

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет путей сообщения»

*На правах рукописи*



**Кагадий Игорь Николаевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВОЙ  
СТАНЦИИ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

05.22.08 Управление процессами перевозок

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Псеровская Елена Дмитриевна

Новосибирск, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                            | 5  |
| 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ<br>ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ И ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО<br>ПОЛЬЗОВАНИЯ .....          | 12 |
| 1.1 Ретроспектива организации местной грузовой работы на<br>железнодорожных станциях .....                                               | 12 |
| 1.2 Анализ классификационных характеристик объектов<br>железнодорожного транспорта .....                                                 | 15 |
| 1.2.1 Анализ функциональных особенностей и надежности грузовых<br>станций (на сети) .....                                                | 15 |
| 1.2.2 Анализ характерных особенностей путей необщего<br>пользования .....                                                                | 17 |
| 1.3 Анализ научных исследований и методов взаимодействия грузовых<br>станций и путей необщего пользования в современных<br>условиях..... | 20 |
| 1.3.1 Анализ современного состояния области функционирования<br>грузовых станций и путей необщего пользования.....                       | 20 |
| 1.3.2 Анализ научных исследований взаимодействия грузовых<br>станций и путей необщего пользования .....                                  | 30 |
| Выводы по главе 1.....                                                                                                                   | 38 |
| 2 ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ ПРИ<br>ОБСЛУЖИВАНИИ ПУТИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ .....                                      | 41 |
| 2.1 Основные положения технологии обслуживания путей необщего<br>пользования.....                                                        | 41 |
| 2.2 Анализ параметров, влияющих на функциональную надежность<br>грузовых станций при обслуживании путей необщего пользования.....        | 43 |
| 2.3 Характеристика моделируемых объектов .....                                                                                           | 52 |

|                                                                                                                                                                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4 Анализ корреляционных зависимостей элементов работы грузовой станции от объема поступающего вагонопотока .....                                                                                                                   | 59         |
| 2.5 Описание вероятностной модели поведения грузовой станции по переработке поступающего вагонопотока .....                                                                                                                          | 65         |
| 2.6 Процессный подход обслуживания грузовой станции путей необщего пользования.....                                                                                                                                                  | 78         |
| Выводы по главе 2.....                                                                                                                                                                                                               | 83         |
| <b>3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ И ПУТИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ.....</b>                                                                                                                         | <b>85</b>  |
| 3.1 Формализация процессов взаимодействия грузовой станции и пути необщего пользования.....                                                                                                                                          | 85         |
| 3.2 Разработка и описание этапов моделирования работы грузовой станции по обслуживанию пути необщего пользования.....                                                                                                                | 94         |
| 3.3 Формирование модели «Грузовая станция – ПНП».....                                                                                                                                                                                | 98         |
| Выводы по главе 3.....                                                                                                                                                                                                               | 102        |
| <b>4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕЕ РАБОТЫ.....</b>                                                                                                             | <b>104</b> |
| 4.1 Методика выполнения экспериментов на модели «Грузовая станция – ПНП» и анализ результатов моделирования.....                                                                                                                     | 104        |
| 4.2 Оптимизация технических и технологических параметров грузовой станции общего пользования по критерию обеспечения функциональной надежности.....                                                                                  | 116        |
| 4.3 Вычислительный эксперимент использования имитационной модели в оптимизации грузовой работы станции при обосновании комплекса технических, технологических и организационных мер повышения функциональной надежности станции..... | 121        |
| 4.3.1 Проверка адекватности модели «Грузовая станция –                                                                                                                                                                               |            |

|                                                                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ПНП».....                                                                                                                             | 121        |
| 4.3.2 Оптимизационный эксперимент повышения функциональной надежности работы грузовой станции.....                                    | 132        |
| Выводы по главе 4.....                                                                                                                | 137        |
| <b>5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ.....</b>                                     | <b>139</b> |
| 5.1 Причинно-следственные связи загруженности грузовых железнодорожных станций с позиции теории системной динамики.....               | 139        |
| 5.2 Повышение уровня функциональной надежности станции и экономическая оценка вариантов технического и технологического развития..... | 146        |
| Выводы по главе 5.....                                                                                                                | 153        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>                                                                                                                | <b>155</b> |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>                                                                                         | <b>158</b> |
| Приложение А. Прогнозирование объемов контейнеропотоков по моделям Брауна и Хольта.....                                               | 171        |
| Приложение Б. Суточный план-график работы реальной грузовой станции ЗСЖД за 2016 г.....                                               | 176        |
| Приложение В. Суточный план-график работы реальной грузовой станции ЗСЖД при изменении технологии работы на 2017 г.....               | 177        |
| Приложение Г. Суточный план-график по результатам оптимизации местной работы реальной грузовой станции ЗСЖД .....                     | 178        |
| Приложение Д. Справка о внедрении результатов диссертационного исследования.....                                                      | 179        |
| Приложение Е. Справка о внедрении результатов диссертационного исследования.....                                                      | 180        |
| Приложение Ж. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....                                                      | 181        |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В современных условиях нестабильной экономической ситуации и жёсткой конкуренции в сфере перевозок, вопрос повышения качества оказываемых услуг на железнодорожном транспорте является крайне важным. Внедрение клиентоориентированного подхода, начиная от планирования перевозок и заканчивая непосредственным осуществлением перевозочного процесса, должно обеспечивать использование резервов пропускных способностей железных дорог и потребных перерабатывающих способностей станций для удовлетворения потребностей клиентов на всех этапах перевозки грузов. Однако недостаточно согласованное взаимодействие между участниками рынка грузовых перевозок: операторов подвижного состава, грузовладельцев, перевозчика – приводит к нарушению технологии работы станций по обслуживанию путей необщего пользования (ПНП). На станциях скапливается значительное количество вагонов, принадлежащих разным собственникам и затрудняющих местную работы. При этом снижается надежность грузовых станций в выполнении основных функций: обслуживать пользователей услугами железнодорожного транспорта, выполняя операции по приему и отправлению поездов, по подаче и уборке вагонов и погрузке-выгрузке грузов в соответствии с заявками клиентов. Обслуживание клиентов железнодорожного транспорта осуществляется неравномерно, а железные дороги терпят убытки из-за превышения рабочего парка вагонов и их непроизводительных простоев на станциях.

