются количественно и однородны качественно. Разные состояния логических различны в качественном смысле т.е. между ними не может быть соотношений «больше» — «меньше».

Числовыми элементами отображаются устройства, имеющие свойства бункера, например, парки путей определенной вместимости. Это так называемые «бункерные» элементы.

Множество логических элементов в свою очередь делится на два подмножества элементов: булевых – элементов с двузначной логикой X^v и мулевых – с многозначной логикой X^w :

$$X^l = X^v \cup X^w, X^v \cap X^w = \emptyset. \quad (2.5)$$

Элементы с двузначной логикой могут находиться в состоянии «ноль» или «единица»;

$$\forall x_i \in X^v \mid Q_i = \{0,1\}. \quad (2.6)$$

Таковыми элементами отображаются устройства, не имеющие свойств накопления. Например, бригады ПТО, стрелки, пути приема и т.д. $Q_i = 1$ значит, что устройство занято, а $Q = 0$ – свободно.

Элементы с многозначной логикой служат для описания процессов управления. Их состояние означает тип принятого решения и выбирается из подмножества:

$$\forall x_i \in X^w \mid Q_i = \{0,1, \dots, \overline{Q_i}\}. \quad (2.7)$$

Ноль – решение не принималось.

Элементарной частью технологического процесса является операция.

Операции бывают:

информационными – $\exists x_{ij} \in X_j (x_{ij} \in X^n)$ (передача сообщений о прибытии поезда, выгрузке вагонов и т.п.);

управляющими – $\forall x_{ij} \in X_j (x_{ij} \in X^y)$ (передача и запоминание управляющих решений);

технологическими – $\forall x_{ij} \in X_j (x_{ij} \in X^t)$ (прием поезда, расформирование состава и др.).

Технологические операции отображают продвижение потока в пространстве и времени. Информационные и управляющие служат в модели для имитации передачи информации и принятия управляющих решений диспетчерским персоналом.

Выполнение операции в модели представляет собой последовательность работы входящих в нее логических и бункерных элементов. Это основной процесс расчета модели. Каждая операция имеет определенную длительность. Состояние элементов рассматривается не только в текущий момент, но и вперед на некоторую глубину, обусловленную продолжительностью операции [88].

Контроль использования элемента представляет из себя следующий процесс. На элемент поступает емкость $\Delta q_i^+(t)$ и для заданного момента времени t_i^+ условие принимает вид:

$$\forall t = t_i^+ \mid q_i(t + 1) = (q_i(t) + \Delta q_i^+(t)) \leq B_i, \quad (2.8)$$

где $q_i(t)$ - состояние элемента до момента поступления емкости;

B_i – предельная емкость (вместимость) элемента.

То есть состояние элемента не должно выходить за предельную вместимость элемента. Если с элемента будет "сниматься" емкость $\Delta q_j^+(t)$, то условие примет вид

$$\forall t = t_i^- \mid q_i(t + 1) = (q_i(t) + \Delta q_i^-(t)) \geq 0, \quad (2.9)$$

т.е. с элемента не может убыть более того, что на нем находилось.

Оператор управления $f(t)$ объединяет элементарные модели в единую модель. Оператор $f(t)$ выполняет две функции:

задает алгебраическую структуру $\langle G, \varphi \rangle$ на множестве графов $G_j, G = \{G_j\}$;

реализует управление $v(t)$ в пространстве состояний абстрактной модели.

Процессам управления в сложных транспортных системах наиболее соответствует ситуационный принцип. Для его реализации в модели существует специальный аппарат укрупнения ситуаций и «сведения» конкретного состояния модели к одной из ситуаций.

Структура абстрактной модели построена по иерархическому принципу, поэтому в информационном и управляющем пространствах состояний вводятся подпространства разных иерархических уровней.

Оператор управления определяет моменты времени t_j начала выполнения технологических, информационных и управляющих операций и их приоритеты в зависимости от ситуации.

Система ИСТРА включает в себя универсальную абстрактную модель, способную при идентификации (параметризации) настраиваться на любой объект. Для этого структурные и функциональные характеристики, значения которых отличают объекты один от другого, входят не в структуру модели и не в описание

ее функции, а являются легко заменяемыми исходными данными для моделирования. Такими исходными данными (настроечными характеристиками) являются параметры элементов транспортной системы и связей между ними [61].

Имитационная система, кроме подсистемы имитации, имеет подсистемы автоматизации процесса построения модели и анализа полученных результатов (Рисунок 2.4).

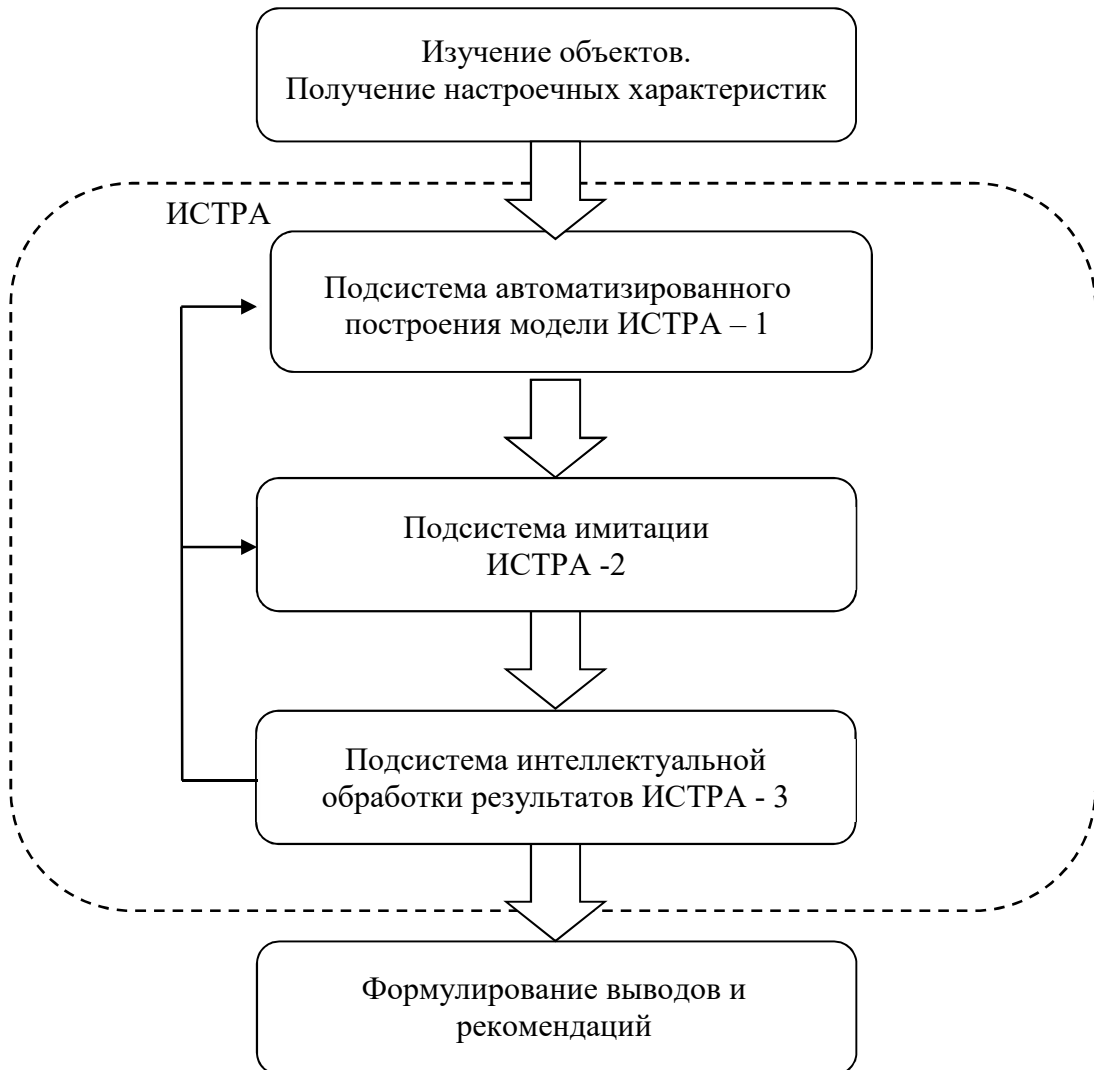


Рисунок 2.4 – Структура имитационной системы ИСТРА

Основную часть работы по построению модели выполняет подсистема автоматизированного построения, снимая нагрузку с человека.

Собственно моделирование и накопление результатов осуществляется подсистемой имитации. В процессе работы подсистемы формируется динамическая очередь заявок на выполнение операций с учетом времени

поступления и приоритетов, имитируется выполнение очередной операции с выбором оптимального варианта, фиксируется занятость стрелок, путей, грузовых фронтов бригад и локомотивов. В конце цикла подсистема создает массив результатов для последующей обработки.

Требуемая обработка результатов отличается для различных задач, и подсистема обработки должна предоставлять такую возможность. Одинаково важными являются и набор результатов, и удобная форма представления.

2.4 Структурно-функциональный анализ железнодорожных станций

2.4.1 О терминологии

Ключевой особенностью научного подхода к управлению является системная ориентация. Слово «система» и связанные с ним термины получили широкое распространение. Это произошло потому, что на передний план все более и более выступает необходимость исследования сложных комплексов [89]. В диссертации термин «система» используется в определении, данном профессором П.А. Козловым [90]. Система – это объект с целесообразно построенной структурой и активным самоподдержанием в среде с дезорганизацией. Из такого определения вытекает:

- есть общая функция (сохранение);
- есть совокупность параметров, которые характеризуют эту функцию;
- есть целенаправленно выстроенная структура, которая реализует эту функцию;
- есть функция анализа и фиксирования разрушающего влияния внешней среды;
- есть управление, которое реализует активную реакцию на разрушающее действие.

2.4.2 Свойства системы

Сложность

Система состоит из элементов и подсистем. Существует сложность объекта – множество и разнообразие частей, составляющих материальное образование. И системная сложность – количество и разнообразие структуры параметров, поддерживаемых вопреки разрушающему воздействию среды. Подсистемы, входящие в систему, также имеют свои системные свойства и способы их поддержания. Параметры подсистем становятся управляемыми, если в сложившейся ситуации это необходимо для поддержания параметров системы более высокого уровня [91]. Сложные как материальное образование объекты могут быть простыми системами.

Способность к адаптации и управление

Способность к адаптации обеспечивает самоподдержание системы. Адаптивность достигается с помощью управления. Управление – функция состояния. В системе в понятие состояния входят значения параметров, характеризующих функцию.

Развитие

Развитие – это вторичное, вынужденное свойством системы, необходимое для поддержания параметров при изменении внешней среды.

2.4.3 Системный анализ

Объект может изучаться как материальное образование и как система. Вследствие единых законов природы, конкуренции и отбора системные принципы становятся все более схожими. Чем выше уровень организации, тем объекты как системы более похожи. Хотя материальная основа различна. С развитием мира все более разнообразным становится его материальная форма и все более единообразна – системная сущность. То есть, изучив одну систему на некотором уровне развития, мы уже в значительной степени знаем другие на близком уровне [91].

Транспортные объекты также могут изучаться и как материальные образования, когда исследуются особенности структуры, и как системы. При исследовании объекта как системы определяется, какая есть общая функция, какие параметры ее характеризуют и как работают механизмы поддержания.

Станции создавались для выполнения определенной функции. Относительно транспортных узлов утверждать это однозначно нельзя. Это может быть случайное образование станций, постепенно строившихся для удовлетворения возникающих потребностей. Припортовые и промышленные узлы, как правило, имеют довольно выраженную общую функцию, транзитные узлы – далеко не всегда.

Методика системного анализа, включает следующие процедуры:

- Выявление общей функции объекта. Действительно ли этот объект функционально единый, существует ли структурная целостность объекта.
- Определение параметров, которые характеризуют общую функцию.
- Выделение подсистем объекта. Определение функций каждой подсистемы и параметров, описывающих эту функцию.
- Нахождение дезорганизующих влияний на функции системы.
- Определение механизмов самоподдержания функции системы и подсистем.

Описание адаптивного взаимодействия системы и подсистем, когда параметры подсистем становятся изменяемыми для обеспечения функции системы при изменившихся условиях.

После этого можно строить системную модель и на ней исследовать свойства объекта как системы.

Важнейший вопрос системного анализа – где границы системы?

Границы системы при выборе расчетного объекта следует проводить по слабоуправляемым связям, а не по связям с низкой интенсивностью.

2.4.4 Функция железнодорожной станции

Крупные железнодорожные системы (узлы) состоят из станций. Станция и станционные парки являются естественными подсистемами (Рисунок 2.5) и обладают определенными системными свойствами [83].

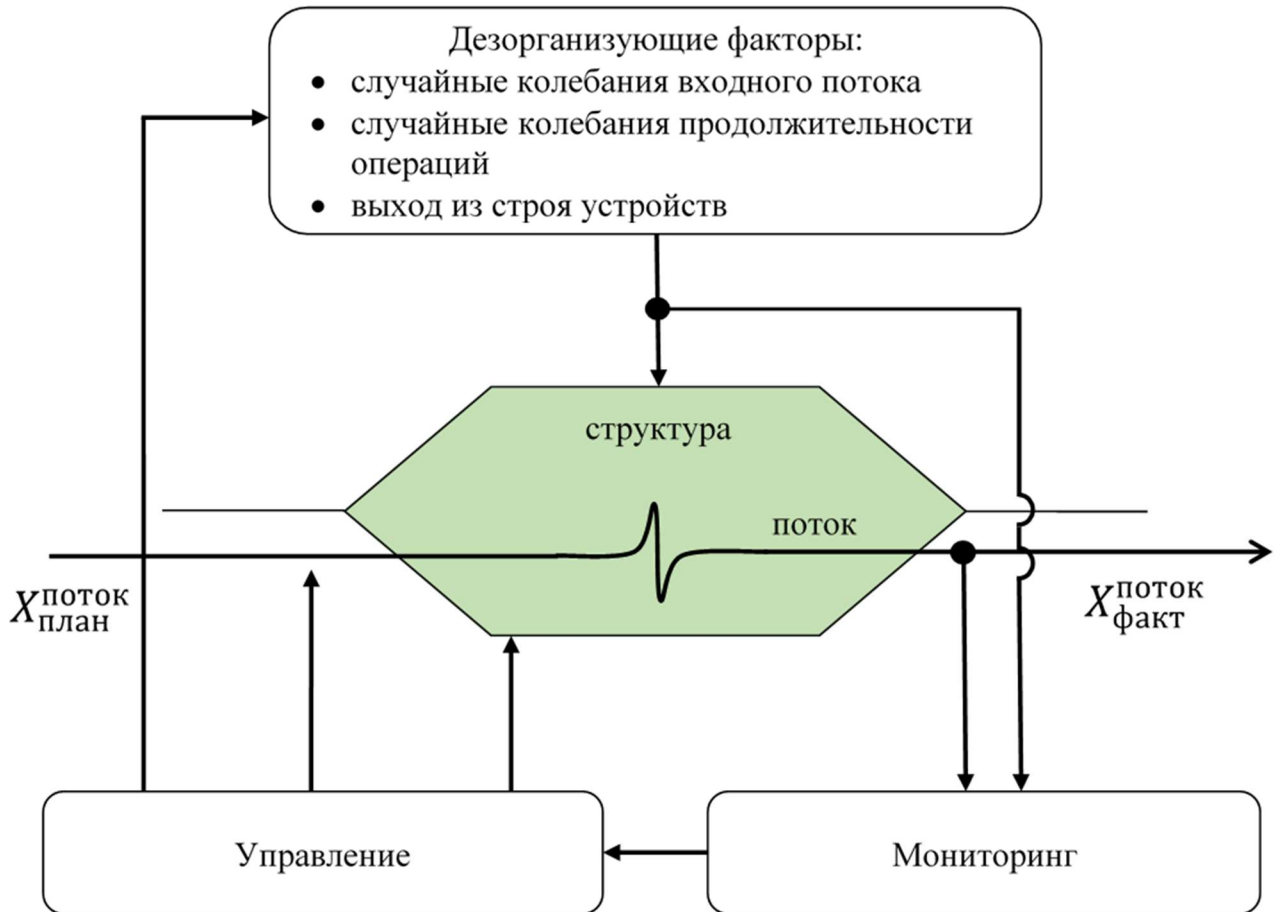


Рисунок 2.5 – Станционная система

Основной функцией станции является пропуск и переработка потоков.

Основными поддерживаемыми параметрами потоковых процессов являются:

- работоспособность;
- режимы пропуска отдельных струй;
- характеристики выходного потока требуемой величины и структуры;
- скорость и цена обработки потока.

Дезорганизирующие воздействия:

- незапланированные колебания величины и структуры входного потока;
- незапланированные изменения продолжительности операций;
- выход из строя устройств.

Механизмы самоподдержания функций системы:

- ремонт и техническое обслуживание устройств;
- технологические приемы управления потоками.

Системные свойства транспортного узла в значительной степени определяются, характером взаимодействия в нем. Включая взаимодействие структуры и потока, объектов структуры между собой и отдельных операций в технологическом процессе.

К основным видам взаимодействия можно отнести структурное, функциональное и структурно-функциональное. Структурное отражает согласованность параметров элементов структуры, взаимодействующих между собой. Функциональное показывает выбор параметров операций в технологических цепочках. Структурно-функциональное это вид взаимодействия, при котором параметры структуры могут быть адаптивно изменены управляемыми технологическими методами.

2.4.5 Структурное взаимодействие

В потоковой системе структура рассматривается на уровне взаимодействия элементов с потоком и между собой [92]. Для обозначения элементов используются понятия «канал» и «бункер». Расчетные схемы из «бункеров» и «каналов» позволяют выявлять закономерности построения рациональной структуры.

Потоковая структура может быть определена графом

$$G = (X, P, U, R), \quad (2.10)$$

где $X \equiv \{x_{ij}\}$ – множество дуг – каналов для пропуска потока;

$P \equiv \{p_i\}$ – множество узлов – бункеров, поглощающих и порождающих всплески потока;

$U \equiv \{u_{ij}\}$ – множество потоков;

$R \equiv \{p_{ij}^k\}$ – множество свойств потока.

Свойство потока это в данном случае некоторая дезорганизация, затрудняющая продвижение потока или делающая его невозможным. Множество состоит из неупорядоченных струй потока в соответствии с планом формирования, неритмичность, несоответствие объема потока плановому, потери информации.

Потоковая система отличается от структуры наличием целенаправленного управления.

$$G = (X, P, U, R, W), \quad (2.11)$$

где $W \equiv \{w_l\}$ - множество управлений.

Дезорганизация p_{ij}^k возрастает сама собой при прохождении потоком некоторого элемента. Понижение дезорганизации требует затрат энергии и специальных устройств.

Под потоком понимается совокупность перемещающихся единиц. Поток характеризуют следующие параметры:

- средняя величина потока u_{ij} ;
- множество дезорганизующих воздействий $\{p_{ij}^k\}$;
- расчетный поток \tilde{u} ;

$$\tilde{u} = u(1 + p_n), \quad (2.12)$$

где p_n - дезорганизация потока.

Свойства элемента определяются реакцией на воздействие дезорганизации.

К параметрам элемента относятся:

- q_i – емкость бункера;
- d_{ij} – пропускная способность;
- $\{\Delta p_{ij}^k\}$ – пассивное увеличение некоторых p^k ;
- $\{\Delta \widetilde{p^k}\}$ – активное уменьшение каких-то p^k .

При этом возникает отношение, определяющее возможность дальнейшего продвижения потока:

$$\exists_k \mid u(1 + p^k) \leq d_{ij} \quad (2.13)$$

$$\exists_k \mid p^k \leq \overline{p^k} \quad (2.14)$$

Структура транспортной системы может быть построена так, чтобы суммарные затраты на содержание инфраструктуры были минимальны

$$C = f(\sum d_{ij}, \sum q_i, S) \rightarrow \min \quad (2.15)$$

S – структура.

Структура S задает в этом случае гармоничное распределение ресурсов.

На железнодорожных станциях пути, стрелочные переводы, устройства сортировки, грузовые устройства объединены в единое целое сложной сетевой структурой.

Пропускная способность отдельной стрелки не может быть независимым аргументом.

Пропускную способность горловин нельзя считать зафиксированным параметром. На возникновение задержек в структуре в значительной степени влияет характер взаимодействия элементов. Пропускная способность функционально зависит от группы факторов, таких как:

- структура потока;
- технология работы;
- диспетчерское управление.

Формально описать процессы взаимодействия невозможно, поэтому моделирование можно считать единственным верным методом расчета станций. В связи с тем, что функция пропускной способности не может быть формально задана, объекты структуры в моделях описывались максимально подробно. Укрупнение элементов не практиковалось.

2.4.6 Функциональное взаимодействие

Функциональное взаимодействие это последовательность операций в технологическом процессе, который принято отображать в виде графика Ганта (Рисунок 2.6). Но в реальной работе происходит одновременное выполнение технологических цепочек и пересечение их на элементах структуры. Нерациональная состыкованность и неразвитое управление создают «узкие места» технологии и требуют значительных резервов пропускной способности.

Управление – это выбор тех или иных технологических цепочек в различных ситуациях. Оно определяет качество функционального взаимодействия. Управляемым функциональным и структурно-функциональным взаимодействием создаются новые системные эффекты, так называемые динамические резервы [93].

Наименование операции	До прибытия, мин	После прибытия поезда, мин	Исполнители
Получение предварительной информации о поезде со ст.Екатеринбург-Сорт. уведомление ДСП, Проход в помещение ДСП для визуального осмотра поезда сверху	3 2		приемосдатчик
Осмотр поезда с ходу		6	приемосдатчик, осмотрщик вагонов
Закрепление состава и отцепка локомотива		5	составитель, лок. бригада
Ограждение состава		3	осмотрщик
Предъявление состава к техническому и коммерческому обслуживанию		1 0,5	ДСП
Получение документа из бункера		1	приемосдатчик
Передача сообщения 201, 203 через АРМ ТК		6	приемосдатчик
Расконвертование пакета перевозочных документов		1	приемосдатчик
Разметка натурального листа(ТГНЛ) по перевозочным документам		14	приемосдатчик
Выход к указанному пути приема поезда		5	приемосдатчик
Коммерческий осмотр и меловая разметка, сверка натурального листа		30	приемосдатчик
Техническое обслуживание вагонов с пролазкой		70	осмотрщик вагонов
ОБЩАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ		97	

Рисунок 2.6 – Технологический график обработки передаточного поезда, поступившего в переработку в парк

В условиях неравномерности совокупность динамических резервов создает возможность существенно повысить эффективность работы транспортной системы. При этом эффективная организация работы потребует новых подходов к принципам и методам оптимизации. Для этого следует выделить два типа взаимодействия транспортных объектов – на уровне элементов в системе и на уровне подсистем в динамике. На уровне элементов необходимо согласовать параметры устройств (каналов и бункеров). На уровне подсистем требуется согласовать общие цели и параметры управления.

В отличие от элементов, системы и подсистемы способны генерировать динамические резервы. Задача взаимодействия формулируется как максимизация суммарных динамических резервов.

$$\sum ДР = \alpha_1 ДР_1 + \alpha_2 ДР_2 \rightarrow \max, \quad (2.16)$$

где $ДР_1, ДР_2$ – динамические резервы, соответственно первой и второй подсистемы;

α_1, α_2 - коэффициенты уровня взаимодействия при системном объединении.

Взаимодействие на уровне элементов в системе за счет уменьшения диспропорции в параметрах технических средств увеличивает пропускную способность системы в целом и дает возможность сглаживать потоки. Взаимодействие на уровне подсистем в динамике достигает эффекта за счет управления в условиях неравномерности. Выделением большего количества струй в потоке достигаются большие возможности управления и совокупные динамические резервы. Чем разнообразнее подсистемы, тем эффективнее объединение их в единую систему. При укрупнении элементов и особенно подсистем потерять эффекты управления недопустимо, иначе резервы окажутся завышенными.

2.5 Анализ построения автоматизированной имитационной модели

2.5.1 Технология моделирования горловин

Для выделения элементов схема станции может подразделяться на станционные блоки. Станционный блок — это часть схемы станции, ограниченная путями и (или) перегонами (парковые или межпарковые горловины). Декомпозиция схемы станции до уровня элементов происходит путем выделения групп стрелок, используемых или блокируемых одновременно при всех передвижениях. В модели путь — это обозначенный пользователем участок схемы станции, имеющий примыкание с одной стороны или с обеих сторон. Перегон — участок схемы, всегда имеющий примыкание с одной стороны, но не выделенный пользователем как путь. Понятия путей и перегонов дают возможность отобразить все существующие передвижения на станции.

В рамках процесса декомпозиции на элементы считается, что пути, перегоны и стрелки имеют только два состояния — «занято» и «свободно». Поэтому схема представляется в виде логических элементов, поскольку множества их состояний $s(t); s(t) \in \{0,1\}$ $\begin{pmatrix} 0 & - & \text{свободно} \\ 1 & - & \text{занято} \end{pmatrix}$ достаточно для описания состояния станции.

Критерий декомпозиции — блок с наименьшим возможным количеством элементов. При декомпозиции необходимо соблюдать следующие ограничения:

- все виды реально возможных передвижений должны быть возможны на схеме после разбиения;
- все виды одновременно невозможных передвижений должны быть невозможны на схеме в виде элементов;
- все одновременно происходящие передвижения должны быть возможны после разбиения;
- все виды невозможных передвижений должны быть невозможны на схеме после разбиения;
- все части схемы должны быть отражены в элементах.

Термины теории графов позволяют описать процесс отображения схемы станции в виде элементов модели. Стрелки, перегоны и пути обозначаются вершинами. Для проверки функциональности станции, представленной в виде элементов модели, вводится понятие маршрута. На графе маршрут представляет собой последовательность ребер. Каждое ребро встречается в маршруте не более одного раза. Маршрут начинается и заканчивается только на вершинах, отображающих пути или перегоны. Путевого развитие станции в виде графа представляется так, чтобы число вершин было минимально.

Ограничения:

- любое реальное передвижение на графе должно быть описано единственным маршрутом;
- любой маршрут на графе должен единственным образом соответствовать возможному реальному передвижению;
- два одновременно возможных передвижения, должны быть описаны на графе маршрутами, не имеющими общих ребер;
- графы маршрутов, описывающих два одновременно невозможных передвижения, должны иметь общие ребра.

Каждый граф станционного блока рассматривается как совокупность двух направленных графов \vec{G} и \tilde{G} . При разбиении на элементы достаточно рассмотреть только один из направленных графов. Строгость при этом не потеряется, так как множество маршрутов в графах \vec{G} и \tilde{G} совпадают.

Процесс декомпозиции представляет собой трансформацию исходного графа (Рисунок 2.6) в конечный граф \hat{G} , в котором число вершин минимально и соблюдаются указанные выше ограничения. Под трансформацией понимается итерационный процесс исключения ребра, соединяющего две соседние вершины и объединения двух данных вершин в одну. Вершины, отображающие пути и перегоны, не удаляются.

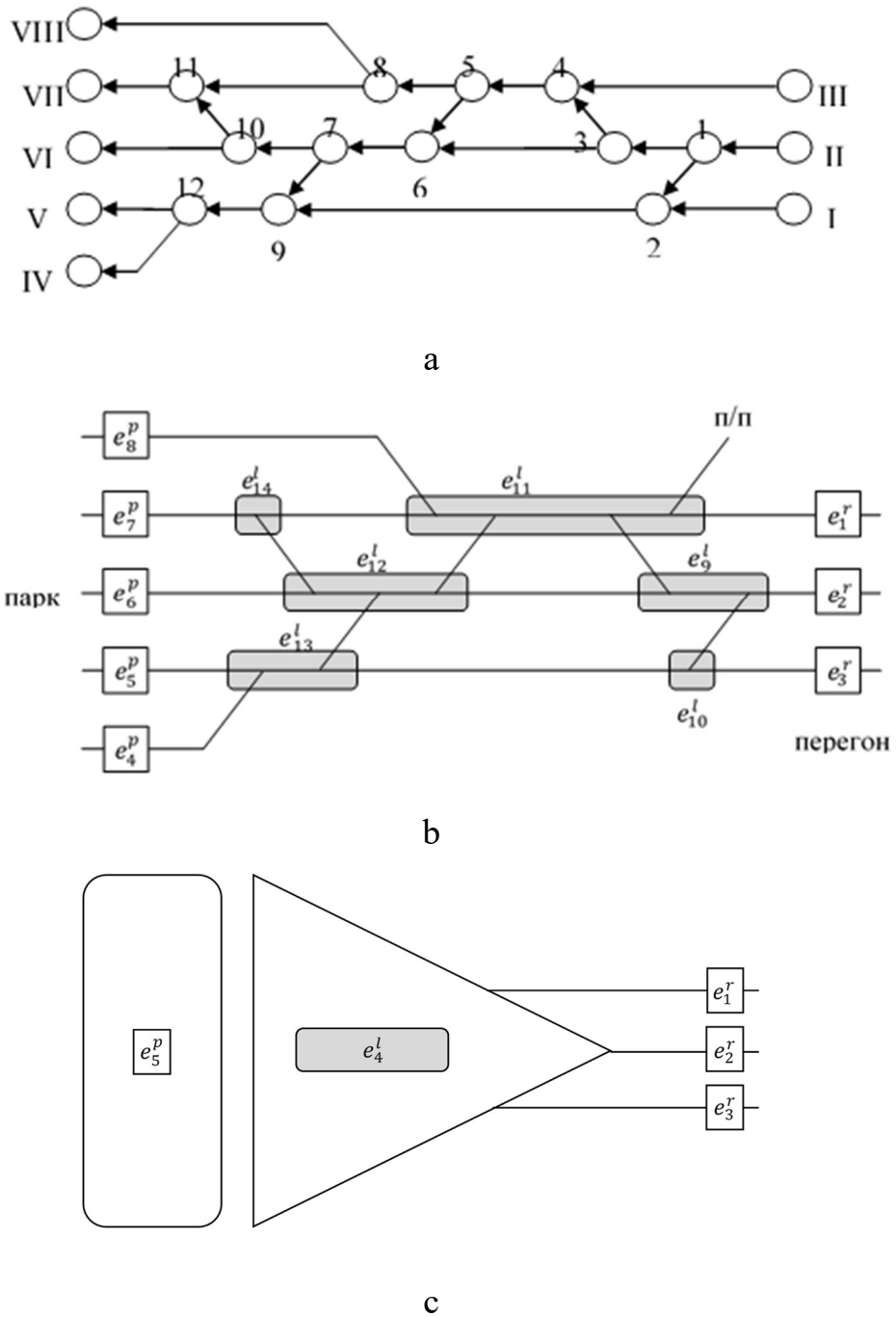


Рисунок 2.6 – Станционный блок

а — граф станционного блока; б — схема станционного блока в элементах модели; в — минимально возможный вариант

Условием исключения ребра графа станционного блока будет отсутствие передвижений одновременно проходящих через обе вершины ребра (Рисунок 2.8), в этом случае ребро устраняется и вершины объединяются в одну.

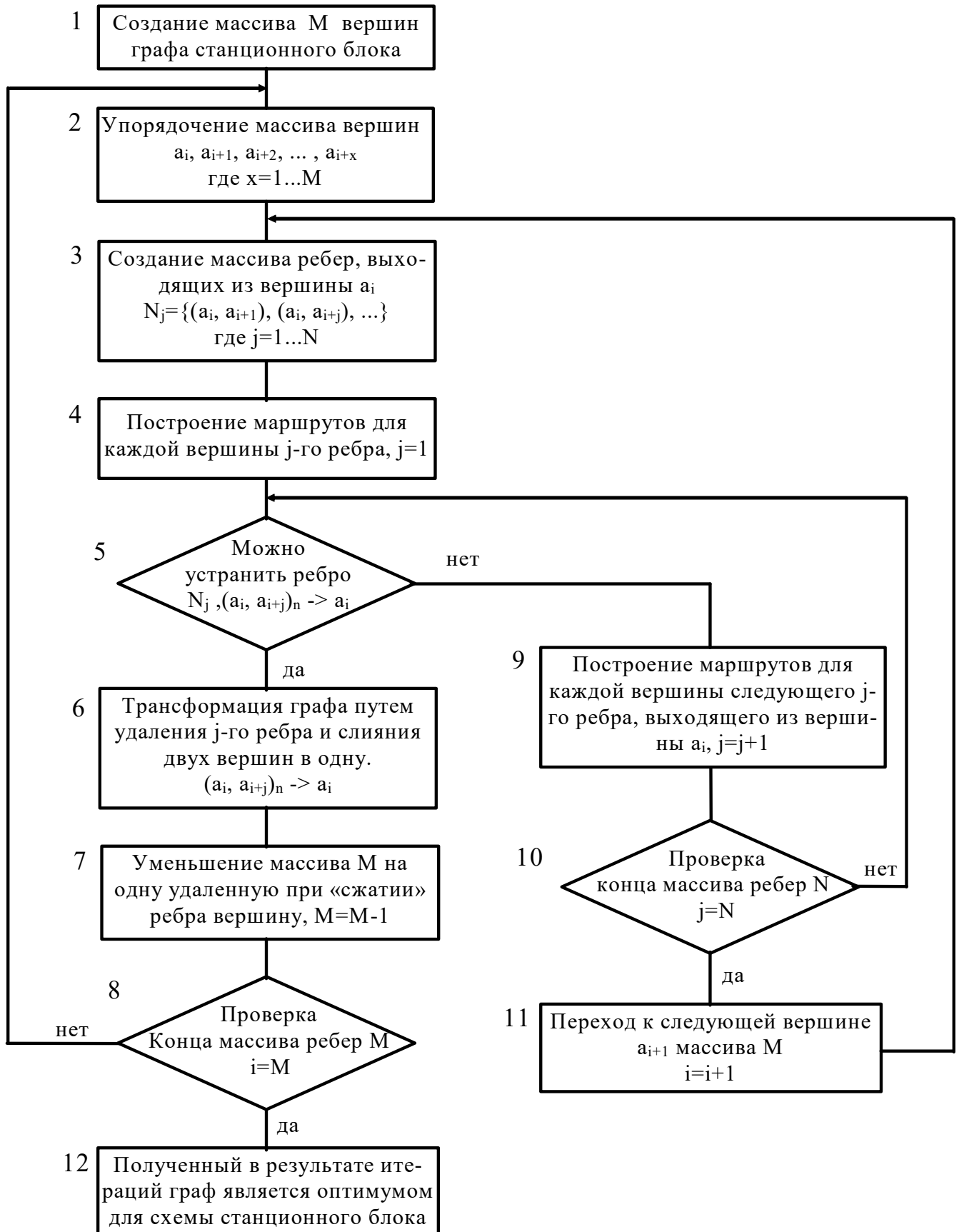


Рисунок 2.7 – Блок-схема процесса декомпозиции схемы станционного блока на элементы

Для реализации метода макромоделирования требуется укрупнить элементы структуры, не теряя при функционал. В функциональном смысле возможность пропуска потока определяется величиной загрузки. Необходимо выбрать метод расчета загрузки горловины, состоящей из десятков стрелок. Показатель средневзвешенной загрузки стрелок в функциональном смысле неинформативен и не будет определять резерв пропускной способности горловины.

Определение занятости наиболее загруженной стрелки тоже не подходит. На основании многочисленных расчетов на моделях был сделан вывод, что далеко не всегда лимитирующим элементом выступает самая загруженная стрелка (Рисунок 2.9). Стрелки не бывают загружены на все 100%. Моделирование одной из промышленных станций показало, что при исчерпании ее пропускной способности максимальная загрузка стрелок находилась на уровне 47% [94].

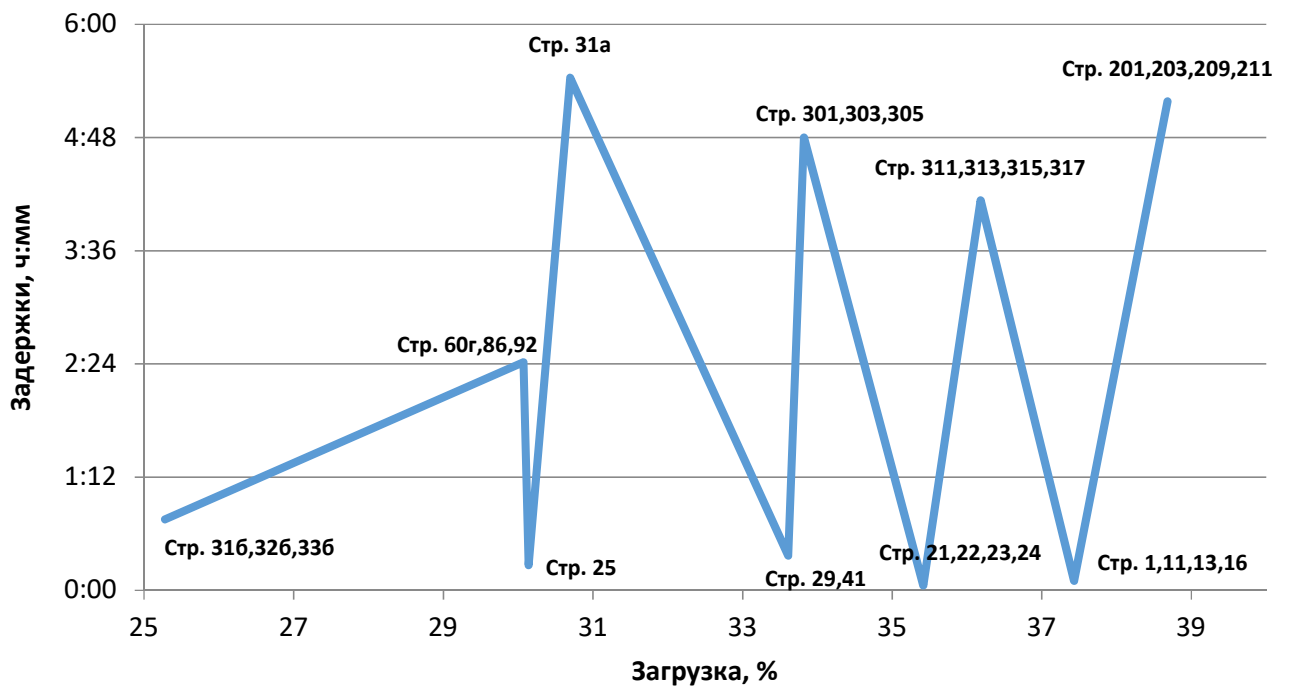


Рисунок 2.8 – Соотношение загрузки стрелочных групп и задержек на ст. Новоліпецк

Отдельная стрелка функционального значения не имеет. Технологическое передвижение обеспечивает группа стрелок, которую можно выделить в своего рода «виртуальный канал».

За функциональный параметр горловины принимается число возможных одновременных передвижений, то есть число «виртуальных каналов». Загрузка горловины будет характеризоваться числом занятых «каналов». Применение такого показателя вызывает вопросы, связанные с практикой организации выполнения технологических операций с наличием специализированных путей, локомотивов и т.п. Вывод о его функциональной значимости необходимо проверить экспериментально на моделях [95, 96, 97].

2.5.2 Макромоделирование процессов

Для автоматизированного построения моделей недостаточно преобразования структуры в элементы, необходимо выполнить отображение технологии с заданием технологических параметров и автоматически преобразовать технологию в операции модели.

Работа станции в модели представляется в виде набора операций [93]. За операцию принимается законченная часть техпроцесса, например, перестановка вагонов, подача локомотива и т.д. В модели операция – это набор элементов, записанных в определенной последовательности, участвующих в выполнении технологического процесса [87]. В виде логических элементов представляются передвижения и простои. Бункерные используются для отображения ёмкости. Технологические операции имитируют продвижение определенного потока в пространстве и времени. Например, приём и отправление поезда, подача на грузовой фронт и т.п. Имеются также технологические операции, моделирующие перемещение потока только во времени. Такие как технический и коммерческий осмотр состава, опробование тормозов и т.д. Части технологического процесса, начинающиеся за пределами транспортной системы, называются внешними операциями; те, которые начинаются в пределах системы, – внутренними. Для

внешних заявок необходимо до начала расчёта составлять исходное поступление грузопотоков. Расписание формируется с помощью графика движения или псевдослучайных чисел. Таблица взаимосвязи операций увязывает их между собой. Совокупность состояний локомотивов, парков и путей, других элементов технологического процесса работы станции в определённый момент времени является стыковочным узлом.

Упрощения создания модели можно достигнуть за счет сокращения набора записей в операциях через укрупнение элементов. Дополнительно ускорить процедуру позволит набор механизмов САПР для построения и корректировки схемы технологического процесса, задания параметров операций. При проектировании станций удобно задавать стандартное (или аналогичное) время выполнения операций (Рисунок 2.9).

Исследователю достаточно поставить отметку в графе «стандартное» и из справочника будут вставлены в блок задания технологического процесса параметры операции. Это среднее время, максимальное и минимальное, параметры закона распределения случайной величины. Для составления технологического процесса справочник содержит перечень всех возможных типов операции (Рисунок 2.10).

Такие возможности позволяют сформировать из отдельных операций элементарные подпроцессы. Подпроцесс имеет определенную законченную технологическую сущность (функциональность). Например, подпроцесс «расформирование» будет включать в себя операции – осмотр состава, заезд горочного локомотива, роспуск с горки, осаживание, обгон локомотива.

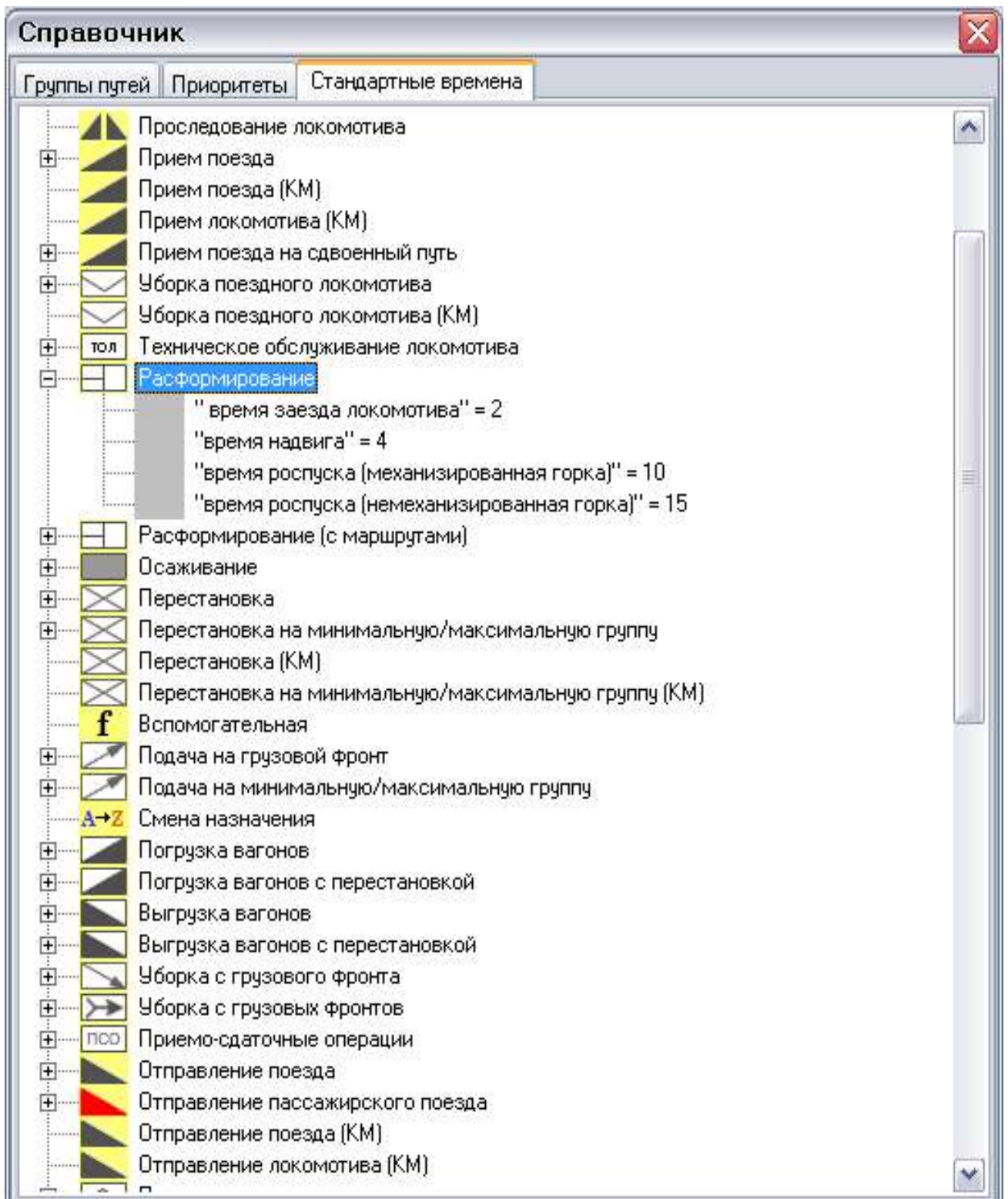


Рисунок 2.9 – Блок задания параметров операции

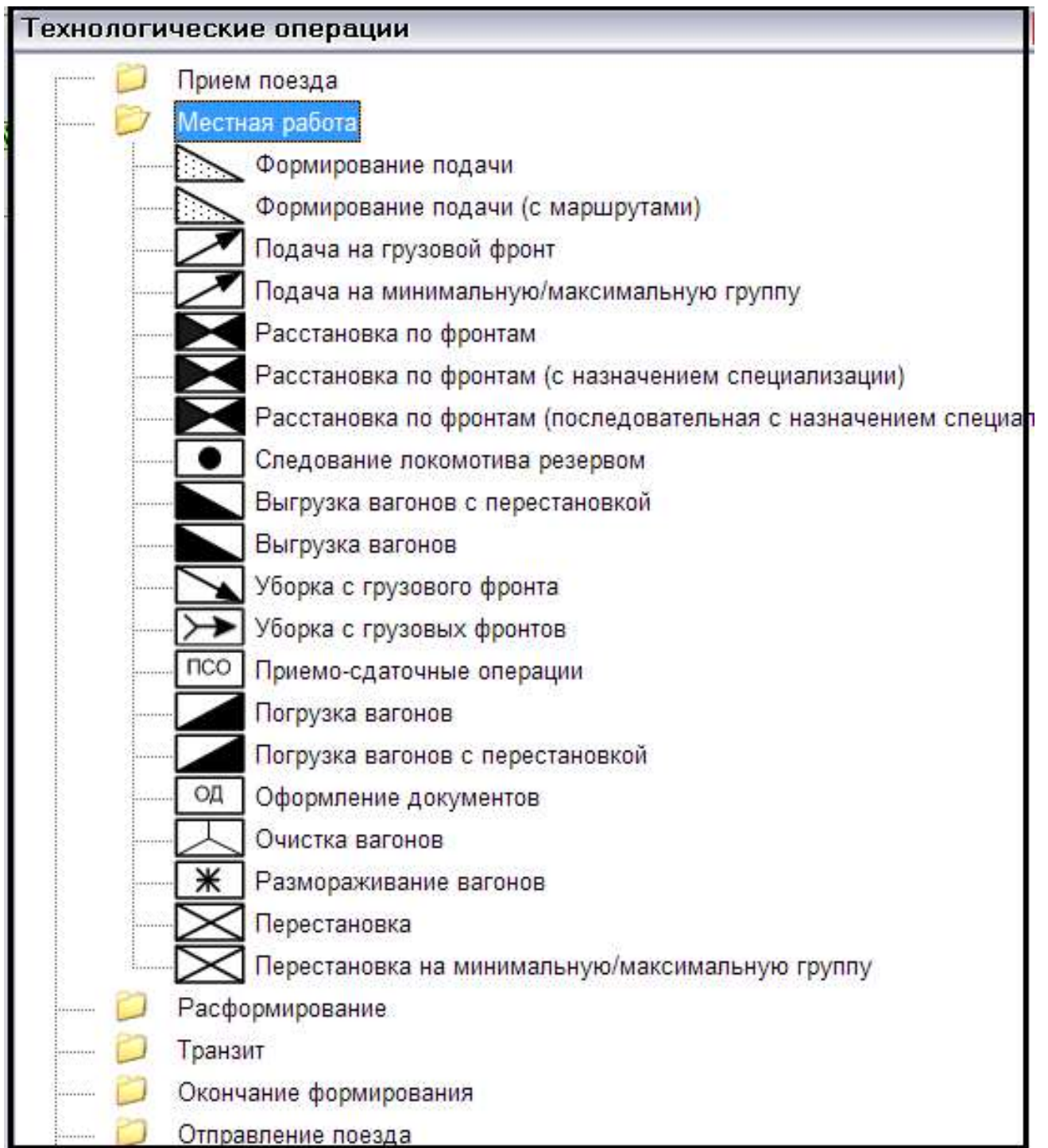


Рисунок 2.10 – Справочник технологических операций

За счет перехода в построении модели с уровня операций на уровень процессов можно снизить трудозатраты пользователя. Имитационной системой автоматически будут создаваться структура технологии на уровне операции, структура операций и варианты их выполнения. Пользователю останется определить последовательность и параметры процессов.

При макро моделировании операция переносит часть потока из одного сектора в другой. При этом отображается занятость некоторого канала обработки – локомотива, горки, грузового фронта, бригады [94].

Парк в общем случае можно разделить на две части – входную, вагоны до обработки, и выходную, вагоны после обработки. При многоструйном потоке, каждая часть может иметь несколько секторов. В выходной части будут находиться составы, сформированные для отправления или вагоны, подготовленные для перестановки в другой парк.

Например, предгорочный парк (Рисунок 2.11) может иметь два сектора – входной S1 (вагоны до обработки) и выходной S2 (обработанные вагоны). Операция отображает перемещение состава из сектора S1 в сектор S2 и занятие бригады. Емкость двух секторов в сумме не должна превышать предельной функциональной ёмкости парка. Поступление потока через горловину в сектор S1 и убытие через горку порции потока из сектора S2 – внешние операции для парка.

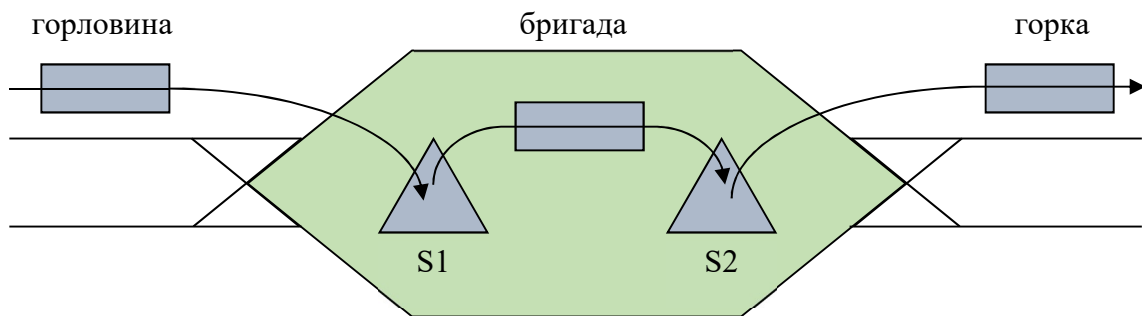


Рисунок 2.11 – Макро моделирование работы предгорочного парка

По аналогичным принципам макро моделирования можно описывать разнообразные процессы, меняя названия операций перехода, секторов во входной и выходной части, и каналов обработки. Результаты моделирования будут достаточно содержательными. Описанный принцип макро моделирования может быть использован и при отображении грузовой работы.

2.5.3 Технология моделирования парков

Функциональный подход применяется и при моделировании парков. Вместо физической вместимости задается предельная функциональная емкость, такая, при которой парк еще сохраняет свои функциональные возможности. Для разных типов парков соотношение функциональной емкости и физической будет различным [95, 96, 97].

Для предгорочного достаточно оставить два свободных пути – для обгона локомотива и для приема очередного поезда. Необходимо учесть, что длина поездов обычно меньше предельной вместимости путей. А при превышенной загрузке сортировочного появится большое количество накопившихся составов, окончание формирования будет затруднено, что вызовет затруднения и в процессе расформирования. Или грузовой парк, где идет подборка вагонов на несколько грузовых фронтов. Если пути будут заняты составами по 60 вагонов, то выбирать из них группы по 5-7 вагонов будет проблематично. Следует учитывать и другие факторы. Пропускная способность горловин так же оказывает влияние предельное функциональное заполнение парков. Чем она меньше, тем ниже уровень функционального заполнения парка.

Таким образом, функциональная q емкость парка всегда меньше физической емкости Q

$$q = \alpha Q, \quad (2.17)$$

где α – коэффициент соотношения.

Коэффициент α зависит от назначения парка и принятой технологии, а также от пропускной способности горловины

$$\alpha = f(k_1, k_2, k_3), \quad (2.18)$$

где:

$$k_1 = \frac{m}{n}, \quad (2.19)$$

m – средняя величина состава,

n – средняя вместимость путей;

$$k_2 = \frac{N_c}{N_n}, \quad (2.20)$$

N_c – число направлений формирования,

N_n – число путей в парке,

k_3 – число параллельных передвижений в горловине.

Значение коэффициентов соотношения для различных парков следует определять экспериментами на подробных моделях по величине недопустимых задержек.

В моделировании техпроцесса сортировочного парка есть свои особенности. Частота появления готовых составов зависит от уровня заполнения парка. То есть

$$M(t) = f(q(t)), \quad (2.21)$$

где $M(t)$ – математическое ожидание числа появившихся готовых составов после очередного отпуска;

$q(t)$ – число вагонов в сортировочном парке.

Конкретное число – это результат работы случайного датчика на основе $M(t)$. Эти закономерности необходимо также получить из имитационных моделей сортировочных станций.

2.6 Методическое обоснование исследования

На основе представленных теоретических исследований можно сформировать принцип функционального описания структурных элементов транспортных систем. Такой подход обладает научной новизной и отвечает требованиям к научной гипотезе. В исследовании под гипотезой понимается научно обоснованное предположение о непосредственно ненаблюдаемом факте либо о закономерном порядке, объясняющем известную совокупность явлений [98]. Несмотря на то, что гипотеза носит вероятностный характер, на ее основе происходит систематизация ранее накопленных знаний и осуществляются поиски новых научных результатов.

Гипотеза должна быть проверяемой. Следствия, выводимые из гипотезы, должны поддаваться опытной проверке и соответствовать результатам опыта [98].

Другой формой проверки является формирование разных гипотез об одном и том же явлении и исключении тех из них, выводы которых противоречат фактам [99].

Методика проведения исследования представлена на схеме [Рисунок 2.12].



Рисунок 2.12 – Схема организации исследований

Общая идея опытно-экспериментальной проверки заключается в сравнении результатов расчетов на экспериментальной макромодели и стандартной

имитационной микромодели при одинаковых исходных данных. Для создания экспериментальной макромодели необходимо адаптировать действующую технологию моделирования с помощью ИСТРы.

Такая постановка вопроса потребует проведения исследования функциональных свойств горловин на микромоделях с целью обоснования способа задания пропускной способности горловин в макромодели.

Переход от отображения путевого развития парков и станций к обобщенной емкости бункера потребует разработки методических основ отображения предельной функциональной емкости парков. Необходимо запланировать исследования разнообразных парков на подробных моделях. Требуется технологическое решение и отображение операций в укрупненной модели, и тем более переход к отображению элементарных процессов.

Проверка достоверности гипотезы на основе сравнения с другими гипотезами сводится к определению в ходе проведения экспериментов уровня задержек, вызванных наиболее загруженными стрелками. Такие эксперименты необходимо провести на достоверных микромоделях.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 2

1. Разработка имитационной модели – трудоемкий и долговременный процесс. Существенным риском применения моделей может оказаться чрезмерная стоимость, несоизмеримая с выгодами использования. Существенное облегчение процесса создания может быть обеспечено применением зарекомендовавших себя специализированных программ.

2. Для целей моделирования транспортных систем, для определения пропускной и перерабатывающей способности оптимальной является имитационная система ИСТРА. В процессе разработки и многолетнего применения на практике накоплен и использован огромный опыт. В системе существенно нивелированы основные недостатки, присущие моделированию.

3. При микромоделировании горловин в системе ИСТРА детально отображается структура вплоть до каждой стрелки. Наложение на подробную структуру пооперационных технологических процессов позволяет определить не только пропускную способность горловины, но и получить загрузку каждого элемента и задержки, связанные с ним. При макромоделировании ставится задача учесть только лишь пропускную способность без дальнейшей детализации.

4. Для макромоделирования предлагается перейти от структурного подхода к функциональному. Функцией горловины является пропуск потока. Пропускная способность зависит от числа возможных параллельных передвижений. Именно этот параметр горловины закладывается в макромодель.

5. Основной характеристикой парка является функциональная емкость, при которой сохраняются его функциональные возможности. Функциональная емкость парка всегда меньше физической. Коэффициент соотношения зависит от принятой технологии, неоднородности потоков и пропускной способности горловин.

6. Выводы о функциональной значимости параметров «число возможных передвижений» в горловине и «функциональная емкость» парков необходимо проверить экспериментально на моделях.

Глава 3. Определение функциональных свойств горловин в макро моделировании

3.1 Основной принцип

При макро моделировании не требуется детальное отражение горловины в модели, необходимо учесть только пропускную способность. При функциональном подходе основной параметр горловины это число возможных параллельных передвижений. Эти передвижения нумеруются. При выполнении операции приема и отправления поезда или некоторого элементарного процесса по переработке потока снимается (занимается) некоторый набор возможных передвижений. Тем самым укрупненно учитывается пропускная способность горловин [95, 96, 97].

Таким образом, пропускная способность горловин будет определяться числом возможных параллельных передвижений (числом виртуальных каналов), а также числом использованных каналов в операциях технологического процесса (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Моделирование горловины

Горловина	Структурный подход	Функциональный подход
Описание объекта	Физическая структура горловины	Функциональное свойство – число параллельных передвижений
Описание процесса	Занятость стрелок при движении потока	Занятость передвижений

Экспериментальная проверка значимости предложенного способа задания пропускной способности горловин должна обеспечить возможно большую статистическую представленность. Эксперименты должны отражать разнообразные факты. Предметы экспериментов должны обладать внутренней объективной связью между собой.

Для соблюдения перечисленных условий в качестве объектов моделирования выбираются пять горловин, различных, по характеру работы, станций. Для каждой станции строятся две модели объекта. Первая модель строится стандартным микромоделированием, с детальным отображением структуры. Во второй модели выделенная горловина будет представлена каналами передвижений.

Под функцией отклика понимается результирующая пропускная способность горловины. Для удобства исследований будет измеряться суммарное время задержек по операциям. Влияющими факторами являются: варианты технологии, величина входного потока, структура потока. Границы факторного пространства определяются на основе анализа действующего технологического процесса работы станции и колебаний потока. Для каждой станции задаются три возможных варианта технологии. Эксплуатационные потоки заданы для максимальных, средних и минимальных размеров. Период расчета составляет 10 суток. Комбинация различных факторов является планом эксперимента.

3.2 Станция Сортировочная Енакиевского металлургического завода

3.2.1 Структура и технология работы

Станция Енакиево (станция примыкания) государственного предприятия «Донецкая железная дорога» по характеру работы является грузовой станцией 1-го класса.

Станция Енакиево расположена на электрифицированном однопутном участке Криничная – Угледорск. Выполняемые операции: прием грузовых поездов, их расформирование и сдача на примыкающие подъездные пути под грузовые операции, прием поездов с подъездных путей, формирование и отправление поездов согласно плану формирования поездов, прием и отправление пассажирских поездов.

К станции примыкают два однопутных направления – нечётное «Волынцево», чётное – «Щебенка».

Схема путевого развития станции Енакиево и примыкающего к ней железнодорожного пути станции «Сортировочная» ЗАО «Енакиевский металлургический завод» представлена на рисунке (Рисунок 3.1).

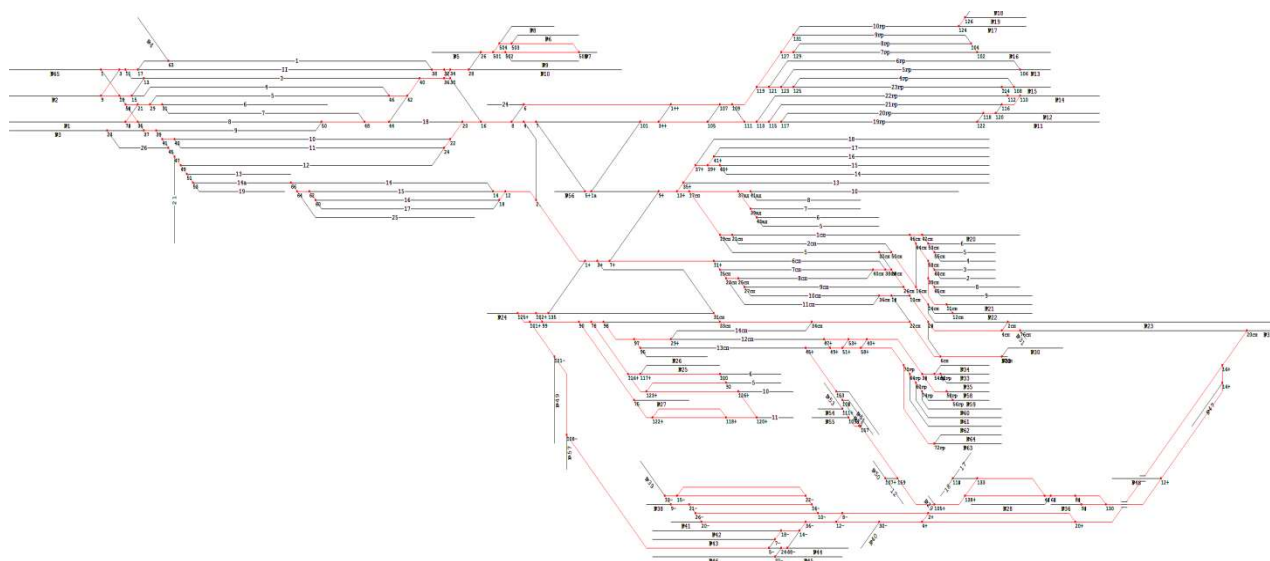


Рисунок 3.1 – Схема путевого развития станции Енакиево и примыкающей заводской сортировочной станции.

Для приема, отправления и пропуска поездов на станции Енакиево имеется 9 приемо-отправочных путей. Накопление и формирование выполняется на 8 сортировочных путях. Маневровая работа на станции Енакиево производится локомотивом станции и локомотивами ЕМЗ. В транспортной системе станции и металлургического завода работает 39 маневровых локомотивов. В связи с трудными условиями некоторые передвижения выполняются двойной и тройной тягой. Разрешается одновременная самостоятельная работа двух и даже трех маневровых локомотивов в одном маневровом районе при условии отсутствия пересечения маршрутов.

Схема грузопотоков приведена на рисунке (Рисунок 3.2.).

Основная работа станции Енакиево и Сортировочная направлена на обслуживании производственного процесса Енакиевского металлургического завода (ЕМЗ).

Грузовые поезда обоих направлений (маршруты с аглорудой, концентратом, агломератом, коксом, известняком, окатышами и разборочные поезда)

принимаются на пути 2-5, 7-9 станции Енакиево. При невозможности разместить поезд в пределах полезной длины хвост поезда занимает стрелочные переводы в горловинах. Отцепка и перестановка на другой путь вагонов, не поместившиеся в пределах полезной длины пути, производится маневровым локомотивом. Дальнейшая работа с головной и хвостовой группами вагонов ведется параллельно, независимо друг от друга. Поездной локомотив из-под прибывшего поезда следует под готовый к отправлению состав, либо отправляется со станции резервом.

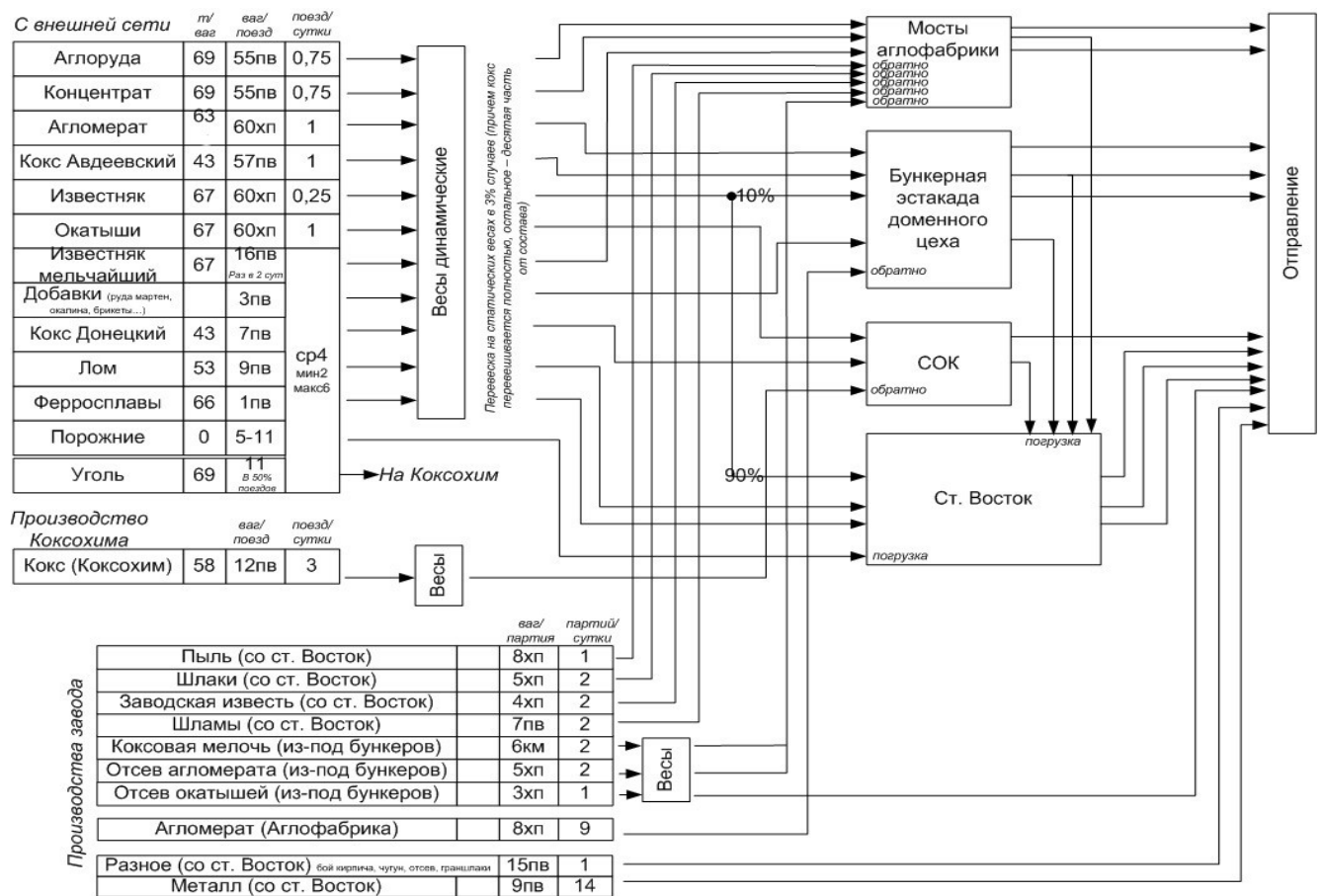


Рисунок 3.2 – Схема грузопотоков в транспортной системе ЕМЗ

Для маршрутов выполняется технический и коммерческий осмотры, затем приемосдаточные операции приемосдатчиками станции и приемосдатчиками ЕМЗ. Для разборочных поездов выполняется технический и коммерческий осмотры, затем состав маневровым локомотивом станции расформировывается с подборкой вагонов по грузополучателям. После расформирования выполняются приемосдаточные операции.

При наличии свободного места на путях станции Сортировочная маневровый локомотив ЕМЗ заезжает на станцию Енакиево и переставляет вагоны на путь 11 Среднего парка станции Сортировочная, где взвешиваются на динамических весах. Из-за короткой длины вытяжного пути, расформирование выполняется в несколько этапов. Вагоны расформировываются на пути Среднего и Нижнего парков, по возможности с подборкой по роду груза.

Из маршрута известняка вагоны с мелким известняком расформировываются на пути Среднего и Нижнего парков, вагоны с крупным известняком двумя маневровыми локомотивами следуют на станцию Восток и далее в цех обжига под выгрузку, где выгружаются без отцепки локомотива. Второй локомотив после подачи вагонов освобождается.

Вагоны с грузами, требующими размораживания (аглоруда, концентрат, мельчайший известняк, добавки) подаются в тепляки и расставляются по путям. По окончании процесса размораживания вагоны переставляются на агломосты и расставляются по фронтам выгрузки. По окончании выгрузки вагоны переставляются на путь 3а для очистки, закрытия люков, осмотра. После выполнения этих операций вагоны переставляются в Верхний парк для накопления к отправлению, либо в средний парк для дальнейшей передачи на станцию Восток под погрузку.

Вагоны с окатышами подбираются для подачи на СОК. После выгрузки вагоны переставляются в Верхний парк для накопления к отправлению.

Вагоны с донецким коксом (прибывает в сборных поездах) подбираются для подачи на СОК (склад окатышей и кокса), где происходит выгрузка. После выгрузки вагоны переставляются в Верхний парк для накопления к отправлению, либо под погрузку на станцию Восток.

На СОКе выгрузка окатышей и кокса не может выполняться параллельно.

Вагоны с агломератом подбираются для подачи на бункерную эстакаду. После опробования тормозов, вагоны переставляются на вытяжку 9 района, далее по нулевому пути на бункерную эстакаду. Выгрузка происходит при локомотиве.

Далее порожние вагоны через станцию Восток и Средний парк переставляются в Верхний для накопления к отправлению.

Вагоны с авдеевским коксом, мелким известняком, добавками (из тепляка), шлаком формируются для подачи на бункерную эстакаду. После опробования тормозов, вагоны переставляются на вытяжку 9 района, далее по нулевому пути на бункерную эстакаду. Выгрузка происходит при локомотиве. Далее порожние вагоны переставляются на станцию Восток для погрузки металла, либо порожние возвращаются в Верхний парк.

Вагоны с ломом, ферросплавами, порожние и пр. формируются и переставляются на станцию Восток. После выполнения грузовых операций вагоны переставляются в Верхний парк для накопления к отправлению.

После окончания процесса накопления вагонов (по направлению следования, по роду вагонов, по роду грузов и т.д.) выполняются приемо-сдаточные операции, опробование тормозов, далее вагоны переставляются на станцию Енакиево (в зависимости от веса состава одним, двумя или тремя локомотивами). После выполнения операций окончания формирования, осмотра, подачи локомотива, опробования тормозов, раскрепления, поезд отправляется со станции.

Пассажирские и транзитные пригородные поезда обоих направлений принимаются на путь 1 станции Енакиево. Пригородные поезда со сменой направления движения принимаются на путь 1 станции Енакиево. После операций посадки-высадки пассажиров и смены кабины управления (для поездов со сменой направления движения) поезда отправляются со станции.

3.2.2 Функциональные свойства горловин

На рисунках, представленных ниже, зеленым цветом обозначены поездные маршруты, красным – маневровые.

Станция Сортировочная. Четная горловина.

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, маневровая работа по формированию и расформированию составов, подача и уборка вагонов на грузовые фронты.

Максимально возможное число передвижений в горловине – 6, минимально возможное – 2. На рисунке 3.3 представлены примеры маршрутов шести одновременных передвижений: 1 – подача локомотива из депо, 2 и 3 – прием и отправление поездов, 4 – взвешивание вагонов, 5 – уборка вагонов из тепляка, 6 – маневровая работа по перестановке вагонов на повышенном пути.

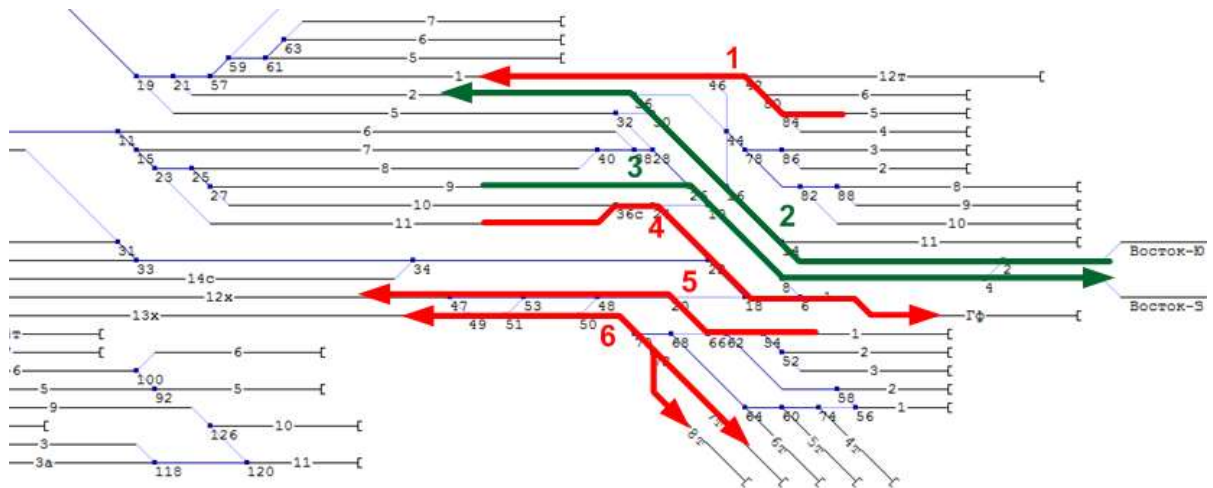


Рисунок 3.3 – Шесть параллельных маршрутов в горловине станции
Сортировочная

При выполнении, например, операций "расформирование" и "прием поезда на первый путь" (Рисунок 3.4 – №8 и №7) количество одновременно возможных маршрутов уменьшится до четырех.

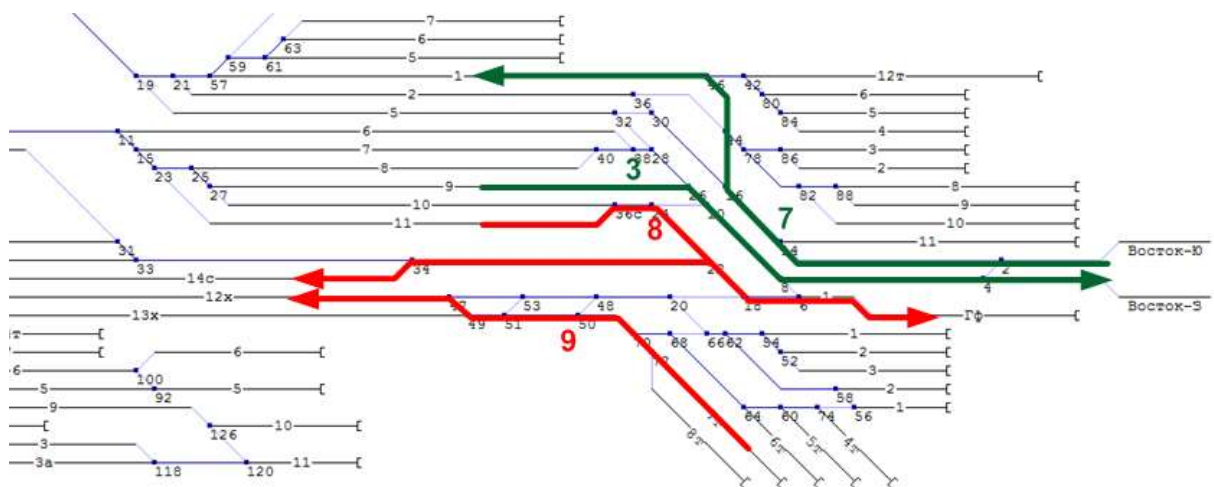


Рисунок 3.4 – Четыре параллельных маршрута в горловине
станции Сортировочная

Прием на первый путь (№7), отправление с одиннадцатого (№10) и формирование подачи (№11) сократят количество одновременных передвижений до трех (Рисунок 3.5).

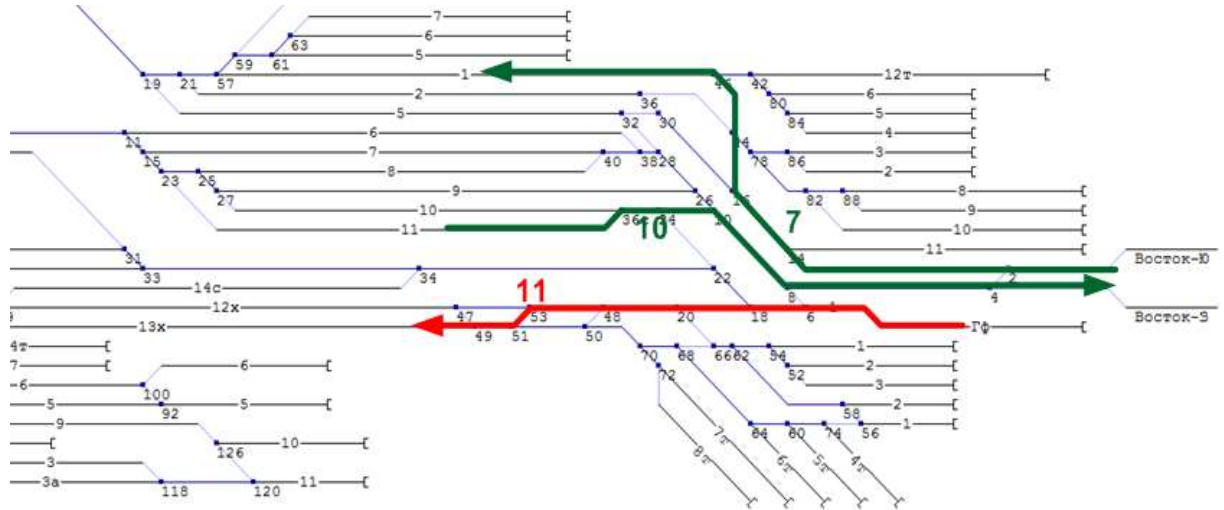


Рисунок 3.5 – Три параллельных маршрута в горловине станции Сортировочная

И, наконец, минимальное число передвижений в горловине – 2 (Рисунок 3.6). Это могут быть операции приема поезда (№7) и расформирования с использованием пятого и тринадцатого путей (№12).

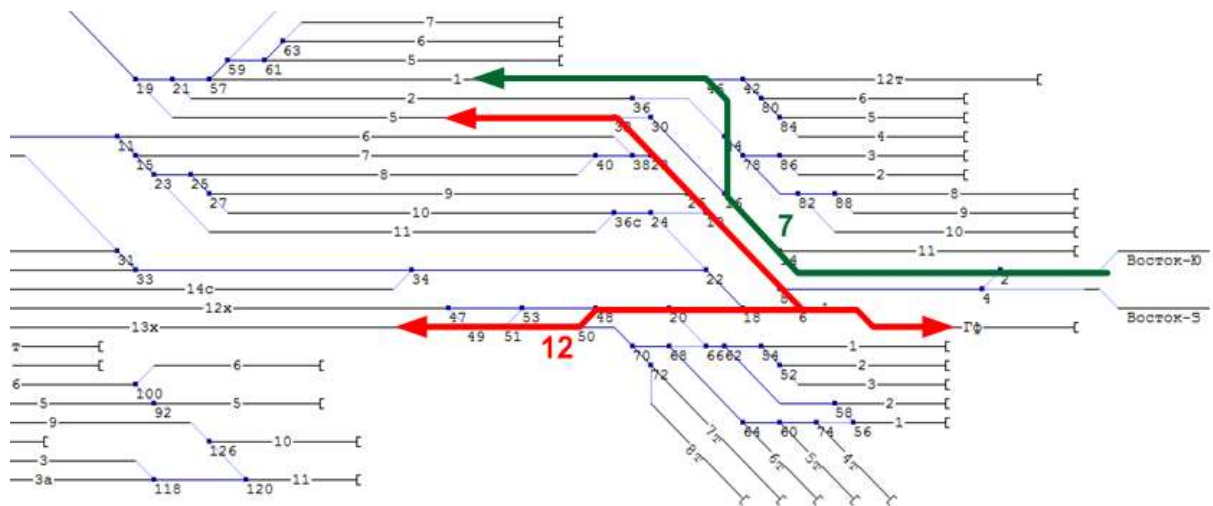


Рисунок 3.6 – Два параллельных маршрута в горловине станции Сортировочная

Таблица 3.2 содержит примеры операций и количество снимаемых ими других маршрутов в горловине.

Таблица 3.2 – Операции и количество снимаемых ими передвижений

Операция	Среднее количество операций в сутки	Количество снимаемых передвижений
1. Выезд локомотива из депо	12	1
2. Прием поезда В-С на второй путь	5	1
3. Отправление поезда С-В с 9 пути	2	3
4. Взвешивание на 11 пути	10	3
5. Уборка вагонов из тепляка	20	2
6. Перестановка вагонов на повышенном пути	6	1
7. Прием поезда В-С на первый путь	5	1
8. Расформирование в нижний парк	10	1
9. Уборка вагонов с повышенного пути	8	2
10. Отправление поезда с 11 пути	5	3
11. Формирование подачи	25	4
12. Расформирование в верхний парк	12	4

Так, например, операция «формирование подачи» снимает наибольшее число передвижений, и, в то же время, выполняется большое количество раз. Соответственно, она вызывает много задержек (Рисунок 3.7). Следовательно, и стрелки, которые используются в данной операции, являются узким местом горловины (Рисунок 3.8).

операция	графически	в сутки	на опера
Формирование подачи		54:02	1:53
Перестановка		28:48	0:44
Осмотр по приему		6:37	0:06
Полурейс локомотива резервом		6:12	0:07
Расстановка по фронтам		4:47	0:28
Окончание формирования		3:57	0:27
Расформирование		3:35	0:06
Следование локомотива резервом		3:35	0:02
Погрузка вагонов		3:02	0:02
Прием поезда		2:48	0:20
Уборка поездного локомотива		2:37	0:39
Выгрузка вагонов		2:36	0:01
Закрепление состава		1:43	0:02
Приемо-сдаточные операции		1:40	0:07
Следование локомотива резервом		1:14	0:04

Рисунок 3.7 – Задержки по операциям станции Сортировочная

название	графически	загрузка	задержка из-
Стр.6,18,22,31,33,34		11:45	10:04
Стр.9а,21а,24а		11:43	X
Стр.9,13,17,19,21,35,37,39,4		11:20	6:16
Стр.75,76,90,98,99,116,117,1		9:44	7:19
Стр.29,95,97		9:23	8:52
Стр.47,53		9:02	0:39
Стр.20,48		8:40	1:15
Стр.11,15,23,25,27		8:36	3:47
Стр.5,101к		8:27	0:30

Рисунок 3.8 – Задержки из-за стрелок горловины станции Сортировочная

3.3 Сортировочная станция Карымская Забайкальской железной дороги

3.3.1 Структура и технология

Станция Карымская по характеру работы является сортировочной, по объему работы – станция первого класса. К станции примыкают двухпутные направления – Туринская (четное) и Тарская (нечетное). Станция имеет четыре параллельно расположенных парка, (три приемоотправочных парка – «А», «Б», «В», сортировочный парк «С»), последовательно с которыми со стороны четной горловины расположены локомотивное депо и приемоотправочный парк «Д» (Рисунок 3.9)

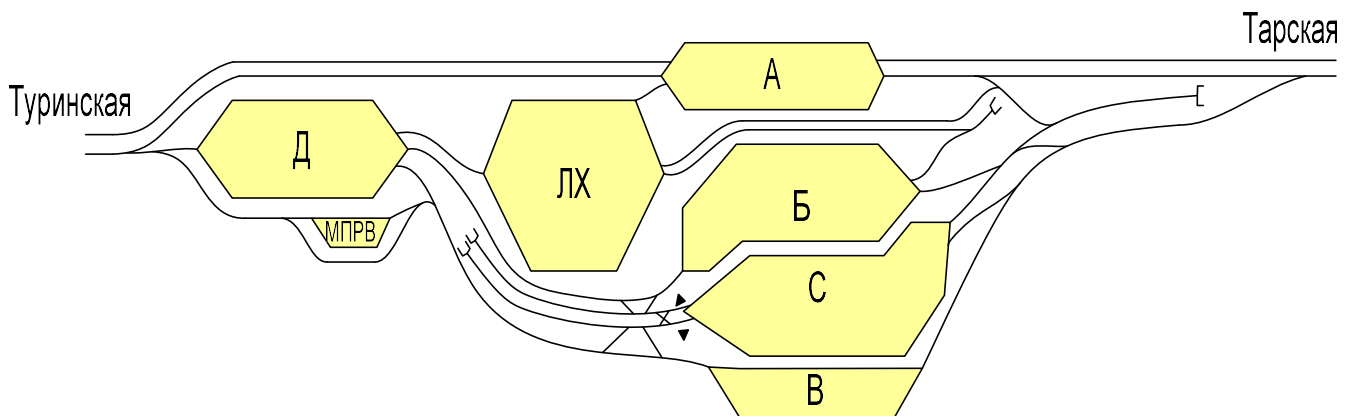


Рисунок 3.9 – Схема станции Карымская

В приемоотправочном парке «А» 7 путей, два из которых выделены для пассажирской работы. В парке работает две бригады технического осмотра составов.

Приемоотправочный парк «Б» состоит из 6 путей.

В сортировочно-отправочном парке «С» 15 путей. С запада парк имеет сортировочную горку малой мощности для переработки четных и нечетных поездов, прибывающих в расформирование, работающую с запада на восток. Сортировочная горка имеет два вытяжных пути № 22 и № 23 с двумя путями надвига. Расформированием занимаются три маневровых локомотива. Сортировочные пути парка «С» объединены в два пучка. В первом пучке 7 путей,

во втором пучке 8 путей, в районе формирования работают три маневровых локомотива.

В парке приема «В» 5 путей, фактически для приема поездов в расформирование используются только три. Один путь парка занят пожарным поездом. Второй – соединительный для отправления четных поездов из парка «Д», имеет прямой выход на перегон направления «Тарская» без отклонений по стрелочным переводам.

Парки «Б», «С» и «В» обслуживаются одной группой из трех бригад технического осмотра.

Парк «Д» состоит из 10 приемоотправочных путей. Пять путей парка специализированы для обработки нечетных транзитных поездов (в т.ч. один путь – ходовой), пять путей – для четных транзитных поездов. В парке находится механизированный пункт ремонта вагонов; работают две бригады технического осмотра. Маневровую работу выполняет выделенный локомотив.

Основной функцией станции является пропуск транзитного поездопотока без расформирования. По данным трех прошлых лет станция в среднем за сутки перерабатывала:

- 67 нечетных грузовых поездов, из них:
 - 52 – транзит без переработки;
 - 5 – транзит с частичной переработкой;
 - 10 – в расформирование;
- 68 четных грузовых поездов, из них:
 - 41 – транзит без переработки;
 - 22 – транзит с частичной переработкой;
 - 5 – в расформирование;
- 18 пар пассажирских поездов.

Грузовые поезда нечетного и четного направления, согласно специализации путей, принимаются на пути приемоотправочных парков «А», «Б», «В», «Д».

Транзитные поезда нечетного направления без переработки и с частичной переработкой принимаются в парк «А» и «Д». Поездные локомотивы из-под состава и под состав проследуют через контрольный пост в четной горловине локомотивного депо. В случае прибытия транзитного поезда с частичной переработкой выполняется отцепка вагонов, которые с путей парка «А» маневровым локомотивом со стороны нечетной горловины переставляются на пути накопления парка «С». От поезда, прибывшего в парк «Д», отцепляемая группа переставляется на свободный путь парка «Д», откуда затем локомотивом парка «Д» вагонами вперед следует до свободного пути парка «В», затем через горочные вытяжки осаживается на пути накопления парка «С».

Четные транзитные поезда принимаются в парк «Б» и «Д». Поездные локомотивы для поездов, прибывших в парк «Б», обгоняются через нечетную горловину парка и по ходовым путям парка «Б» на контрольный пост в нечетной горловине депо. Для поездов, прибывших в парк «Д», смена поездных локомотивов производится без угловых заездов через контрольный пост в четной горловине депо. Для поездов с частичной переработкой в зависимости от их назначения может выполняться как отцепка вагонов, так и пополнение состава. Для поездов в парке «Б» эти операции производятся горочным локомотивом со стороны четной горловины парка. Через горочные вытяжки вагоны либо осаживаются на пути накопления (в случае отцепки), либо вытягиваются с путей накопления (в случае пополнения). Для поездов в парке «Д» операции отцепки либо пополнения выполняются локомотивом парка «Д», который выставляет (в случае отцепки) или переставляет (в случае пополнения) вагоны с выделенного пути парка «Д» или пути парка «С» через горочные вытяжки.

Для приема поездов в расформирование с четного и нечетного направлений выделены пути парка «В». Из-под четных поездов локомотив обгоняют через нечетную горловину парка, затем по ходовому пути парка «Б» на контрольный пост в нечетной горловине депо. Из-под нечетных поездов локомотив следует через четную горловину парка, затем горочную горловину на ходовой путь парка «Б», откуда на контрольный пост в нечетной горловине депо.

Длина путей парка «С» не позволяет накапливать поезда некоторых назначений до требуемой длины, поэтому накопление выполняют на нескольких путях, после чего объединяют состав со стороны нечетной горловины. Сформированные поезда нечетного направления после окончания формирования в сортировочном парке переставляются в парк «А». Поезда четного направления, отправляются с путей сортировочного парка. Подача поездных локомотивов под четные поезда своего формирования в парк «С» производится через ходовой путь парка «Б» со сменой направления движения в нечетной горловине станции.

Пассажирские поезда проследуют станцию транзитом или с остановкой на 1 или 3 пути парка «А».

3.3.2 Функциональные свойства горловин

Нечетная горловина

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, окончание формирования поездов в сортировочном парке, подача и уборка поездных локомотивов, отцепки и прицепки вагонов к транзитным поездам.

Параллельное расположение парков станции обуславливает такую конструкцию горловины, которая обеспечила бы максимальную маневренность.

Максимально возможное число передвижений в горловине – 7, минимально возможное – 2. На рисунке представлены примеры маршрутов семи одновременных передвижений: 1 – прием пассажирского поезда, 2 – отцепка вагонов для уменьшения веса нечетного поезда, 3 – уборка поездного локомотива, 4 – следование поездного локомотива в тупик для смены кабины управления, 5 – подача поездного локомотива, 6 – окончание формирования, 7 – отправление четного поезда своего формирования (Рисунок 3.10).

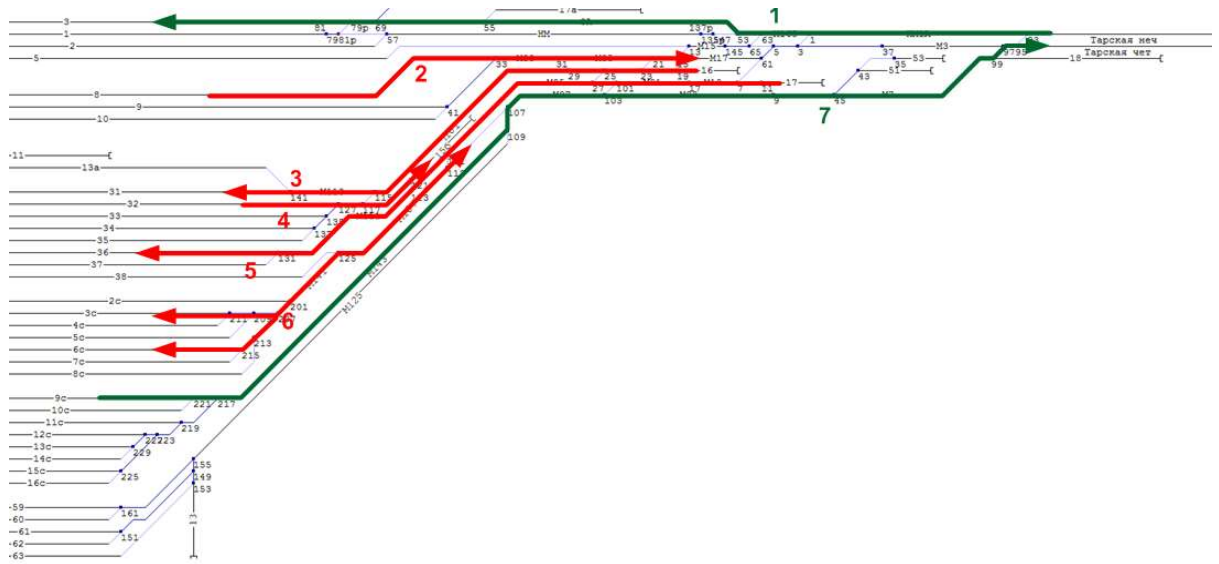


Рисунок 3.10 – Семь параллельных маршрутов в горловине станции Карымская

Наиболее массовые операции, вызывающие значительное число задержек по приему и отправлению транзитных поездов в соответствующие парки (№8 и №10) снижают число одновременно выполняемых передвижений до четырех (Рисунок 3.11). Параллельно можно выполнять операции следования поездного локомотива в тупик (№9) и окончание формирования (№11).

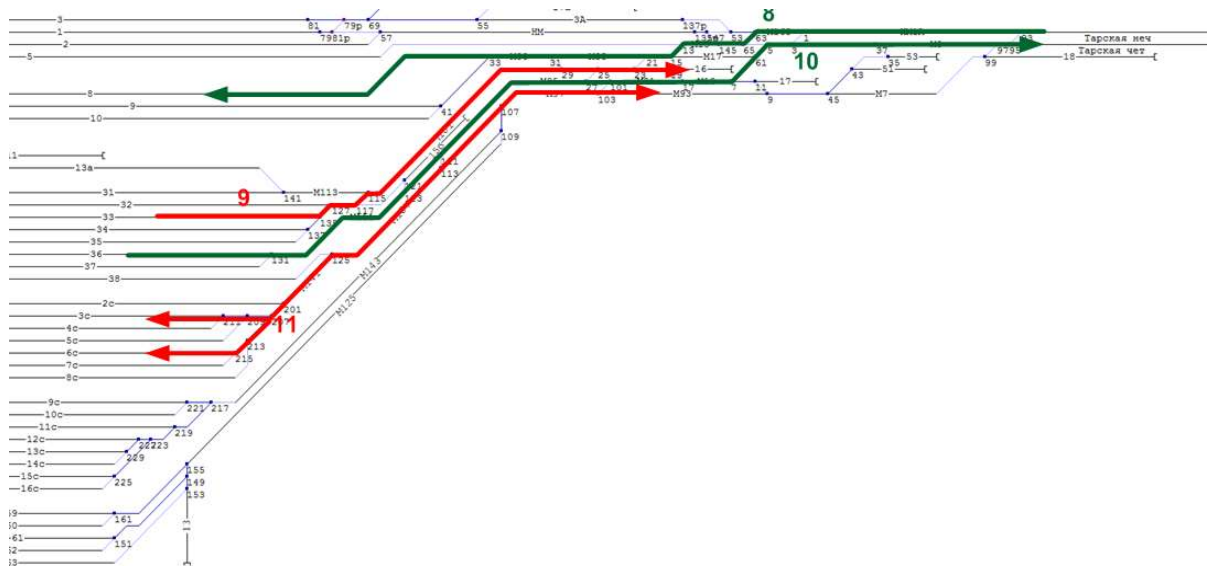


Рисунок 3.11 – Четыре параллельных маршрута в горловине станции Карымская

Перестановка поезда своего формирования из сортировочного парка для отправления в нечетном направлении (№12) оставляет возможность выполнения приема пассажирского поезда (№1) и отправления поезда своего формирования (№7) (Рисунок 3.12).

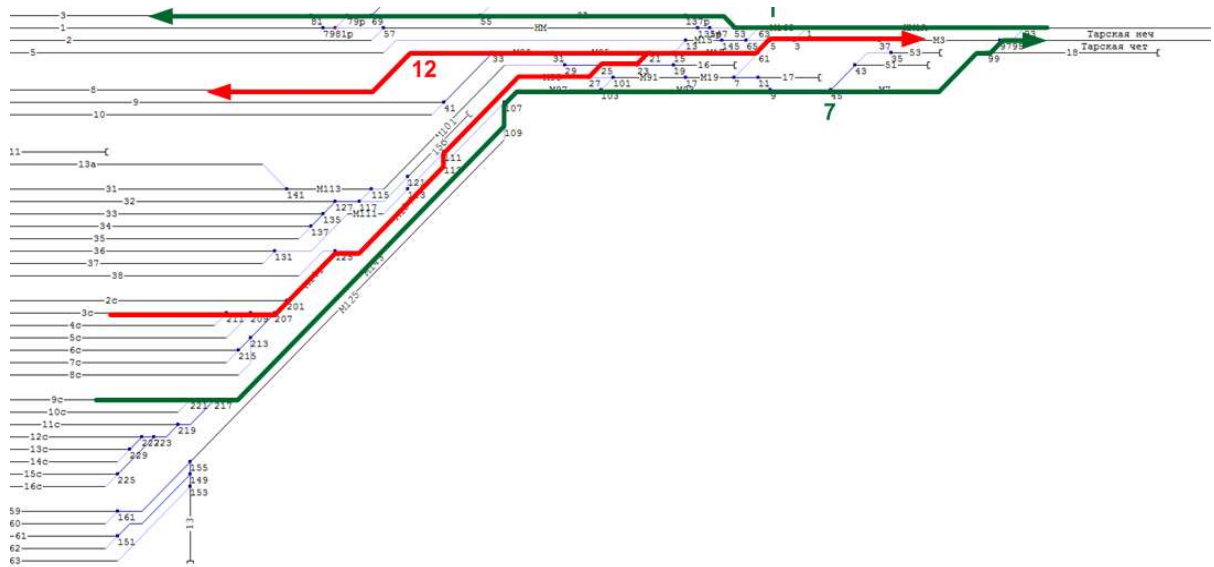


Рисунок 3.12 – Три параллельных маршрута в горловине станции Карымская

Такая же перестановка поезда своего формирования (№12) и прием поезда в расформирование (№13) не оставляют возможности для выполнения других передвижений (Рисунок 3.13).