Решение вопроса эффективной координации взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования рассматривается в Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г. и Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ на период до 2030 г., что подтверждает актуальность выбранной темы исследования. Кроме этого, в соответствии с Политикой клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок, утвержденной в 2016 году, в основу реализации стратегии

клиентоориентированности заложены два главных принципа – увеличение ассортимента предоставляемой продукции, систематизация количественного и качественного состава услуг, устранение внутрихолдинговой конкуренции; создание интереса и положительных эмоций у клиентов к бренду ОАО «РЖД», позволяя привлечь новых клиентов за счет рекомендаций существующих товаров и услуг.

В целях развития клиентоориентированности, снижения административных барьеров и совершенствования работы по оказанию услуг в сфере грузовых железнодорожных перевозок, необходимо определить тенденции к согласованному взаимодействию грузовых станций и путей необщего пользования в продвижении вагонов. Формализация этого процесса, создание объектно-ориентированной модели взаимодействия между участниками перевозочного процесса и экономическая оценка вариантов технического и технологического совершенствования грузовых станций позволит найти оптимальные решения в повышении функциональной надежности станций при обслуживании объектов промышленного транспорта.

**Степень научной разработанности темы.** Функционирование транспортных систем, системный характер работы железнодорожных станций и исследование взаимодействия грузовых станций и путей необщего пользования при обслуживании клиентов промышленного транспорта рассмотрены в работах ученых: В. М. Акулиничева, В. В. Багиновой, Д. В. Боева, А. В. Быкадорова, Е. И. Гарлицкого, В. К. Ивашкевича, Ф. И. Карпелевича, П. А. Козлова, А. В. Комарова, Д. Ю. Левина, Ф. Т. Мамедова, Ш. Н. Норматова, А. Т. Осьминина, В. Э. Парунакяна, В. Ю. Пермикина, В. А. Персианова, В. В. Повороженко, Е. Д. Псеровской, А. Ф. Сиразетдиновой, А. А. Смехова, В. А. Телегиной, Е.Н. Тимухиной, Е. М. Тишкина, Х. Т. Туранова, Н. С. Ускова, О. Н. Числова, К. П. Шенфельда и ряда других исследователей.

Анализ научных работ показал, что значительная их часть направлена на решение вопроса о регулировании продвижения вагонов на станциях с учетом минимизации простоев и повышения пропускной способности. Для грузовых

станций предлагались в основном методы оперативного диспетчерского воздействия на загруженность станционных объектов, а на путях необщего пользования – корректировка технологии взаимодействия с обслуживающими их станциями примыкания. Совместная работа грузовых станций и путей необщего пользования рассматривалась с позиций максимальной погрузочно-выгрузочной способности на грузовых пунктах. В современных условиях необходимо учитывать возможности инфраструктуры обрабатывать возрастающие объемы грузо - и вагонопотоков, причем со случайным характером поступления вагонов на станции и обработки их на грузовых пунктах.

**Целью диссертационного исследования** является разработка методики повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования на основе имитационного моделирования и экономической оценки вариантов совершенствования технической оснащенности и технологии работы грузовой станции.

В соответствии с целью исследования определены следующие **задачи диссертационного исследования**:

- анализ существующих методик и научных исследований в области взаимодействия грузовых станций общей сети железных дорог и примыкающих к ним путей необщего пользования;
- формализация процессов и разработка имитационной модели грузовой станции по обслуживанию примыкающих путей необщего пользования;
- разработка методики повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования;
- разработка методики экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности работы грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования.

**Объект исследования.** Линейные предприятия транспортной сети: грузовые станции и примыкающие к ним пути необщего пользования.

**Область исследования.** Технология транспортных процессов.

**Методология и методы исследования.** Для решения задач, поставленных в диссертационном исследовании, использовались: теория массового обслуживания и системного анализа, методы прогнозирования, теории вероятности и математической статистики, имитационное моделирование, методы технико-экономического сравнения вариантов, а также анализ нормативных документов, действующих на железнодорожном транспорте, и статистических отчетных данных работы предприятий ОАО «РЖД». При выполнении работы использовались положения теории планирования эксперимента.