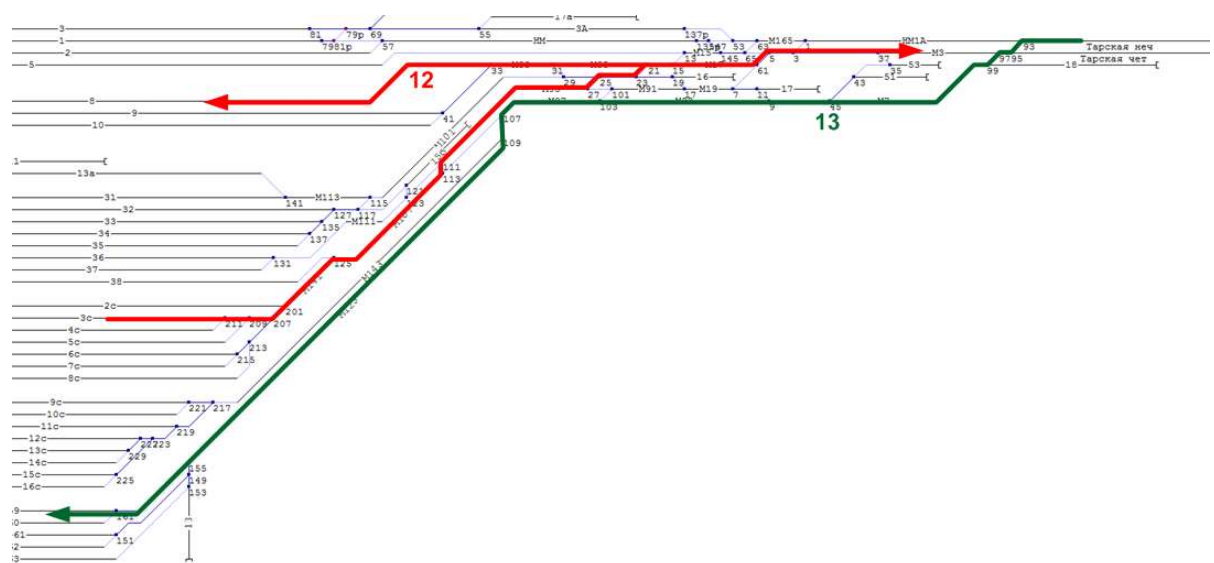


Рисунок 3.13 – Два параллельных маршрута в горловине станции Карымская

Таблица 3.3 содержит примеры приведенных операций и количество снимаемых ими других маршрутов в горловине.

Таблица 3.3 – Операции и количество снимаемых ими других передвижений

Операция	Среднее количество операций в сутки	Количество снимаемых передвижений
1. Прием пассажирского поезда	18	0
2. Отцепка вагонов	5	2
3. Уборка поездного локомотива	40	3
4. Уборка поездного локомотива	40	2
5. Подача поездного локомотива	8	4
6. Окончание формирования в верхнем пучке сборного поезда	4	3
7. Отправление поезда своего формирования с нижнего пучка	8	4
8. Прием нечетного транзитного поезда	37	3
9. Уборка поездного локомотива	40	3
10. Отправление четного транзитного поезда	40	3
11. Окончание формирования в верхнем пучке сквозного поезда	4	3
12. Перестановка поезда в парк отправления	4	5
13. Прием поезда в расформирование	10	6

На рисунках (Рисунок 3.14 – Рисунок 3.16) показаны элементы, вызывающие задержки в операциях «уборка поездного локомотива», «отправление четного транзитного поезда», «отправление поезда своего формирования» соответственно. Среди них значительную долю задержек берут на себя стрелочные переводы рассматриваемой горловины (Рисунок 3.17). На рисунке данные стрелочные переводы отмечены красным цветом. Видно, что они составляют большую часть задержек на станции. Если же рассмотреть задержки в операциях, вызванных этими стрелками, то можно увидеть, что преобладают те же операции передвижения поездных локомотивов и отправления поездов (Рисунок 3.18, Рисунок 3.19). Это связано с тем, что это наиболее массовые передвижения, которые, к тому же, еще и враждебны друг другу.

операция	графически	в сутки	кол-во	на опера
Уборка поездного локомотива транзит Чит-Хаб		7:25	27,5	0:16
элемент	графически	в сутки	на опера	
Стр.19,23,25,29		3:45		0:08
Стр.117,127,135,137		0:44		0:01
Стр.17		0:35		0:01
Стр.111		0:34		0:01
Стр.115		0:29		0:01
Стр.3,5,37,61		0:23		0:01
Стр.107,109		0:18		0:01
Стр.131		0:11		0:01
Стр.7,11		0:09		0:01
Стр.101		0:08		0:01
Стр.125		0:03		0:01
Стр.9,43,45		0:02		0:01
М17 п. прочий		0:01		0:01

Рисунок 3.14 – Задержки в операции «уборка поездного локомотива»

операция	графически	в сутки	кол-во	на опера
Отправление транз Чита-Хабаровск , б/п, Б		15:11	28,5	0:31
элемент	графически	в сутки	на опера	
Стр.95,97		4:16		0:09
Стр.3,5,37,61		3:04		0:06
Стр.19,23,25,29		2:25		0:05
интервал отправления для Тарская чет		1:07		0:02
Стр.117,127,135,137		1:04		0:02
Стр.107,109		1:01		0:02
Стр.111		0:45		0:01
Стр.115		0:33		0:01
Стр.125		0:25		0:01
Стр.131		0:13		0:01
Стр.15,21		0:10		0:01
Стр.9,43,45		0:04		0:01

Рисунок 3.15 – Задержки в операции «отправление четного транзитного поезда»

операция	графически	в сутки	кол-во	на опера
Отправление своего_формирования на_Заба		4:27	7,5	0:35
элемент	графически	в сутки	на опера	
Стр.95,97		2:03		0:16
Стр.107,109		0:40		0:05
Стр.217,219,221,223,225,227,229		0:39		0:05
интервал отправления для Тарская чет		0:29		0:03
Стр.9,43,45		0:24		0:03
11с п. парка "С"		0:09		0:01
М141 п. прочий		0:01		0:01
график для направления Забайкальск		0:01		0:01

Рисунок 3.16 – Задержки в операции «отправление поезда своего формирования»

название	графически	загрузка	задержка из-
<u>Стр.19,23,25,29</u>		15:54	43:45
<u>Стр.95,97</u>		12:15	24:08
<u>Стр.17</u>		11:18	20:05
<u>Стр.7,11</u>		11:18	5:33
<u>Стр.115</u>		10:13	5:36
Стр.94,102,104,110		10:04	4:27
<u>Стр.107,109</u>		10:01	17:38
Стр.152,154,156,158		9:51	20:27
<u>Стр.3,5,37,61</u>		9:39	28:15
<u>Стр.117,127,135,137</u>		9:33	10:34
<u>Стр.103</u>		9:09	0:47
Стр.200,202,204,206,208,210		9:02	3:50
<u>Стр.9,43,45</u>		8:42	15:16
Стр.226,240,242,248,268,272		8:31	10:11
Стр.502,504,512		7:59	0:18
Стр.26,32		7:53	2:22
Стр.2,682,684		7:52	6:48
<u>Стр.15,21</u>		7:47	7:02
Стр.590,596,600,634,666,668		7:47	7:28
Стр.576,644		7:38	2:30
Стр.20		7:26	0:58

Рисунок 3.17 – Задержки из-за групп стрелочных переводов

элемент	графически	факт	всего	в среднем
Стр.19,23,25,29		15:03	43:45	0:43
операция	графически	факт	всего	в среднем
Уборка поездного локомотива транзит Чит		3:45	13:46	0:05
Отправление транз Чита-Хабаровск , б/п, Е		2:25	8:05	0:03
Выставка сформир ПЗав на 8,9,10 "А" част		0:42	2:52	0:01
Отправление транз Чита-Хабаровск,Забайк		0:43	2:03	0:01
Отправление транзит Чита-Забайкальск , б		0:45	1:50	0:01
Уборка поездного локомотива транзит Чит		0:12	1:16	0:01
Выставка сформир Иркутск на 8,9,10 "А" ча		0:25	1:10	0:01
Уборка поездного локомотива транзит Чит		0:18	1:05	0:01
Подача поездного локомотива к своему фо		0:33	1:03	0:01
Уборка поездного локомотива из В в депо :		0:12	0:52	0:01
Выставка сформир Чита Сб на 8,9,10 "А"		0:29	0:51	0:01
Следование резервом из 16 туп в район фс		0:49	0:49	0:01
Следование резервом из "А" в 16 тупик		0:00	0:48	0:00
Подача поездного локомотива к своему фо		0:31	0:44	0:01

Рисунок 3.18 – Задержки в операциях из-за группы стрелочных переводов «19,23,25,29»

элемент	графически	факт	всего	в среднем
Стр.95,97		10:04	24:08	0:28
операция	графически	факт	всего	в среднем
Отправление транз Чита-Хабаровск , б/п, Б		4:16	11:47	0:09
Отправление транз Чита-Хабаровск,Забайка		0:49	3:24	0:01
Отправление транз Чита-Хабаровск,Забайка		1:00	2:40	0:02
Отправление своего_формирования на_Заб		2:03	2:03	0:04
Отправление транз Чита-Хабаровск , б/п, Д		0:26	1:25	0:01
Отправление транзит Чита-Забайкальск , б/		0:03	1:12	0:01
Отправление своего_формирования на_Хаб		1:05	1:05	0:02
Отправление транзит Чита-Забайкальск , б/		0:07	0:13	0:01
Отправление вывозной Шилка с 13 с		0:06	0:13	0:01
Отправление пассажирский Чита-Хабаровск		0:05	0:05	0:01

Рисунок 3.19 – Задержки в операциях из-за группы стрелочных переводов «95,97»

3.4 Сортировочная станция Каменск-Уральский Свердловской железной дороги

3.4.1 Структура и технология

Железнодорожная станция Каменск-Уральский Свердловской железной дороги расположена на стыке с Южно-Уральской железной дорогой. Станция работает на четыре направления – Кунавино, Богданович, Колчедан и УАЗ. Схема станции приведена на рисунке (Рисунок 3.20)

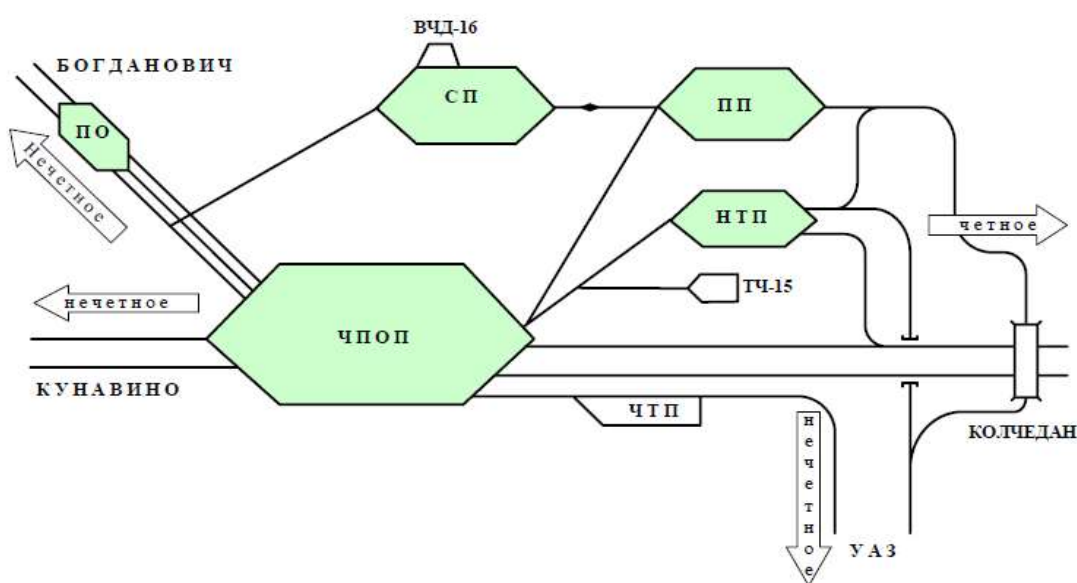


Рисунок 3.20 – Схема станции Каменск-Уральский

Станция по объему и характеру работы отнесена к внеклассной, является односторонней сортировочной станцией с последовательным расположением парков. Перегоны со всех примыкающих направлений, кроме УАЗ, двухпутные, оборудованы автоблокировкой. Перегон с направления УАЗ однопутный. Станция оборудована механизированной сортировочной горкой средней мощности с двумя путями надвига и одним путем роспуска.

Четный приемо-отправочный парк – ЧПОП – (11 приемо-отправочных путей) предназначен: для приема и отправления четных грузовых поездов, четных и нечетных пассажирских и пригородных поездов, для пропуска поездов в

расформирование в парк приема (ПП) с направления Богданович, пропуска поездов из парка отправления (ПО) в направлении Колчедан, УАЗ, пропуска грузовых поездов из нечетного транзитного парка (НТП) в направлении Богданович.

При необходимости в ЧПОП могут выставляться и обрабатываться поезда своего формирования, а также приниматься, обрабатываться и отправляться нечетные транзитные поезда. По путям парка ЧПОП пропускают поездные локомотивы из депо под поезда в парки отправления, сортировочный и под нечетные поезда в четный приемо-отправочный парк и из-под поездов из этих парков в депо.

Нечетный транзитный парк (НТП) предназначен для приема, обработки и отправления нечетных грузовых транзитных поездов, для в парке имеется 9 путей. Четные грузовые транзитные поезда принимаются и обрабатываются в ЧПОП.

Четный транзитный парк (ЧТП) предназначен для стоянки электросекций, «холодных» локомотивов (три пути), пропуска транзитных поездов по трем главным путям. В парке выделен путь для стоянки пожарного поезда.

Парк приема (ПП) состоит из 5 путей и предназначен для приема поездов в расформирование со всех направлений, примыкающих к станции и пропуска, при необходимости, транзитных поездов с направления Колчедан в ЧПОП и из ЧПОП на данное направление.

Парк отправления (ПО) предназначен для пропуска всех поездов с направления Богданович в ЧПОП и ПП, для выставки и обработки поездов своего формирования, отправляемых на все направления. В парке 7 приемо-отправочных путей. При необходимости, на путях ПО могут обрабатываться транзитные грузовые поезда, следующие с и на направление Богданович.

Сортировочный парк (СП) предназначен для накопления и формирования поездов по плану формирования. Для накопления вагонов может использоваться 18 путей. Поезда назначением на Екатеринбург и Войновка (на направление Богданович) могут обрабатываться по отпращиванию и отправляться непосредственно с путей сортировочного парка.

На станции работает две бригады коммерческого осмотра – по одной в парках ПП и СП. Парки обслуживаются четырьмя бригадами технического осмотра – по одной бригаде в ПП, СП, НТП и ЧПОП, ПО.

Станцию обслуживают 5 маневровых локомотивов – 2 на сортировочной горке и 3 в районе формирования сортировочного парка.

Основной объем работы станции заключается в приеме, обработке и отправлении транзитных грузовых поездов. На рисунке представлена диаграмма поездопотоков по данным прошлых лет (Рисунок 3.21).

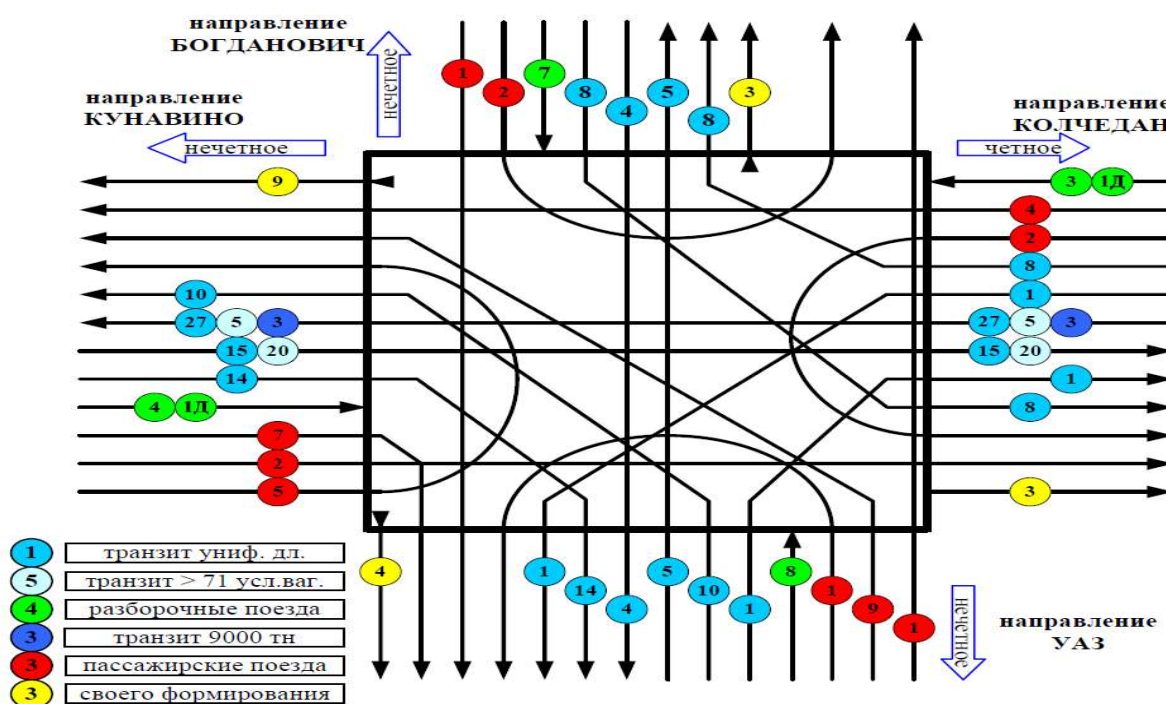


Рисунок 3.21 – Диаграмма поездопотоков по станции Каменск-Уральский

Согласно диаграмме, станция перерабатывает следующие объемы:

- пассажирские поезда – 34 пары;
- прием в расформирование – 24 поезда;
- отправление своего формирования – 19 поездов;
- транзитные поезда без расформирования – 121 пара.

Прием поездов на станцию происходит с четырех подходов:

- с направления Кунавино транзитный поездопоток поступает в ЧПОП и после

обработки отправляется на направления Колчедан (35 поездов в сутки) и УАЗ (14 поездов). Поезда в расформирования (5 поездов) проследуют через пути парка ЧПОП в ПП;

– с направления Богданович транзитный поток прибывает на пути парка ПО и отправляется в направлении Колчедан (8 поездов) и УАЗ (4 поезда) по свободным путям ЧПОП. Поезда в расформирование проследуют по свободным путям ПО, далее по путям ЧПОП в парк ПП;

– с направления Колчедан транзит (44 поезда) принимается в НТП, откуда затем отправляется по путям парка ЧПОП. Поезда длинно свыше 71 вагона принимаются или пути ЧПОП. Разборочный поток принимается в парк ПП;

– с направления УАЗ транзитный поток (19 поездов) принимают в парк НТП. Отправление на Богданович и Кунавино производится по путям ЧПОП. Поезда в расформирование (8 поездов) принимают в парк ПП.

Унифицированная длина прибывающих поездов на станцию – 71 условный вагон. С направления Кунавино и Колчедан возможен прием транзитных поездов повышенного веса и длины до 100 условных вагонов. У всех транзитных поездов выполняется смена локомотивных бригад.

Пассажирские поезда (34 пары) прибывают со всех направлений, примыкающих к станции. Остановка для посадки-высадки пассажиров производится на путях ЧПОП.

3.4.2 Функциональные свойства горловин

Межпарковая горловина

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, окончание формирования поездов в сортировочном парке, перестановка готовых поездов своего формирования в парк отправления.

Максимально возможное число передвижений в горловине – 6, минимально возможное – 2. На рисунке представлены примеры маршрутов шести одновременных передвижений: 1 – прием пассажирского поезда, 2 – отправление

пассажирского поезда, 3, 4 – прием и отправление транзитных грузовых поездов, 5, 6 – окончания формирования (Рисунок 3.22).

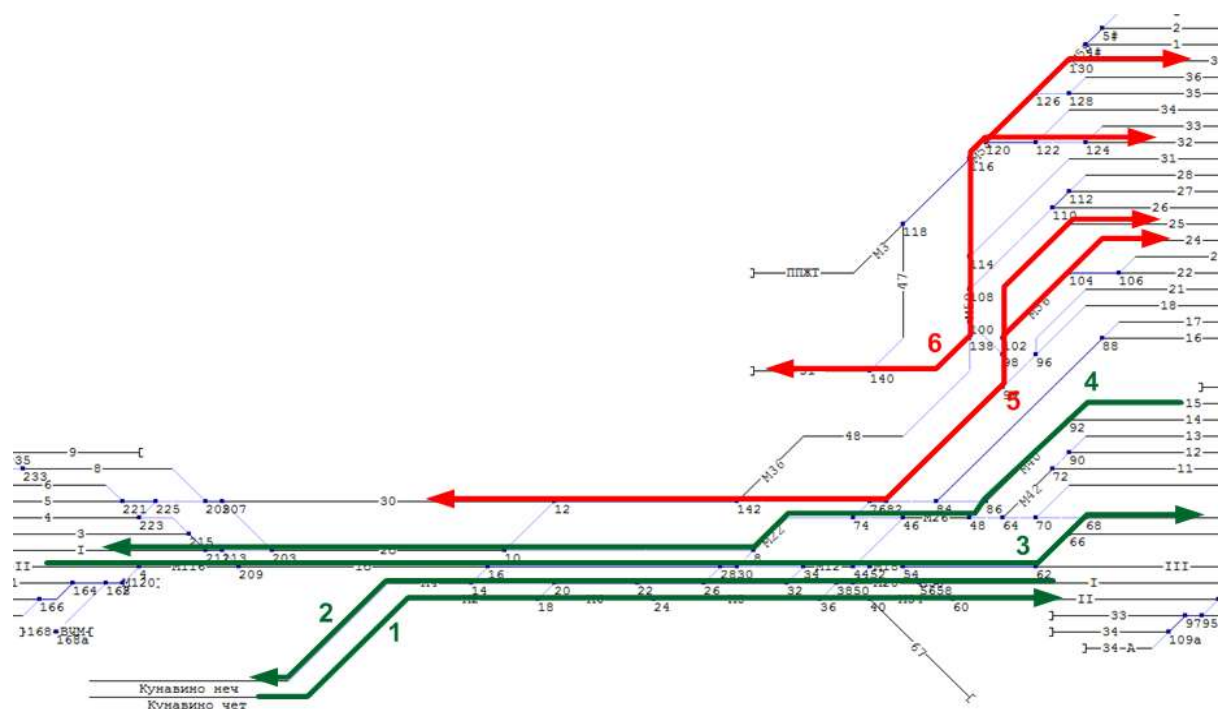


Рисунок 3.22 – Шесть параллельных маршрутов в горловине станции
Каменск-Уральский

Прием (№1) и отправление поездов (№8) с разных направлений снижают число одновременно возможных передвижений в горловине до четырех (Рисунок 3.23).

Прием грузового транзитного поезда на отдельные пути транзитного парка (№10) и перестановка поезда из сортировочного парка в парк отправления (№9) не оставляют возможности для выполнения других маршрутов в горловине (Рисунок 3.24).

Таблица 3.4 содержит примеры приведенных операций и количество снимаемых ими других маршрутов в горловине.

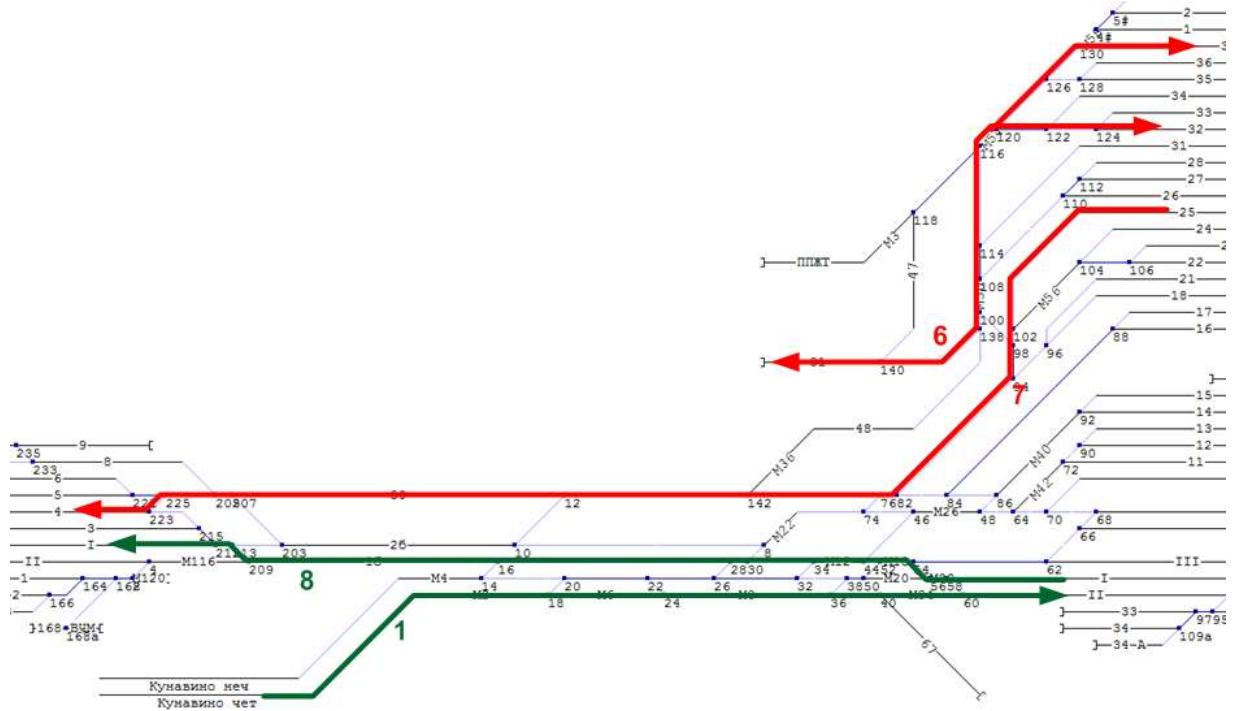


Рисунок 3.23 – Четыре параллельных маршрута в горловине станции
Каменск-Уральский

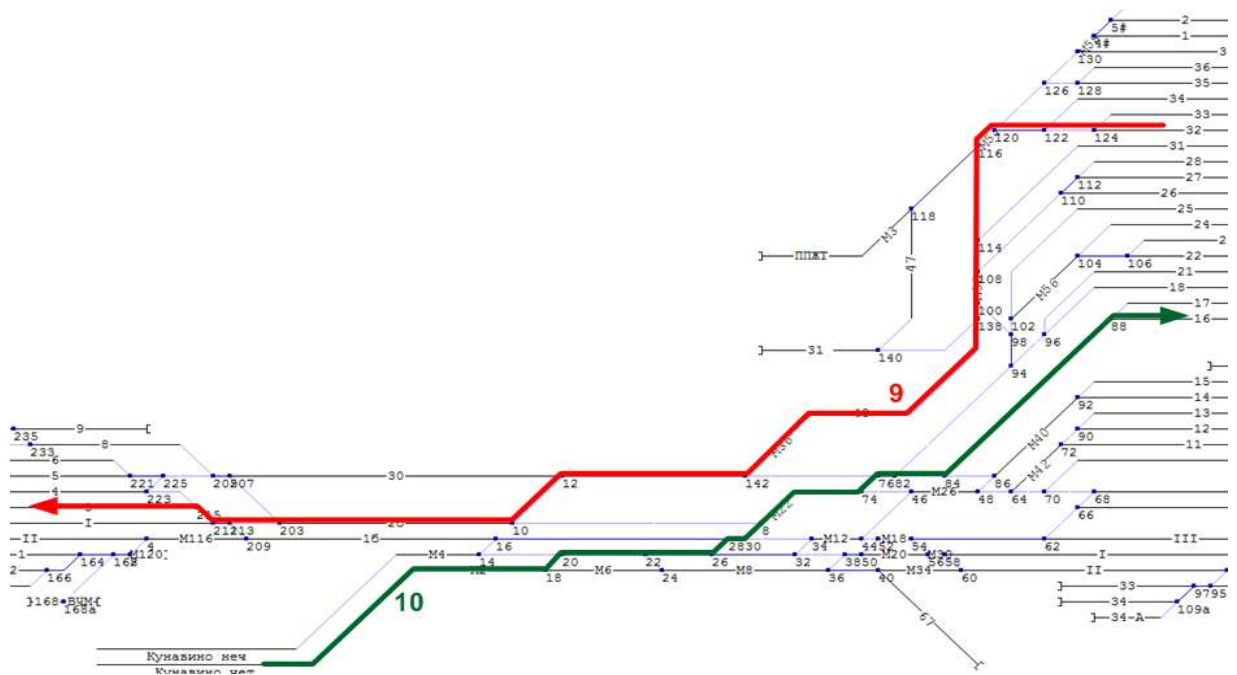


Рисунок 3.24 – Два параллельных маршрута в горловине
станции Каменск-Уральский

Таблица 3.4 – Операции и количество снимаемых ими других передвижений

Операция	Среднее количество операций в сутки	Количество снимаемых передвижений
1. Прием пассажирского поезда К-К	15	1
2. Отправление пассажирского поезда К-К	15	4
3. Прием транзитного поезда Б-К	18	3
4. Отправление транзитного поезда К-Б	18	4
5. Окончание формирования нижний пучок	9	5
6. Окончание формирования верхний пучок	9	2
7. Перестановка в парк отправления из нижнего пучка	6	4
8. Отправление поезда К-Б	5	4
9. Перестановка в парк отправления из верхнего пучка	9	5
10. Прием поезда К-К в транзитный парк	40	6

3.5 Грузовая станция Курган Южно-Уральской железной дороги

3.5.1 Функциональные свойства горловин

Нечетная горловина

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, отцепки и прицепки вагонов к транзитным поездам, подача и уборка вагонов на пути необщего пользования.

Максимально возможное число передвижений в горловине – 4, минимально возможное – 1. На рисунке представлены примеры маршрутов четырех одновременных передвижений: 1 – подача вагонов на пути ремонта, 2, 3 – прием грузовых поездов, 4 – отправление грузового поезда (Рисунок 3.25).

Возможна и другая комбинация четырех параллельных передвижений (Рисунок 3.26): 5 – отцепка вагонов от транзитного поезда для уменьшения веса, 6 – прием транзитного грузового поезда, 7 и 4 – отправление грузового и пассажирского поездов.

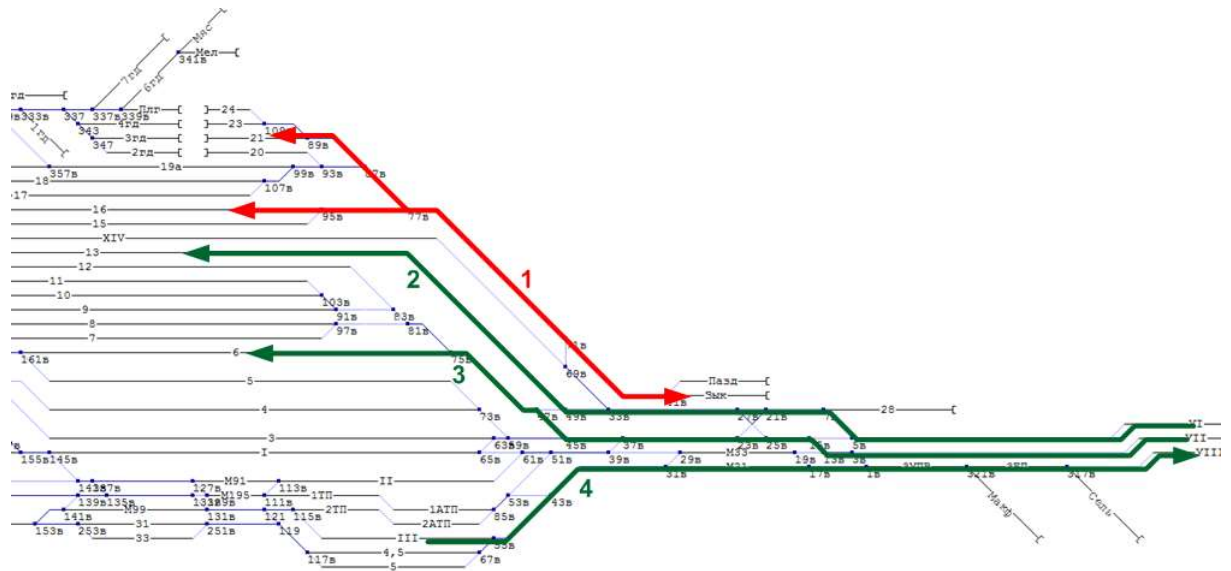


Рисунок 3.25 – Четыре параллельных маршрута в горловине станции Курган

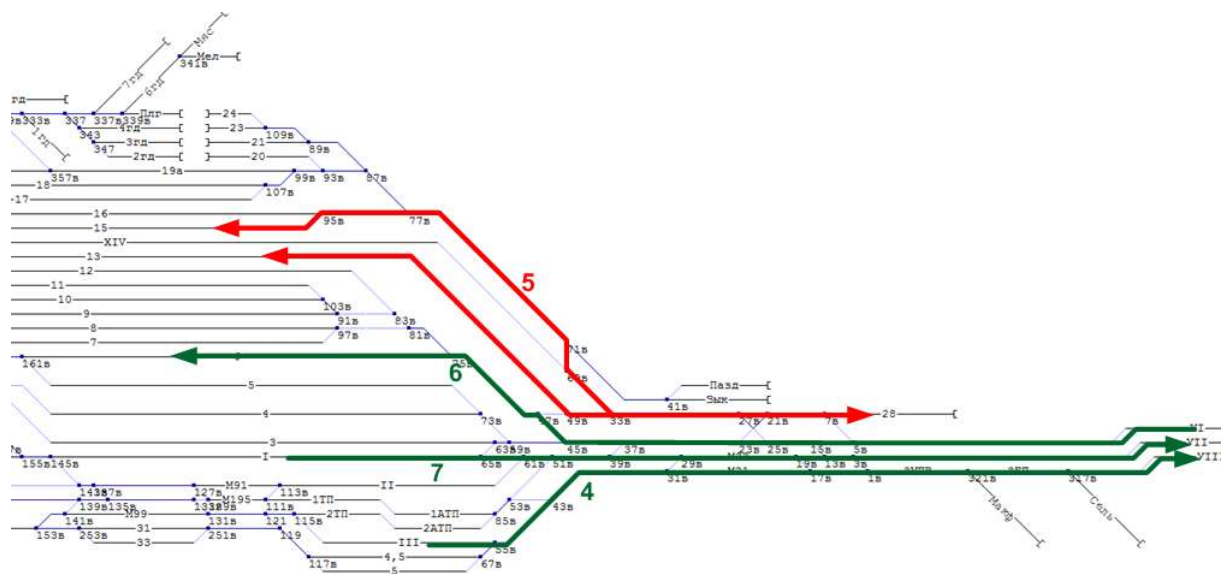


Рисунок 3.26 – Четыре параллельных маршрута в горловине станции Курган

Три одновременных передвижения (Рисунок 3.27): прием поезда (№3), отцепка вагонов от транзитного поезда (№5) и переформирование состава пассажирского поезда (№8).

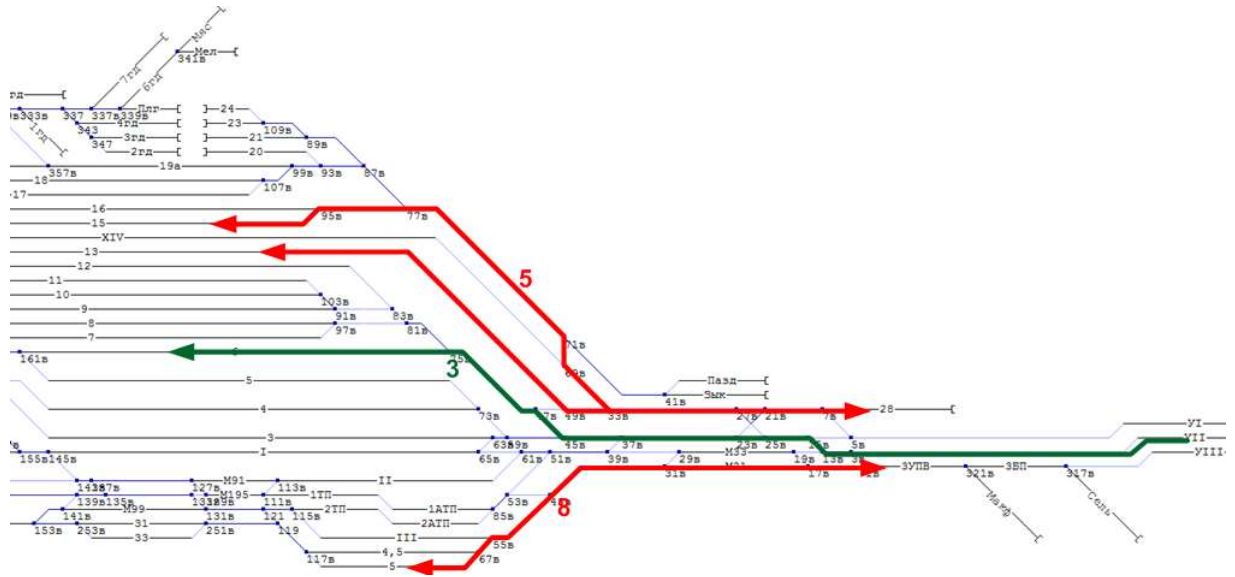


Рисунок 3.27 – Три параллельных маршрута в горловине станции Курган

Два одновременных передвижения (Рисунок 3.28): отцепка вагонов от транзитного поезда (№9) и отправление грузового поезда (№10).

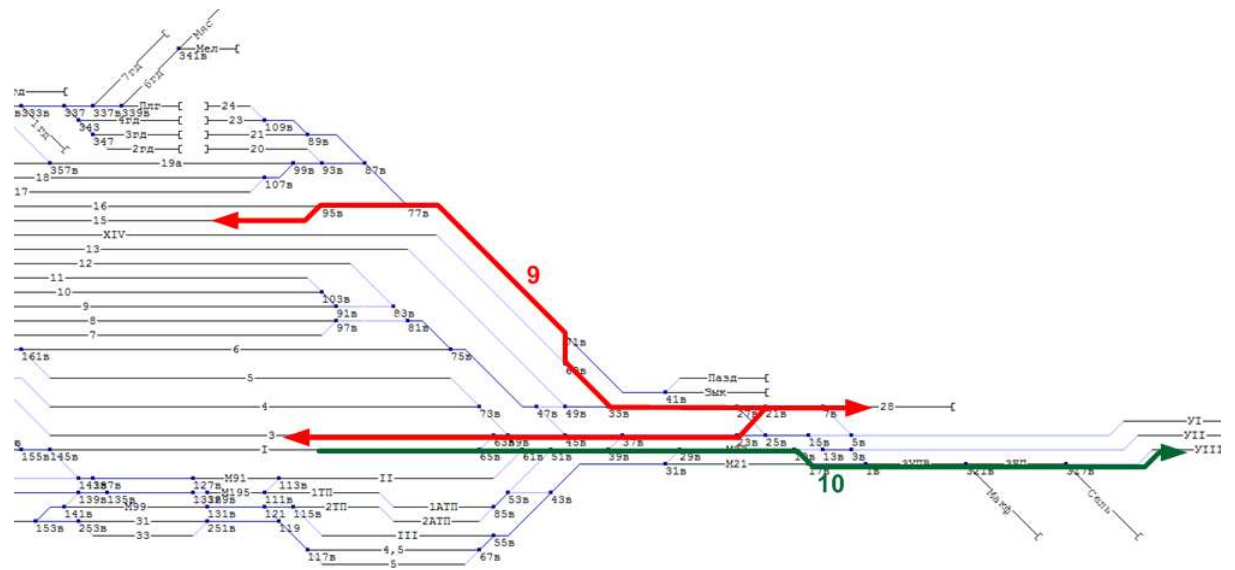


Рисунок 3.28 – Два параллельных маршрута в горловине станции Курган

Неблагоприятное расположение некоторых путей необщего пользования при подаче и уборке на них вагонов вызывает необходимость пересечения всей горловины (Рисунок 3.29). Параллельные маршруты в это время невозможны.

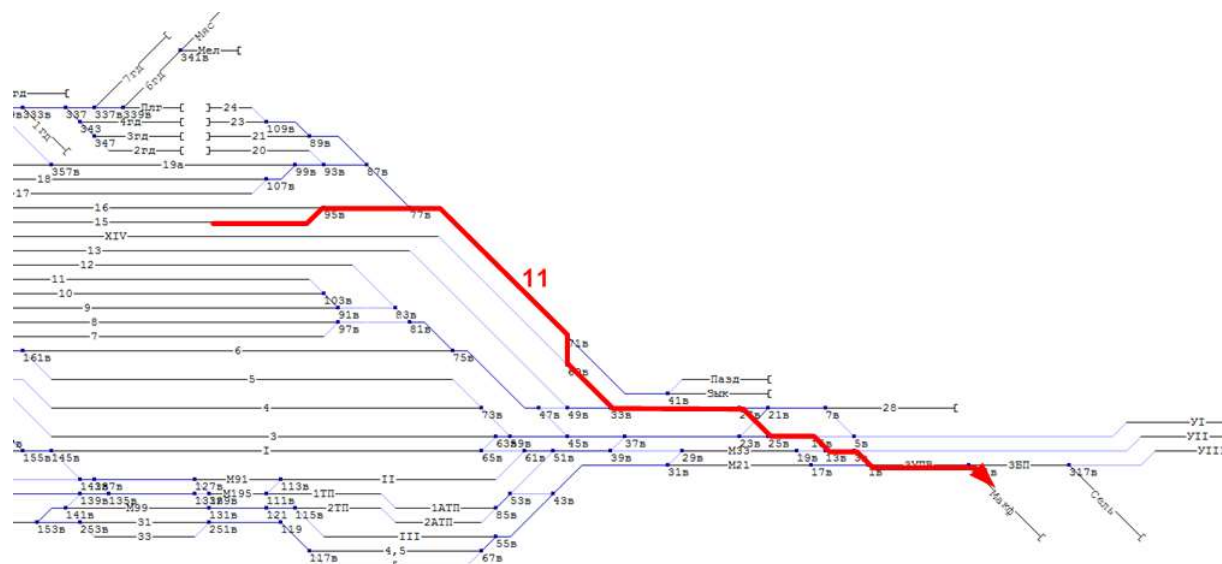


Рисунок 3.29 – Один маршрут в горловине станции Курган

В Таблица 3.5 содержит примеры приведенных операций и количество снимаемых ими других маршрутов в горловине.

Таблица 3.5 – Операции и количество снимаемых ими других передвижений

Операция	Среднее количество операций в сутки	Количество снимаемых передвижений
1. Перестановка вагонов на пути МПРВ	2	3
2. Прием поезда с первого пути на верхние пути	9	3
3. Прием поезда со второго пути на средние пути	10	5
4. Отправление поезда по третьему пути	50	2
5. Отцепка с верхних путей	4	3
6. Прием поезда с первого пути на средние пути	32	4
7. Отправление по второму пути	30	2
8. Переформирование пассажирского поезда	3	3
9. Отцепка с нижних путей	5	4
10. Отправление по третьему пути 2	10	4
11. Подача-уборка вагонов на п/п «Макфа», «Сельмаш»	6	6

На рисунках (Рисунок 3.30 – Рисунок 3.32) показаны стрелочные переводы, из-за которых в операциях приема, отправления и отцепки соответственно возникают наибольшие задержки. Данные стрелочные переводы являются причиной большинства задержек из-за стрелочных переводов на станции (Рисунок 3.33). Рисунок 3.34 и Рисунок 3.35 демонстрируют, что, в основном, операциями, задержанными из-за данных стрелочных переводов, как раз являются приемы и отправления поездов, а также отцепки вагонов.

операция	графически	в сутки	кол-во	на опера
Отправление на Утяк из парка 3 по любому г		10:07	71	0:08
элемент	графически	в сутки	на опера	
Стр.148з,150з,154з,160з		2:23	0:02	
Стр.228з		1:23	0:01	
Стр.127в,137в,143в		0:58	0:01	
Стр.166з,176з,188з,204з		0:45	0:01	
Стр.152з,156з		0:44	0:01	
Стр.180з,192з,198з		0:42	0:01	
Стр.190з,194з,196з		0:41	0:01	
II п. парка Парк В		0:31	0:01	
Элм.№ 129		0:30	0:01	
интервал отправления для на Утяк		0:22	0:01	
Стр.158з,178з		0:14	0:01	
Стр.10#		0:12	0:01	
III п. парка Парк Т		0:11	0:01	
Стр.3в,13в		0:10	0:01	

Рисунок 3.30 – Задержки в операции «Отправление» станции Курган

операция	графически	в сутки	кол-во	на опера
Прием с Утяка без осмотра без смены (меньш		1:31	19	0:04
элемент	графически	в сутки	на опера	
Стр.15в,23в,25в,37в,45в,59в,63в		0:56	0:02	
Стр.47в,75в,81в		0:17	0:01	
Стр.7в,21в,27в,33в,49в,69в		0:08	0:01	
УII п. парка перегон		0:06	0:01	
УI п. парка перегон		0:04	0:01	

Рисунок 3.31 – Задержки в операции «Прием» станции Курган

операция	графически	в сутки	кол-во	на опера
Отцепка в парке В 2полурейс		0:50	10	0:05
элемент	графически	в сутки	на опера	
Стр.7в,21в,27в,33в,49в,69в		0:39		0:03
28 п. вытяжной		0:11		0:01

Рисунок 3.32 – Задержки в операции «Отцепка» станции Курган

название	графически	загрузка	задержка из-
Стр.5в		13:24	X
Стр.48з,82з		13:08	24:07
Стр.7в,21в,27в,33в,49в,69в		10:45	13:01
Стр.15в,23в,25в,37в,45в,59в		10:14	14:44
Стр.54з,84з		10:00	4:49
Стр.228з		8:45	5:19
Стр.149в		8:45	X
Стр.47в,75в,81в		8:37	4:22
Стр.58з,68з		8:34	2:12
Стр.20з,32з		8:22	4:58
Стр.127в,137в,143в		8:16	7:52
Стр.56з		7:55	29:13
Стр.161в,169в,201в,211в		7:43	14:36

Рисунок 3.33 – Задержки из-за стрелочных переводов станции Курган

элемент	графически	факт	всего	в среднем
Стр.15в,23в,25в,37в,45в,59в,63в		2:10	14:44	0:52
операция	графически	факт	всего	в средн
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:56	3:31	0:01
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:05	2:01	0:01
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:00	1:59	0:00
Подача толкача нечетному 1 п/р		0:08	1:45	0:01
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 79€		0:00	1:15	0:00
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 72€		0:05	0:56	0:01
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 78€		0:23	0:46	0:01
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 73€		0:00	0:40	0:00
Прием толкача с Утяка		0:10	0:33	0:01
Прием с Утяка без осмотра со сменой (мен		0:11	0:22	0:01
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:00	0:14	0:00
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:04	0:13	0:01
Прием с Утяка с осмотром без смены		0:00	0:11	0:00
Прием с Утяка без осмотра со сменой (мен		0:00	0:10	0:00

Рисунок 3.34 – Операции, задержанные из-за стрелочных переводов «15,23,25...»