**Научная новизна диссертационного исследования:**

– разработана имитационная модель обслуживания грузовой станцией ПНП, учитывающая случайный характер поступления, переработки и продвижения вагонов на грузовой станции и путях необщего пользования;

– разработана методика повышения функциональной надежности работы грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования, позволяющая провести оптимизацию поведения транспортной системы «грузовая станция – ПНП» как при существующей технологии и объемах грузового движения, так и выбрать условия ее безотказной работы при корректировке объемов переработки, технической оснащенности и технологии работы;

– предложена методика экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности работы грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования, учитывающая затраты на выполнение непроизводительной маневровой работы, компенсация которых позволит рационально перераспределить ресурсы грузовой станции, тем самым увеличив ее перерабатывающую способность.

**Теоретическая и практическая значимость** диссертационного исследования. Разработанная методика оценки функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования на основе случайного характера продвижения вагонопотока и анализа местной работы дает возможность на этапе планирования объемов перевозок проводить оценку

загруженности станционных объектов, определять лимитирующие элементы и выбирать наиболее благоприятные варианты их устранения.

Оптимизация работы виртуальной модели грузовой станции и ПНП способствует принятию решения о корректировке технологии взаимодействия грузовых станций и путей необщего пользования, а также технического переоснащения на реальных объектах. Применение методики экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности работы грузовой станции позволит рассчитать экономический эффект за счет рационального распределения ресурсов станции и исключения непроизводительного использования технических средств.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Результаты исследования приняты к использованию Западно-Сибирской дирекцией управления движением – структурным подразделением Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», прошли апробацию на предприятиях Западно-Сибирской железной дороги, в частности при разработке рациональных технических и технологических параметров терминально-логистического центра и станции примыкания Иня-Восточная для этапного освоения перспективных размеров перевозок.

Получено свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности – программы «Оптимизация работы железнодорожных грузовых станций и объектов промышленного транспорта» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017615352 от 15.05.2017).

Также результаты используются в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности 23.05.04 – «Эксплуатация железных дорог» и повышении квалификации специалистов.

**Положения, выносимые на защиту:**

– имитационная модель взаимодействия грузовой станции и путей необщего пользования;

– методика повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования;

– методика экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности работы грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования.

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.** Материалы исследовательской работы докладывались и получали положительные отзывы на научно-исследовательских конференциях: Международный российско-германский научно-практический симпозиум по вопросам развития и мониторинга городской инфраструктуры, 2013 г., Новосибирск; Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании», г. Одесса, Украина, 2014 г.; Всероссийская конференция по развитию городских агломераций, г. Новосибирск, 2014 г.; Международная научно-практическая конференция «Политранспортные системы», г. Новосибирск, 2014 г.; IV Международная научно-практическая конференция «Современные научные исследования: инновации и опыт». – Екатеринбург, 2014 г.; Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию факультета «Управление процессами перевозок» «Совершенствование технологии перевозочного процесса», г. Новосибирск, 2014 г.; Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы науки и техники», г. Воронеж, 2015 г.; Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Шестой международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию со дня образования Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, 2015 г.; Международная научно-практическая конференция, г. Ыван, Южная Корея, 2015 г.; Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы», г. Новосибирск, 2016 г.

Результаты исследований были представлены на всероссийском конкурсе научных работ среди аспирантов по транспортной проблематике, проводимого на базе ВНИИЖТ в марте 2015 г. Разработанная научная концепция была одобрена членами Объединенного ученого совета ОАО «РЖД».

Этапы диссертационного исследования обсуждались на заседаниях кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» СГУПСа в 2015-2017 гг. Окончательные результаты диссертационного исследования были заслушаны и одобрены на совместном заседании кафедр «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав», «Управление эксплуатационной работой», «Железнодорожные станции и узлы» СГУПСа, а также на заседании кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» УрГУПСа в 2018 г.

**Публикации.** Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в одиннадцати печатных изданиях, включая четыре статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых ВАК при Министерстве образования и науки РФ. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Оптимизация работы железнодорожных грузовых станций и объектов промышленного транспорта» № 2017615352 от 15.03.2017.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 170 страницах основного текста и состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованной литературы, 51 рисунка и 7 приложений.

# **1 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ И ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

## **1.1 Ретроспектива организации местной грузовой работы на железнодорожных станциях**

На начальном этапе становления и развития отечественного железнодорожного транспорта объемы грузоперевозок были незначительными. Например, к концу 1861 г. железные дороги России перевезли немногим более 16 тыс. т [48]. С развитием сети и ростом объема перевозок стало необходимо специализировать станции для выполнения определенных операций: технических, грузовых и пассажирских. Появлялись обгонные пункты, разъезды, промежуточные, грузовые и технические станции. Во второй половине XIX в. по мере становления отечественной промышленности и сельского хозяйства появилась проблема доставки груза к станциям и промпредприятиям. Это потребовало разработки и внедрения первых официальных документов между участниками перевозочного процесса «Положение о постройке и эксплуатации паровых рельсовых подъездных путей к линиям железных дорог». Одновременно с этим начали проводиться узловые комиссии, утверждающие порядок очередности отправления грузов со станций [48], а в 1885 г. для разграничения ответственности и установления условий взаимоотношения между представителями магистрального и промышленного транспорта и клиентуры был принят «Общий устав Российских железных дорог» [70].

С началом Первой мировой войны значительно возросли объемы грузового движения, причем необходимо было организовывать продвижение максимального грузопотока в направлении фронта, задерживая встречный поток. Возникла проблема нарушения равночисленного обмена вагонами, при которой дороги, не выполнявшие нормы такого обмена, облагались штрафами. Предпринимались первые регулировочные мероприятия, направленные на

предупреждение скапливания вагонов на путях промышленных станций, ограничения погрузки и приема грузов с соседних станций и дорог. Таким образом, принимаемый к перевозкам объем грузов соответствовал пропускной способности железнодорожных линий и перерабатывающей способности станций, избегая затруднения в перевозочной работе.

В 1916 г. были специально разработаны «Временные правила о распределении вагонного парка между дорогами», которые позволили существенно упорядочить продвижение подвижного состава на станциях, учитывая характеристики грузов и их объемы, а также создать систему распределения порожних вагонов среди всех участников перевозочного процесса. В 1933 г. Советом Труда и Оборона были приняты «Правила эксплуатации подъездных путей необщего пользования» [89], по которым регламентировался порядок устройства, технического оснащения и характера обслуживания подъездных путей. Кроме того, в них впервые изложен порядок определения технологического срока оборота вагона в зависимости от рода груза, типа вагонов и выполняемых операций.

Одновременно с восстановлением народного хозяйства и переходом после гражданской войны в России к новой экономической политике в 1922 г. были созданы предпосылки к объединению узлов железных дорог с целью повышения качества работы станций и промышленных предприятий. В 1934 г. был отменен принцип равночисленного обмена вагонов, и органы железнодорожного транспорта сами планировали потребность дорог и станций в вагонном парке, создавали нормы поездной и грузовой работы, а также применяли новые методы в организации маршрутной погрузки [48]. Но недостаток путевого развития объектов промышленного транспорта не позволял значительно увеличить процент отправительской маршрутизации по дорогам и сети в целом. Подборка вагонов группами должна была сократить время ожидания формирования и обеспечить следование по графику движения поездов, но из-за ограничения путевого развития сортировочных станций, а именно недостатка путей в

сортировочном парке, такой способ формирования поездов не нашел широкого применения.

Следующий этап развития местной работы станций ознаменовался разработкой единого плана перевозок грузов на сети дорог, увязывающего продвижение грузеного вагонопотока с выгрузочными способностями объектов инфраструктуры. Одновременно с этим на крупных предприятиях промышленного транспорта разрабатывались единые технологические процессы, согласовывавшие работу путей необщего пользования и грузовых станций.

Технология местной грузовой работы в 1960-ых гг. основывалась на диспетчерском руководстве, при котором осуществлялся непрерывный учет вагонов, находящихся на станциях и объектах промпредприятий, контроль за исполнением графика движения поездов и выполнения норм использования вагонов. В 1971 г. Советом Министров СССР и Центральным Комитетом КПСС было принято постановление «Об улучшении работы промышленного железнодорожного транспорта» [64], согласно которому важнейшей задачей являлось совершенствование технической базы промышленного железнодорожного транспорта, создание эффективных условий работы при внедрении новых видов тяги, оснащение подвижным составом, специализированного для перевозок грузов отдельных категорий, усиления резервов хозяйства пути и внедрения комплекса средств механизации, исключаяющего тяжелый физический труд на путевых, погрузочно-разгрузочных и ремонтных работах. На основании инструктивных указаний, информации о расположении и количестве вагонов на грузовых станциях и путях необщего пользования, сведений о проследовании порожних вагонопотоков, принятых заявок на погрузку и перевозку грузов составлялся суточный план работы станций. Основа таких планов предусматривалась в сменных заданиях с подробными планами приема, расформирования, погрузочно-выгрузочной работы и формирования передаточных поездов.

Начиная с 1980-х гг., в организацию перевозочного процесса широко внедрялись информационные технологии. В этом отношении система ДИСПАРК

стала одним из ключевых нововведений, позволяющих осуществлять постоянный мониторинг продвижения вагонов на сети дорог и контролировать их использование.

После образования в 2003 г. ОАО «Российские железные дороги» переход на коммерциализацию железнодорожной отрасли происходил повсеместно.

Получение прибыли и повышение рентабельности перевозок возможно лишь при условии взаимовыгодного сотрудничества с частными операторскими компаниями, у которых сосредоточен основной подвижной состав. Продвижение вагонов, принадлежащих разным собственникам, затрудняет эксплуатационную работу станций дорог из-за несогласованного их нахождения на путях и отсутствия заявок на дальнейшее их использование или возврат оператору. Таким образом происходит искусственное ограничение пропускных и перерабатывающих способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта, как магистрального, так и промышленного.

## **1.2 Анализ классификационных характеристик объектов железнодорожного транспорта**

### **1.2.1 Анализ функциональных особенностей и надежности грузовых станций (на сети)**

В соответствии с Федеральным законом № 18-ФЗ и статьей 2 [106] инфраструктурой железнодорожного транспорта общего пользования является совокупность железнодорожных станций и путей, соединяющих их, а также устройств, обеспечивающих перевозочный процесс.

Грузовые станции предназначены для приема от населения, промышленных, торговых, строительных и других организаций отправляемых и выдачи им прибывших грузов, а также обслуживания предприятий, имеющих ПНП.

Непосредственно взаимодействие объектов промышленного транспорта с местами общего пользования осуществляют грузовые станции.

Основными операциями, выполняемыми на грузовых станциях делятся на технические, к ним относят: расформирование и формирование прибывающих и отправляющихся передаточных и маршрутных поездов, подача и уборка вагонов к местам погрузки и выгрузки; грузовые: погрузка, выгрузка, сортировка; коммерческие: прием и выдача грузов, взвешивание, оформление документов и др. [59].