элемент	графически	факт	всего	в среднем
Стр.7в,21в,27в,33в,49в,69в		2:06	13:01	0:53
операция	графически	факт	всего	в среднем
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:00	2:19	0:00
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:08	2:15	0:01
Подача толкача нечетному 1 п/р		0:19	1:22	0:01
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:19	1:19	0:01
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 79€		0:09	0:45	0:01
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 77€		0:00	0:41	0:00
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 73€		0:00	0:39	0:00
Отцепка в парке В 2полурейс		0:39	0:39	0:01
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:00	0:29	0:00
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 80€		0:06	0:27	0:01
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 72€		0:00	0:27	0:00
Прием с Утяка с уменьшением (меньше 78€		0:00	0:23	0:00
Прием с Утяка без осмотра со сменой (мен		0:00	0:20	0:00
Прием с Утяка без осмотра без смены (мен		0:03	0:16	0:01

Рисунок 3.35 – Операции, задержанные из-за группы стрелочных переводов «7,21,27...» станции Курган

3.6 Пассажирская станция Екатеринбург-пассажирский Свердловской железной дороги

3.6.1 Структура и технология

Станция Екатеринбург-Пассажирский (Рисунок 3.36) обрабатывает:

- транзитные пассажирские и почтово-багажные поезда со сменой локомотива и без смены локомотива, с отцепками и прицепками беспересадочных и почтово-багажных вагонов обслуживаются в парке ПП (прием, посадка-высадка пассажиров, технический осмотр, снабжение водой и топливом, смена локомотива и/или локомотивной бригады, маневровая работа по отцепке/прицепке групп вагонов, опробование тормозов, безотцепочный ремонт вагонов, отправление);
- пригородные поезда (парк ПП) конечные (оборотные) и транзитные (прием, посадка-высадка пассажиров, смена локомотивной бригады, опробование тормозов, отправление);

- конечные пассажирские поезда своего формирования и формирования других станций. Прибывают и отправляются в парк ПП. Техническое обслуживание, переформирование, отцепочный и безотцепочный ремонт в парках ГЗП, СП, ЮП. Отстой в парках ГЗП, СП, ЮП, ЗП;
- грузовые транзитные поезда (парк ГП).

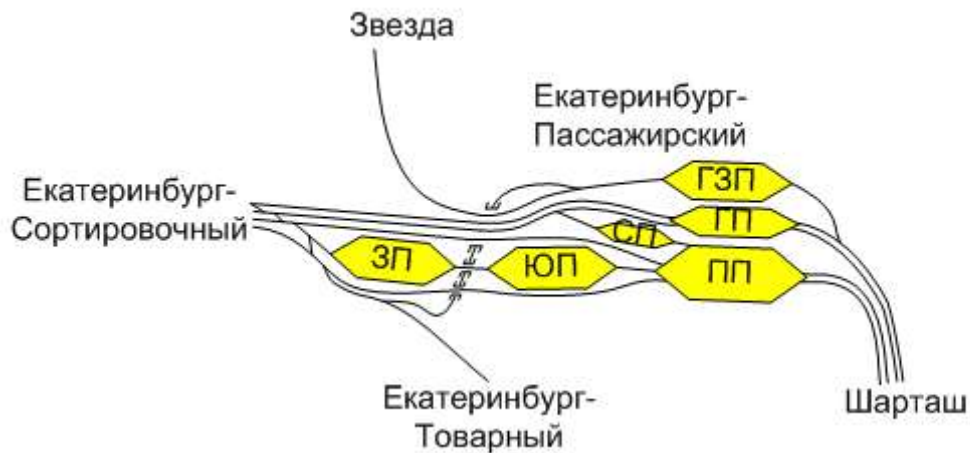


Рисунок 3.36 – Схема станции Екатеринбург-пасс.

Станция проводит обработку почтовых и багажных вагонов (в парках ГЗП и ПП - почтовом и багажном отделении), обслуживает подъездные пути в парке ГЗП (передачи вагонов со станции Екатеринбург-Тов.), осуществляет подготовку вагонов к технологическому использованию после нахождения их на базе запаса и консервацию их перед отправлением на базу запаса в периоды снижения объемов перевозок, обслуживание и снабжение вагонов-ресторанов в парке ЮП.

3.6.2 Функциональные свойства горловин

Нечетная горловина

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, подача и уборка составов пассажирских поездов в технический парк, подача и уборка поездных локомотивов, подача и уборка почтовых и багажных вагонов к местам погрузки выгрузки. Максимально возможное число передвижений в горловине – 7, минимально возможное – 3. На рисунке представлены примеры маршрутов семи

одновременных передвижений: 1, 2 – прием и отправление грузовых поездов, 3 – перестановка вагонов на вагоно-мощный комплекс, 4, 6 – прием и отправление пассажирских поездов, 5 – уборка поездного локомотива, 7 – обслуживание почтовых тупиков (Рисунок 3.37).

Возможна и другая комбинация этих же маршрутов (Рисунок 3.38).

Отцепка и перестановка багажных вагонов от транзитного пассажирского поезда (№11) сокращают число одновременно возможных маршрутов до пяти (Рисунок 3.39).

Такая же отцепка с путей пассажирского парка (№12) оставляет возможность совершения четырех параллельных маршрутов (Рисунок 3.40).

В самом неблагоприятном случае, при отцепке багажных вагонов с пути пассажирского парка (№12) и параллельном от отправлении пассажирского поезда со смежных путей (№13), выполняется три одновременных передвижения (Рисунок 3.41).

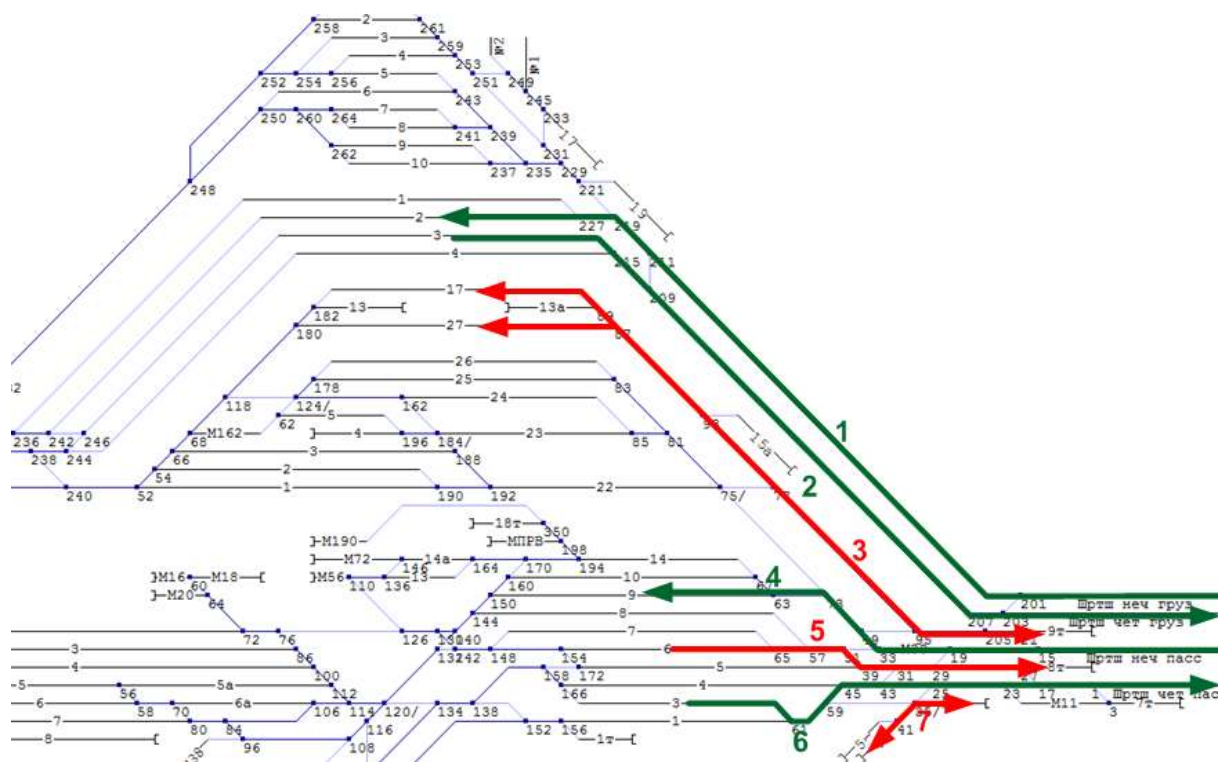


Рисунок 3.37 – Семь параллельных маршрутов в горловине станции Екатеринбург-пассажирский

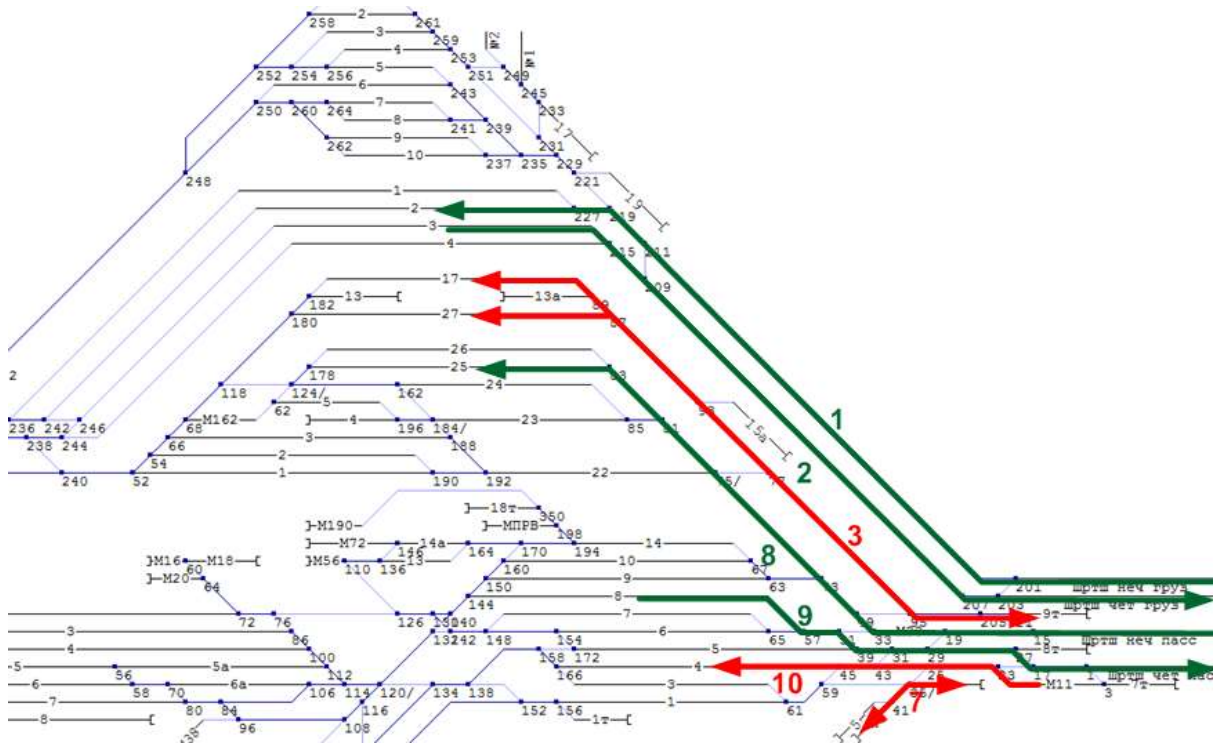


Рисунок 3.38 – Семь параллельных маршрутов в горловине станции
Екатеринбург-пассажирский

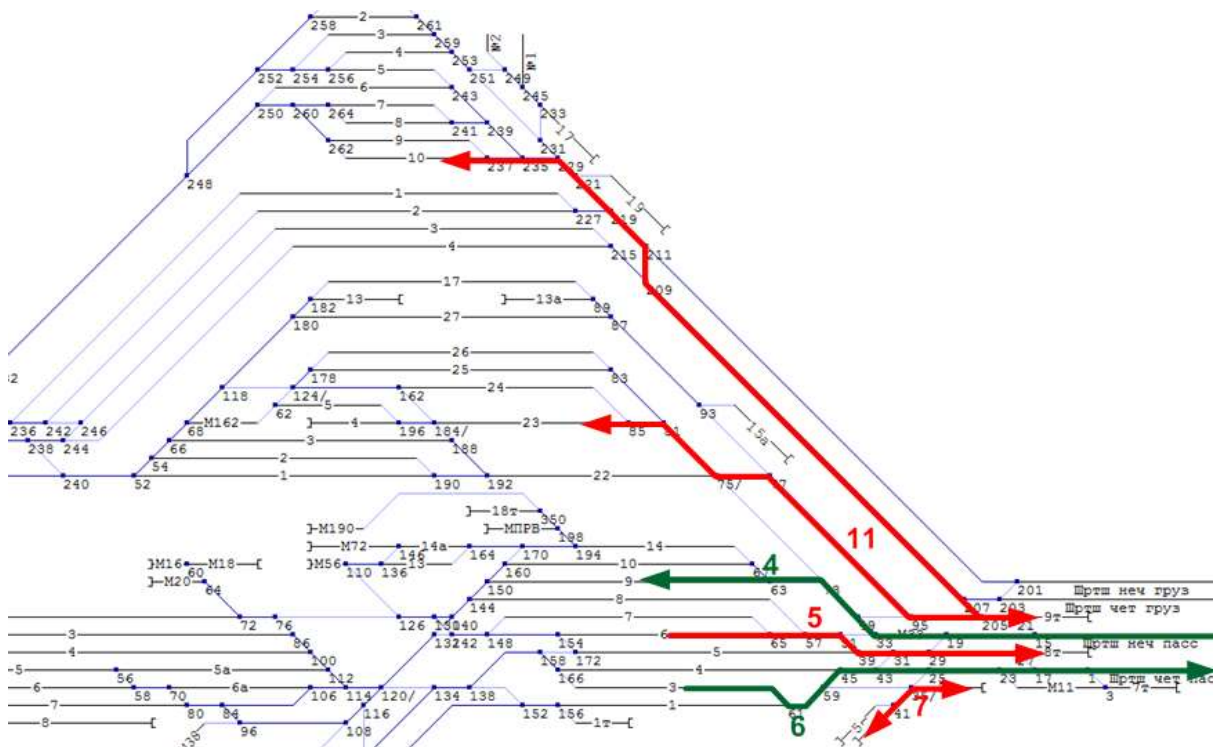


Рисунок 3.39 – Пять параллельных маршрутов в горловине станции
Екатеринбург-пассажирский

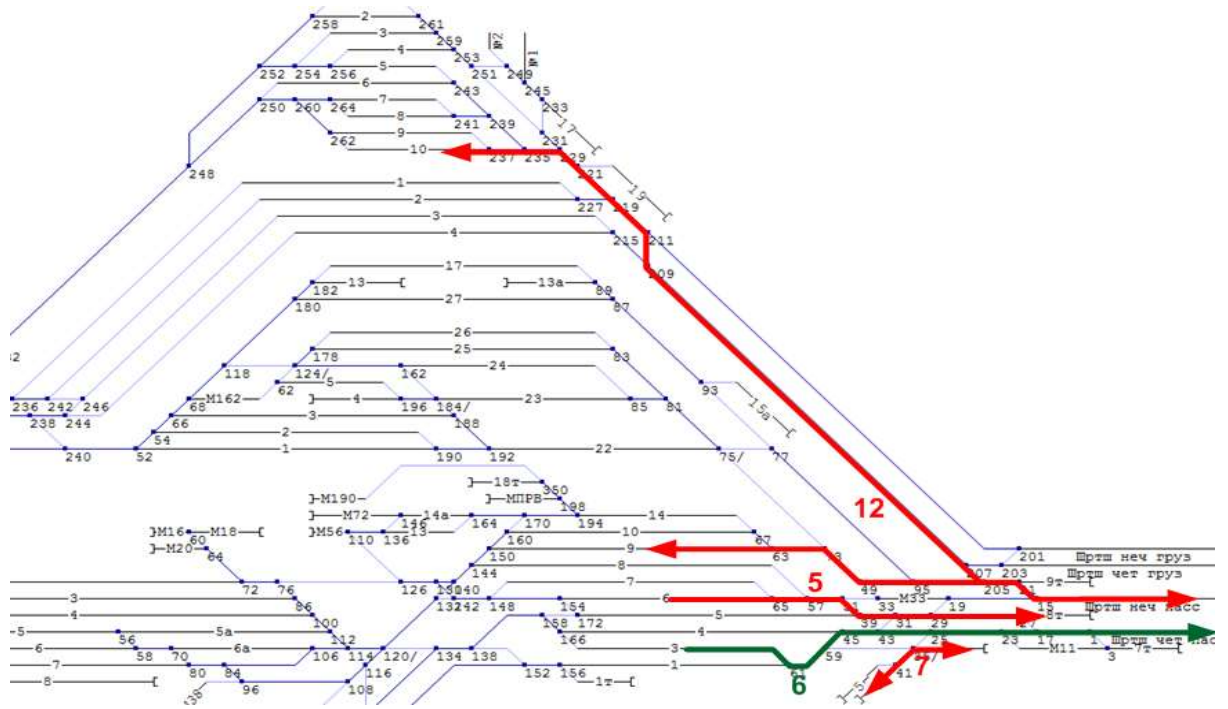


Рисунок 3.40 – Четыре параллельных маршрута в горловине станции
Екатеринбург-пассажирский

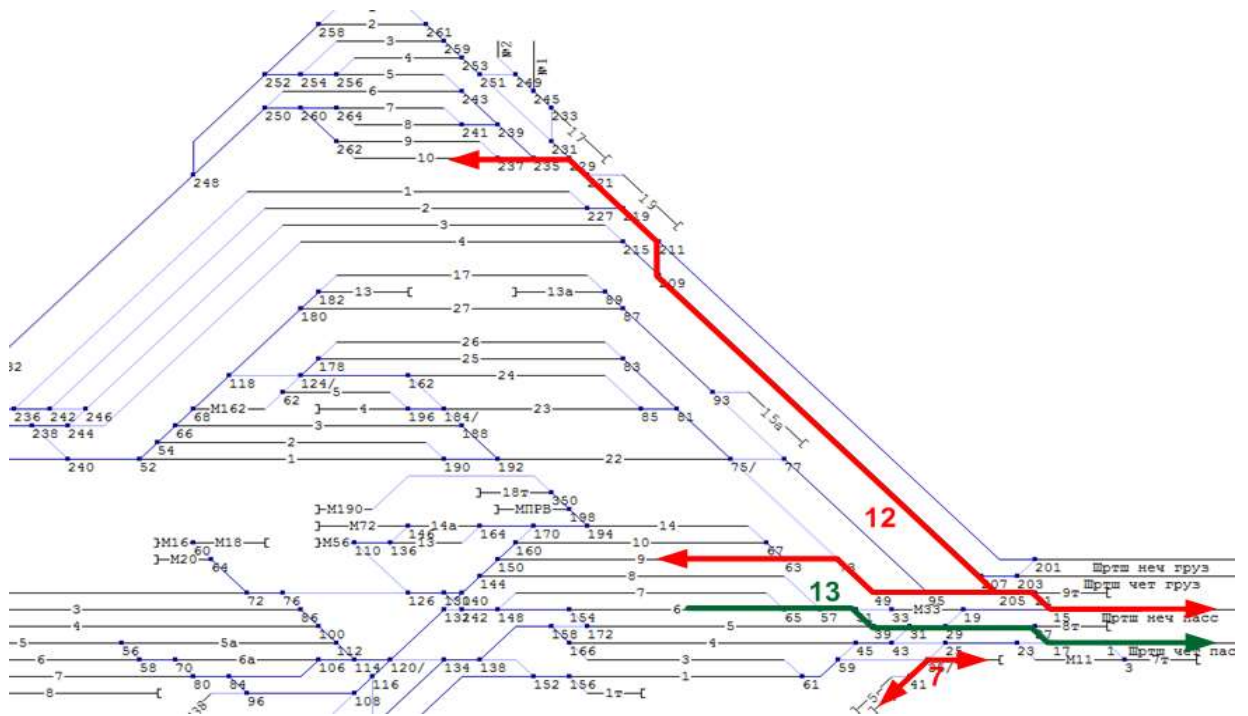


Рисунок 3.41 – Три параллельных маршрута в горловине станции Екатеринбург-пассажирский

Таблица 3.6 содержит примеры приведенных операций и количество снимаемых ими других маршрутов в горловине.

Таблица 3.6 – Операции и количество снимаемых ими других передвижений

Операция	Среднее количество операций в сутки	Количество снимаемых передвижений
1. Прием нечетного грузового	25	2
2. Отправление четного грузового	35	2
3. Подача на моечный комплекс	5	1
4. Прием в пассажирский парк	38	3
5. Уборка поездного локомотива 1	10	2
6. Отправление из пассажирского парка 1	18	2
7. Обработка почтовых тупиков	4	0
8. Прием в нечетный пассажирский парк	27	3
9. Отправление из пассажирского парка 2	29	3
10. Уборка поездного локомотива 2	10	2
11. отцепка и перестановка багажных вагонов	6	5
12. Перестановка поезда своего формирования	12	5
13. Отправление из пассажирского парка 3	14	3

Таким образом, конструкция горловины и технология работы станции оказывают прямое влияние на маневренность горловины. Максимальное число одновременно выполняемых передвижений может варьироваться от семи до четырех, минимальное – от трех до одного.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 3

1. Для построения макромоделей горловины анализируется ее структура и технология работы станции. Количество элементов в модели горловины определяется числом возможных параллельных передвижений.

2. Возможные передвижения в горловинах нумеруются. Процесс занятости элементов горловины в операциях отображается использованием соответствующих передвижений. Тем самым в расчетах будет отображаться укрупнено пропускная способность горловин.

3. Корректность функционального подхода проверялась экспериментально. Для этого для каждой станции с выделенной горловиной составлялись две модели. Первая модель строилась стандартным микромоделированием. Во второй модели выделенная горловина представлена каналами передвижений.

4. План экспериментов разработан для пяти горловин с комбинацией вариантов технологии, величины и структуры потока. Период расчета 10 суток. Функцией отклика является суммарное время задержек по операциям.

5. Отклонение результатов, получаемых на сравниваемых моделях, по суммарным задержкам не превысило 6,3%. По отдельным элементам расхождение колеблется в пределах 4 – 13%, что можно считать весьма приемлемым результатом.

Глава 4. Макромоделирование парков путей

4.1 Функциональная емкость парков путей

При построении имитационной микромодеи парков отображается физическая структура. В качестве элемента модели используется бункер с ёмкостью равной физической вместимости пути. В макромодеи ставится задача минимизировать количество элементов. В предельном случае весь парк отображается одним бункерным элементом. Возникает задача определения количественной величины общей бункерной емкости парка.

Часть путей парка имеет полезную длину, превышающую условную длину поезда. В большинстве случаев излишек полезной длины не используется в технологических операциях. Необходимо выделить в парках и ходовые пути, загрузка которых не велика. Для беспрепятственного приема поездов резервируется свободный путь.

Следует учитывать и другие факторы. В грузовых парках осуществляется подборка вагонов и формирование передач на грузовые фронты. Величина передачи, как правило, небольшая. Естественное заполнение парка будет невысоким, зачастую около половины физической вместимости. Если емкость путей использовать до нормативной вместимости, маневровая работа будет затруднена и оборот местного вагона увеличен.

Существуют особенности технологии в сортировочных парках. Существуют станции, на которых в сортировочном парке короткие пути, в таких случаях накопление одного состава может идти на двух-трех путях. Высокий процент заполнения парка не всегда приводит к большому количеству операций окончания формирования. Следовательно, фактическое заполнение может быть ближе к физической емкости, что и наблюдается в действительности. Например, такое явление наблюдается на станции Карымская Забайкальской ж.д. Встречается и накопление вагонов разных назначений на одном пути с дальнейшими операциями по сортировке в парке формирования.

На величину фактического заполнения парков оказывает влияние и пропускная способность горловин. Например, если в парке отправления будут готовы несколько поездов, то при их отправлении возникнут задержки. В таком случае нельзя заполнять парк полностью, возникнут риски нарушения работы в парке формирования

При моделировании парков необходимо задавать не физическую, а некоторую предельную технологическую емкость парка. В рамках функционального подхода к описанию элементов транспортных систем необходимо дать определение такого заполнения парков [95, 96, 97]. Предельная емкость парков, при которой еще сохраняется его функциональные возможности, называется функциональной. (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Моделирование парков

Парк	Структурный подход	Функциональный подход
Описание объекта	Физическая структура с емкостью путей	Бункер с предельной функциональной емкостью
Описание процесса	Занятость путей в операции	Перенесение части потока из одного сектора в другой

Функциональная емкость парка меньше физической (Формула 2.17). Коэффициент соотношения пересекается с понятиями: технически допустимый уровень загрузки путей парка; эксплуатационная надежность станции; резерв станционной мощности.

Для моделирования важно определить коэффициент соотношения. Очевидно, что для разных типов парков величина коэффициента будет различной. Традиционно принято считать, что допустимый уровень загрузки парков находится в пределах 0,7 – 0,8. Для оценки коэффициента соотношения необходимо провести исследования на подробных моделях станций.

В ходе исследования моделировалось пять различных станций. Период моделирования 10 суток. Технология и размеры входных потоков являлись дополнительными факторами экспериментов на моделях.

Результаты анализировались для различных типов парков.

На рисунках, представленных ниже, черным цветом обозначена суммарная полезная длина всех путей в парке, синим – фактическое количество вагонов в парке по часовым интервалам, красным – задержки в парке по выходу (по часовым интервалам), зеленым – задержки в парке по входу.

4.2 Определение функциональных свойств парков для транзитного потока без переработки

4.2.1 Нечетный транзитный парк станции Курган

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, маневровая работа по отцепке-прицепке групп вагонов, подача и уборка вагонов на грузовые фронты (Рисунок 4.1).

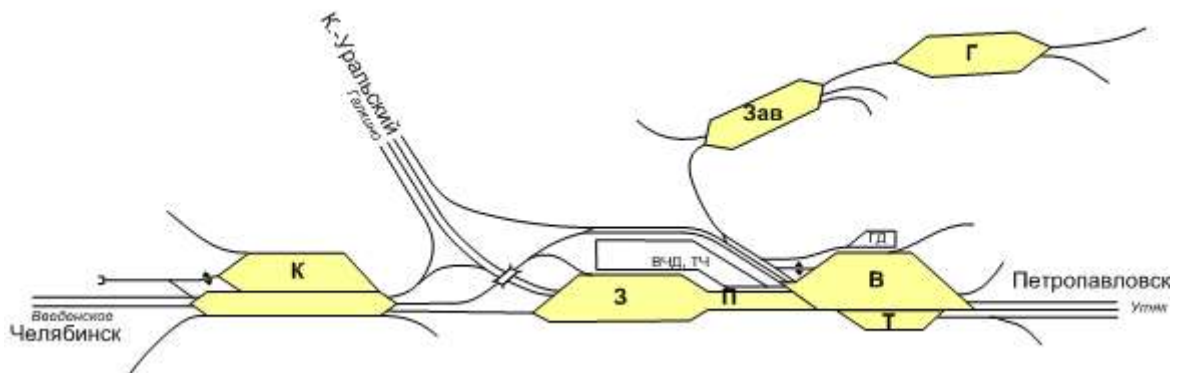


Рисунок 4.1 – Схема станции Курган

Максимально возможное число вагонов в парке – 958 (Рисунок 4.2). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 450 до 918. Среднее – 674.

За счет того, что нечетные поезда, как правило, следуют по установленной весовой норме, длина их колеблется, как и длина путей в парке. В результате физическая вместимость парка при сгущенном подходе поездов используется почти полностью. Помимо этого, в парке есть специальные пути для отцепляемых, пополняемых и больных вагонов, то есть приемоотправочные пути занимаются исключительно полносоставными поездами.

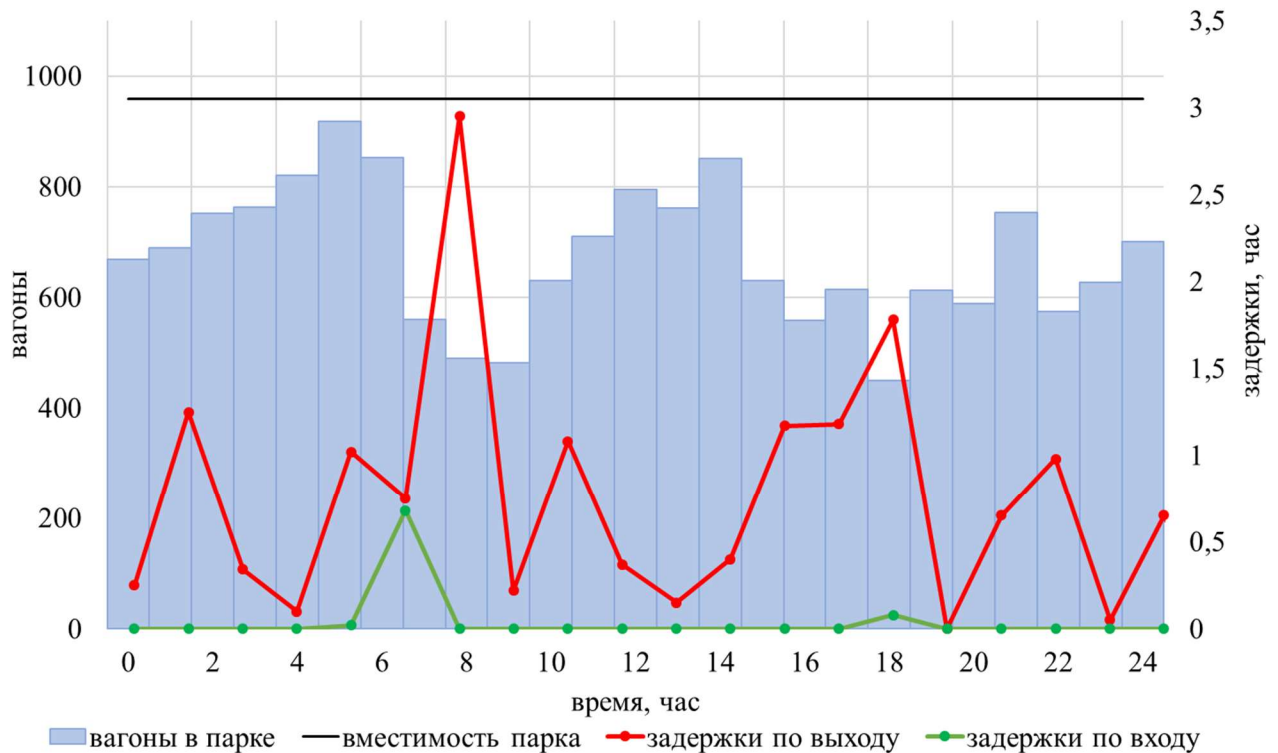


Рисунок 4.2 – Вагоны и задержки в нечетном транзитном парке станции Курган

Из приведенного графика можно увидеть, что есть два всплеска в состоянии парка – число вагонов больше 800. В обоих случаях резко возрастают задержки по выходу, возрастают, хотя и менее значительно, задержки по входу. Функциональные свойства парка ухудшаются. Таблица 4.2 содержит усредненные результаты заполнения парка за 10 суток.

Таблица 4.2 – Количество вагонов в транзитном парке

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Курган – нечетный	958	450	674	918	70

На основе анализа статистики и динамики работы парка за 10 суток можно рекомендовать предельную функциональную емкость – 720 вагонов.

4.2.2 Четный транзитный парк станции Курган.

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, подача и уборка вагонов на грузовые фронты.

Максимально возможное число вагонов в парке – 851 (Рисунок 4.3).

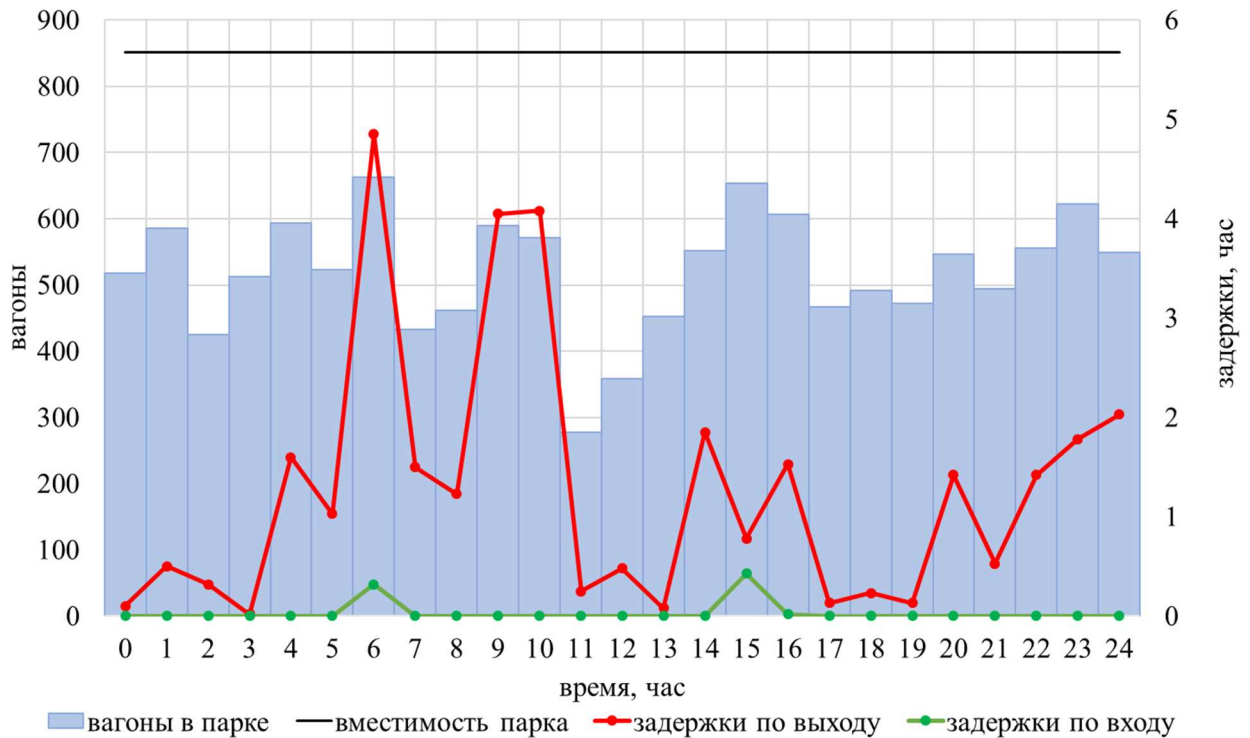


Рисунок 4.3 – Вагоны и задержки в четном транзитном парке станции Курган

В парке нет значительного колебания длины поездов (а пути при этом имеют разную длину), нет выделенных путей для групп вагонов (и их приходится оставлять на свободном пути), поэтому полезная длина путей частично теряется. Таблица 4.3 содержит статистические данные за 10 суток.

Таблица 4.3 – Количество вагонов в транзитном парке

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Курган –четный	851	277	518	663	60

Из графика динамики состояния (Рисунок 4.3) видно, что в выбранные сутки число вагонов превышало 600 три раза и только в одном случае был всплеск задержек. И только при этом превышении возникали задержки по входу. Так что можно принять предельную функциональную емкость парка равной 600 вагонов.

4.2.3 Нечетный транзитный парк станции Карымская.

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, отцепка вагонов, смена локомотивов, отправление поездов своего формирования.

Максимально возможное число вагонов в парке – 359 (Рисунок 4.4). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 0 до 291, среднее – 170 (Таблица 4.4).

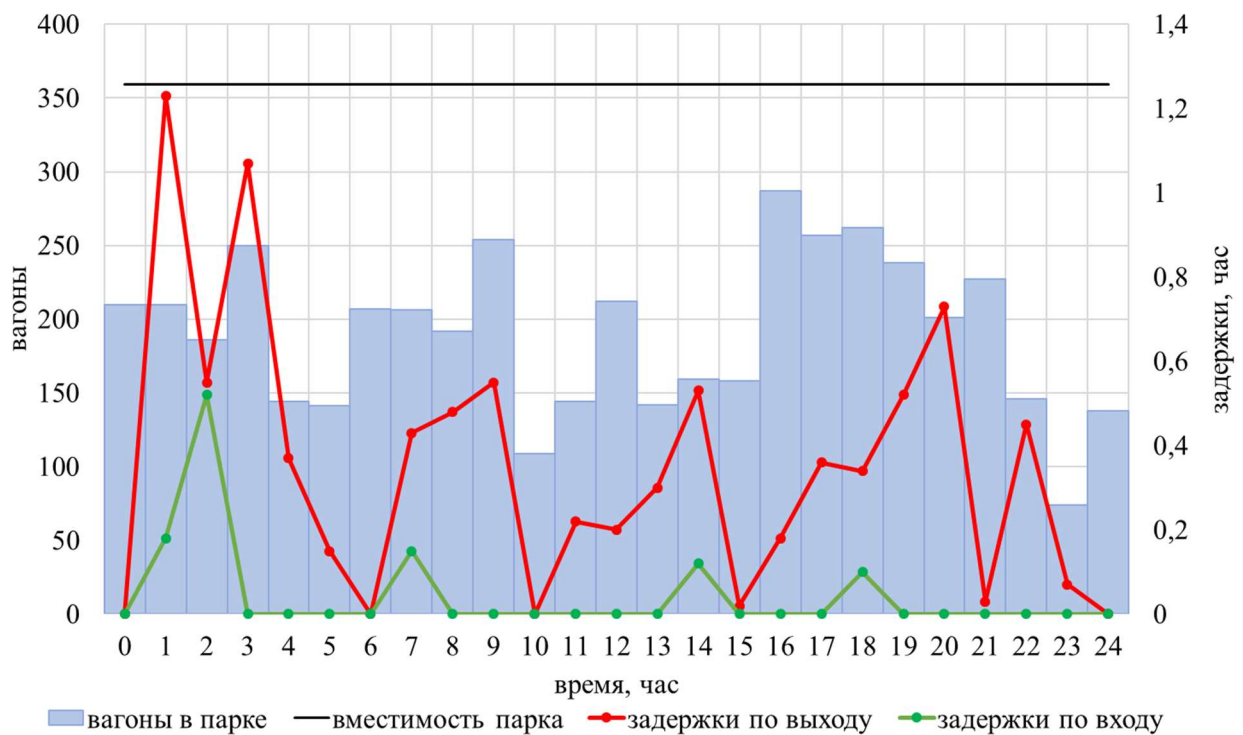


Рисунок 4.4 – Вагоны и задержки в нечетном транзитном парке станции Карымская

Таблица 4.4 – Количество вагонов в транзитном парке

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Карымская – нечетный	359	0	170	291	47

Здесь динамика задержек не очень совпадает с динамикой заполнения парка. В другие сутки эта зависимость выражена более определенно. Предельную функциональную емкость можно принять 300 вагонов. По-видимому, большему заполнению парка препятствуют горловины.

4.2.4 Четный транзитный парк Б станции Карымская

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, отцепка-прицепка вагонов, смена локомотивов.

Максимально возможное число вагонов в парке – 470 (Рисунок 4.5). Количество вагонов колеблется в пределах от 122 до 370 (Таблица 4.5).

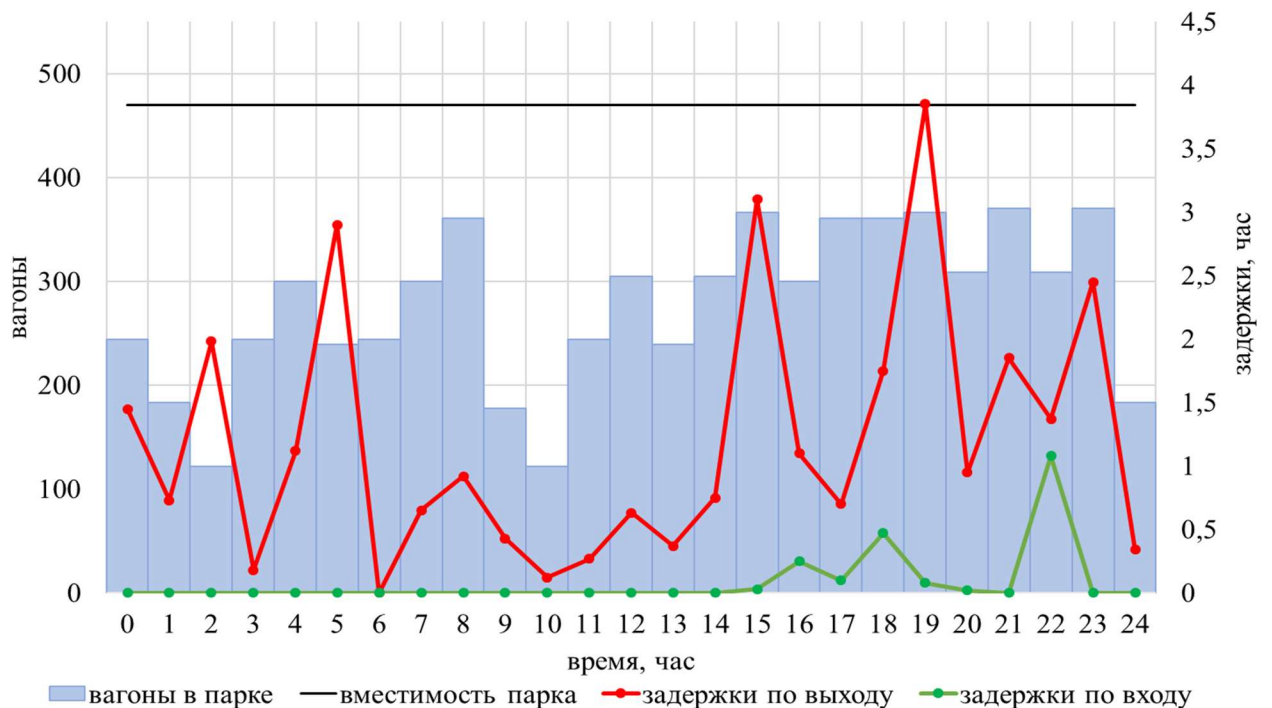


Рисунок 4.5 – Вагоны и задержки в четном транзитном парке Б станции Карымская

Большие задержки возникли только, когда число вагонов превысило 350. Но только в одном случае. Предельную функциональную емкость можно принять в 350 вагонов.

Таблица 4.5 – Количество вагонов в транзитном парке

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Карымская – четный Б	470	122	265	370	56

4.2.5 Четный транзитный парк Д станции Карымская

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, отцепка-прицепка вагонов, смена локомотивов.

Максимально возможное число вагонов в парке – 814 (Рисунок 4.6). Фактическое количество вагонов – в пределах от 256 до 570 (Таблица 4.6).

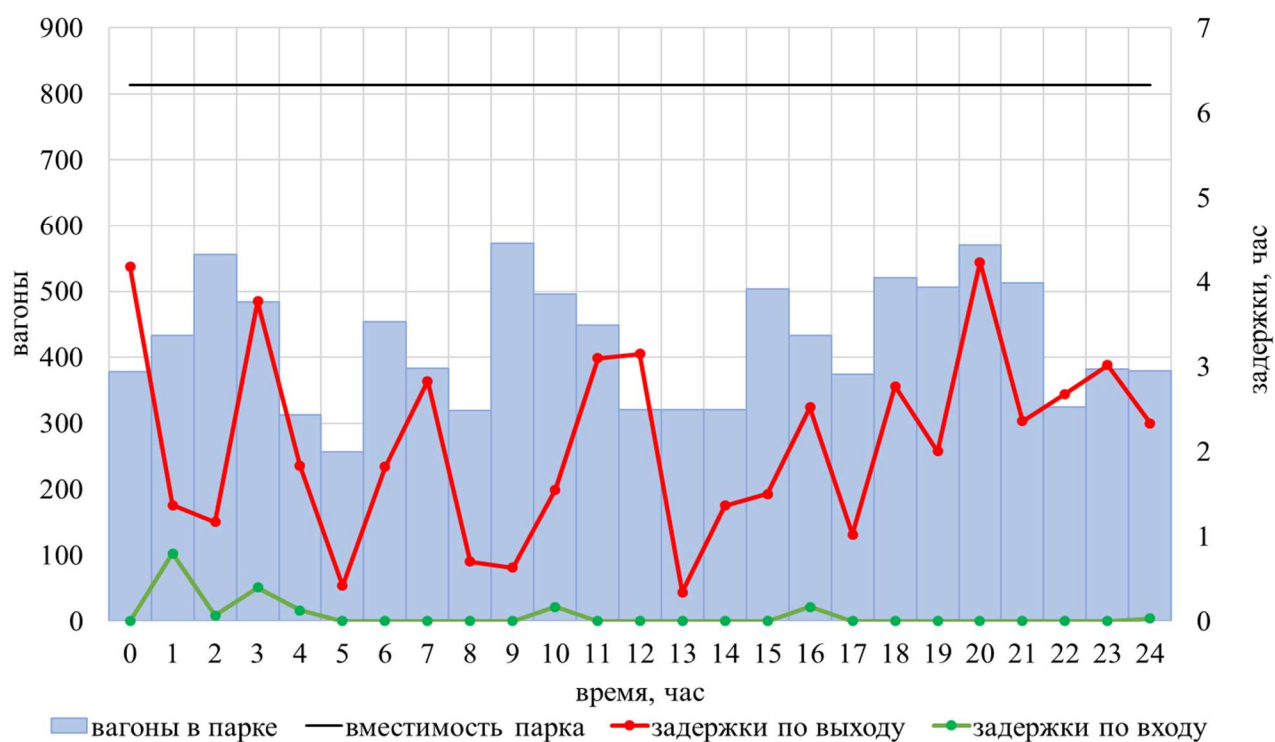


Рисунок 4.6 – Вагоны и задержки в четном транзитном парке Д станции Карымская

На момент исследования длина обращающихся поездов была значительно меньше длины большинства приемоотправочных путей (на 10-20 вагонов). В результате полезная вместимость парка недоиспользована.

Таблица 4.6 – Количество вагонов в транзитном парке

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Карымская – четный Д	814	256	432	570	53

Уровень задержек на путях парков станции не всегда зависит от количества вагонов. Это можно связать с большим набором выполняемых операций, чем на станции Курган, а, следовательно, большим их разбросом по времени.

Вследствие весьма высокого уровня задержек при превышении числа вагонов величину 500, предельную функциональную емкость не стоит принимать выше.

4.2.6 Транзитный парк станции Енакиево.

Выполняемые операции: прием и отправление поездов, отцепка-прицепка вагонов, расформирование-формирование поездов.

Максимально возможное число вагонов в парке – 432 (Рисунок 4.7). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 86 до 295 (Таблица 4.7).

Высокий уровень задержек объясняется тем, что вагоны длительное время простаивают на станции в ожидании перестановки их на завод. Неполное использование вместимости парка связано с тем, что парк выполняет различную работу: и поездную, и маневровую по подформированию, для чего требуется резерв вместимости. Принимать предельную функциональную емкость выше 300 вагонов не целесообразно. Возникают пиковые задержки и по выходу, и по входу.

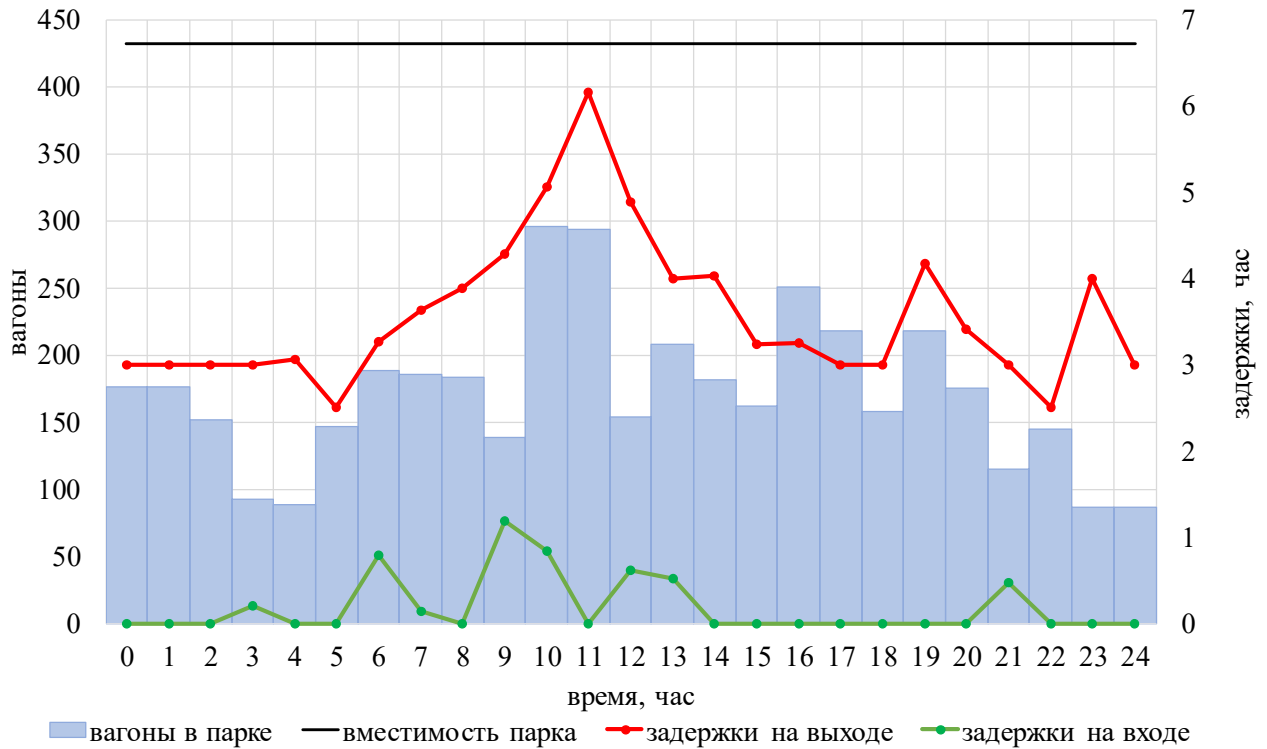


Рисунок 4.7 – Вагоны и задержки в парке станции Енакиево

Таблица 4.7 – Количество вагонов в транзитном парке

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Енакиево	432	86	170	295	39

4.3 Определение функциональных свойств парков приема

В парках приема задержки по входу возникают только при предельном заполнении, так как значительная маневровая работа там, как правило, не выполняется.