Это стыковые пункты, где предусматривается взаимодействие железнодорожного транспорта с другими видами транспорта [16].

Учеными в разные годы разрабатывали предложения о классификации грузовых станций. Согласно [18] в зависимости от назначения грузовые станции подразделяются на специализированные и неспециализированные, соответственно на одних выполняется работа с определенными грузами (нефтепродукты, лесные грузы и т.д.), на других – с различными грузами (тарно-штучными; навалочными; тяжеловесными и др.), а также обслуживание железнодорожных путей необщего пользования. Кроме того, существуют перегрузочные станции для перегрузки грузов из вагонов в вагоны разной колеи; портовые, обслуживающие речные и морские порты и паромные переправы [16, 18, 81].

Согласно [16, 18] грузовых станций классифицируются по путевому развитию следующим образом:

- тупикового типа с параллельным расположением путей и грузовым двором, расположенным параллельно или последовательно путям станции;
- сквозного типа с парками, расположенными последовательно и грузовым двором, расположенным параллельно или последовательно путям станции;
- однопарковые, многопарковые и комбинированного типа.

Грузовые станции имеют свою специфику в зависимости от мест расположения, так при размещении в районах с развитой промышленностью, большим населением они могут иметь развитые транспортно-складские комплексы, грузовые пункты на промышленных предприятиях и при этом перерабатывать в среднем 200 – 400 вагонов в сутки, лишь иногда их объем

может превышать 400 вагонов в сутки или быть ниже 200 вагонов в сутки. При размещении в районах с развитой добывающей или обрабатывающей промышленностью грузовые станции обслуживают разветвленную сеть железнодорожных путей необщего пользования, имеющих различный характер работы в зависимости от перерабатываемых грузов и технологии подачи и уборки вагонов. Кроме того, они выполняют работу по переработке и пропуску грузовых и пассажирских поездов различных категорий [18].

В соответствии с Положением о железнодорожной станции [59], станции по характеру выполняемых операций делятся на погрузочные и выгрузочные в зависимости от преобладающих операций, а также перегрузочные, при перегрузке на другой вид транспорта или передаче на железные дороги другой ширины колеи.

Таким образом, одной из основных функций грузовой станции является обслуживание ПНП. Существенную роль в обеспечении надежной работы грузовых станций при обслуживании ПНП играют объемы местной работы, не нарушающие технологию взаимодействия с объектами промышленного транспорта, непосредственно техническое оснащение станции и пунктов погрузки-выгрузки, а также характер обслуживания промышленных предприятий (ритмичность, очередность подачи-уборки, партионность). Следовательно, функциональная надежность станции будет обеспечена при условии выполнения заданного количества согласованных заявок на подачу и уборку вагонов.

### **1.2.2 Анализ характерных особенностей путей необщего пользования**

В соответствии со статьей 2 [106] железнодорожные пути необщего пользования могут примыкать к железнодорожным путям общего пользования или являться контрагентами, примыкая к ним через другие железнодорожные пути необщего пользования. Основная функция железнодорожных путей необщего пользования обслуживание собственников этих путей, либо на договорных условиях пользователей услугами железнодорожного транспорта.

Исследование вопроса эксплуатации мест необщего пользования позволило разработать предложения о классификации путей необщего пользования (ПНП). В работе «Планирование перевозок промышленным железнодорожным транспортом при проектировании логистических информационных систем» А. Г. Фарковым была рассмотрена классификация ПНП по способу организации движения внутри предприятий [107]:

- маятниковое движение применяется при тупиковом расположении путей, вагоны в этом случае подаю и убирают подаются по одним и тем же путям;
- кольцевое движение применяется при сквозном расположении путей, вагоны в этом случае движутся в одном направлении поточно (по кольцу);
- смешанная схема предусматривает движение на одной части путей по принципу кольцевой схемы, а на другой – по принципу тупиковой;
- двусторонняя схема предусматривает одностороннее или двустороннее примыкание ПНП к внешней сети.

Согласно [77] ПНП могут примыкать к станции примыкания по веерной, последовательной или комбинированной схемам, а в [15, 110] приводятся сведения о тупиковом, сквозном и кольцевом примыкании к грузовой станции. В [92] в зависимости от объема выполняемой работы и организации движения ПНП подразделяются на 3 группы (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация ПНП

| Группа ПНП | Объем выполняемой работы, млн т брутто/год | Протяженность, км | Скорость движения на ПНП, км/ч | Способ организации движения |
|------------|--------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| I          | Более 25                                   | Более 3           | До 80                          | поезд./маневр.              |
| II         | 3-25                                       | До 3              | До 40                          | поезд./маневр.              |
| III        | До 3                                       | До 3              | До 25                          | маневр.                     |

На основе исследований Ферапонтова Г. В. ПНП следует разделить на [110]: главные и ходовые пути; погрузочно-разгрузочные и станционные пути;

пути для перевозки специальных грузов.

В зависимости от характера работы промышленных предприятий ПНП разделяют на:

– пути, на которых выполняются в основном операции по погрузке грузов, эти пути обслуживают предприятия добывающей промышленности, такие как шахты, разрезы, карьеры и т.д.);

– пути, на которых выполняются в основном операции по выгрузке грузов, эти пути обслуживают предприятия обрабатывающей промышленности, такие как металлургические, химические предприятия, машиностроительные заводы и т.д.);

– пути, на которых выполняются операции по перевалке грузов, эти пути обслуживают снабженческие базы, объемы погрузки и выгрузки на них примерно одинаковы [110].

Дополнительно исследователи приводят классификацию ПНП по характеру обслуживания их локомотивами [9, 65]:

- пути, обслуживаемые локомотивами владельца ПНП;
- пути, обслуживаемые локомотивами станции примыкания;
- пути, обслуживаемые поездными локомотивами перевозчика.

Кроме этого, различают технологии обмена вагонами между грузовыми станциями и ПНП на сквозную, предусматривающую пропуск поездов на ПНП, и маневровым порядком.

Таким образом, среди основных параметров нормального функционирования путей необщего пользования при взаимодействии с грузовыми станциями, выступают: характер и объем работы, путевое развитие и технология обслуживания, включающая способы маневровых передвижений и использование локомотивов.

### **1.3 Анализ научных исследований и методов взаимодействия грузовых станций и путей необщего пользования в современных условиях**

#### **1.3.1 Анализ современного состояния области функционирования грузовых станций и путей необщего пользования**

Основная работа грузовых станций состоит в приеме, переработке, отправлении сборных и маршрутных поездов, а также обслуживании клиентуры и выполнении маневровой работы по подаче-уборке вагонов к местам одновременной погрузки-выгрузки [18].

Создав определенный алгоритм, включающий себя корректировку ассортиментного перечня грузов на промышленных предприятиях, и механизм строго упорядоченного воздействия на перевозочный процесс, возможно добиться высокой эффективности в продвижении вагонов на сети дорог. Иначе зачастую простои подвижного состава возникают именно из-за несвоевременной их подачи к грузовым фронтам, пересечений маршрутов, дополнительных заездов локомотивов и т.д. Разработка единого цикла операций по продвижению вагонов и грузов к станций погрузки и выгрузки, подачи под грузовые операции, собственно погрузке-выгрузке, предусмотрев правильное расположение складов и повысив уровень механизации всех работ – вызовет существенное увеличение эффективности работы железнодорожного транспорта [2].

Основываясь на [62], основными затруднениями в развитии транспортных процессов магистрального и промышленного транспортов являются:

- низкая пропускная способность на отдельных наиболее востребованных направлениях (около 10,2 тыс. км «узких мест»);
- несоответствие требованиям отдельным элементам инфраструктуры из-за высокого износа;
- старение парка локомотивов;
- изменение условий работы из-за профицита вагонов и изменения принадлежности парка универсальных вагонов и организации управления им;

– снижение мобильности и как следствие падение надежности перевозок.

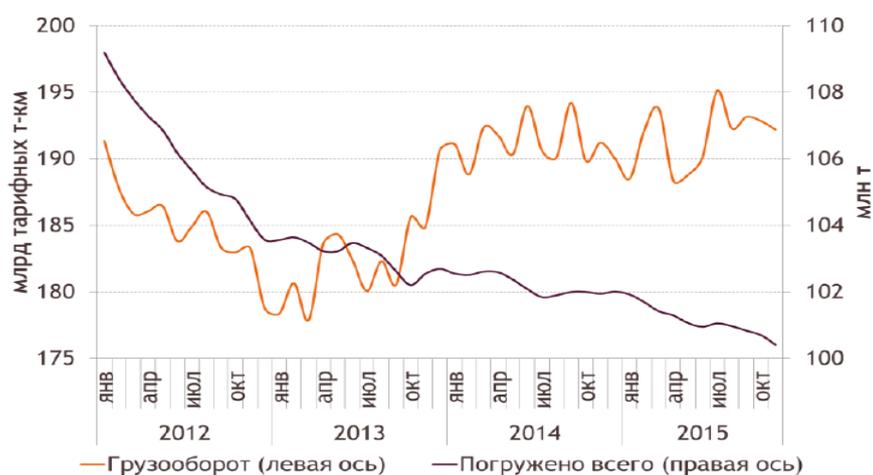
Что в результате приводит тому, что клиенты недовольные качеством предлагаемого железной дорогой сервиса находят альтернативные виды транспорта, как правило, это клиенты с высокостоимостными грузами [62, 63].

К 2015 году протяженность железнодорожных путей необщего пользования, примыкающих к инфраструктуре ОАО «РЖД», составляла 110 тыс. км. Причем, как следует по данным Российского статистического ежегодника [109], длина ПНП с 1990 г. по сегодняшний день сократилась более чем в два раза. Средняя протяженность одного ПНП составляет 3,5 км. Общее количество договоров на эксплуатацию ПНП и на подачу и уборку вагонов составляет более 18 тыс. штук.

В 2012-2015 гг. на рынке железнодорожных грузовых перевозок наблюдается воздействие внутреннего спада вместе с высокой долей экспорта, причиной чего стало ослабление экономического потенциала России. На протяжении последних четырех лет сокращаются объемы погрузки, причем максимум был зафиксирован в 2012 году, относительно которого 2013 год по объемам погрузки упал на 2,8 %, а результаты 2013-2014 гг. оказались ниже уровня 2011 года [10]. На рисунке 1.1 приведены графики изменения объемов погрузки и размера грузооборота на железнодорожном транспорте за 2012-2015 гг.