4.3.1 Парк приема станции Курган

Выполняемые операции: прием поездов, подготовка к расформированию, подача и уборка вагонов на грузовые фронты.

Максимально возможное число вагонов в парке – 358 (Рисунок 4.8).

Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 67 до 323 (Таблица 4.8).

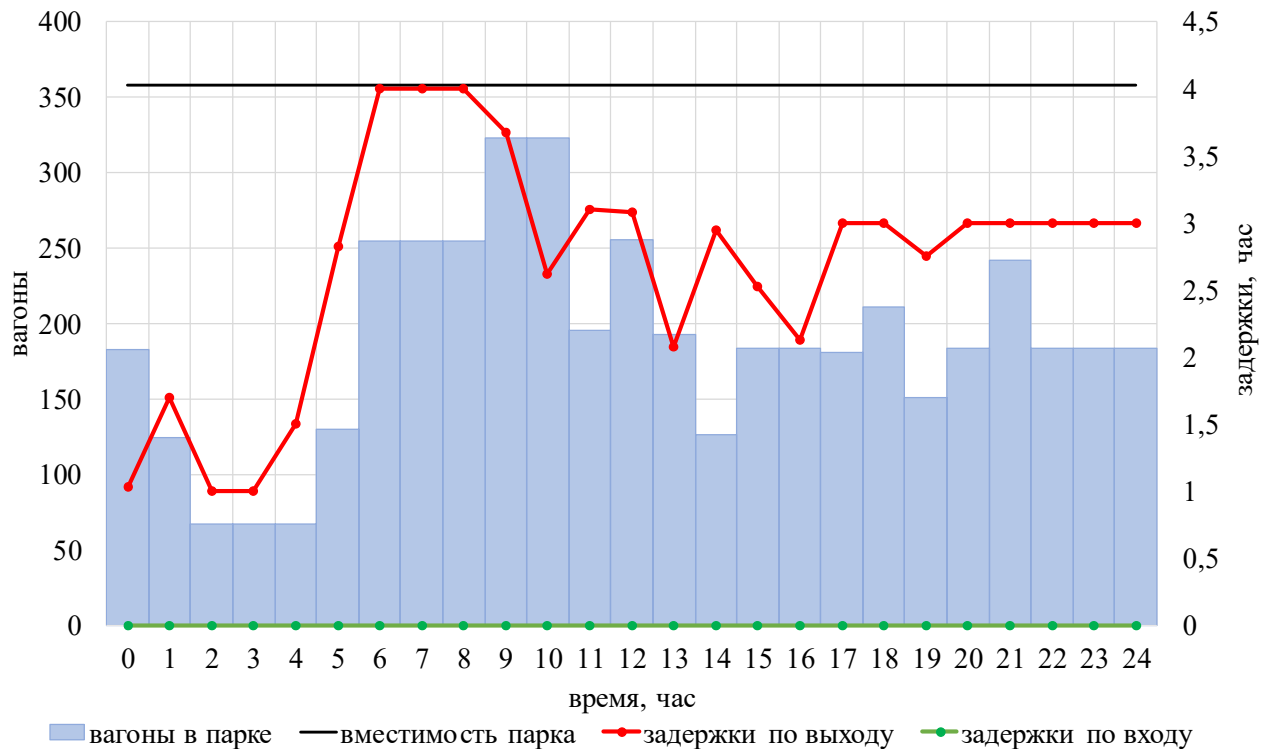


Рисунок 4.8 – Вагоны и задержки в парке приема станции Курган

Таблица 4.8 – Количество вагонов в парках приема

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Курган	358	67	188	323	52

Уровень задержек по выходу напрямую зависит от количества вагонов в парке, что связано с ожиданием расформирования. Задержек по входу практически нет. Предельная функциональная емкость – 300 вагонов. При более высоком заполнении возникают большие задержки.

4.3.2 Парк приема станции Карымская

Выполняемые операции: прием поездов, подготовка к расформированию.

Максимально возможное число вагонов в парке – 168 (Рисунок 4.9). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 0 до 166 (Таблица 4.9).

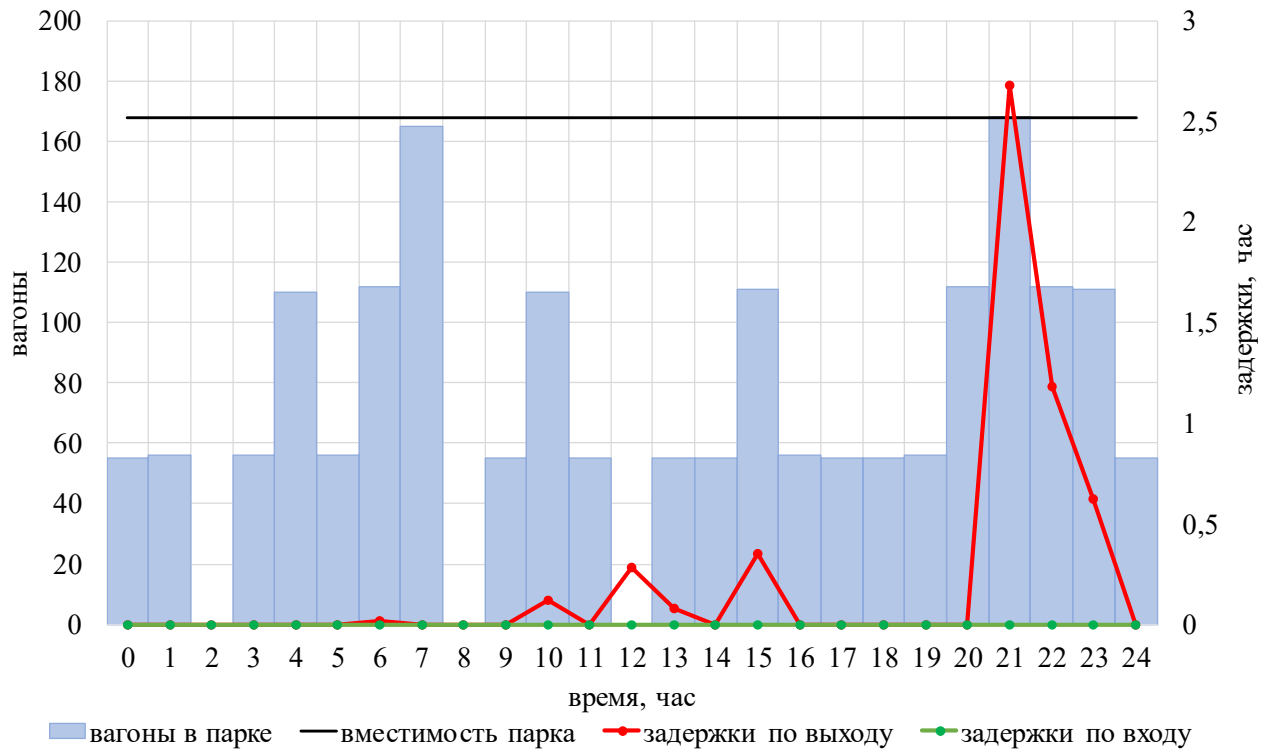


Рисунок 4.9 – Вагоны и задержки в парке приема станции Карымская

Таблица 4.9 – Количество вагонов в парках приема

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Карымская	168	0	51	166	33

Предельная функциональная емкость – 150 вагонов. При полном заполнении резко возрастают задержки по выходу, а, значит, через некоторое время появятся и задержки по входу.

4.3.3 Нечетный парк приема станции Дема.

Выполняемые операции: прием поездов, отцепка групп вагонов, не поместившихся в пределах полезной длины, подготовка к расформированию.

Максимально возможное число вагонов в парке – 279 (Рисунок 4.10). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 0 до 201 (Таблица 4.10).

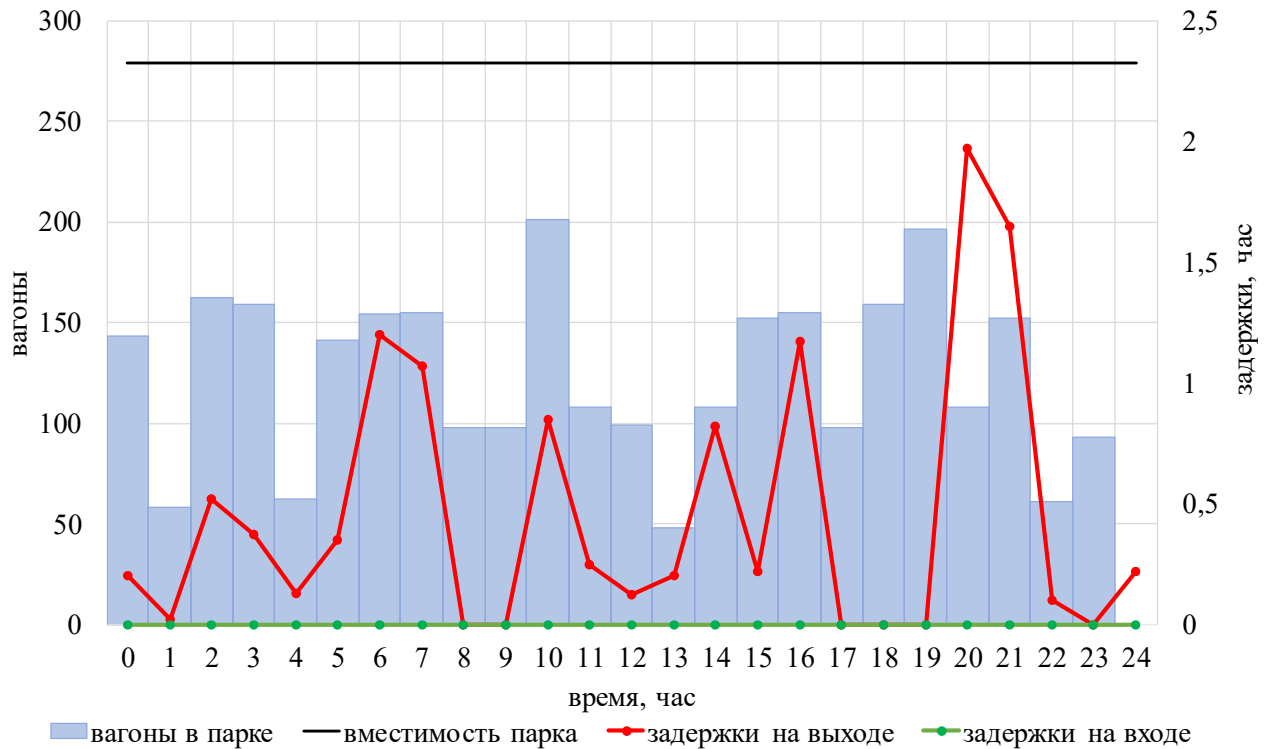


Рисунок 4.10 – Вагоны и задержки в нечетном парке приема станции Дема

Таблица 4.10 – Количество вагонов в парках приема

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Дема – нечетный	279	0	118	201	42

Предельная функциональная емкость – 200 вагонов, функциональные свойства еще сохраняются.

4.3.4 Четный парк приема станции Дема

Выполняемые операции: прием поездов, подготовка к расформированию, окончание формирования.

Максимально возможное число вагонов в парке – 310 (Рисунок 4.11). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 91 до 251 (Таблица 4.11).

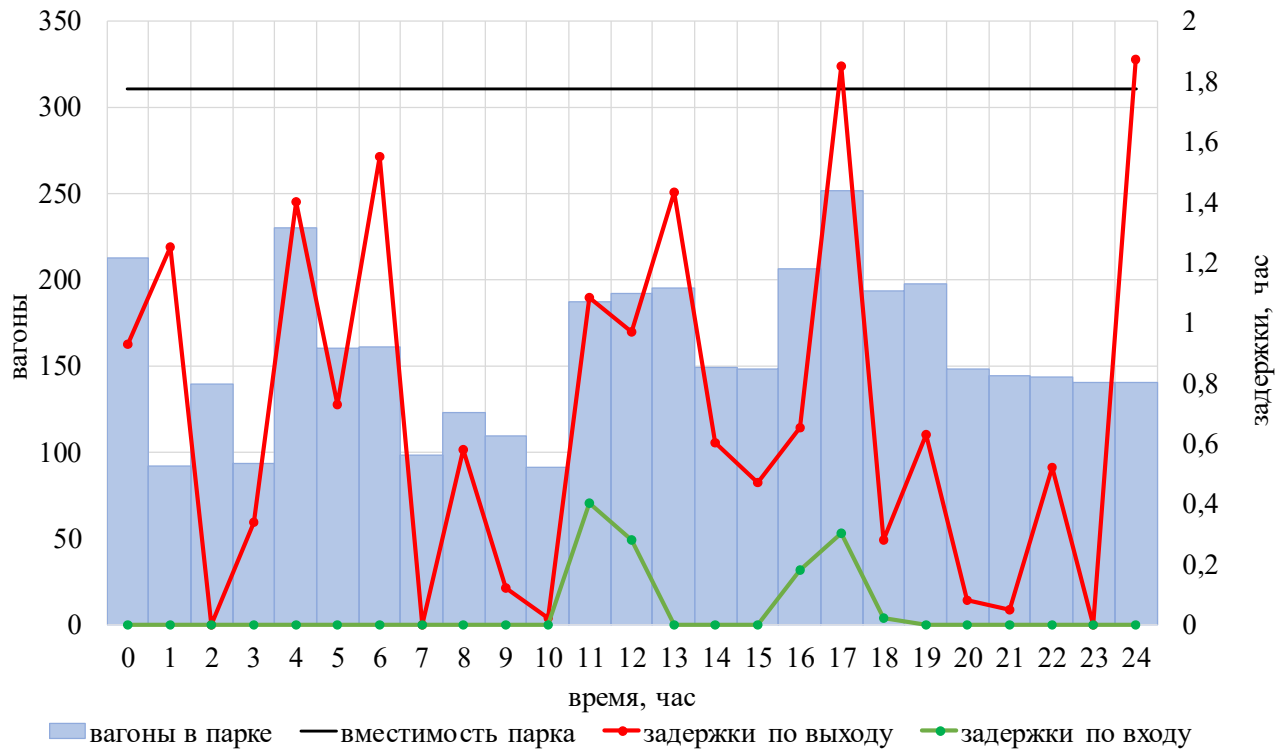


Рисунок 4.11 – Вагоны и задержки в четном парке приема станции Дема

Таблица 4.11 – Количество вагонов в парках приема

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Дема – четный	310	91	158	251	51

Предельная функциональная емкость – 200 вагонов, если выше – парк теряет функциональность – возникают задержки по входу.

4.3.5 Нечетный парк приема станции Екатеринбург.

Выполняемые операции: прием поездов, отцепка групп вагонов, не поместившихся в пределах полезной длины, подготовка к расформированию (Рисунок 4.12).

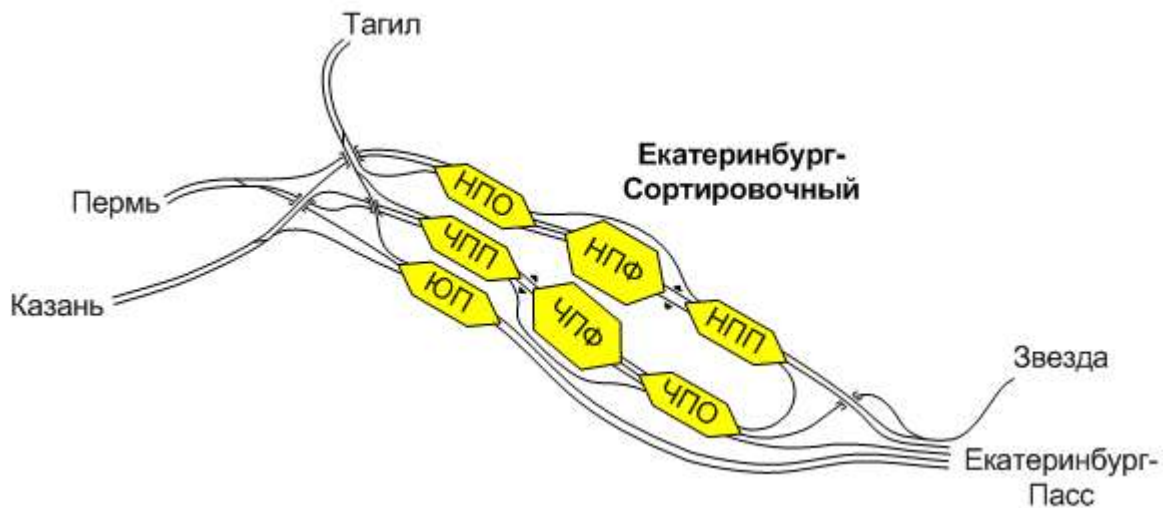


Рисунок 4.12 – Схема станции Екатеринбург-сортировочный

Максимально возможное число вагонов в парке – 652 (Рисунок 4.13). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 62 до 465, среднее – 281 (Таблица 4.12).

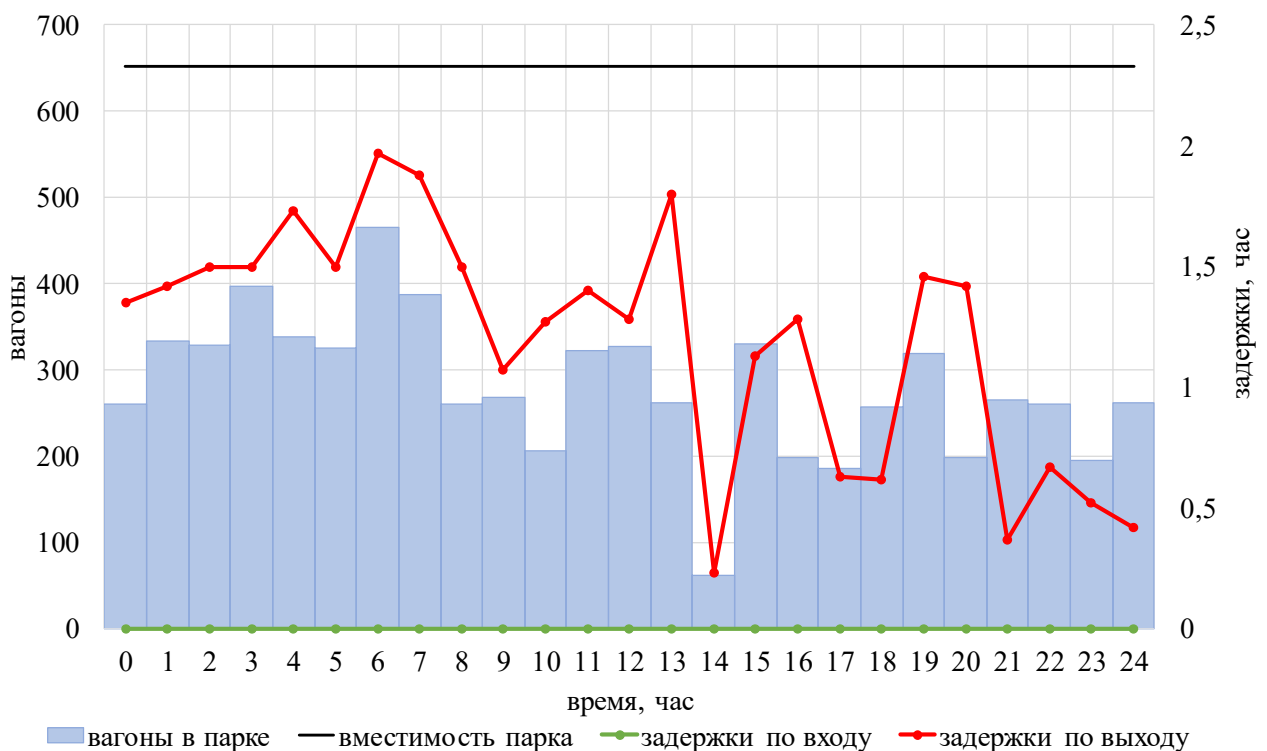


Рисунок 4.13 – Вагоны и задержки в нечетном парке приема станции Екатеринбург

Таблица 4.12 – Количество вагонов в парках приема

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Екатеринбург – нечетный	652	62	281	465	43

Предельная функциональная емкость – 520 вагонов, задержки по выходу вполне умеренные. Резерв будет 2 пути, один для обгона локомотива и один для приема поезда. Дополнительной маневровой работы в парке нет. Меньший резерв нельзя.

4.3.6 Четный парк приема станции Екатеринбург

Выполняемые операции: прием поездов, подготовка к расформированию, окончание формирования.

Максимально возможное число вагонов в парке – 700 (Рисунок 4.14). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 0 до 326 (Таблица 4.13).

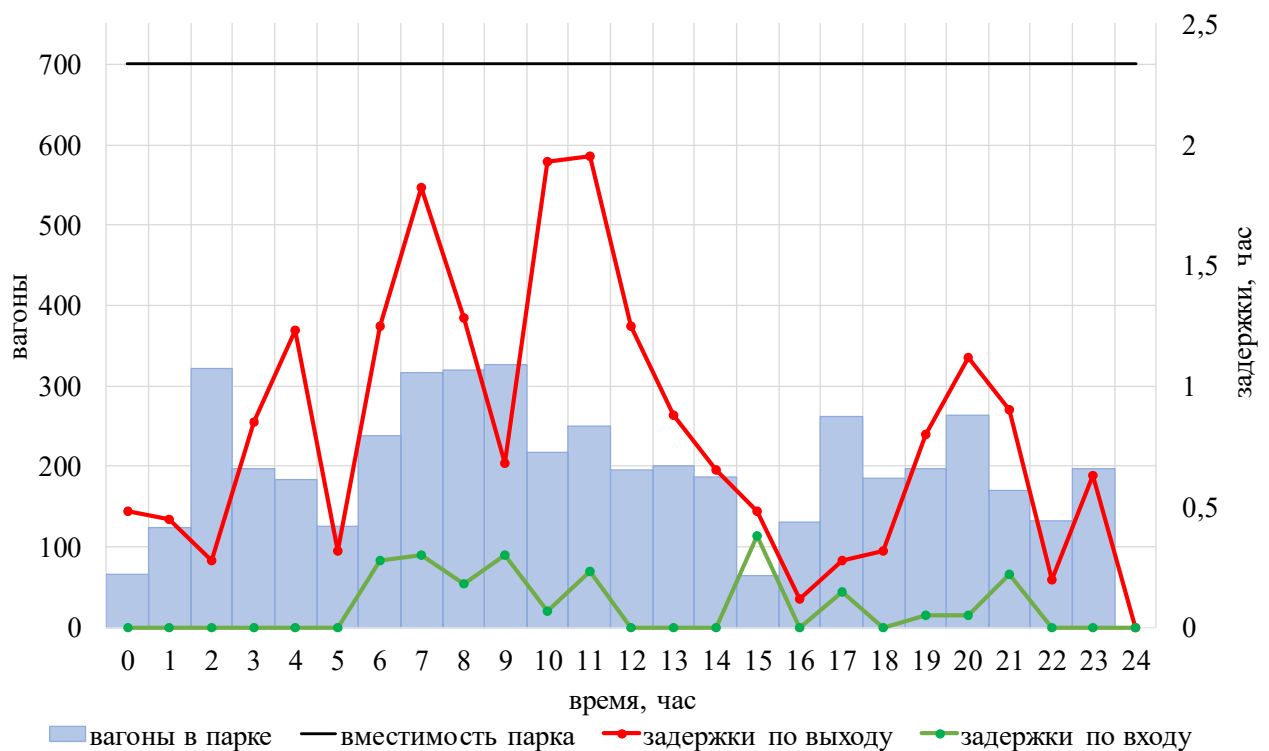


Рисунок 4.14 – Вагоны и задержки в четном парке приема станции Екатеринбург

Таблица 4.13 – Количество вагонов в парках приема

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Екатеринбург – четный	700	0	195	326	47

Предельная функциональная емкость – 500 вагонов. Логика та же, как и в предыдущем случае. Задержки по входу возникают из-за несоответствия длины состава и пути приема.

4.4 Определение функциональных свойств парков формирования

Предельная функциональная емкость сортировочных парков (парков формирования) зависит от многих факторов – различия в длине путей и величине формируемых составов, интенсивности и неравномерности накопления, типа формируемых поездов и др.

4.4.1 Парк формирования станции Курган

Выполняемые операции: расформирование-формирование поездов, накопление, подготовка к отправлению, отправление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 886 (Рисунок 4.15). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 416 до 632. (Таблица 4.14).

Предельная функциональная емкость – 600 вагонов. При превышении возникают серьезные задержки по входу (в основном, в процессе расформирования).

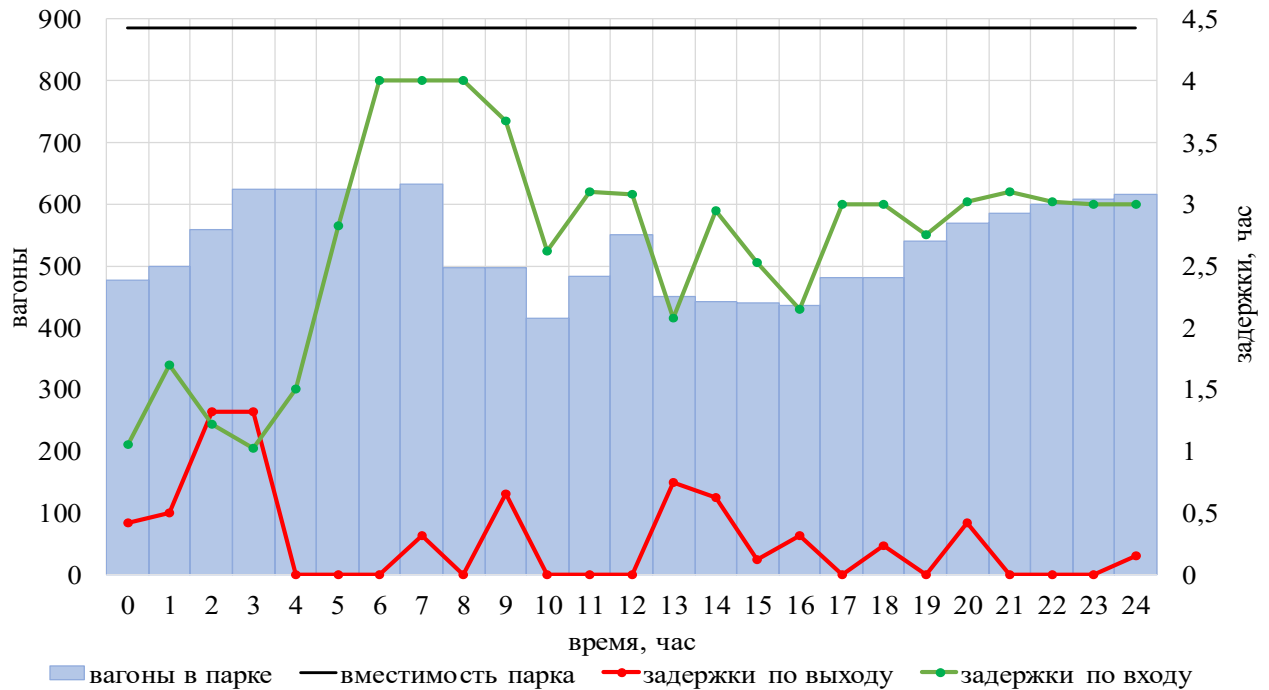


Рисунок 4.15 – Вагоны и задержки в парке формирования станции Курган

Таблица 4.14 – Количество вагонов в парках формирования

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Курган	886	416	534	632	60

4.4.2 Парк формирования станции Карымская

Выполняемые операции: расформирование-формирование поездов, накопление, подготовка к отправлению, отправление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 833 (Рисунок 4.16). Фактическое количество вагонов колеблется от 294 до 621 (Таблица 4.15).

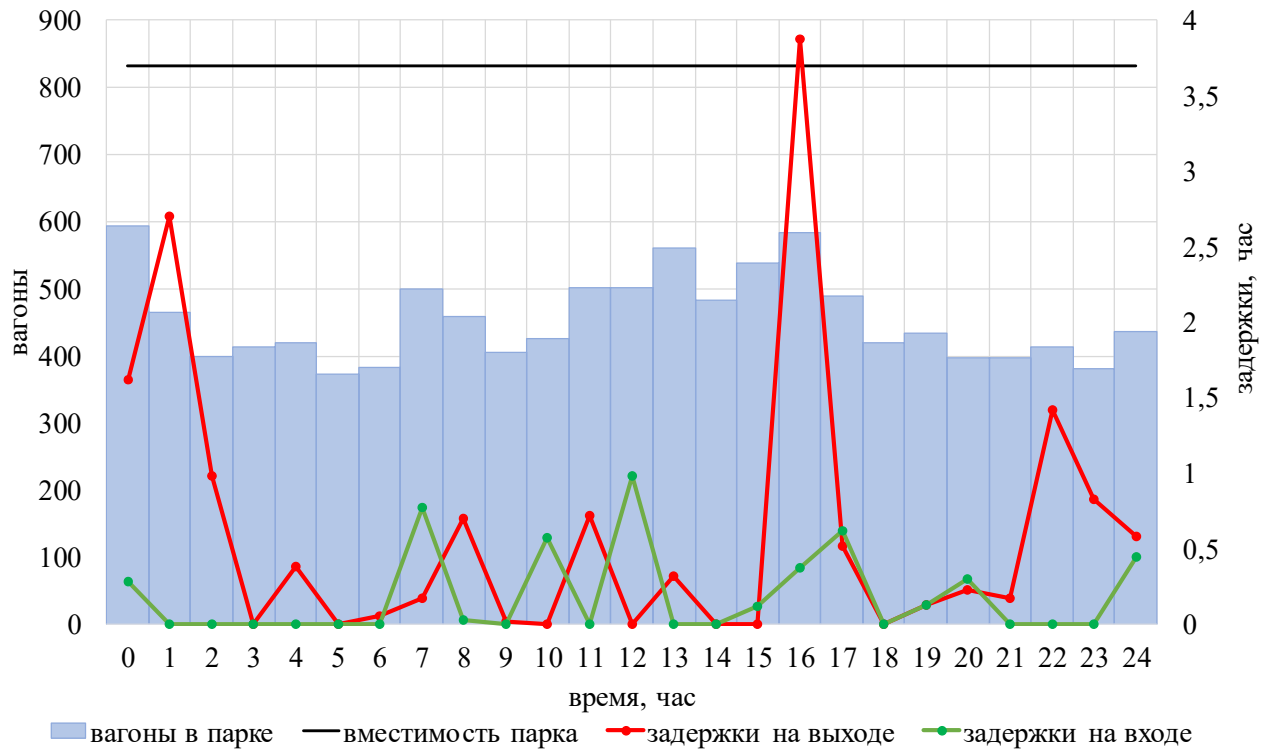


Рисунок 4.16 – Вагоны и задержки в парке формирования станции Карымская

Таблица 4.15 – Количество вагонов в парках формирования

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Карымская	833	294	428	621	51

Предельная функциональная емкость – 500 вагонов, выше задержки по входу растут.

4.4.3 Парк формирования станции Енакиево

Выполняемые операции: расформирование-формирование поездов, накопление, подготовка к отправлению, отправление, формирования подачи.

Максимально возможное число вагонов в парке – 181 (Рисунок 4.17). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 29 до 171 (Таблица 4.16).

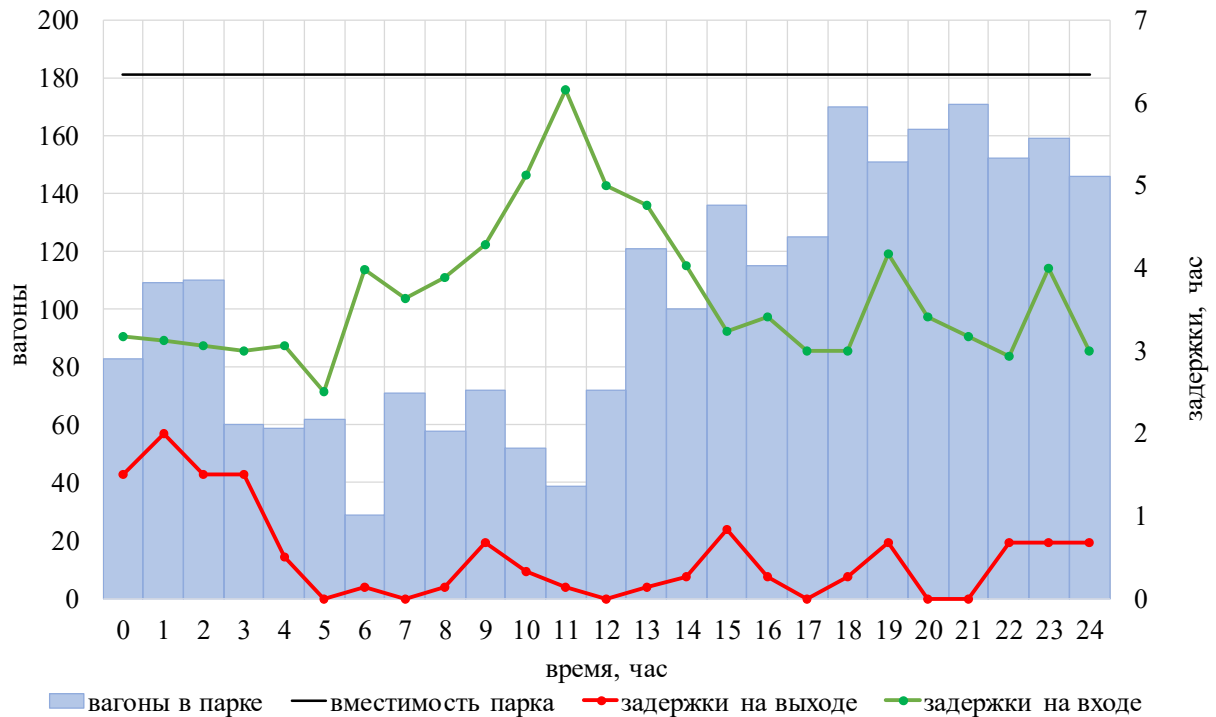


Рисунок 4.17 – Вагоны и задержки в парке формирования станции Енакиево

Таблица 4.16 – Количество вагонов в парках формирования

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Енакиево	181	29	103	171	57

Здесь даже при невысоком заполнении задержки резко возрастают. На станции ведется разнообразная маневровая работа. Для предельной функциональной емкости цифру 130 можно рекомендовать.

4.4.4 Нечетный парк формирования станции Дема

Выполняемые операции: расформирование-формирование поездов, накопление, подготовка к отправлению, отправление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 723 (Рисунок 4.18). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 230 до 435 (Таблица 4.17).

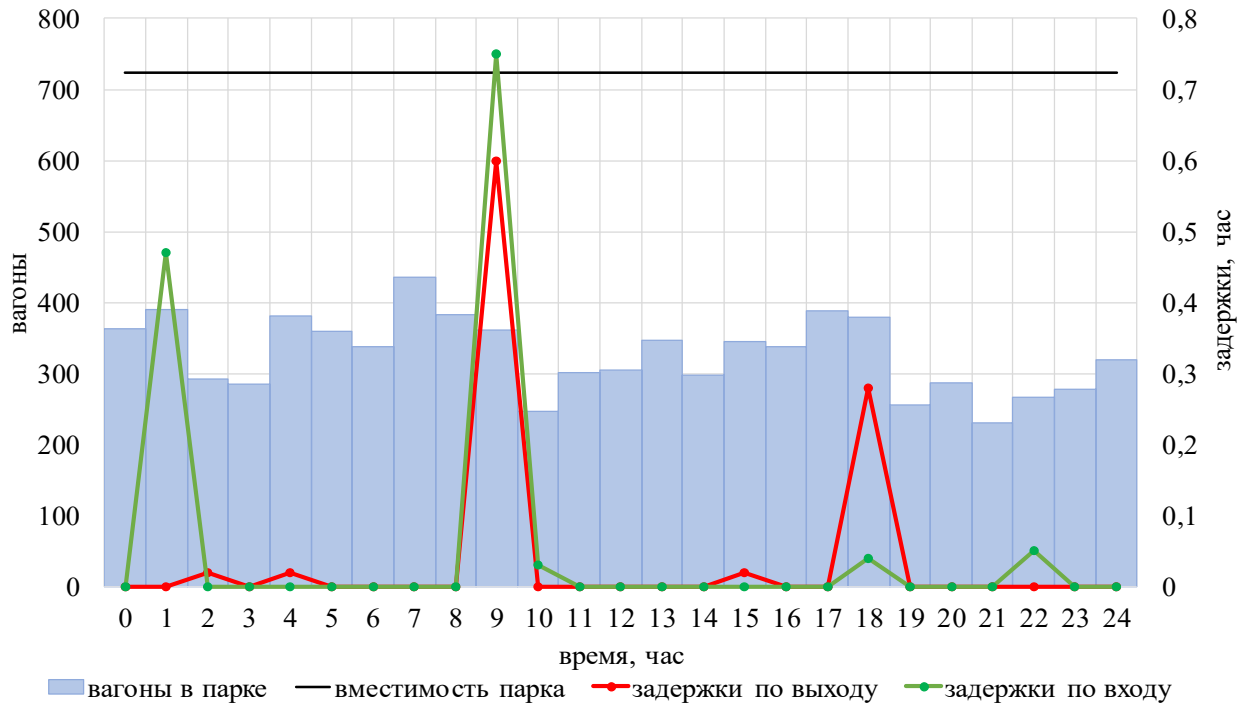


Рисунок 4.18 – Вагоны и задержки в нечетном парке формирования станции Дема

Таблица 4.17 – Количество вагонов в парках формирования

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Дема – нечетный	723	230	326	435	45

В этом случае задержки по входу возникают при заполнении в 400 вагонов. Предельную функциональную емкость выше принимать не стоит – 400 вагонов.

4.4.5 Четный парк формирования станции Дема

Выполняемые операции: расформирование-формирование поездов, накопление, подготовка к отправлению, отправление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 806 (Рисунок 4.19). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 281 до 503, среднее – 404 (Таблица 4.18).

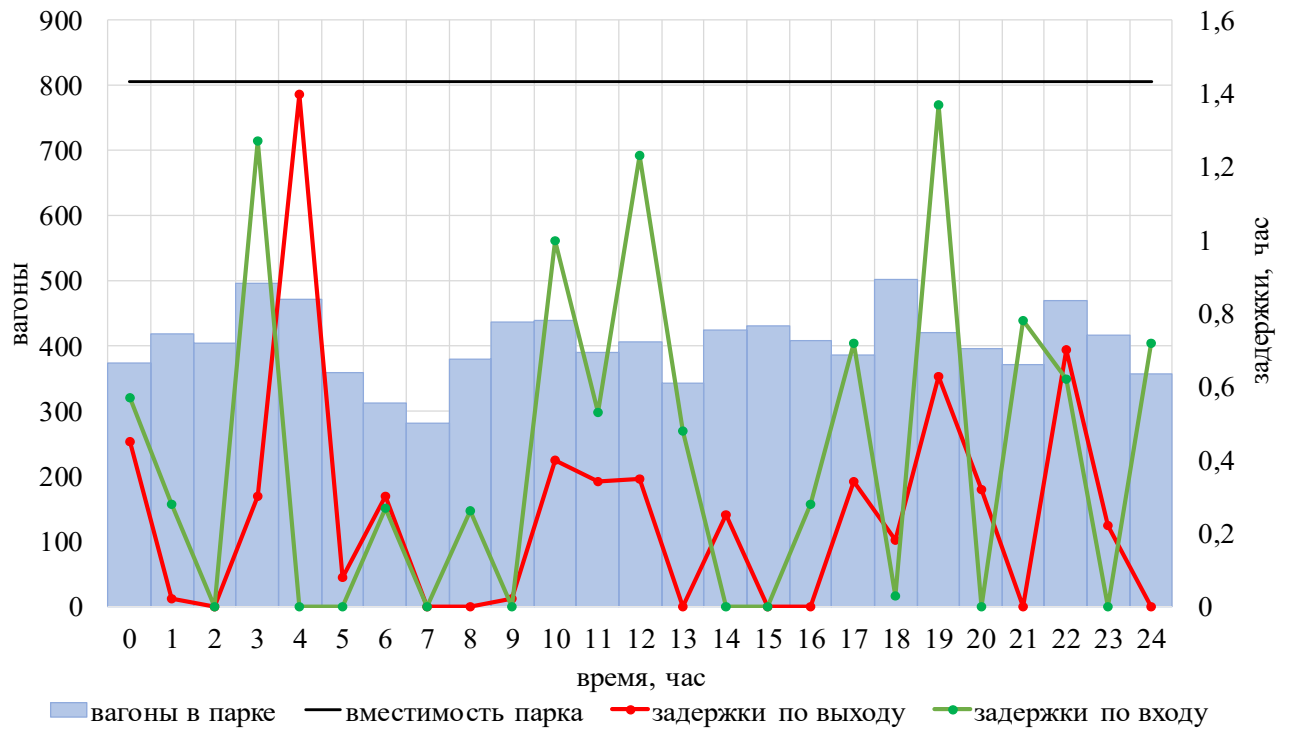


Рисунок 4.19 – Вагоны и задержки в четном парке формирования станции Дема

Таблица 4.18 – Количество вагонов в парках формирования

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс.	
Дема – четный	806	281	404	503	50

Предельная функциональная емкость – 400 вагонов. Судя по задержкам, парк при большем заполнении теряет функциональность.

4.4.6 Нечетный парк формирования станции Екатеринбург

Выполняемые операции: расформирование-формирование поездов, накопление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 2059 (Рисунок 4.20). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 685 до 1080, среднее – 823 (Таблица 4.19).

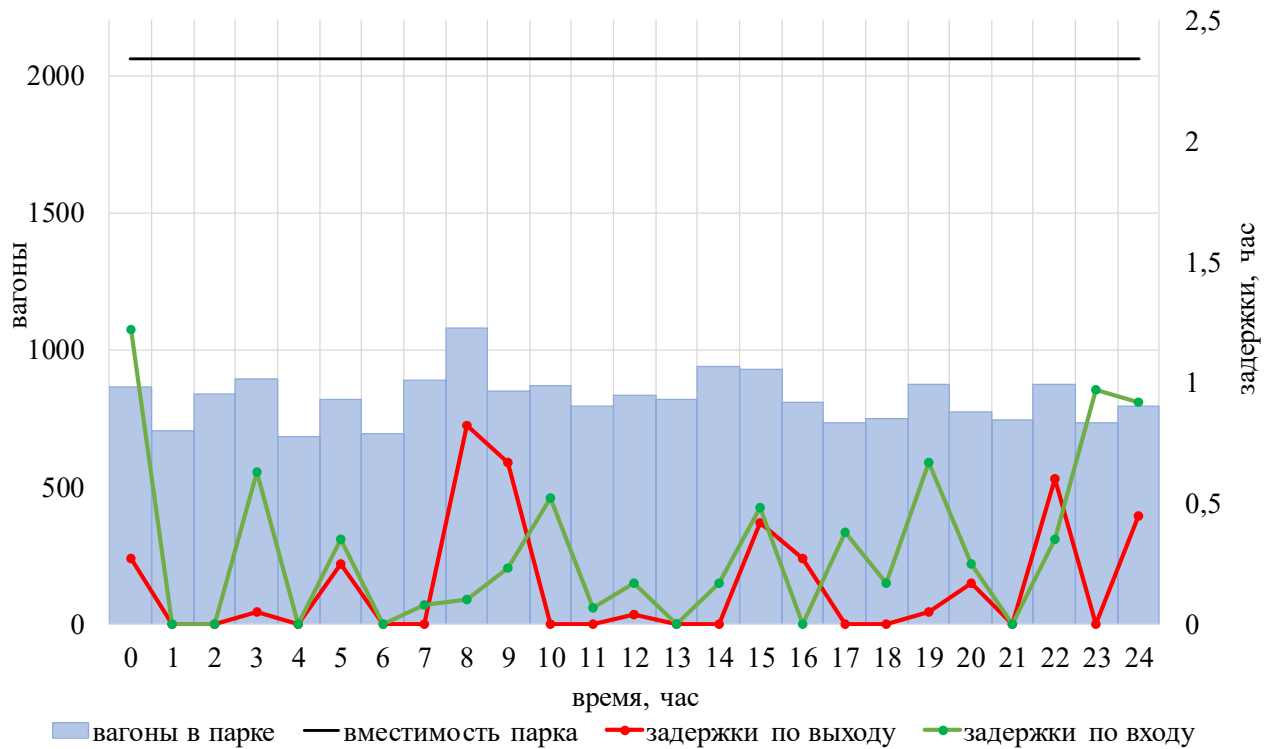


Рисунок 4.20 – Вагоны и задержки в нечетном парке формирования станции Екатеринбург

Таблица 4.19 – Количество вагонов в парках формирования

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Екатеринбург – нечетный	2059	685	823	1080	40

По-видимому, эта мощная сортировочная система работает с недогрузкой – сортировочный парк загружен только наполовину. Однако, и при таком заполнении задержки становятся заметными. Необходимо выполнить расчеты с более полной загрузкой. На основании этих расчетов можно установить, что предельная функциональная емкость не может быть выше 1000 вагонов.

4.4.7 Четный парк формирования станции Екатеринбург

Выполняемые операции: расформирование-формирование поездов, накопление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 2200 (Рисунок 4.21). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 615 до 1080 (Таблица 4.20).

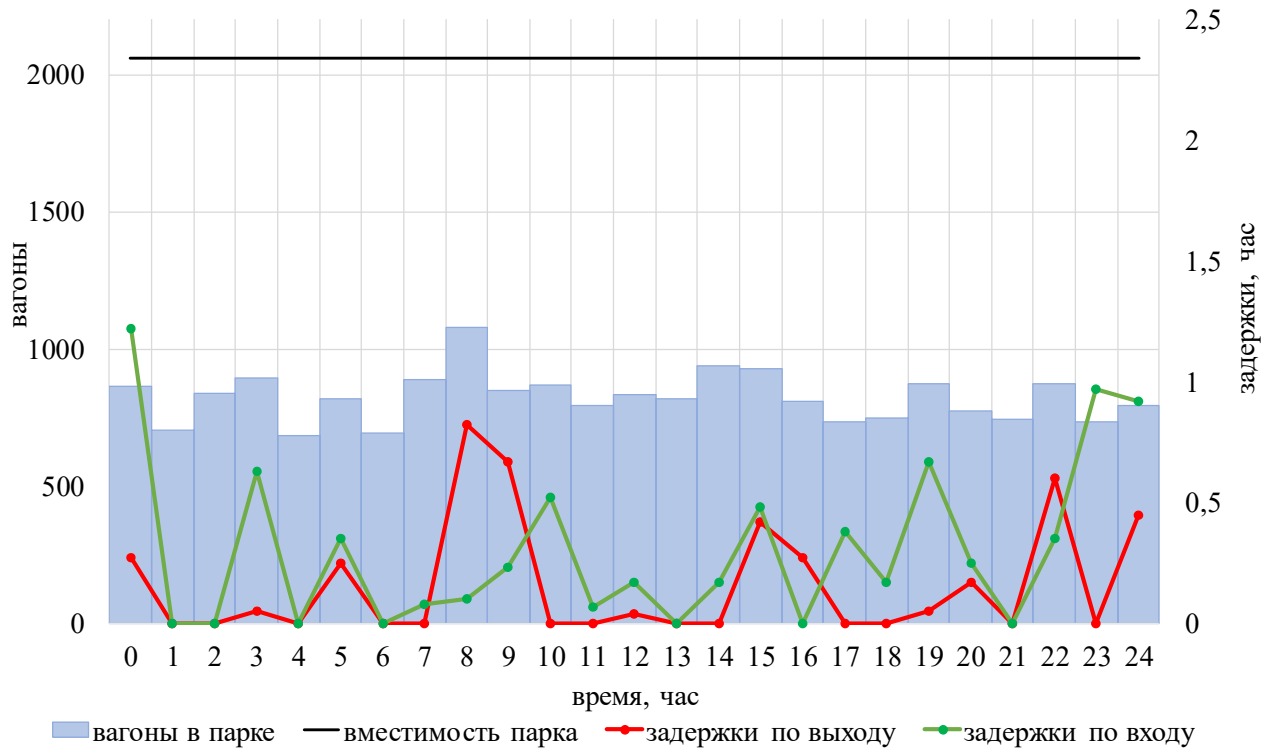


Рисунок 4.21 – Вагоны и задержки в четном парке формирования станции Екатеринбург

Таблица 4.20 – Количество вагонов в парках формирования

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Екатеринбург – четный	2200	615	830	1080	38

Предельная функциональная емкость свыше 1000 вагонов. Рассуждения аналогичны предыдущим.