Однако на общем фоне снижения объемов погрузки-выгрузки на общей сети дорог, Западно-Сибирская железная дорога к началу 2017 г. в показателях грузовой работы отметила достаточно существенным ростом, что произошло благодаря региональным инвестиционным проектам ОАО «РЖД», оптимизации работы структурных подразделений отраслевых хозяйств, инструктивным указаниям и предписаниям руководства ОАО «РЖД», направленных на выход к докризисным размерам грузового и пассажирского движения. Таким образом, по итогам 2016 г. по уровень погрузки составил 286,7 млн тонн, или 23,5% сетевого объема, что превзошло аналогичные показатели за последние 25 лет. Более половины погрузочных станций увеличили объемы работы, причем значительно возросла погрузка грузов на экспорт в порты Дальнего Востока, составив

примерно пятую часть от общего объема. Для удовлетворения потребностей пользователей услуг железнодорожного транспорта, с целью обеспечения вывоза угля с Кузбасса, приняты меры по совершенствованию инфраструктуры железных дорог, разработаны новые технологии, позволяющие увеличить вес маршрутных поездов и скорости доставки грузов.



Примечание: размеры грузооборота и погрузки-выгрузки взяты из сборника «Бюллетень социально-экономического кризиса в России. Динамика грузоперевозок в России», № 8, 2015 г.

Рисунок 1.1 – Грузооборот и объемы погрузки грузов за 2012-2015 гг. на железных дорогах РФ

Отражение растущей динамики погрузочно-выгрузочной деятельности железной дороги проанализировано относительно трех грузовых станций ЗСЖД, отличающихся значительным размером местной работы: Клещиха, Иня-Восточная и Карбышево I. Результаты анализа объемов погрузки-выгрузки представлены на рисунке 1.2.

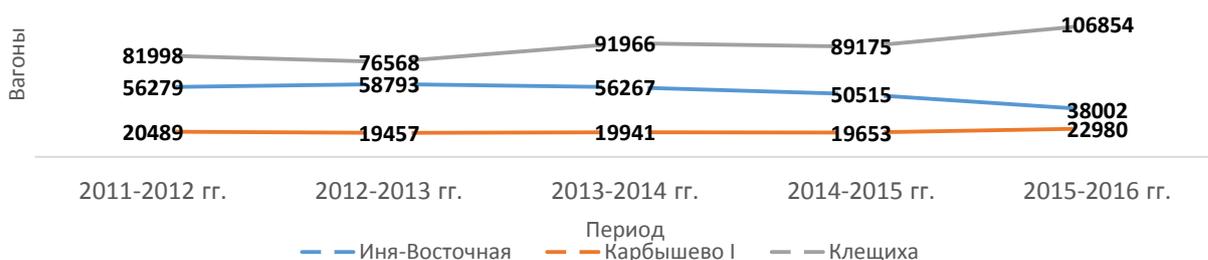


Рисунок 1.2 – Динамика изменения объемов грузовой работы станций ЗСЖД, 2012-2016 гг.

Фактический объем работы в течение 2012-2016 гг. на каждой из анализируемых станций претерпел качественно разные изменения. Структурные преобразования в области железнодорожного транспорта (2001-2015 гг.), связанные в первую очередь с нововведениями в области продвижения частного вагонного парка, экономические кризисы 2008-2010 гг. и 2012 г., а также современное нестабильное геополитическое положение РФ относительно западных транспортных партнеров, массовый переход клиентов с железнодорожного на автомобильный транспорт, смещение направления перевозок в международном сообщении преимущественно на Восток (Китай) и т.д. заставили по-разному отреагировать исследуемые транспортные системы на возникшие изменения. Нестабильный, но все-таки ощутимый рост грузовой работы наблюдается на ст. Клещиха, составив к концу 2016 года 106854 вагонов, в то время как на ст. Иня-Восточная произошел спад погрузки-выгрузки на 18277 вагонов, что на 32 % меньше относительно аналогичного показателя за 2011 год.

На рисунке 1.3 показана месячная неравномерность объемов грузовой работы на станциях ЗСЖД за 2011-2016 гг., что также подтверждает факт их неритмичного функционирования. Более глубокий анализ объемов погрузки-выгрузки за 2016 год на станциях Клещиха, Иня-Восточная и Карбышево I приведен в таблице 1.2 и рисунке 1.4.

Как следует из отчетных данных объемов погрузки-выгрузки на ряде грузовых станций ЗСЖД за 2012-2016 характер местной работы претерпевал качественные изменения на каждой из анализируемых станций в отдельности. Если на станции Клещиха удалось увеличить объем переработки вагонов с 1159 вагонов в 2012 г. до 9881 вагона в 2016 г., то на станции Иня-Восточная отмечилось снижение вагонопереработки с 4846 до 3128 вагонов за аналогичный период. К тому же в ежемесячном количестве перерабатываемых вагонов заметна определенная неравномерность, что при инфраструктурных ограничениях станций снижает потенциально возможный объем грузового движения. Развитие контейнерных перевозок позволило станции Клещиха нарастить перерабатывающую способность в период 2012-2016 гг., в то время как

современное нестабильное состояние промышленных предприятий вынуждает искать альтернативные способы доставки или искусственно снижать объемы. Отсюда и резкие изменения в характере местной работы.

Сравнение количества переработанных вагонов в период с 2012 г. по 2017 г. приведено на рисунке 1.5.