4.5 Определение функциональных свойств парков отправления

4.5.1 Парк отправления станции Дема.

Выполняемые операции: подготовка к отправлению, отправление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 619 (Рисунок 4.22).

Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 0 до 242 (Таблица 4.21).

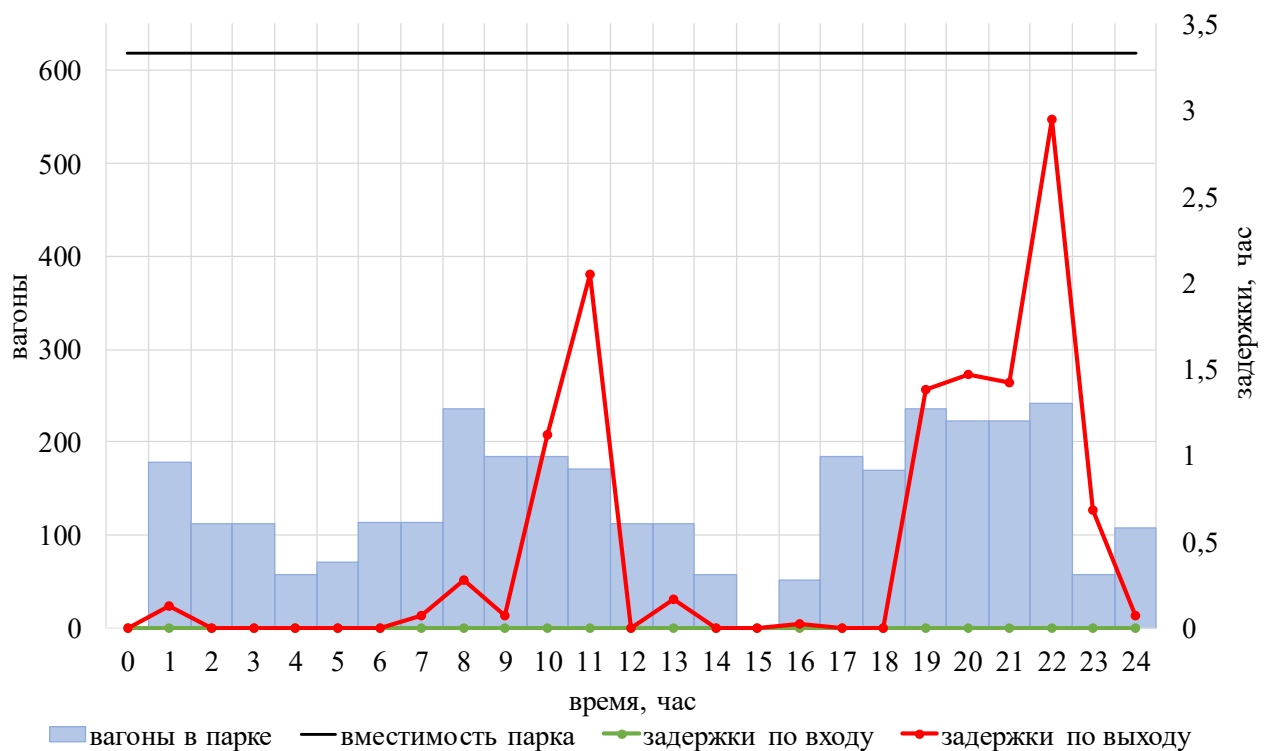


Рисунок 4.22 – Вагоны и задержки в парке отправления станции Дема

Таблица 4.21 – Количество вагонов в парках отправления

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Дема	619	0	132	242	21

По этим расчетам трудно оценить предельную функциональную загрузку. Задержек по входу нет. Но даже при небольшом увеличении заполнения резко возрастают задержки по выходу, скорее всего, из-за горловины. Необходимы дополнительные расчеты.

4.5.2 Нечетный парк отправления станции Екатеринбург

Выполняемые операции: подготовка к отправлению, отправление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 790 (Рисунок 4.23).
Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 71 до 488 (Таблица 4.22).

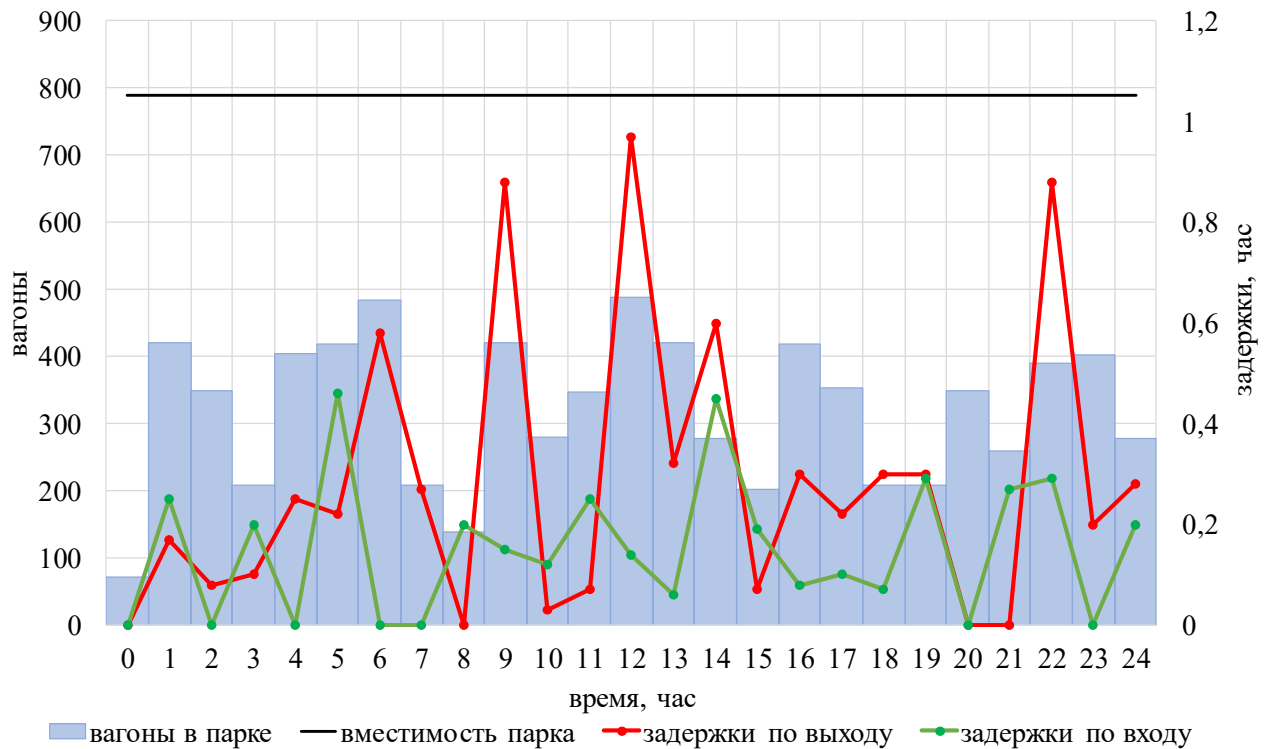


Рисунок 4.23 – Вагоны и задержки в нечетном парке отправления станции Екатеринбург

Таблица 4.22 – Количество вагонов в парках отправления

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Екатеринбург – нечетный	790	71	320	488	41

Здесь при достижении числа вагонов цифры 500 увеличиваются задержки и по выходу, и по входу. Значит, более высокую загрузку рекомендовать не следует.

4.5.3 Четный парк отправления станции Екатеринбург

Выполняемые операции: подготовка к отправлению, отправление.

Максимально возможное число вагонов в парке – 870 (Рисунок 4.24).
Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 71 до 475 (Таблица 4.23).

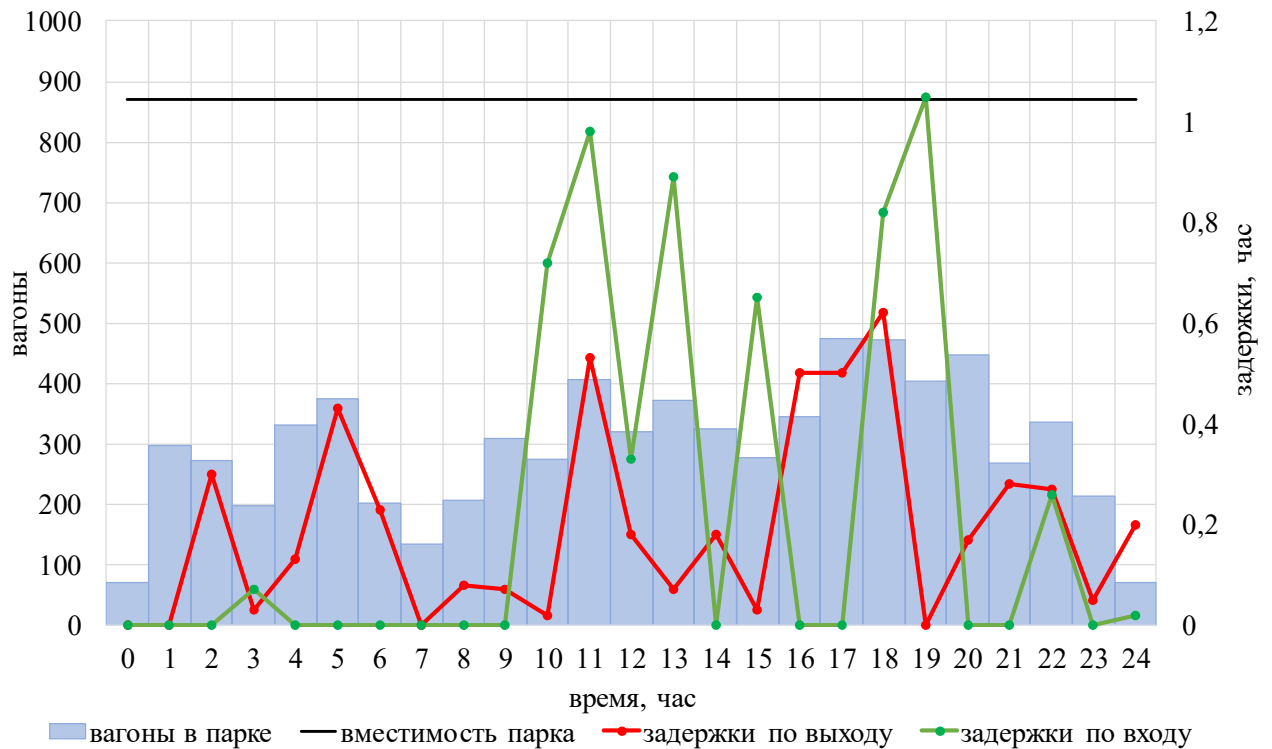


Рисунок 4.24 – Вагоны и задержки в четном парке отправления станции Екатеринбург

Таблица 4.23 – Количество вагонов в парках отправления

Станция	Вместимость парка	Факт. количество вагонов			Использование полной вместимости, %
		Мин	Ср	Макс	
Екатеринбург – четный	870	71	296	475	34

Предельная функциональная емкость – 500. Обоснование аналогично предыдущему случаю.

4.6 Технология определения функциональной емкости парков путей

Результаты представленных исследований позволяют сделать вывод, что для всех типов парков средневзвешенное фактическое наличие вагонов не является информативным показателем. Соответственно процент использования полной вместимости парка не стоит брать за основу определения функциональной емкости. Критические задержки в операциях, как правило, связаны с максимальным фактическим заполнением парка. Абсолютная величина задержек не является однозначным индикатором. Так задержки в 2-2,5 часа наблюдаются в транзитных парках при использовании 47-56 % вместимости, в парках формирования – 38-40%, в парках отправления – 20-30%. В тоже время загрузка транзитных парков в 50% может вызвать задержки в операциях и на 2 часа и на 6 часов в разных ситуациях. Более информативным является соотношение максимального наличия вагонов к физической вместимости. Наблюдается зависимость между этой величиной и уровнем задержек в операциях.

Критическое влияние задержек по входу и выходу на величину функциональной емкости зависит от специализации парков. В транзитных парках и парках прибытия ограничивают функциональную емкость парка задержки по выходу (приоритет отдается бесперебойному приему поездов). В парках формирования величину функциональной емкости ограничивают задержки по входу. Для парков отправления однозначный вывод сделать нельзя. Судя по всему, большое влияние на работу парков отправления оказывает увязка с работой участка примыкания. В некоторых случаях емкость парка отправления используется для регулятивного управления на всём участке. Такое влияние требует дальнейших исследований на комплексных моделях станций и участков.

Анализ результатов моделирования работы парков позволяет сделать вывод, что парки приема и парки формирования более сбалансированы в техническом и технологическом смысле, имеют более ровные коэффициенты соотношения. Транзитные парки не однородны по соотношению использования полной вместимости и уровню задержек в операциях. Просматривается некоторая

группировка парков. Это требует дополнительных дальнейших исследований. У парков отправления наблюдается более низкий процент использования полной вместимости, что связано с неполным учетом в модели влияния участка примыкания.

В целом, для определения функциональной емкости просматривается последовательность действий, представленная на схеме (Рисунок 4.25)

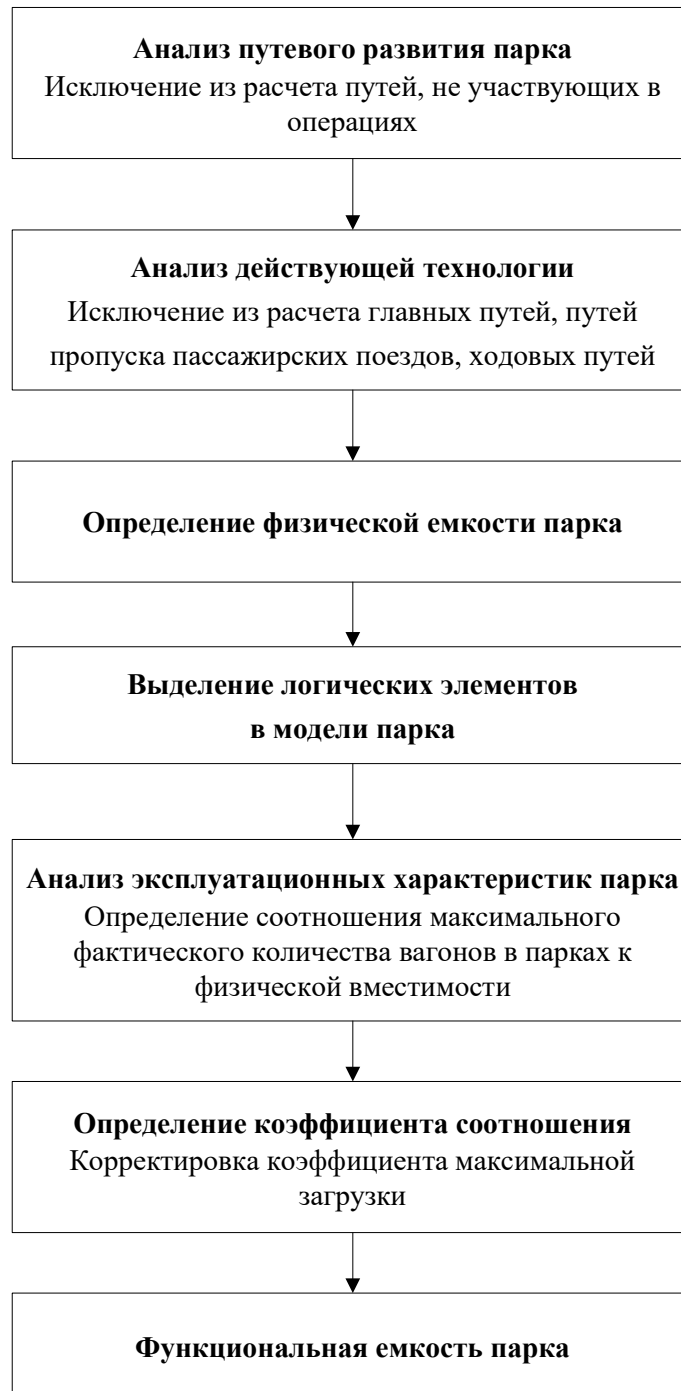


Рисунок 4.25 – Последовательность определения функциональной емкости парка

На стартовом этапе моделирования величину функциональной емкости парков можно определить с помощью рекомендованных коэффициентов соотношения (Таблица 4.24).

Таблица 4.24 – Коэффициенты соотношения

Тип парка	Критические задержки	Средняя занятость парков	Максимальная вместимость парков	Рекомендуемый коэффициент соотношения
Приема	По выходу	0,3 – 0,5	0,4 – 0,75	0,8
			0,75 – 0,85	0,7
			0,85 – 0,95	0,65
Формирования	По входу	0,4 – 0,6	до 0,5	0,5
			0,5 – 0,9	0,75
			0,9 – 0,95	0,9
Транзитный	По выходу	0,5 – 0,7	до 0,7	0,6
			0,7 – 0,95	0,75
Отправления	По входу и по выходу	0,3 – 0,4	0,4 – 0,7	0,6

4.7 Отображение процесса накопления составов в сортировочных парках

В моделировании работы сортировочного парка есть свои особенности. Заполнение может быть разным, но от его уровня зависит частота появления готовых составов. То есть

$$M(t) = f(q(t)), \quad (4.5)$$

где $M(t)$ – математическое ожидание числа появившихся готовых составов после очередного роспуска;

$q(t)$ – число вагонов в сортировочном парке.

Конкретное число – это результат работы случайного датчика на основе $M(t)$. Эти закономерности необходимо получить из имитационных моделей сортировочных станций.

Рассмотрим процесс появления накопившихся составов в сортировочных парках разных станций.

4.7.1 Парк формирования станции Карымская

Динамика вагонов в парке «С» станции Карымская за разные сутки представлена на графиках (Рисунок 4.26, Рисунок 4.27) Синий ряд – вагоны, накапливаемые в четном направлении; красный ряд – вагоны, накапливаемые в нечетном направлении. Желтыми и оранжевыми маркерами на рисунках обозначены моменты накопления составов в четном и нечетном направлении.

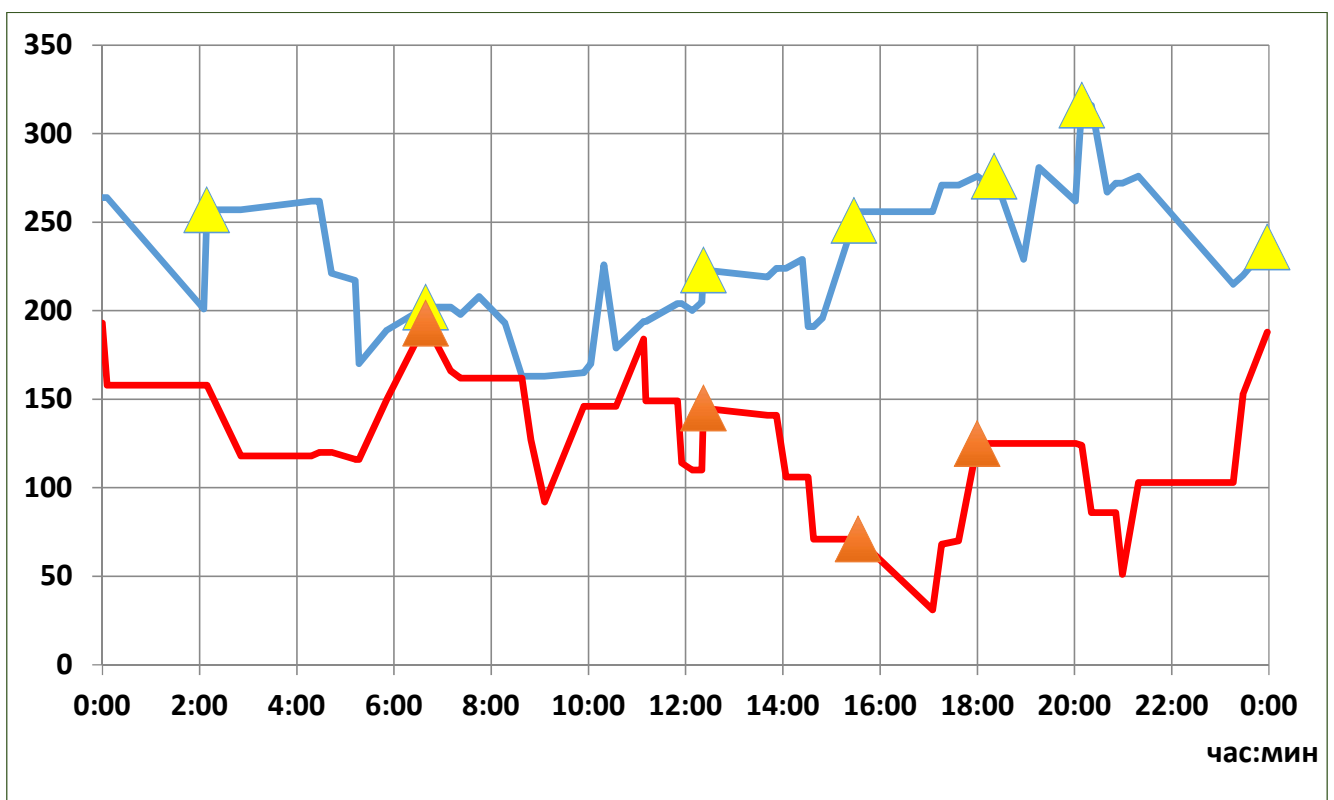


Рисунок 4.26 – Динамика накопления составов по направлениям

Структурно парк «С» представляет собой один парк, однако технология обработки четного и нечетного вагонопотока разная. Четные составы после накопления обрабатываются непосредственно на путях парка «С», откуда затем и отправляются. Нечетные составы после накопления и обработки по формированию переставляются в приемоотправочный парк «А», на путях которого выполняются следующие технологические операции и отправление. Накопление происходит

после расформирования составов, повторного роспуска с отсевных путей, а также после выполнения операций по перестановке вагонов, отцепленных от транзитных поездов с уменьшением веса.

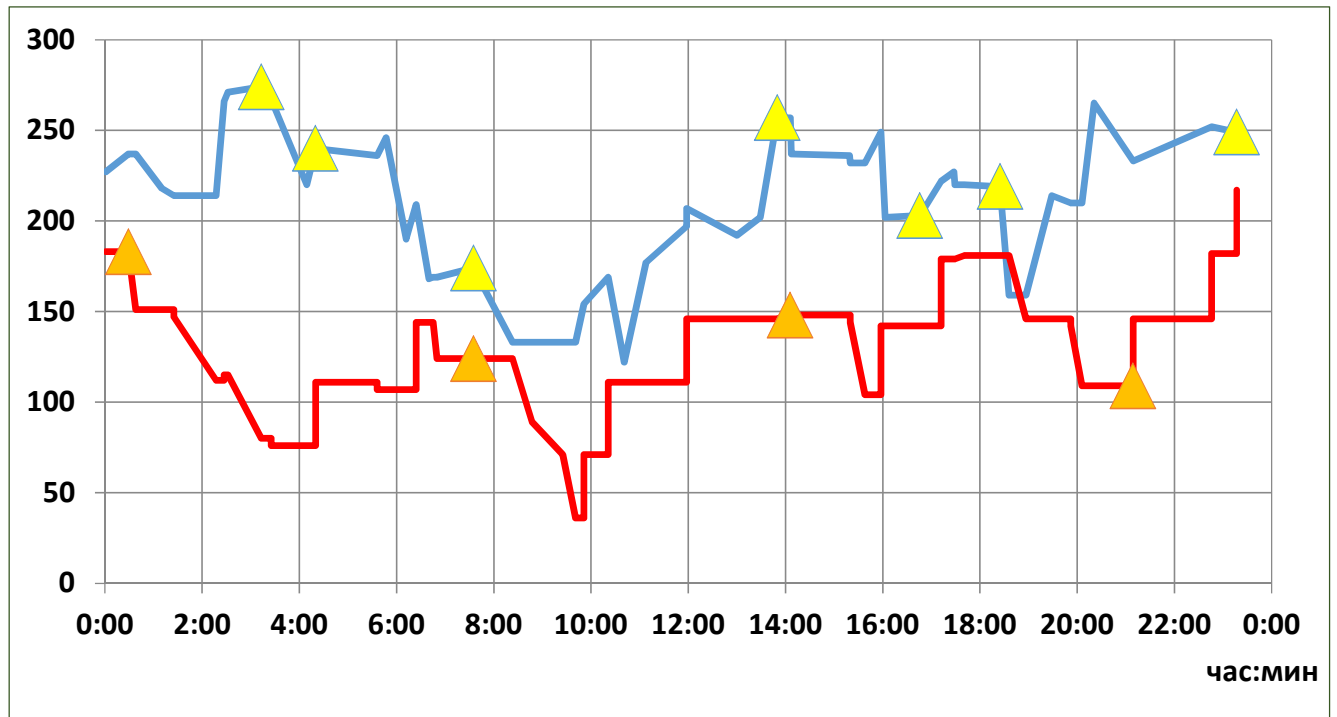


Рисунок 4.27 – Динамика накопления составов по направлениям

Для определения вероятности накопления состава после выполнения перечисленных операций построены таблицы по каждому направлению формирования (Таблица 4.25, Таблица 4.26). В них представлены усредненные данные за 10 суток.

Таблица 4.25 – Вероятность накопления в четном направлении (станция Карымская)

Количество вагонов в парке формирования	Количество операций	Количество накопленных составов	Вероятность накопления
0 – 70	–	–	–
70 – 140	4	0	0
140 – 210	27	3	0,11
210 – 280	145	41	0,28
280 – 350	85	25	0,29

Таблица 4.26 – Вероятность накопления в нечетном направлении (станция Карымская)

Количество вагонов в парке формирования	Количество операций	Количество накопленных составов	Вероятность накопления
0 – 70	3	0	0
70 – 140	63	9	0,14
140 – 210	74	23	0,31
210 – 280	5	3	0,6
280 – 350	–	–	–

Пояснения к таблицам

«Количество вагонов в парке формирования» – диапазоны вагонов, в которые оценивалась вероятность накопления состава в данном направлении.

«Количество операций» – число операций, в которых поступают вагоны данного направления в парк формирования в границах указанного диапазона.

«Количество накопленных составов» – число накопленных составов в рамках соответствующего диапазона.

«Вероятность накопления» – отношение числа накопленных составов к числу операций, в которых поступают вагоны в парк формирования (число роспусков).

4.7.2 Нечетный парк формирования станции Дема

На графиках (Рисунок 4.29, Рисунок 4.30) представлена динамика вагонов за разные сутки в парке «1» станции Дема (Рисунок 4.28).

Показаны вагоны, накапливаемые в нечетном направлении на Чишмы. На это направление накапливаются составы десяти назначений плана формирования, причем четыре из них формируются в двухгруппные поезда. Желтыми и красными маркерами на рисунках обозначены моменты накопления одного и двух составов одновременно. Составы после накопления и обработки по формированию переставляются в парк «5». Составы из двух назначений могут объединяться как со

стороны горочной вытяжки, так и со стороны района формирования.

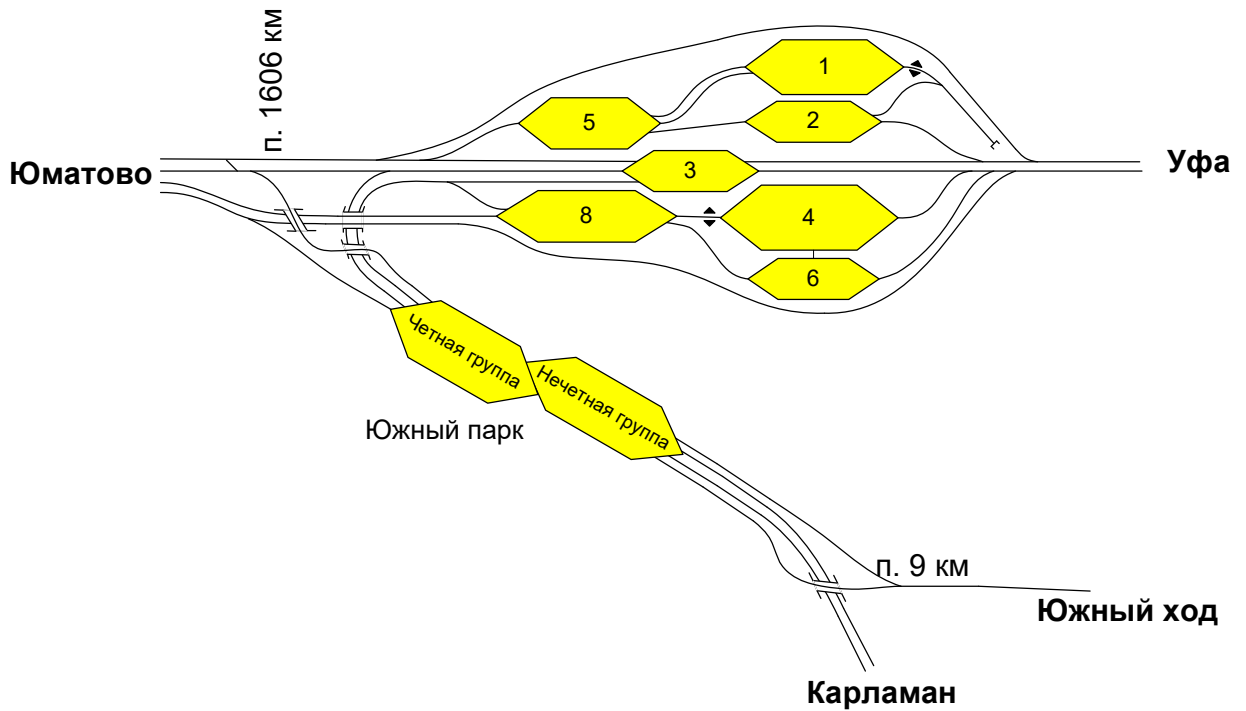


Рисунок 4.28 – Схема станции Дема.

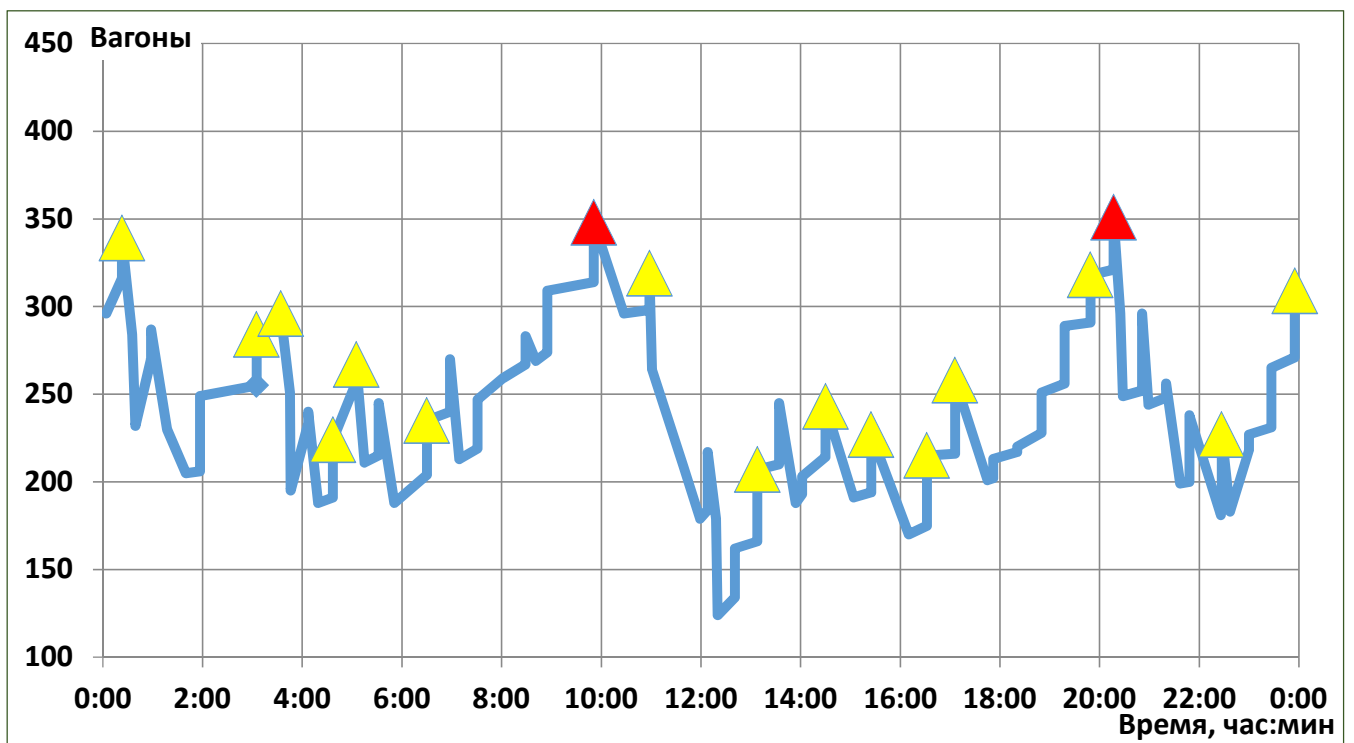


Рисунок 4.29 – Динамика накопления составов в нечетном парке формирования

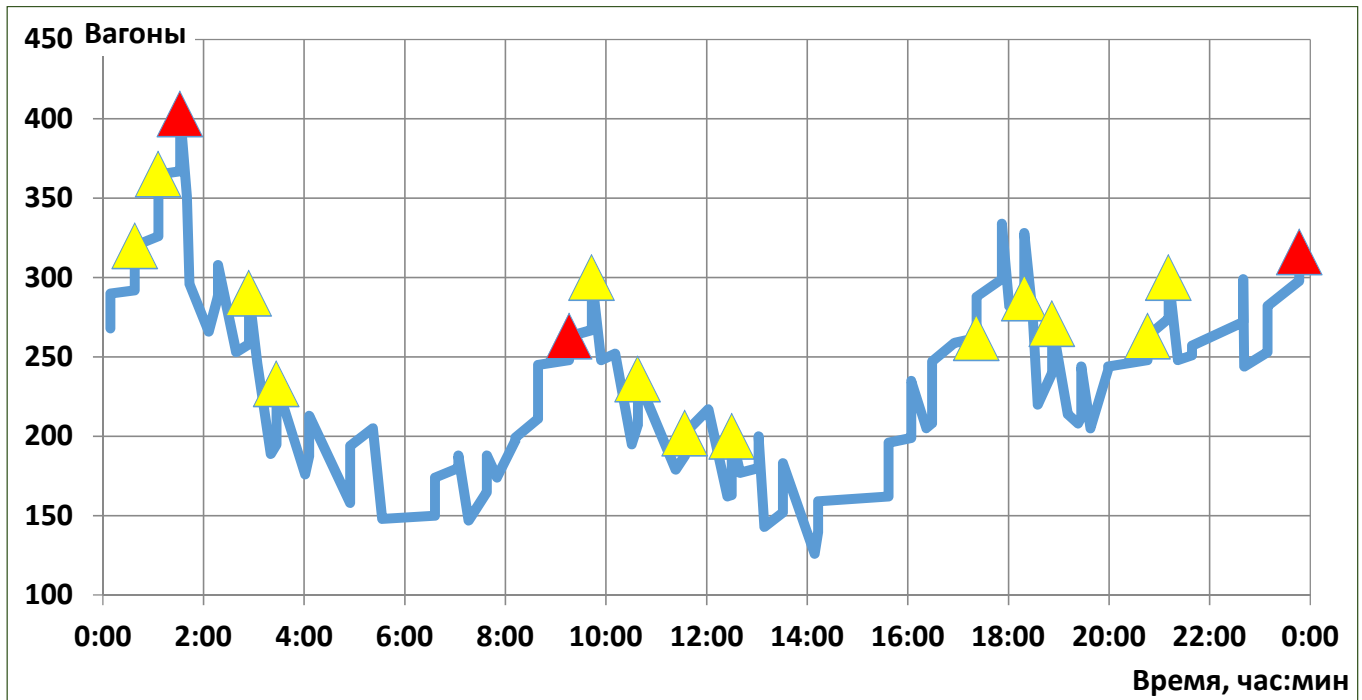


Рисунок 4.30 – Динамика накопления составов в нечетном парке формирования

Таблица 4.27 содержит данные по определению вероятности накопления состава в нечетном направлении.

Таблица 4.27 – Вероятность накопления в нечетном парке формирования

Количество вагонов в парке	Количество операций	Количество накопленных составов	Вероятность накопления
0 – 70	–	–	–
70 – 140	2	0	0
140 – 210	25	7	0,28
210 – 280	157	56	0,36
280 – 350	176	91	0,51
350 – 420	46	27	0,59

На графиках (Рисунок 4.31, Рисунок 4.32) показана динамика накопления вагонов четных назначений в парке «4» станции Дема. Синий ряд – вагоны на направление «Иглино», на которое формируется четыре назначения плана формирования. Красный ряд – вагоны на направление «Карламан» (три назначения

плана формирования). Зеленый ряд – вагоны на станции узла (семь назначений плана формирования).

Парк «4» является сортировочно-отправочным. На станции узла поезда, как правило, формируются одногруппными и отправляются непосредственно с путей парка. Для направлений «Иглино» и «Карламан» могут формироваться двухгруппные поезда, которые затем через горку выставляются для отправления в парки «3» или «6». Объединение групп в такие поезда может выполняться как со стороны горки, так и со стороны вытяжек формирования.

Маркерами в каждом ряду показаны моменты накопления составов. Более темный цвет маркера показывает, что одновременно накопилось несколько составов.

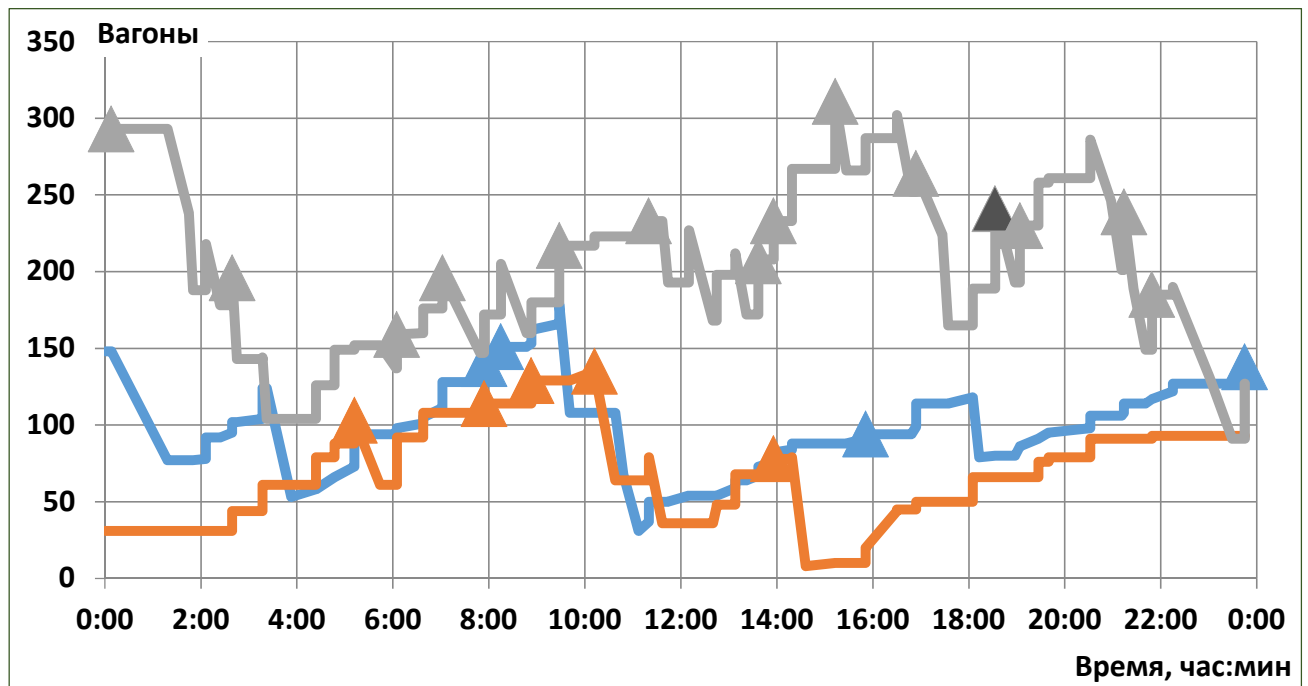


Рисунок 4.31 – Динамика накопления составов в четном парке

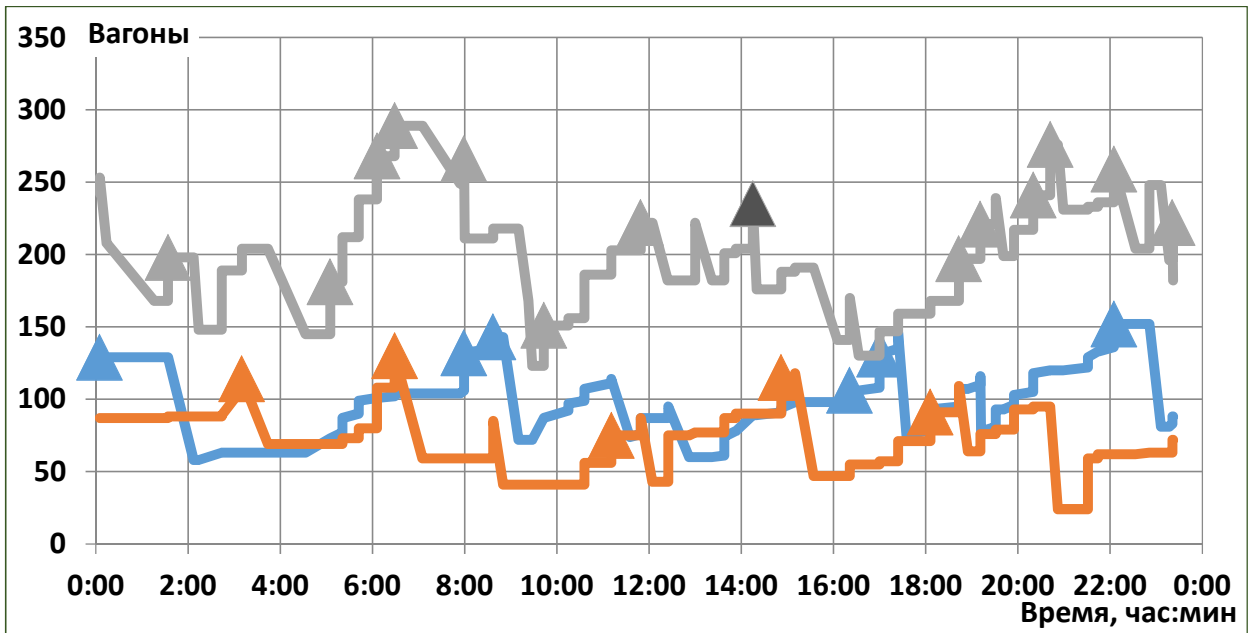


Рисунок 4.32 – Динамика накопления составов в четном парке

Ниже представлены материалы по вероятности накопления состава для каждого четного направления станции Дема. На направление Иглино динамика вагонов в парке и частота появления накопившихся составов представлена на графике (Рисунок 4.33).

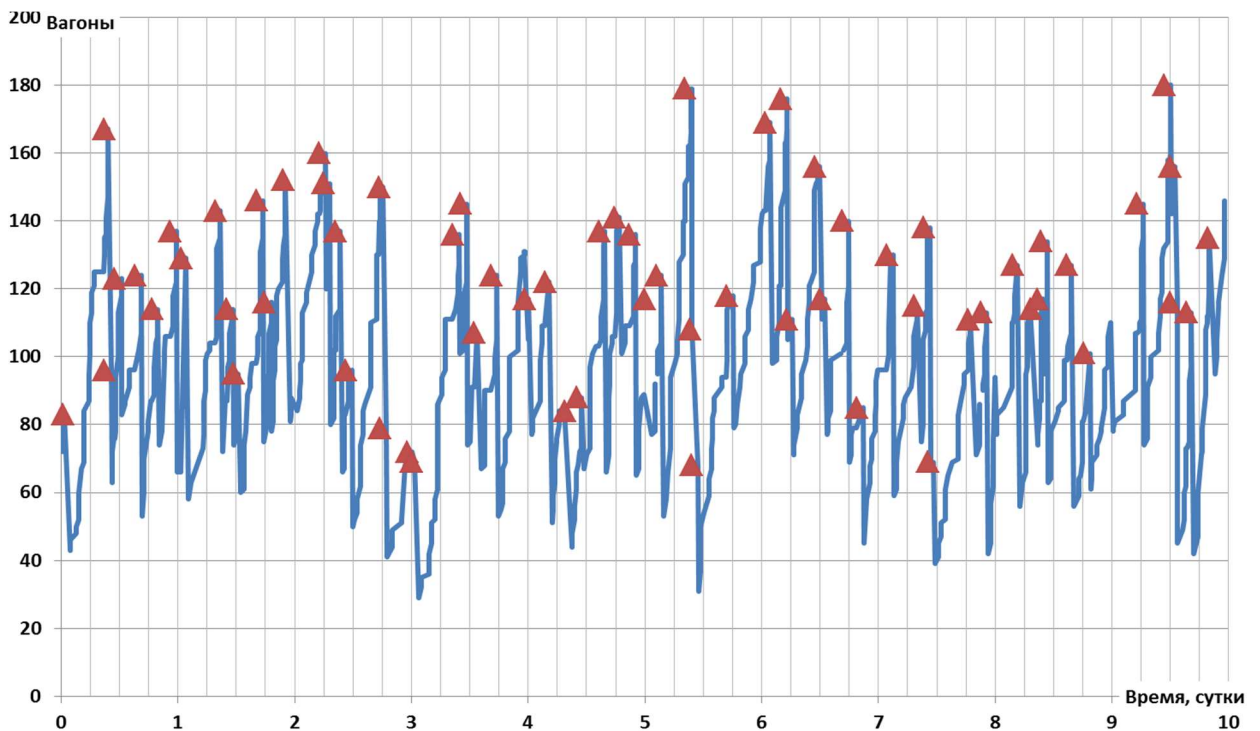


Рисунок 4.33 – Динамика вагонов направления «Иглино» за 10 суток.

Обработанная статистика появления накопленных составов за 10 суток приведена в таблице (Таблица 4.28).

Таблица 4.28 – Вероятность накопления в четном направлении «Иглино» (станция Дема)

Количество вагонов в парке формирования	Количество операций	Количество накопленных составов	Вероятность накопления
35-51	12	0	0,00
52-68	28	1	0,04
69-85	60	6	0,10
86-102	74	5	0,07
103-119	70	17	0,24
120-136	38	13	0,34
137-153	30	14	0,47
154-170	10	5	0,50
171-180	3	3	1,00

На основании полученных данных построена диаграмма (Рисунок 4.34).

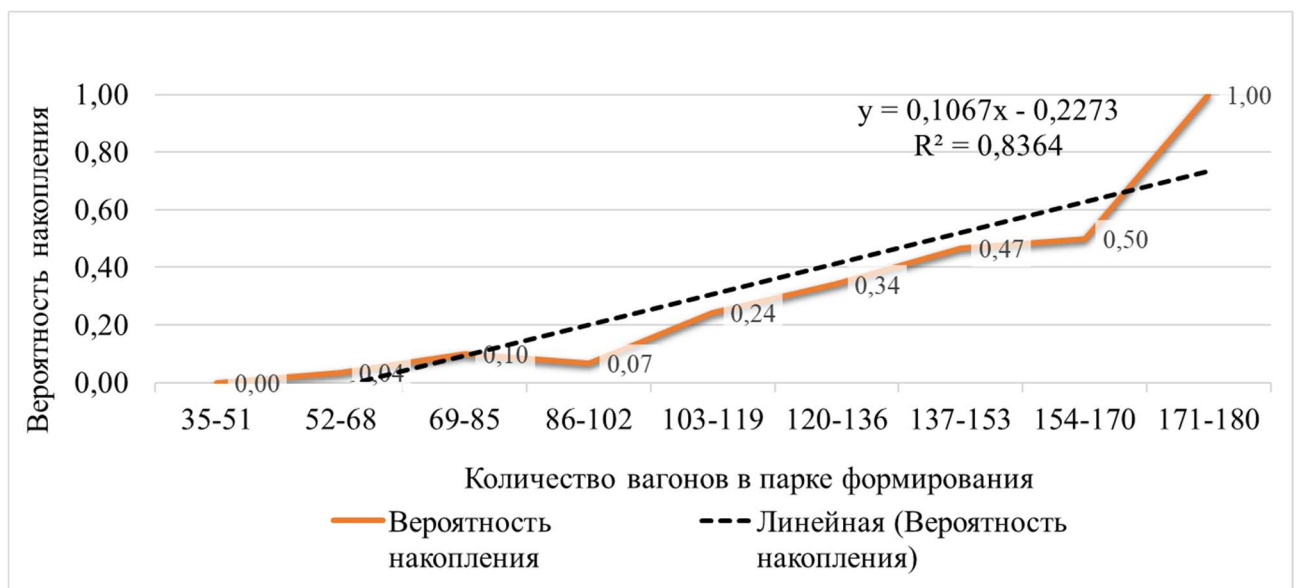


Рисунок 4.34 – Вероятность накопления составов направления «Иглино»

Как и ожидалось, вероятность появления новых составов растет при увеличении заполнения парка зависимость вероятности накопления от числа вагонов в парке близка к линейной. Величина достоверности аппроксимации – 0,8364.

Достаточно интенсивно идет накопление и на направление Карламан (Рисунок 4.35)

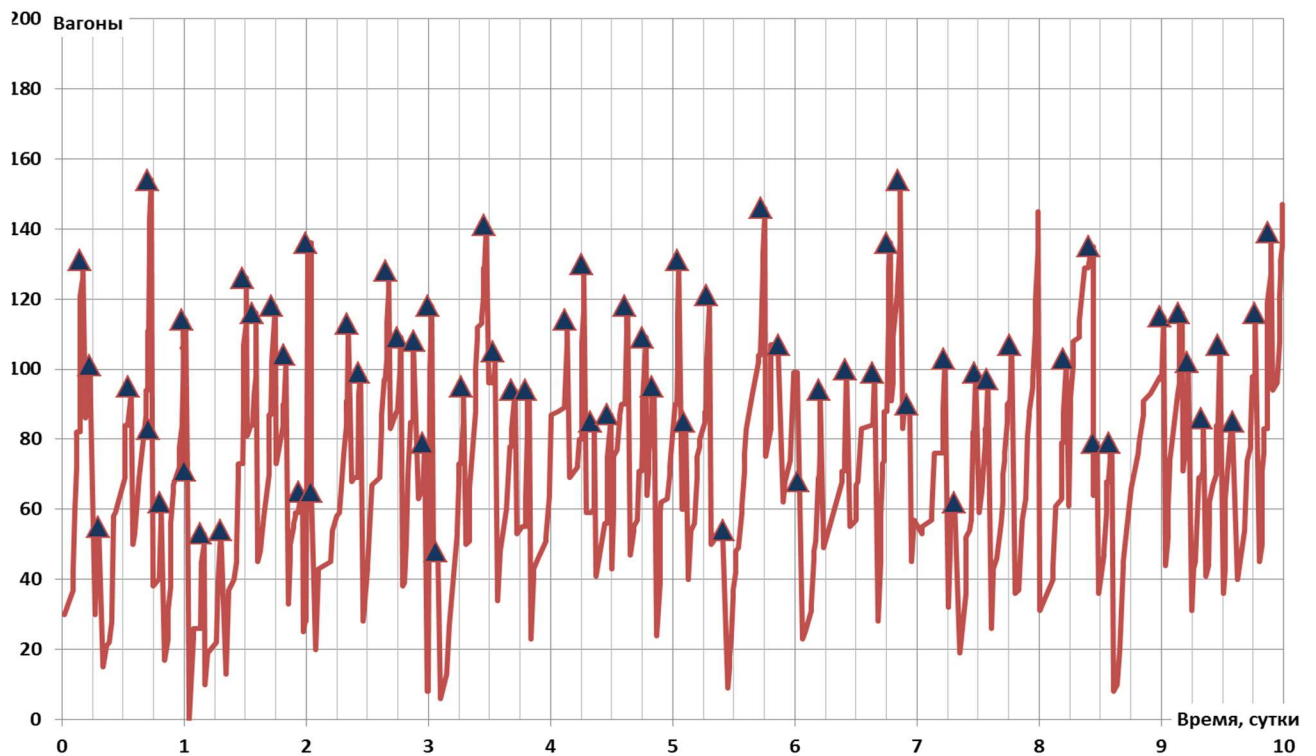


Рисунок 4.35 – Динамика вагонов направления «Карламан» за 10 суток с моментами накопления

Здесь зависимость вероятности от заполнения является более выраженной. Величина достоверности аппроксимации 0,9244 (Таблица 4.29), (Рисунок 4.36).

Таблица 4.29 – Вероятность накопления в четном направлении «Карламан» (станция Дема)

Количество вагонов в парке формирования	Количество операций	Количество накопленных составов	Вероятность накопления
10-26	11	0	0,00
27-43	18	0	0,00
44-60	58	5	0,09
61-77	54	7	0,13
78-94	68	13	0,19
95-111	39	20	0,51
112-128	25	13	0,52
129-145	15	8	0,53
146-154	4	3	0,75

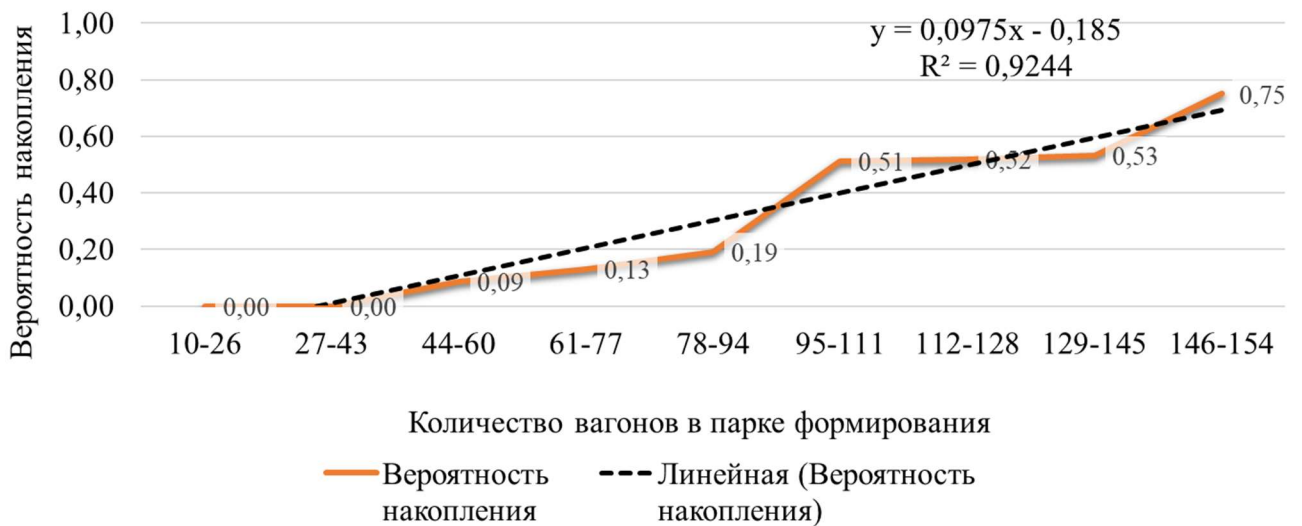


Рисунок 4.36 – Вероятность накопления составов направления «Карламан»

Похожая картина с накоплением составов и на направление Узел (Таблица 4.30), (Рисунок 4.37, Рисунок 4.38).

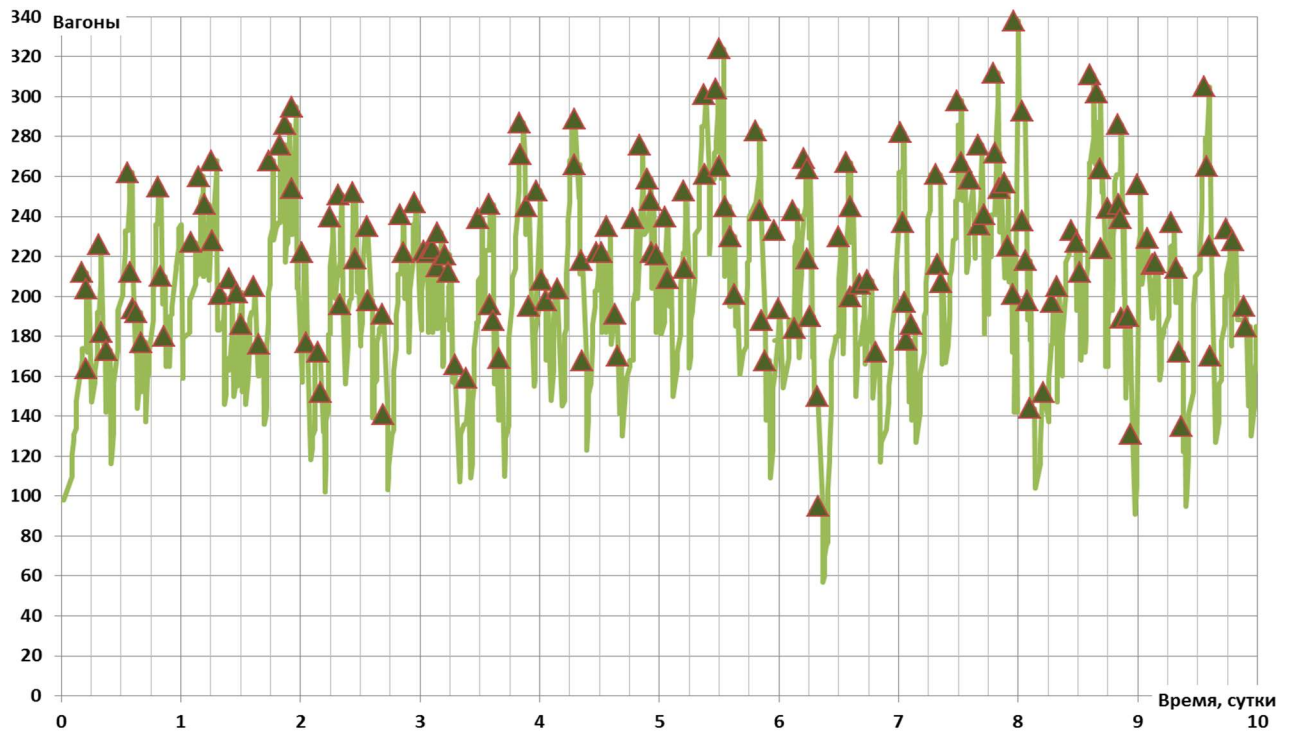


Рисунок 4.37 – Динамика вагонов направления «Узел» за 10 суток
с моментами накопления

Таблица 4.30 – Вероятность накопления в четном направлении «Узел»
(станция Дема)

Количество вагонов в парке формирования	Количество операций	Количество накопленных составов	Вероятность накопления
0-69	3	0	0,00
70-99	2	1	0,50
100-129	10	0	0,00
130-159	35	9	0,26
160-189	72	24	0,33
190-219	96	46	0,48
220-249	84	49	0,58
250-279	41	30	0,73
280-309	17	13	0,76
310-338	4	4	1,00

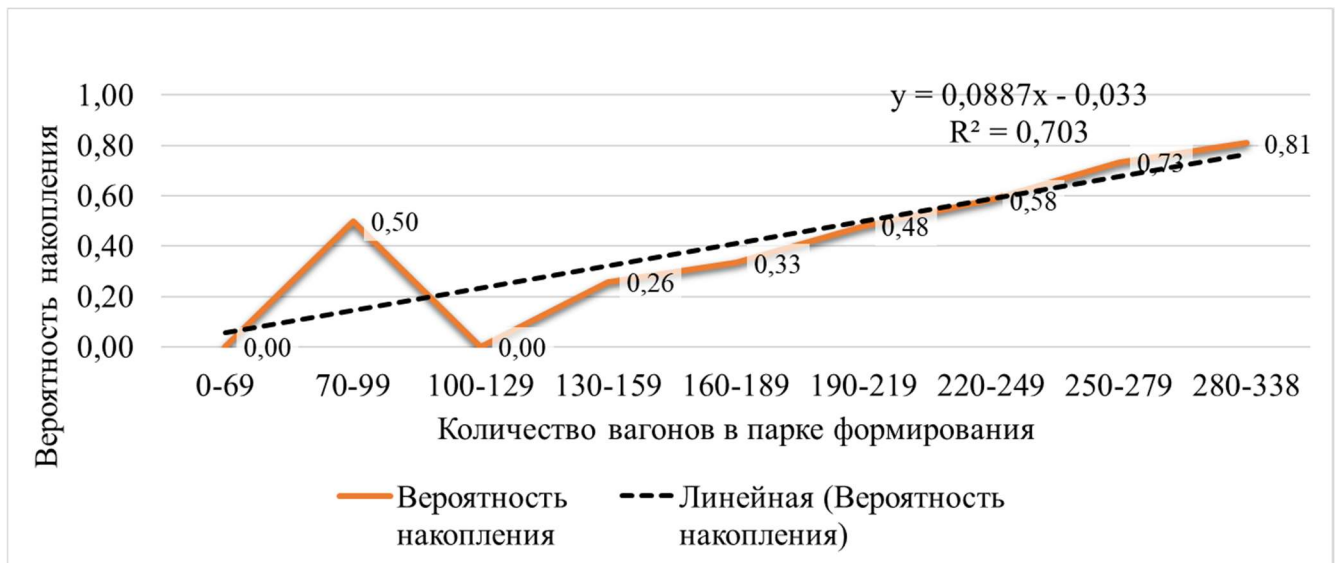


Рисунок 4.38 – Вероятность накопления составов направления «Узел»

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 4

1. При моделировании парков также применяется функциональный подход. Задается не физическая, а предельная функциональная емкость парка, то есть такая, при которой еще сохраняется его функциональность. Соотношение функциональной и физической емкости будут различными для разных типов парков. Это зависит от характера работы парка и вида его взаимодействия с соседними парками.

2. Считается, что парк теряет свою функциональность, когда задержки из-за него превышают некий технологический предел. Это предел устанавливается в ходе технологического анализа.

3. Для установления технологического предела необходимо провести эксперименты на подробных моделях разных типов парков. Предельная функциональная емкость парка – это такое заполнение парка, когда задержки во взаимодействующих парках считаются технологически допустимыми.

4. Средневзвешенный процент загрузки парка не является информативным показателем. За основу определения функциональной емкости парка необходимо брать максимальную фактическую загрузку.

5. Рекомендуемый коэффициент соотношения функциональной емкости парка к фактической вместимости зависит от типа парка и уровня максимальной вместимости. Для парков отправления необходимы дополнительные исследования влияния участка примыкания на работу станции.

6. Особенностью моделирования сортировочного парка является необходимость отобразить процесс накопления составов. Для этого задается зависимость вероятности появления накопившегося состава от заполнения парка. По этой вероятности с использованием генератора случайных чисел и будет определяться появился новый состав или нет.

7. В главе приведены результаты экспериментов на подробных моделях и методика определения на их основе функциональных параметров парков.

Глава 5. Сравнительный анализ двух видов моделирования

5.1 Построение схемы и технологии объекта моделирования

5.1.1 Структурная схема объекта

При построении модели

В микромоделировании схема путевого развития отображается подробно, до каждого пути, стрелки, горки, грузового фронта (Рисунок 5.1). Дополнительная информативность – при подведении курсора высвечивается название элемента, а для путей еще и их вместимость. Недостаток – вся станция на дисплее, как правило, не вмещается, приходится смотреть по частям. Это вызывает некоторые неудобства.

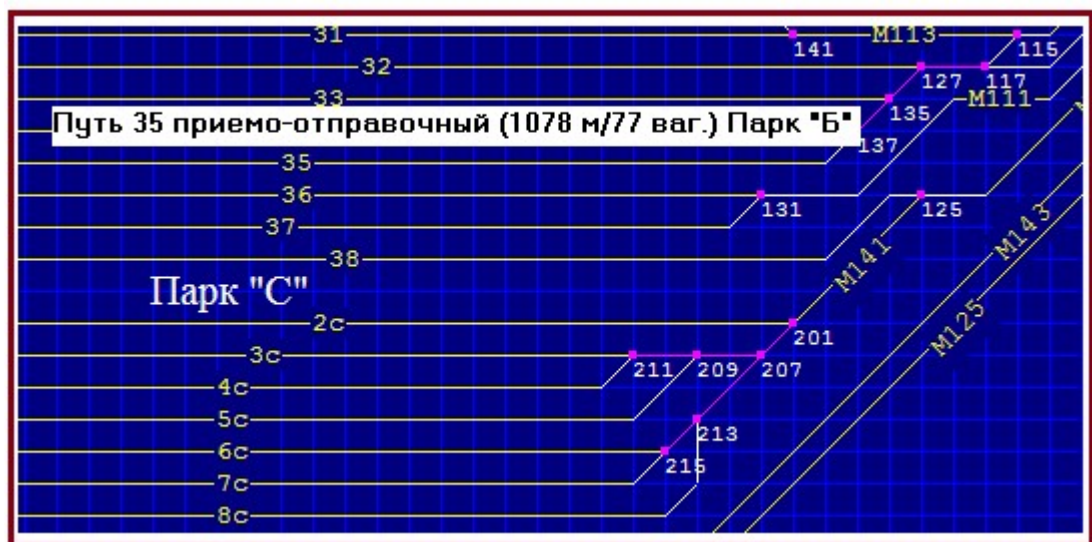


Рисунок 5.1 – Схема станции при микромоделировании (вырезка)

При макромоделировании схема станции представляет собой совокупность парков, соединенных связями (Рисунок 5.2). В этом случае есть два преимущества. Первое – схема имеет компактный вид и на экране видна вся станция. Второе – информативность здесь выше. В горловине указывается число возможных параллельных передвижений (виртуальных каналов), что в какой-то мере показывает ее пропускную способность. На схеме парка указывается предельная функциональная емкость. Эта характеристика более важна, чем физическая

вместимость (которую еще надо подсчитывать на подробной схеме). Кроме того, на макросхеме парков показывается и число виртуальных каналов, под которыми понимаются ходовые и главные пути.

Маршруты выполнения операций задаются при построении технологического процесса аналогично. Технолог указывает начальную и конечную точки, а поиск схемных вариантов берет на себя подсистема САПР.

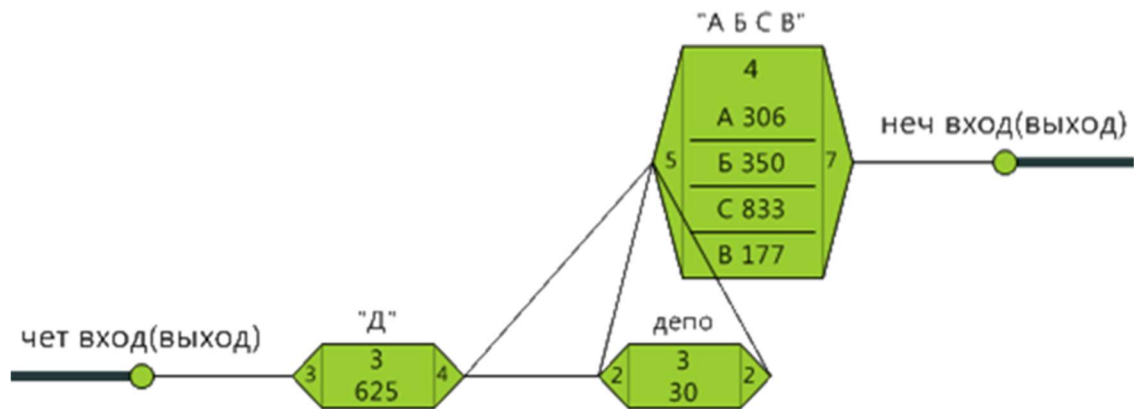


Рисунок 5.2 – Схема станции при макро моделировании

При макро моделировании на экране может поместиться и схема даже крупного узла (Рисунок 5.3).

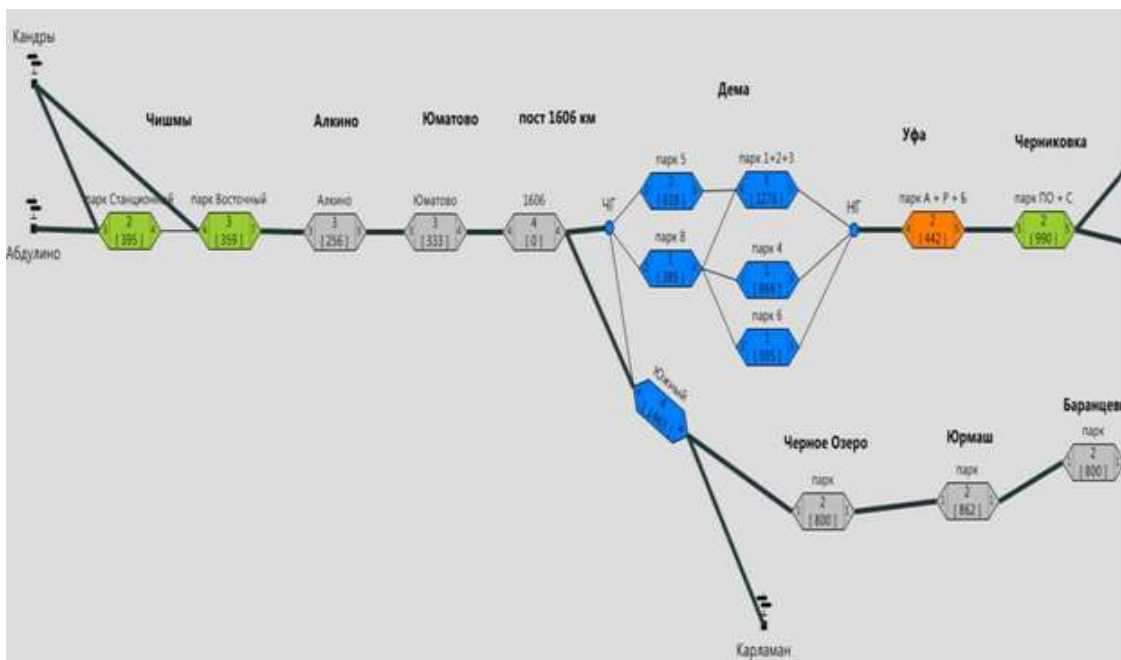


Рисунок 5.3 – Макросхема железнодорожного узла

При анализе результатов

Разную информацию предоставляют интерактивные схемы в макро- и микромоделях после расчета. В подробной модели есть информация о загрузке каждой стрелки (Рисунок 5.4). Однако нельзя непосредственно определить загрузку горловины. А на макросхеме при подводе курсора к горловине выдается ее загрузка (в процентах или как среднее число занятых виртуальных каналов) (Рисунок 5.5).

Похожая ситуация и с задержками. На подробной схеме есть информация о задержках из-за занятости каждой стрелки (Рисунок 5.6). Но нельзя непосредственно определить общие задержки из-за горловины. Напротив, на макросхеме эта информация есть (Рисунок 5.7).

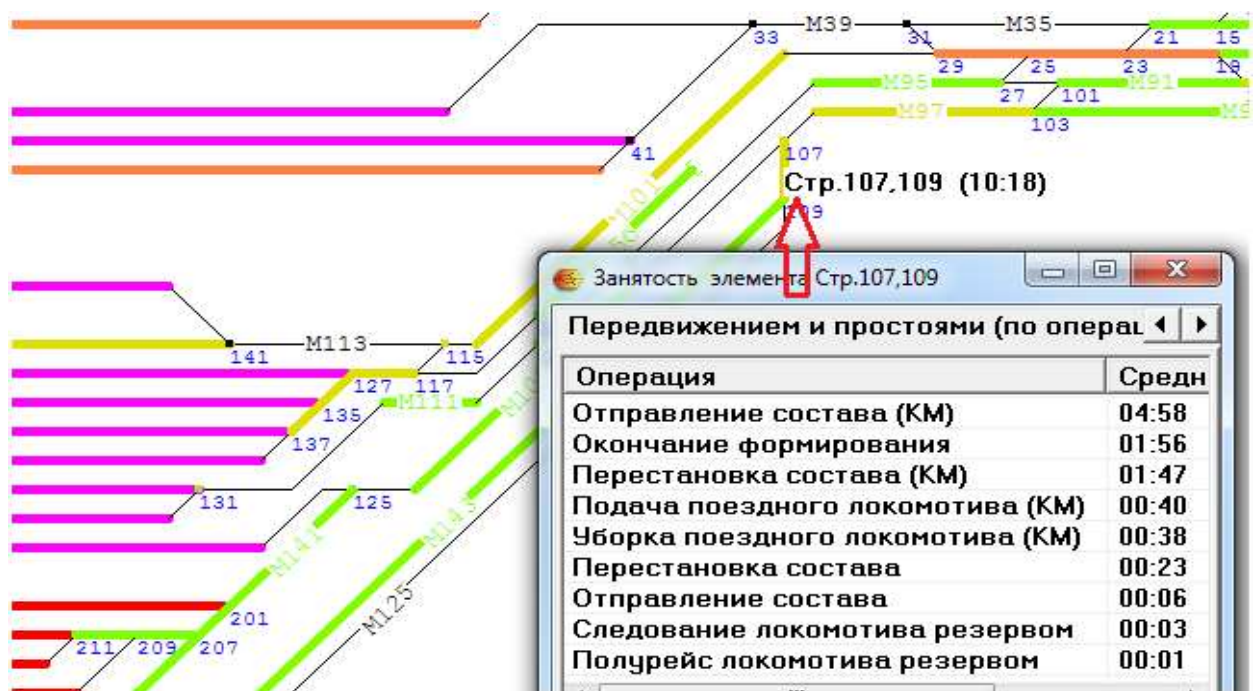


Рисунок 5.4 – Информация о загрузке стрелок на микросхеме

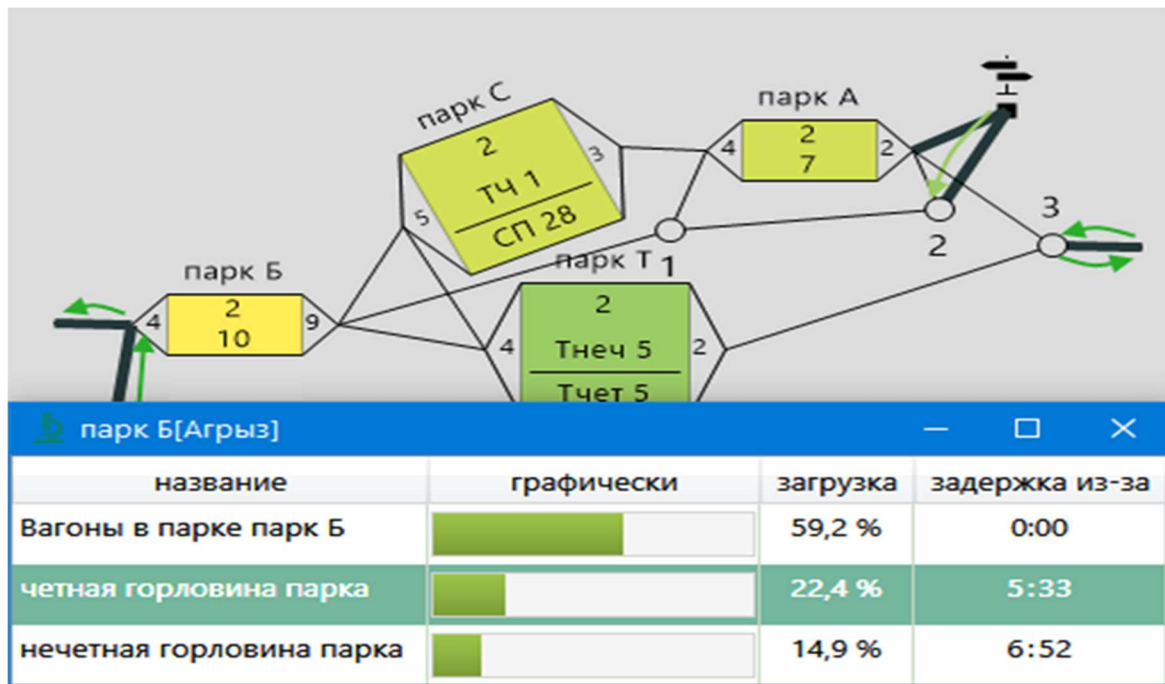


Рисунок 5.5 – Занятость горловин на макросхеме



Рисунок 5.6 – Задержки из-за стрелок на микросхеме

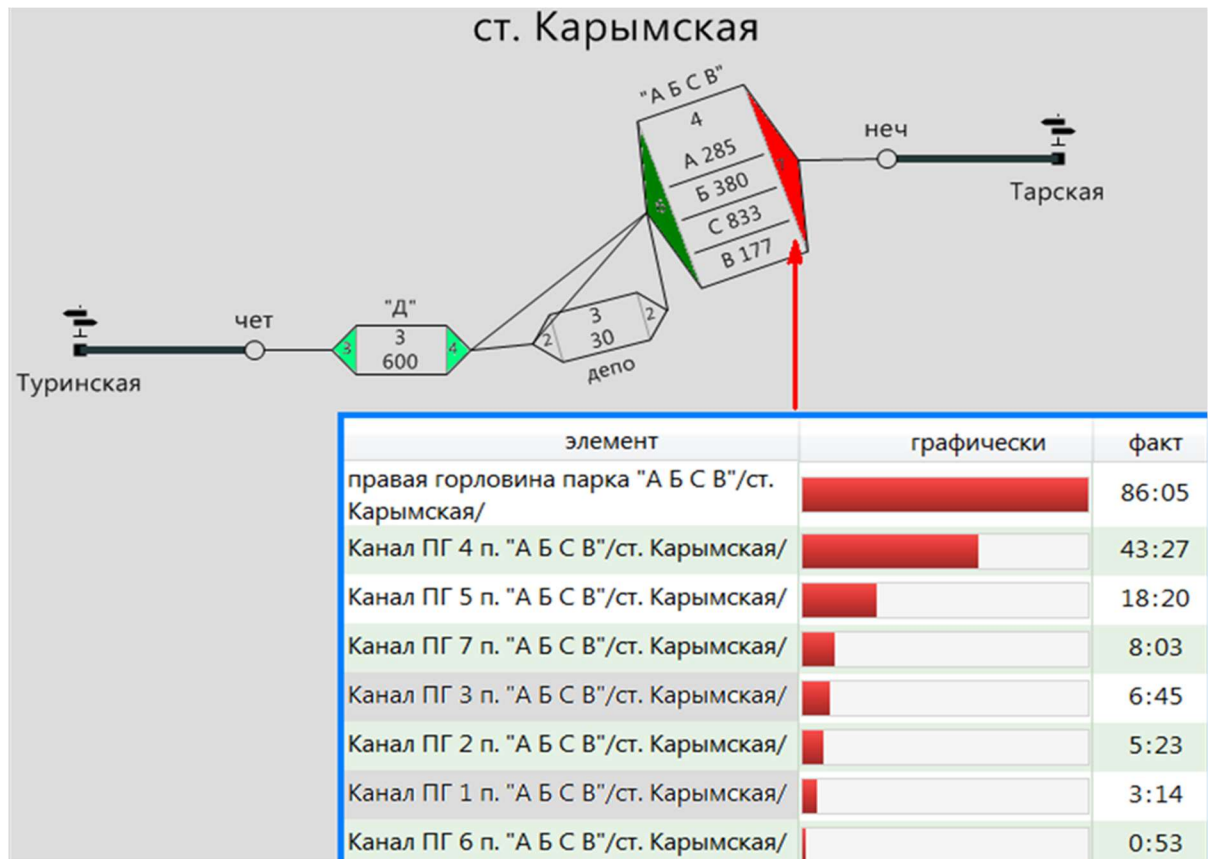


Рисунок 5.7 – Задержки из-за горловины на макросхеме

5.1.2 Схема технологического процесса

При построении модели

Технологический процесс в подробной модели строится в виде связанной последовательности операций (Рисунок 5.8). Параметры операций задаются технологом, варианты маршруты с записью всех участвующих элементов осуществляет подсистема САПР.

Технологию в макромоделе можно описывать двумя способами – в виде последовательности операций и в виде элементарных процессов (подпроцессов). Исследования показали, что технологию в макромоделе проще задавать в виде последовательности операций с укрупненными структурными элементами, но в результатах представлять на уровне подпроцессов.

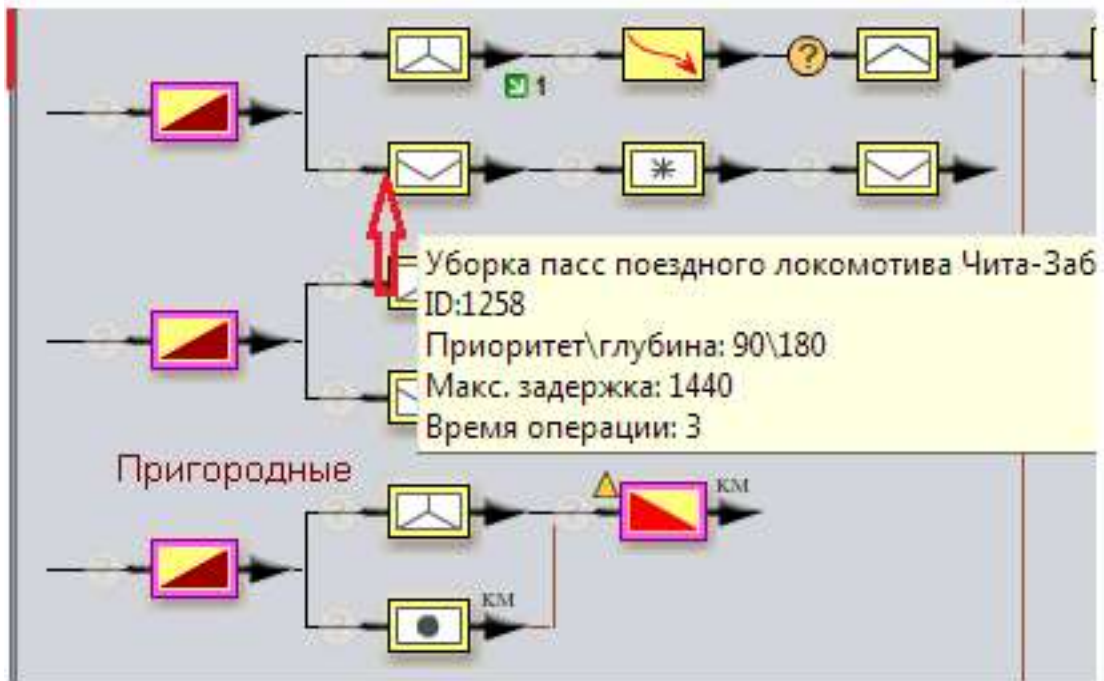


Рисунок 5.8 – Схема технологического процесса в микромодели

При анализе результатов

На схеме технологического процесса в микромодели операции раскрашиваются в зависимости от уровня задержек. При подведении курсора высвечивается разложение задержек по структурным элементам (Рисунок 5.9).

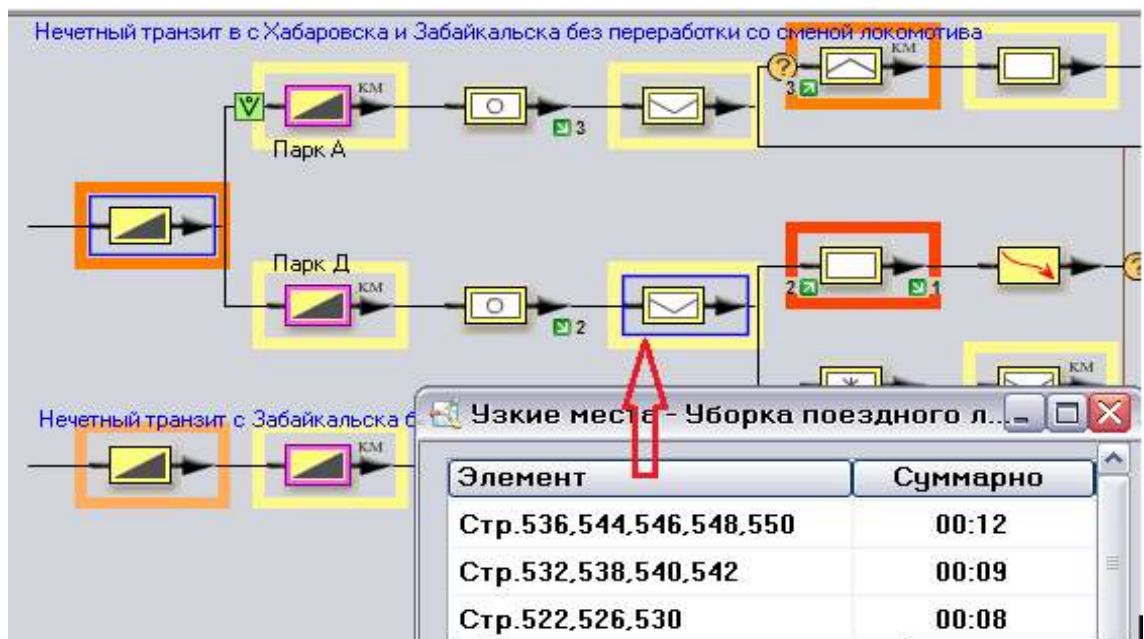


Рисунок 5.9 – Задержки в операциях на схеме технологического процесса

На схеме в макромодели место операций занимают подпроцессы и показываются задержки по ним (Рисунок 5.10). При анализе технологии целого узла процесс с таким укрупнением более информативен.

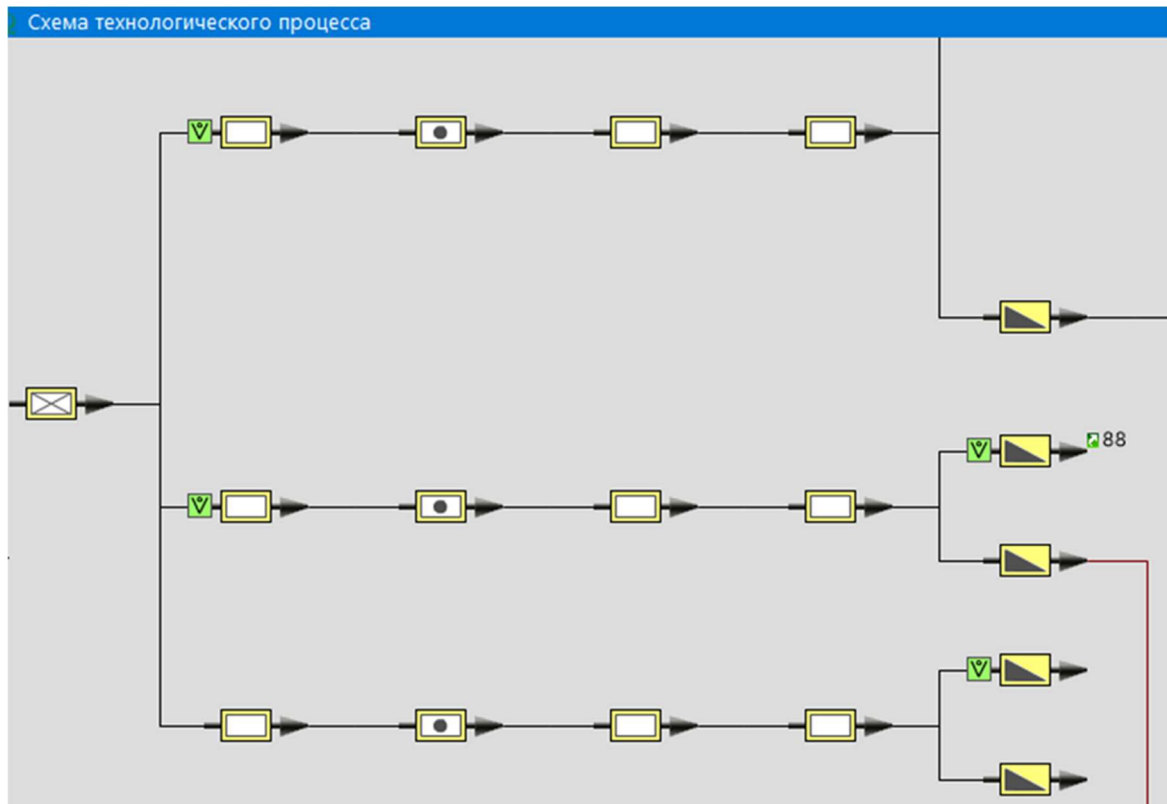


Рисунок 5.10 – Схема технологического процесса в макромодели

5.2 О корректности работы макромодели

Корректность работы микромодели, построенная в имитационной системе ИСТРА, считается достаточно доказанной опытом использования системы в течение ряда лет. Правильность работы макромодели предлагается определять сравнением показателей макро- и микромоделирования одной и той же станции при одинаковых условиях.

Для экспериментов выбрана станция Карымская. Сравнительные результаты приведены в таблицах (Таблица 5.1, Таблица 5.2). Из таблицы 5.1 видно, что близки показатели простоя вагонов не только на станции, но и в парках. Предельная точность здесь не нужна. Макромоделирование предназначено для укрупненной оценки всего узла с помощью единой модели.

В таблице 5.2 приведены задержки из-за горловин и парков. Но в укрупненной модели задержки из-за таких макрообъектов формируются автоматически, а в подробной – их надо дополнительно вычислять по задержкам из-за стрелок и путей в различных операциях. Но и здесь совпадение очевидное. Более наглядно это выглядит в графическом исполнении (Рисунок 5.11, Рисунок 5.12).

Таблица 5.1 – Время нахождения вагонов на станции Карымская (час)

Парк	Микромодель	Макромодель	Отклонение
А	2,3	2,13	0,17
Б	2,7	3,0	0,3
В	1,77	1,6	0,17
С	9,6	8,9	0,7
Д	2,52	2,77	0,22
Станция	3,9	3,7	0,2

Таблица 5.2 – Задержки (составо-час)

Горловина/Парк	Микромодель	Макромодель	Отклонение
Правая АБВС	66,31	58,3	8,01
Левая АБВС	27,48	27,4	0,08
Правая Д	8,4	7,5	0,9
Левая Д	6,45	6,5	-0,05
Парк А	1,83	2,01	0,18
Парк Б	1,92	1,82	0,1
Парк В	0,07	0,1	-0,03
Парк С	1,99	1,8	0,19
Парк Д	10,09	9,55	0,54

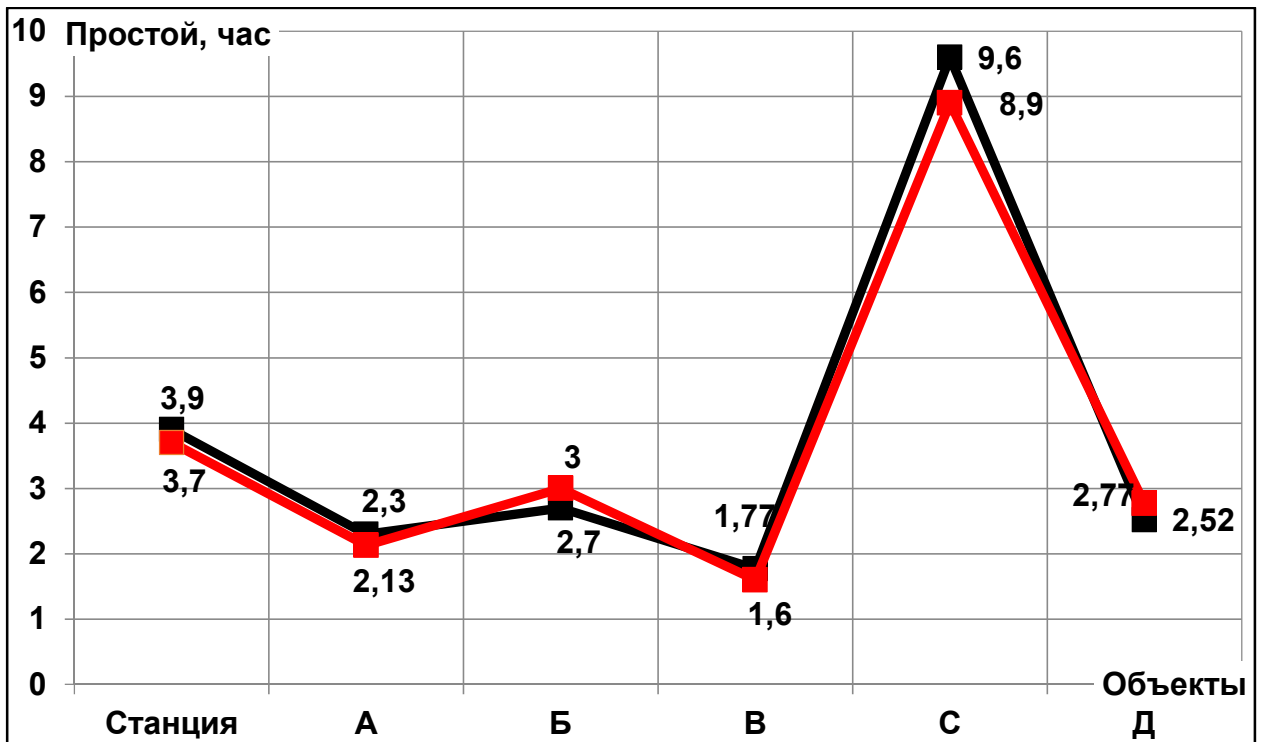


Рисунок 5.11 – Время нахождения вагонов
(черным – в микромоделю, красным – в макромодели)

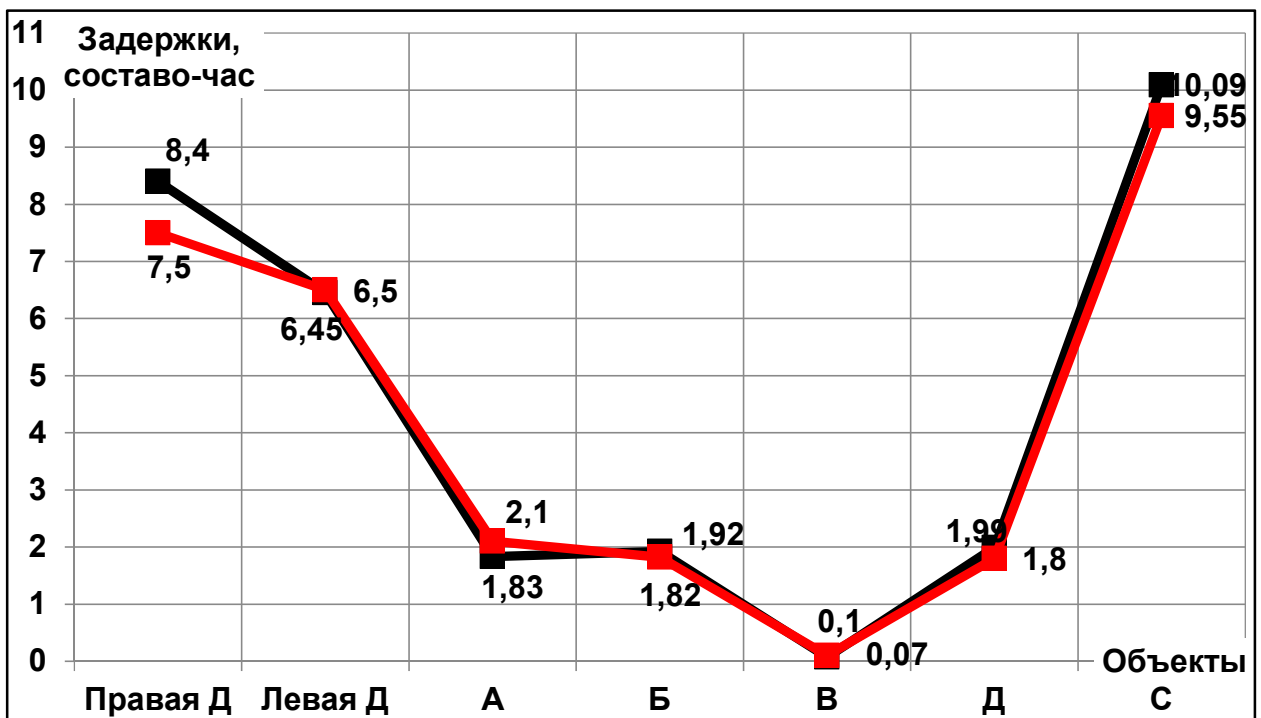


Рисунок 5.12 – Задержки в горловинах
(черным – в микромоделю, красным – в макромодели)

Материал приведенных таблиц позволяет сделать заключение, что макромодель работает корректно и макромоделирование имеет право на существование.

5.3 Влияние загрузки стрелочных зон на задержки

В диссертационном исследовании экспериментально проверялся принятый в Инструкции по расчету пропускной способности станций [100] подход по определению пропускной способности горловин по наиболее загруженной стрелке. Для этого в ходе моделирования горловин на микромоделях фиксировались уровни загрузки отдельных стрелочных зон и вызванные этими элементами задержки в выполнении операций. На диаграмме (Рисунок 5.13) приведено сравнение показателей для горловины сортировочной станции. Прямой зависимости задержек от загрузки не наблюдается.

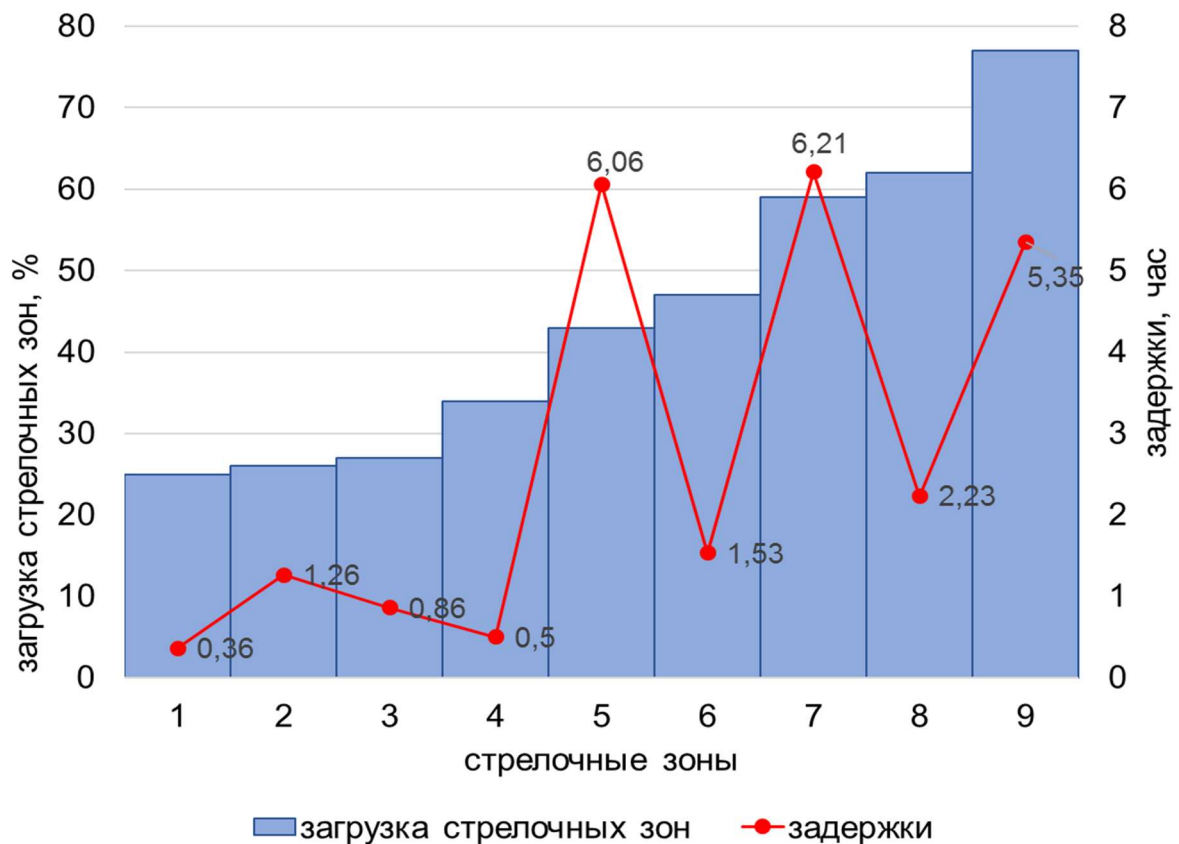


Рисунок 5.13 – Соотношение загрузки стрелочных зон сортировочной станции и уровня задержек

На диаграмме (Рисунок 5.14) представлены результаты моделирования одной из промышленных станций. Уровень загрузки стрелочных зон практически одинаковый. Разброс уровня задержек по этим же элементам значительный.

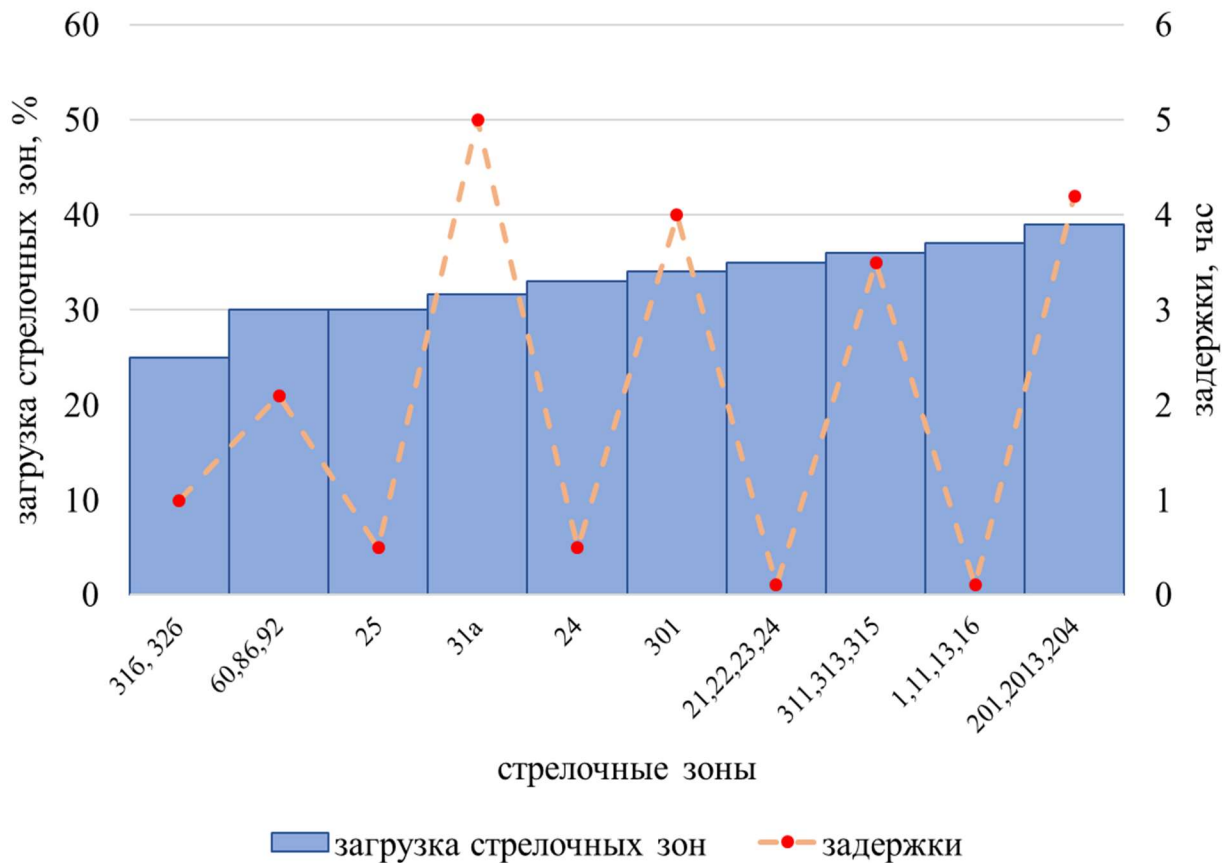


Рисунок 5.14 – Соотношение загрузки стрелочных зон промышленной станции и уровня задержек

Таким образом, принятый подход определения пропускной способности горловин по наиболее загруженной стрелке является не совсем корректным [101, 102]. Наиболее загруженная стрелка не всегда является «узким» местом. С другой стороны, исчерпание пропускной способности станции в целом в некоторых случаях наблюдалось при максимальной загрузке стрелок в 47%.

5.4 Показатели переработки потоков

Переработка потоков отображается в результатах и в подробной, и в укрупненной модели в виде таблицы (Рисунок 5.15).

Прибыло / Отправлено по узлу	
параметр	кол-во
Вагоны в узле (прибыло)	8206
Вагоны в узле (отправлено)	8066
Прибыло поездов в узел	136
Отправлено поездов из узла	131
Количество непринятых поездов в узел	0
Количество непринятых вагонов в узел	0

Рисунок 5.15 – Показатели поездной работы в макромодели

В макромодели показаны также потоки, проходящие через парки и время нахождения вагонов на станции и в парках (Рисунок 5.16). Показана пострейная переработка потоков.

показатель	графически	+ вагонов	простой
Вагоны на станции [Карымская нов]		8206	4.08
Вагоны в парке Д [Карымская нов]		3599	3.03
Вагоны в парке А [Карымская нов]		2446	2.16
Вагоны в парке Б [Карымская нов]		1747	3.35
Вагоны в парке С [Карымская нов]		876	11.8
Вагоны в парке В [Карымская нов]		825	1.61
в расформирование до обработки [Карымская нов]		825	0.89
в расформирование после обработ [Карымская нов]		797	0.71
накопление четных С [Карымская нов]		487	10.94
своего формирования четные С [Карымская нов]		426	3.07
своего формирования нечетные С [Карымская нов]		390	1.36
транзит четный Д [Карымская нов]		2083	3.34
транзит нечетный Д [Карымская нов]		1372	2.7
накопление нечетных С [Карымская нов]		376	7.76
транзит нечетный А [Карымская нов]		1616	2.59

Рисунок 5.16 – Результаты переработки потоков по струям в макромодели

5.5 Показатели взаимодействия структуры и потока

В подробной модели в результатах отображается работа каждого конкретного устройства – пути, стрелки и др., в макромодели показаны вместо путей парки и секторы в них, а вместо стрелок – виртуальные каналы. В подробной модели можно увидеть загрузку каждой стрелки и задержки из-за нее в виде таблицы (Рисунок 5.17).

название	загрузка	задержка из-за
Стр.19,23,25,29	15:33	43:13
Стр.95,97	12:36	27:04
Стр.107,109	10:18	15:56
Стр.17	10:11	19:44
Стр.7,11	10:11	7:31
Стр.115	10:08	7:33
Стр.152,154,156,158	9:41	16:11
Стр.117,127,135,137	9:39	10:46
Стр.3,5,37,61	9:37	28:36
Стр.94,102,104,110	9:26	8:17
Стр.103	9:26	0:41

Рисунок 5.17 – Параметры использования стрелок в микромодели

Это весьма полезно для того, кто проектирует станцию. Однако степень использования пропускной способности горловины по этим данным определить нельзя. Многочисленные расчеты показывают, что наиболее загруженная стрелка далеко не всегда является «узким местом» горловины, определяющим ее функциональные возможности. Здесь нет прямой зависимости.

Показатели работы горловины в макромодели являются более информативными с функциональной точки зрения (Рисунок 5.18). Загрузка горловины в процентах означает, какая часть виртуальных каналов занята. Свободные виртуальные каналы означают возможность выполнения такого числа параллельных передвижений.

элемент	задержка и загрузка
левая горловина парка "А Б С В"[Карымская нов]	26:45 43,8 %
Канал ЛГ 4 п. "А Б С В"[Карымская нов]	7:01 11:58
Канал ЛГ 2 п. "А Б С В"[Карымская нов]	5:54 10:52
Канал ЛГ 1 п. "А Б С В"[Карымская нов]	5:13 9:09
Канал ЛГ 5 п. "А Б С В"[Карымская нов]	4:23 12:00
Канал ЛГ 3 п. "А Б С В"[Карымская нов]	4:13 8:34
левая горловина парка "Д"[Карымская нов]	9:07 34 %
Канал ЛГ 2 п. "Д"[Карымская нов]	6:24 10:59
Канал ЛГ 1 п. "Д"[Карымская нов]	1:31 6:10
Канал ЛГ 3 п. "Д"[Карымская нов]	1:11 7:18

Рисунок 5.18 – Показатели работы горловины в макромодели

5.6 Графики исполненной работы

Есть важные особенности в отображении процесса работы станции в макромодели и в микромодели. В микромодели на графике исполненного движения подробно отображается выполняемый технологический процесс – занятость путей в парках конкретными операциями и возникающие задержки (Рисунок 5.19).

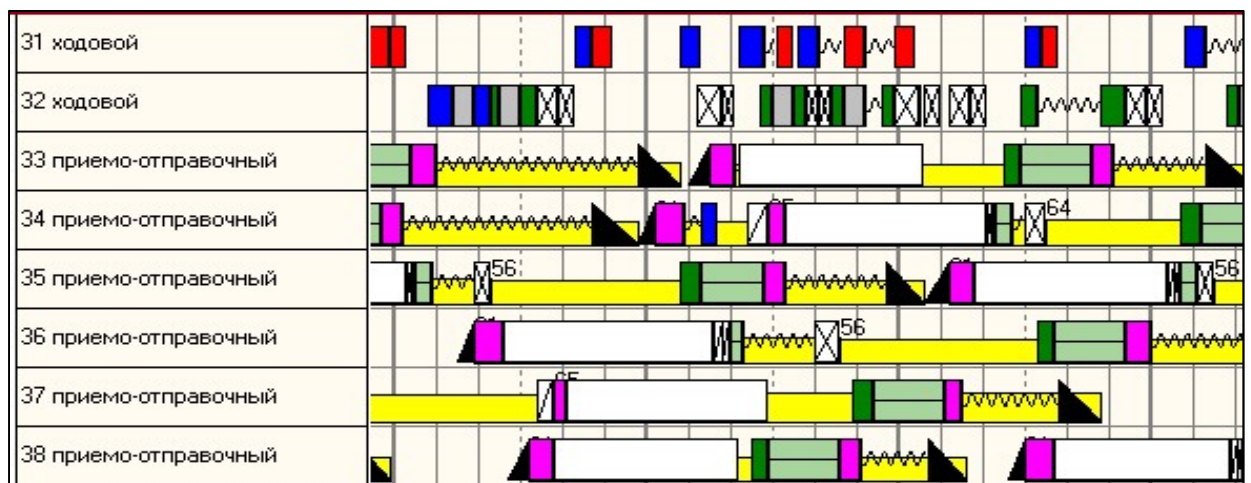


Рисунок 5.19 – График исполненной работы в микромодели (парки)

Подробно, на каждом пути отображен и процесс накопления вагонов (Рисунок 5.20).

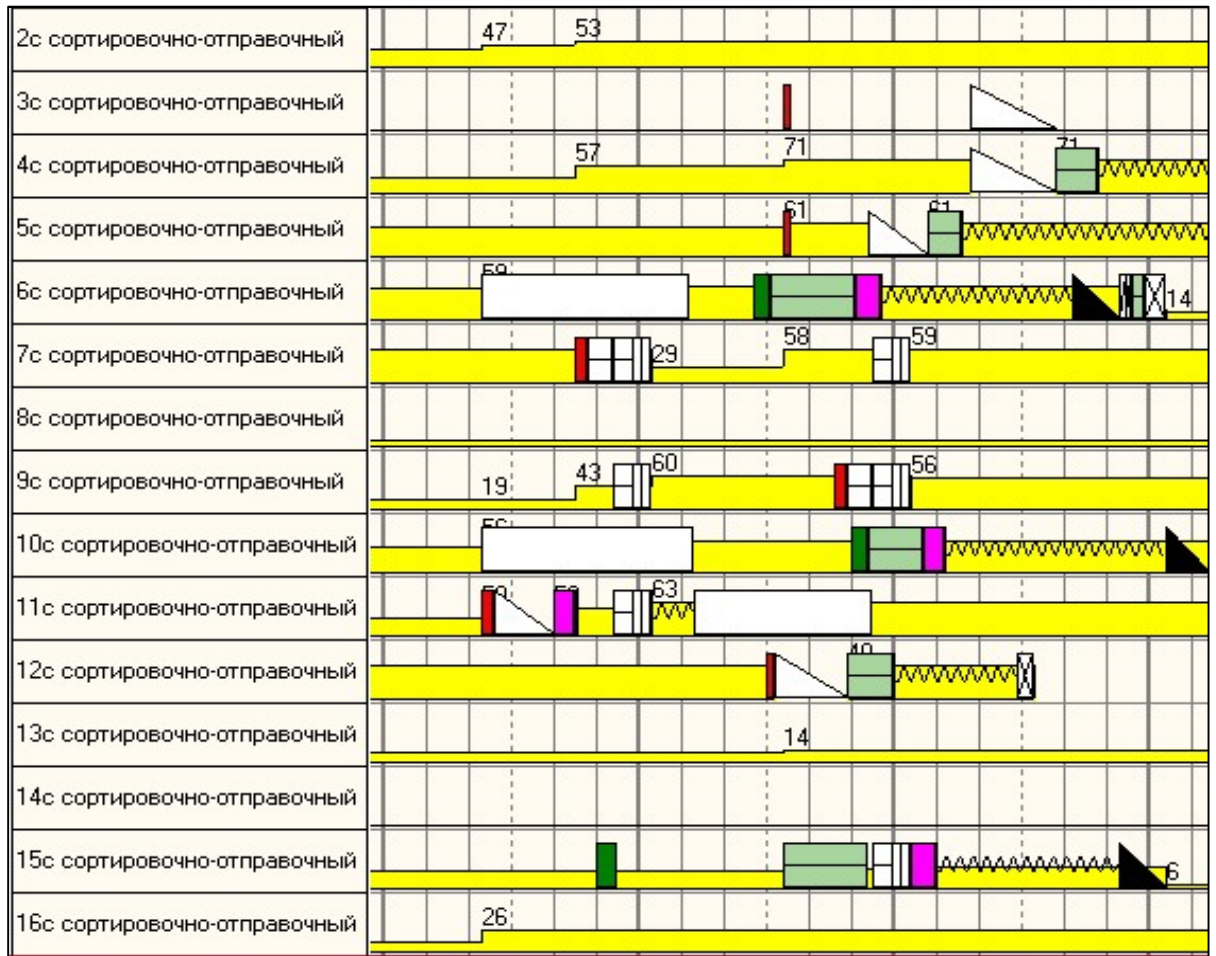


Рисунок 5.20 – Процесс накопления вагонов (микромодель)

В макромоделе нет необходимости так подробно отображать процесс работы парков. Достаточно показать только динамику заполнения парков (Рисунок 5.21).

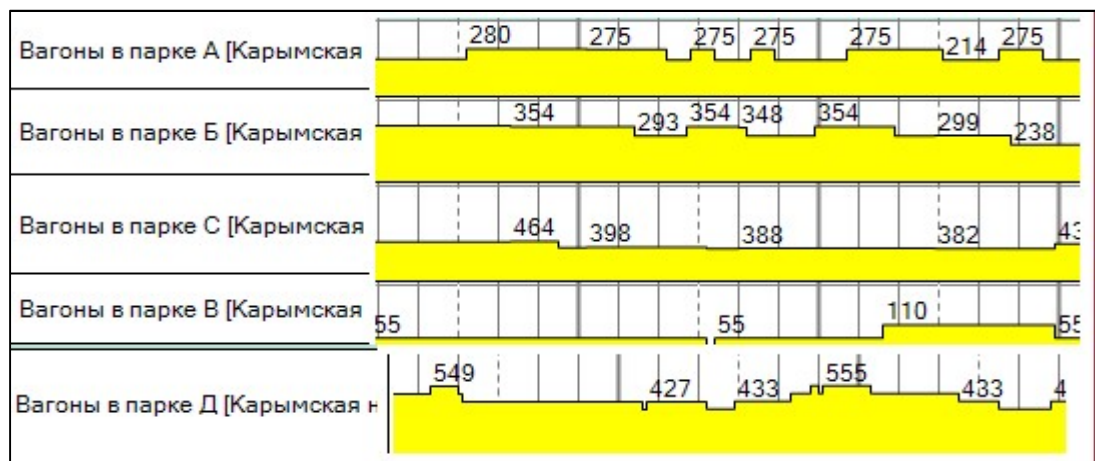


Рисунок 5.21 – Динамика заполнения парков (макромодель)

Дополнительно выводится динамика вагонов в парках по отдельным струям (Рисунок 5.22).



Рисунок 5.22 – Динамика числа вагонов по назначениям (макро-модель)

Динамика заполнения станции отображается примерно одинаково в микро- и макро-модели (Рисунок 5.23).

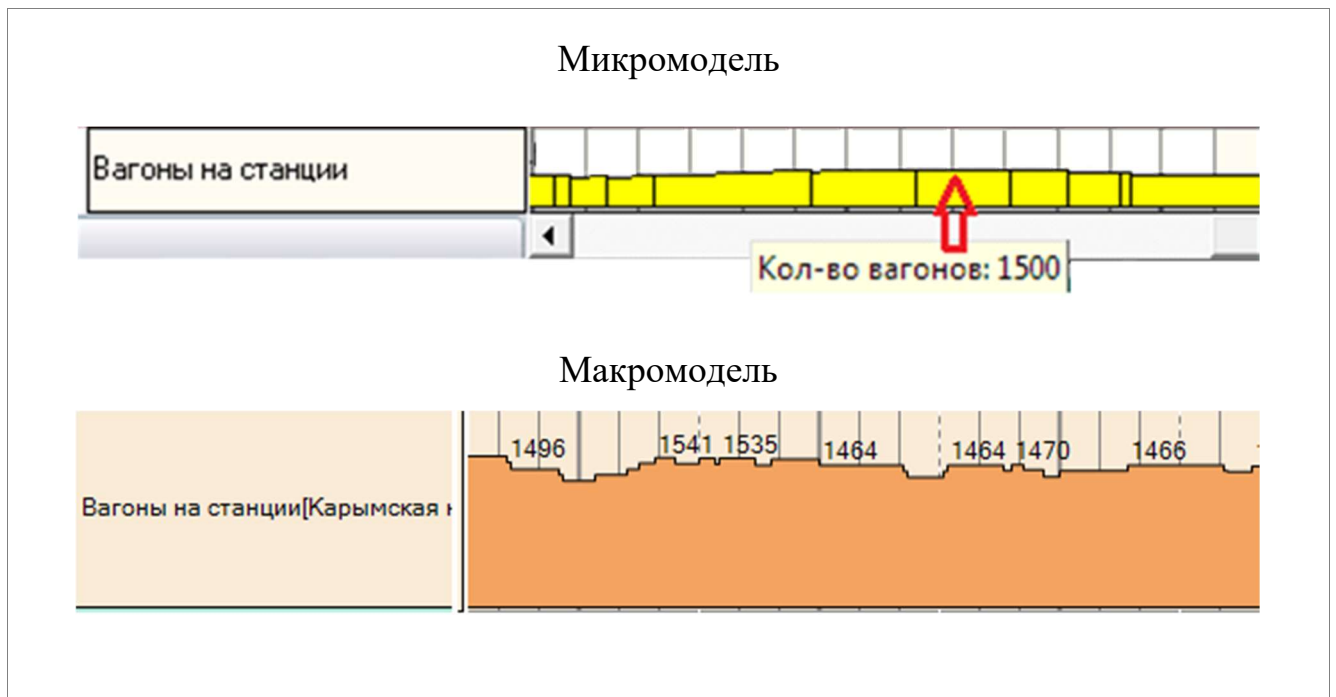


Рисунок 5.23 – Динамика заполнения станции в моделях

По-разному отображается процесс работы горловин в двух типах моделей. В микромодели в графике исполненной работы показывается занятость стрелок определенными операциями (Рисунок 5.24). Это необходимо при детальном анализе работы станции или при ее проектировании. В макромодели показывается, сколько виртуальных каналов занято (Рисунок 5.25). С функциональной точки зрения это даже более информативно. Скажем, как определить по графику подробной модели возможность осуществления дополнительных передвижений в тот или иной момент времени? А в укрупненной это видно непосредственно по числу свободных каналов.

Таким образом, процесс построения модели и характер выдаваемых результатов в микромоделировании и в макромоделировании отличается, но в каждом случае эти подходы более соответствуют своей задаче исследования.

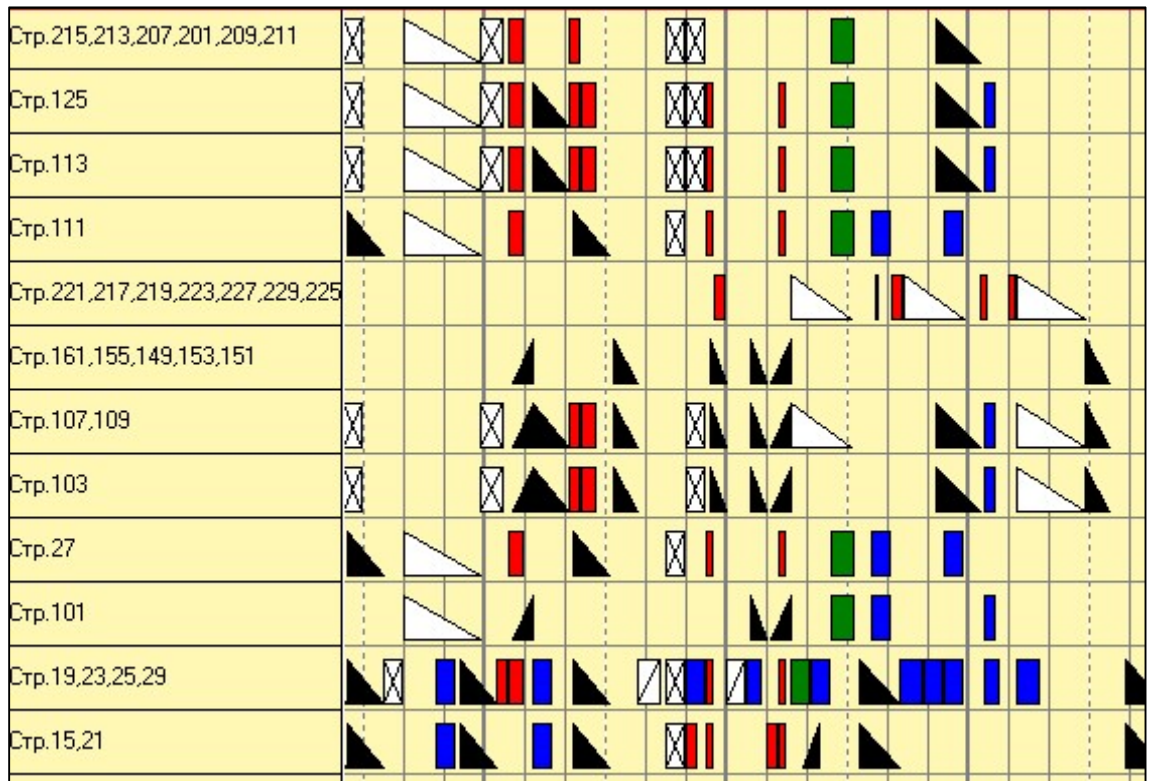


Рисунок 5.24 – Процесс работы горловины (микромодель)

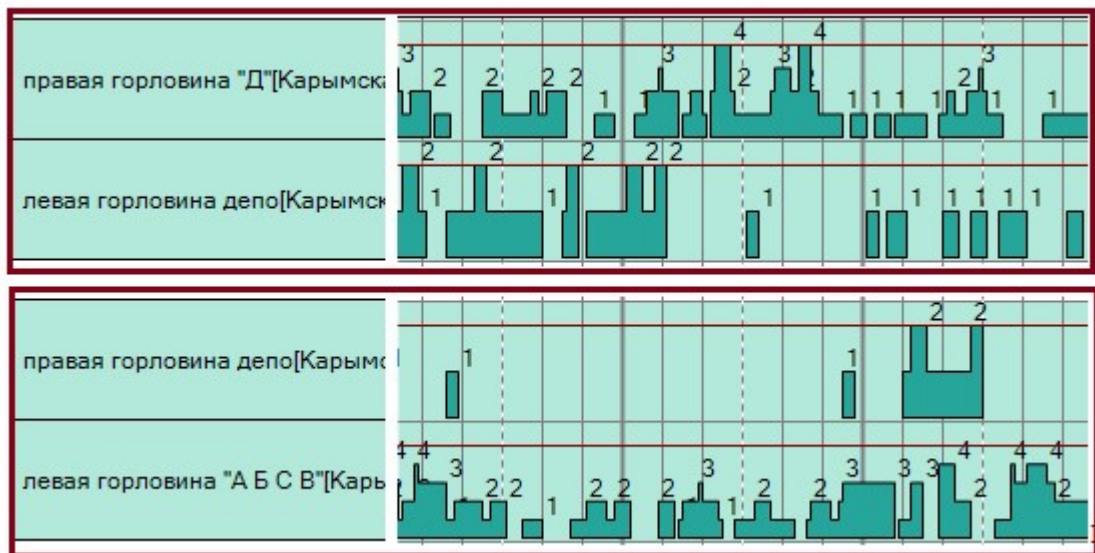


Рисунок 5.25 – Процесс работы горловин (макромодель)

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 5

1. Схема станции по-разному отображается и используется при подробном и укрупненном моделировании. При подробном схема вводится в модель подробно, вплоть до каждого пути и стрелки. При макромоделировании показываются только парки и горловины. И для них задаются укрупненные параметры – предельная функциональная емкость для парков и число виртуальных каналов для горловин. При моделировании транспортных узлов, во-первых, этой детализации достаточно, а, во-вторых, информативность такого представления даже выше.

2. Технологический процесс при построении модели в обоих случаях представляет собой последовательность операций. Однако внутреннее строение операций различное. В подробной модели в операции заняты физически существующие элементы – пути, стрелки и т.д., а в укрупненной – парки и виртуальные каналы в горловинах. При анализе результатов в микромодели используется та же схема процесса, а в макромодели схема из элементарных процессов. Этот подход позволяет легче оценивать технологию работы целого узла.

3. Для использования макромоделирования необходимо доказать корректность работы такого рода моделей. Проверка осуществляется сравнением результатов микро- и макромоделирования одной и той же станции. Анализ показал значительное совпадение укрупненных результатов.

4. Принятый подход определения пропускной способности горловины по ее наиболее загруженной стрелке не совсем корректен. Такая стрелка не всегда является «узким местом». Прямой зависимости задержек от загрузки не наблюдается.

5. Сравнительный анализ результатов микро- и макромодели показал, что набор выдаваемых результатов в обоих случаях более соответствует задачам моделирования. В первом случае – для детальной оценки качества схемы путевого развития и соответствия структуры и технологии, во втором – для оценки соответствия распределения работы между станциями и распределенных мощностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предложены принципы и разработана технология укрупненного имитационного моделирования станций для возможности построения единой модели транспортных узлов. В том числе получены следующие результаты:

- для укрупненного имитационного моделирования станций предложено применять вместо структурного функциональный подход. То есть в модели задавать не физические характеристики структурных единиц, а функциональные свойства укрупненных элементов;

- для парков вводится в качестве основной характеристики не суммарная физическая вместимость путей, а предельная функциональная емкость, когда сохраняются их функциональные возможности;

- для горловин в качестве главного параметра задается число виртуальных каналов. Оно определяется количеством возможных параллельных передвижений. Группа стрелок, обеспечивающая некоторое независимое передвижение и будет виртуальным каналом;

- технологический процесс задается в виде последовательности укрупненных операций. Операция в этом случае переносит часть потока из одной емкости в другую с занятием некоторых каналов обслуживания;

- предложена методика проверки корректности работы макромоделей, проведена ее реализация на конкретном примере;

- разработана технология расчета показателей функционирования модели, полно характеризующих работу станции в составе узла. Сравнительный анализ результатов двух типов моделирования показал, что предложенный их набор в макромоделю более соответствует задаче укрупненного моделирования;

- построена укрупненная имитационная модель конкретной станции и выполнено сравнение результатов микро- и макромоделирования. Сопоставимые результаты оказались близкими. Это доказывает правомерность применения укрупненного моделирования станций для оценки их роли в транспортном узле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008г. №1734-р // Собрание законодательства РФ.-15.12.2008.-№50.
2. Мишарин, А.С. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / А.С. Мишарин, П.А. Козлов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – №4. – с.52-54.
3. Козлов, П.А. Информационные технологии на транспорте. Современный этап / П.А. Козлов // Журнал «Транспорт Российской Федерации». – 2007. – №10. – с.38-41.
4. Акулиничев, В.М. Железнодорожные станции и узлы / В.М. Акулиничев, Н.В. Правдин, В.Я. Болотный. – М., Транспорт, 1992. – 480с.
5. Савченко, И.Е. Железнодорожные станции и узлы / И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Старковский. – М., Транспорт, 1980. – 460с.
6. Правдин, Н.В. Проектирование станций и узлов. Часть 1 и 2 / Н.В. Правдин, Т.С. Банек, В.Я. Негрей. – Минск, Высшая школа, 1984, 288с.
7. Болотный, В.Я. Проектирование железнодорожных узлов / В.Я. Болотный. – М, Транспорт. 1989. – 151с.
8. Бородин, А.Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений / А.Ф. Бородин // труды ВНИИАС, вып.6 – М., ВНИИАС, 2008. – 320с.
9. Технический регламент ТС «О безопасности железнодорожного подвижного состава (ТР ТС 001/2011): утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. N 710
10. Яриков, И.М. Приоритетные задачи развития центральной дирекции управления движением / И.М. Яриков. // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №5. – с.9-15.
11. Пехтерев, Ф.С. Об основных положениях генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» на период до 2020 года /Ф.С. Пехтерев // Железнодорожный транспорт. – 2012. – №5. – с.4-9.
12. Якунин В.И. ОАО «РЖД»: Инфраструктура промышленного роста. Информационно-Аналитическое Издание «Инфраструктура России» [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Москва, 2012. – Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye/Tom-2/II/Yakunin.pdf>, свободный.

13. Пехтерев Ф.С. Основные направления актуализации генеральной схемы развития железнодорожного транспорта до 2020 года. Информационно-Аналитическое Издание «Инфраструктура России» [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Москва, 2012. – Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye/Tom-2/II/Pehterev.pdf>, свободный.
14. Мишарин, А.С. Об актуализации генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» на период до 2020г. / А.С. Мишарин // Железнодорожный транспорт, №5, 2013. – с.4-11.
15. Новиков, П.А. Организация эффективного взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в припортовых транспортных узлах: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.22.08 / П.А. Новиков. – Екатеринбург, УрГУПС, 2008. – 25с.
16. Владимирская, И.П. Согласованное взаимодействие железнодорожного и морского транспорта в припортовых транспортных узлах / И.П. Владимирская, П.А. Новиков. // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции "Транспорт России: проблемы и перспективы - 2008", 21-23 октября. – М., 2008. – с. 43–42.
17. Балалаев, А.С. Методология транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках : автореф. дис. ... д-ра тех. наук : 05.22.08 / А.С. Балалаев – Хабаровск, 2010. – 48с.
18. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов от 21.06.1999 г. № ВК477.
19. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте от 31.08.1998г. № В-1024у.
20. Никитин, В.Д. О графоаналитических приемах расчета путей станции / В.Д. Никитин. // труды МИИТ, вып. XII, М., Транспечать НКПС, 1929. – с.295-308
21. Карейша, С.Д. Железнодорожные станции / С.Д. Карейша – М., Транспечать НКПС, 1930. – 304с.
22. Писарев, С.Г. Пропускная способность двухпутных магистралей, станций и метрополитенов / С.Г. Писарев. // Труды МИИТ, вып. XX, М., ОГИЗ-Гострансиздат, 1932. – 255с.
23. Васильев, И.И. Определение необходимой мощности отдельных элементов станции / И.И. Васильев. // Труды МИИТ, вып.140, М., Трансжелдориздат, 1949. – с.67-93.

24. Штанге, Б.Д. Железнодорожные станции и узлы / Б.Д. Штанге. – М., Трансжелдориздат, 1952. – 199с.
25. Организация движения на железнодорожном транспорте / под общ. ред. И.Г. Тихонова. – Минск, Высшая школа, 1969.
26. Бартнев, П.В. Железнодорожные станции и узлы / П.В. Бартнев. – М., Трансжелдориздат, 1953. – 504с.
27. Сокович, В.А. Организация движения на железнодорожном транспорте. Том 1 / В.А. Сокович, И.Н. Пошивайко. – М., Трансжелдориздат, 1941. – 496с.
28. Максимович, Б.М. Пропускная способность железнодорожных линий / Б.М. Максимович. – М., Трансжелдориздат, 1948. – 200с.
29. Земблинов, С.В. Основы методики расчета потребного числа путей на участковых и сортировочных станциях : Информационное письмо ЦНИИ МПС №369 / С.В. Земблинов, К.К. Таль, М.С. Гликман. – М., Трансжелдориздат, 1956. – 27с.
30. Таль, К.К. Повышение пропускной способности стрелочных горловин / К.К. Таль. // Вестник ЦНИИ. – 1956. – №4. – с.48-51.
31. Таль, К.К. О методике расчетов пропускной способности станций / К.К. Таль. // Железнодорожный транспорт. – 1960. – №12. – с.47-51.
32. Таль, К.К. Основные вопросы применения методов моделирования для проектирования станций и узлов / К.К. Таль. // Труды ЦНИИС, вып.47 – 1971 – с.56-96.
33. Акулиничев, В.М. / Определение межоперационных простоев вагонов на сортировочных станциях. В.М. Акулиничев, В.И. Бодюл, Г.Е. Казюлин. // Труды МИИТ, вып.379, М., 1974 – с.3-10.
34. Быкадоров, А.В. Системное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций : автореф. дис. ... д-ра тех. наук / А.В. Быкадоров – М., Транспорт, 1970 – 239с.
35. Эксплуатационные расчеты с применением теории вероятностей // И.М. Мартынов, Е.А. Сотников Е.А., Л.П. Тулупов и др. – М., Транспорт, 1970. – 239с.
36. Сотников, И.Б. Теоретические основы взаимодействия в работе приемо-отправочных парков и прилегающих участков : учебное пособие / И.Б. Сотников – М., МИИТ, 1967. – 60с.
37. Сотников, И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог / И.Б. Сотников – М., транспорт, 1976 – 268с.

38. Шабалин, Н.Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н.Н. Шабалин – М., транспорт, 1973 – 182с.
39. Скалов, К.Ю. Развитие и реконструкция станций и узлов / К.Ю. Скалов – М., Транспорт, 1972 – 286с.
40. Козин, Б.С. Этапное развитие транспортных устройств / Б.С. Козин // Труды ИКТП. – М., Транспорт, 1973 – 164с.
41. Персианов, В.А. Моделирование транспортных систем / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, С.Н. Усков. – М., Транспорт, 1972 – 208с.
42. Персианов, В.А. Станции и узлы в современной транспортной системе (проблемы, мнения, идеи) / В.А. Персианов // Железнодорожный транспорт. – 1980. – №2. – с.48-56.
43. Акулиничев, В.М., Математические методы в эксплуатации железных дорог / В.М. Акулиничев, В.А. Кудрявцев, А.Н. Корешков. – М., Транспорт, 1981 – 224с.
44. Персианов, В.А. Нынешние проблемы станций и узлов / В.А. Персианов, С.В. Милославская // Железнодорожный транспорт. – 1994. – №9. – с.2-15.
45. Козлов, И.Т. Пропускная способность транспортных систем /И.Т. Козлов – М., транспорт, 1985, 214 с.
46. Бакаев, А. А. Экономико-математические модели планирования и проектирования транспортных систем / А. А. Бакаев. – М., Киев: Техника, 1973. – 129с.
47. Акулиничев, В. М. Проблемы и перспективы использования экономико-математических методов при оптимизации транспортных узлов: сб. научн. тр. / В.М. Акулиничев, П.А. Козлов // Проблемы развития сортировочных станций и узлов – М.: МИИТ– 1983. – с.13-25.
48. Моисеев, Н.Н. Математика ставит эксперимент / Н.Н. Моисеев. – М. : Наука, 1979. – 224 с.
49. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981. – 488 с.
50. Мугинштейн, Л.А. Имитационное моделирование в задачах организации движения поездов / Л.А. Мугинштейн // Сб. трудов ученых ОАО «ВНИИЖТ» / ОАО «Науч.-исследовательский ин-т ж.-д. трансп.». – М. : Интекст, 2012. – 55 с.
51. Лещинский, Е. И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте / Е.И. Лещинский – М.: Транспорт. – 1977. – 176 с.

52. Козлов, П.А. Оценка инфраструктурных транспортных проектов методом имитационного моделирования / П.А. Козлов, В.П. Козлова. // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №7 – с.36-38.
53. Александров, А.Э. Использование моделей при расчете и оптимизации систем железнодорожного транспорта / А.Э. Александров // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 2. – с. 54-56.
54. Александров, А.Э. Оценка инфраструктурных транспортных проектов методом моделирования / А. Э. Александров, П.А. Козлов // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – №5. – с. 43-44.
55. Чейз, Р.Б. Производственный и операционный менеджмент / Р.Б. Чейз, Ф.Р. Джейкобз, Дж.Аквиано – 10-е издание: Пер.с англ. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2008. – 1184с.
56. Козлов, П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии : дис. ... д-ра тех. наук : 05.22.08 / П.А. Козлов. – Липецк, ЛПИ, 1986.
57. OpenTrack Моделирование железнодорожных сетей [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: http://www.opentrack.ch/opentrack/downloads/OpenTrack.Info_RU.pdf, свободный.
58. Quan Lu, Maged Dessouky Modeling Train Movements through Complex Rail Networks, ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, 2004 – pp 48-75
59. Peter Márton, Michal Žarnay, Li Wenjian Development of computer simulation model of Mudanjiang railway junction and its results, 2014, www.researchgate.net
60. Борщев, А.В., «Применение Имитационного Моделирования в России» /А.В. Борщев. // ИММОД 2007 – октябрь 2007. – Санкт-Петербург
61. Козлов, П.А. Автоматизированный программный комплекс расчета регистрации и отображения работы сортировочной станции / П.А. Козлов, А.Э. Александров. // Железнодорожный транспорт. – 2003. – №9. – с.65-67.
62. Александров А.Э. Применение системы имитационного моделирования для расчета рациональной технической структуры и технологии промышленных транспортных систем // А.Э. Александров, П.А. Новиков. // Вестник РГУПС, Ростов-на-Дону. – 2008. – №3. – с.76-80.
63. Александров, А.Э. Принципы и модели оптимизации взаимодействия железнодорожного и морского транспорта /А.Э Александров, П.А. Новиков. // Транспорт: наука, техника, управление. Научно-информационный сборник. – 2008. – №9. – с.14-16.

64. Новиков, П.А. Имитационный метод динамического согласования как аппарат оптимизации сложных технологических процессов на транспорте / П.А. Новиков. // Транспорт Урала. Научно-технический журнал, Екатеринбург, УРГУПС. – 2008. – №3. – с.10-12.

65. Владимирская, И.П. Имитационное моделирование, как метод оптимизации расчета инфраструктуры в инвестиционных транспортных проектах / И.П. Владимирская. // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №1. – с.52-54.

66. Владимирская, И.П. Совершенствование методов расчета инфраструктуры в инвестиционных транспортных проектах / И.П. Владимирская // Наука и техника транспорта. – 2010. – №3. – с.15-18.

67. Пермикин, В.Ю. Автоматизация представления структуры сортировочных станций / В.Ю. Пермикин, П.А. Козлов // Сборник научных трудов. Вопросы научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. Самара, СамИИТ, 1998.

68. Козлов, П.А. Автоматизированное построение имитационных моделей крупных транспортных объектов/ П.А. Козлов, В.Ю. Пермикин, В.С. Колокольников. // Транспорт Урала. – 2013. – № 2 (37). – С. 3-6. ISSN 1815-9400

69. Козлов, П.А. Метод оптимизации структуры транспортной системы/ П.А. Козлов, И.П. Владимирская. // Мир транспорта. –2009. № 2. – стр. 84-87

70. Тихомиров, И.Г. Технология работы участковых и сортировочных станций / И.Г. Тихомиров, П.С. Грунтов, П.А. Сыцко и др. – 2-е изд. – М.: Транспорт, 1973. – 272с.

71. Федотов, Н.И. Расчёт числа приёмо - отправочных путей на участковых и сортировочных станциях. Вопросы проектирования железнодорожных станций /Н.И. Федотов. // Труды НИИЖТ, –1966. – №54. – с. 34-47.

72. Шабалин, Н.Н. Расчет мощности сортировочных устройств /Н.Н. Шабалин. // Железнодорожный транспорт. – 1967. – № 7. – с. 39-42.

73. Грунтов, П.С. Методика расчёта оптимальной мощности парков и грузовых фронтов станции / П.С. Грунтов, В.П. Ярошевич. – Гомель, изд. БелИИЖТ: 1971.

74. Бородин, А.Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А.Ф. Бородин, Е.А. Сотников. // Железнодорожный транспорт. – 2001. – №3. – с.8-19.

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

76. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко – М.: Наука, 1978. – 399с.
77. Свинцов, Е.С. Регионально-транспортные исследования в современных условиях: монография / Е.С. Свинцов – М.: Маршрут, 2005. – 301 с.
78. Основы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог / Ю.А. Быков, Е.С. Свинцов, Б.А. Волков и др. – М.: УМЦ ЖДТ, 2009
79. Козлов, П. А. Теоретические основы гибкого взаимодействия станций в узле / П.А. Козлов, В.С. Колокольников // Транспорт Урала. – 2013. – № 2 (37). – С. 28-32. ISSN 1815-9400.
80. Мескон, М.Х, Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: Пер. с англ./ М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури – М.: «Дело», 1992. – 702 с.
81. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон – М.: Мир, 1978. – 215 с.
82. Нейлор, Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор – М. : Мир, 1975. – 511 с.
83. Слободянюк, И.Г. Функциональный подход к моделированию транспортных систем // Транспорт Урала. – 2017. – № 2. – С.96-101
84. Пермикин, В.Ю. Автоматизация структурно-технологической оптимизации железнодорожных станций: дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.08 / В.Ю. Пермикин. – Екатеринбург, 1999.
85. Колокольников, В.С. Автоматизированное структурно-технологическое исследование железнодорожных станций: дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.08 / В.С. Колокольников. – УрГУПС, Екатеринбург, 2013.
86. Кашеева, Н. В. Интерактивное исследование железнодорожных станций: дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.08 / Н.В. Кашеева – УрГУПС, Екатеринбург, 2015.
87. Александров, А.Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей: теоретические основы, методология: дис. ... доктора тех. наук: 05.22.08 / А.Э. Александров – УрГУПС, Екатеринбург, 2008.
88. Шавзис, С.С. Автоматизация расчета поездобразования на сортировочных станциях: дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.08 – УрГУПС, Екатеринбург, 2003.
89. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев М.: Наука, 1981. 487с.

90. Козлов, П.А. О системах и системности на транспорте / П.А. Козлов // Транспорт Урала. – 2016. – №2(49). – С.3-8.
91. Козлов, П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: дис. ... доктора тех. наук : 05.22.08 / П.А. Козлов – Липецк, 1986
92. Осокин, О.В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 /О.В. Осокин – Москва, 2014.
93. Александров, А.Э. Моделирование транспортных систем: учеб.-метод. пособие / А.Э. Александров, И.А. Ковалев, В.Ю. Пермикин, – Екатеринбург.: УрГУПС, 2011. – 56с.
94. Владимирская, И.П. Технологическая оценка транспортных проектов на примере ст. Новолипецк/ И.П. Владимирская, О.В. Осокин, под общ. ред. С.Г. Журавина // Сб. науч. тр. межд. науч.-практ. конф. Социально-экономическое развитие хозяйственных систем в современных условиях: Опыт, проблемы, перспективы: Т. 1. – Москва-Магнитогорск. – 2010. – С.90-100
95. Слободянюк, И.Г. Технология макромоделирования транспортных узлов / П.А. Козлов, В.Ю. Пермикин, И.Г. Слободянюк // Транспорт Урала. 2014. – № 3. – с. 3-6.
96. Слободянюк, И.Г. Макромоделирование транспортных узлов / Н.А. Тушин, В. Ю. Пермикин, И. Г. Слободянюк. // Современные концепции научных исследований: научно–пр. конф. - М: Еразийский Союз Ученых (ЕСУ), 2014. – № 6 Часть 3. – С. 132-135
97. Слободянюк, И.Г. Макромоделирование транспортных узлов / П.А. Козлов, Н.А. Тушин, В.Ю. Пермикин, И.Г. Слободянюк // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 10. – с. 38-40
98. Власов, К.П. Методы исследований и организация экспериментов / К.П. Власов. – Харьков: «Гуманитарный центр», 2013.
99. Бряник, Н.В. Общие проблемы философии науки: Словарь для аспирантов и соискателей. / Н.В. Бряник – Издательство Урал. ун-та, 2007.
100. Инструкция по расчёту наличной пропускной способности железных дорог – М.: РЖД, 2010.
101. Слободянюк, И.Г. Имитационная экспертиза проектов развития железнодорожных станций и узлов / П.А. Козлов, И.Г. Слободянюк // Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом: научно–пр. конф. – М: МГУПС (МИИТ). – 2014. – С. 23-24

102. Слободянюк, И.Г. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / П.А. Козлов, И.Г. Слободянюк // Современные реалии, тренды и инновации в управлении бизнес-процессами на транспорте: научно-пр. конф. – М: МГУПС (МИИТ). – 2014. – с.242-244.