Для отображения значительных колебаний в размерах грузо- и вагонопереработки в период нестабильного состояния всего рынка грузовых перевозок были проанализированы именно представленные выше станции ЗСЖД, поскольку изменение уровня загруженности станций по-разному повлияло на итоговые показатели их перерабатывающих способностей. Эти станции выполняют с учетом их технического и технологического развития достаточно большой объем грузовой работы (рис. 1.3), но, учитывая уникальность технологий обслуживания примыкающих к ним ПНП, влияние неравномерного вагонопотока потребовало изменений в объемах местной работы вплоть до использования максимальных резервов перерабатывающей способности (ст. Клещиха) или же, наоборот, существенное ее снижение (ст. Иня-Восточная) (рис. 1.5). Система рациональной организации вагонопотоков относится к числу важнейших технологических задач; от этого зависит загрузка станций, а, следовательно, время доставки груза, что принципиально важно для работы сети железных дорог в современных рыночных условиях.

Сохранение практики долгосрочного тарифного регулирования на грузовые железнодорожные перевозки позволит повысить качество бизнес-планирования и управления транспортными затратами всех участников перевозочного процесса, а также сохранить инвестиционные проекты промышленности в условиях катастрофического падения цен на сырьевых мировых рынках. Большинство предприятий–грузоотправителей в настоящее время не в состоянии сохранять объемы производства на фоне повышенного роста тарифов» [90].

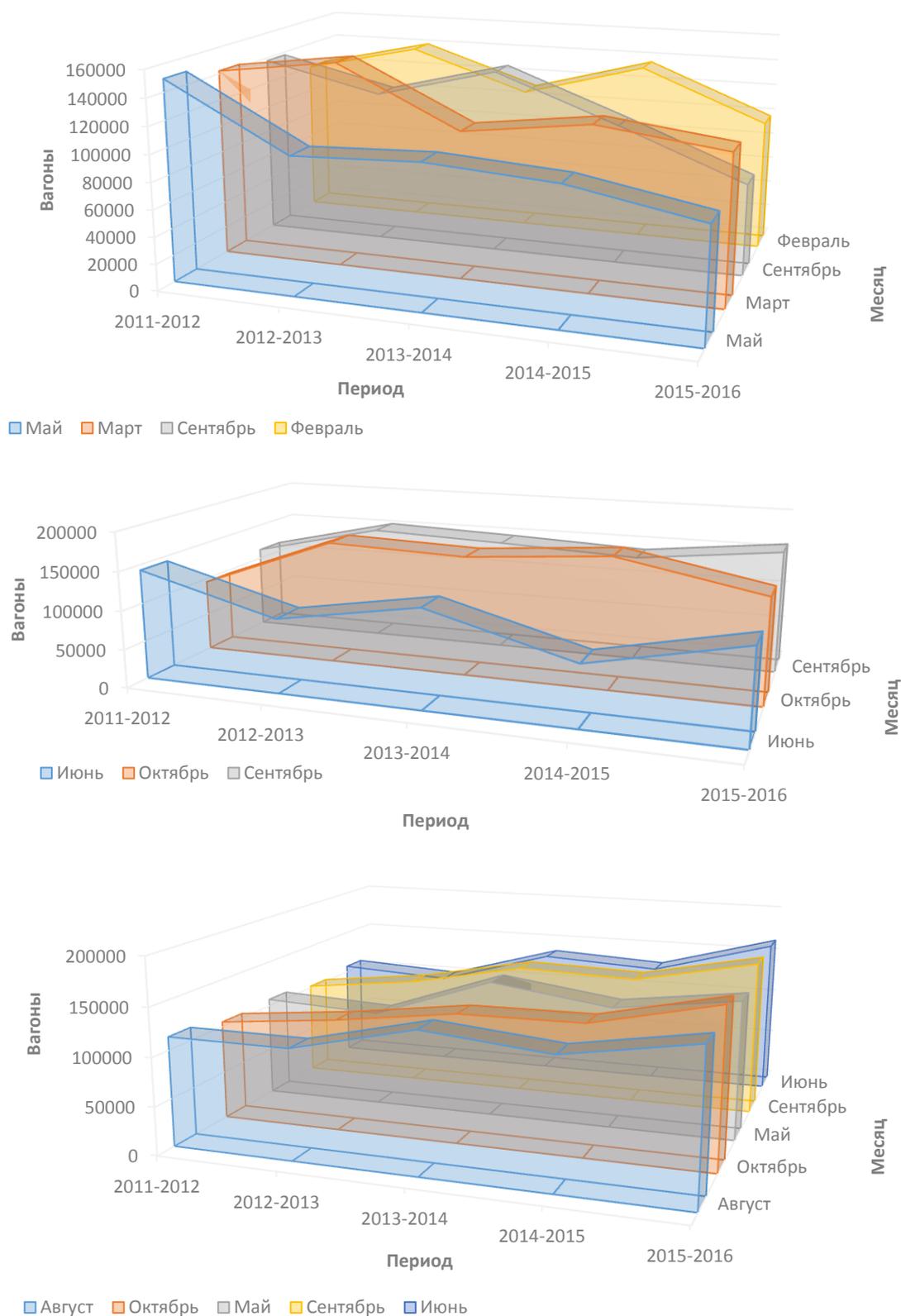


Рисунок 1.3 – Неравномерность грузовой работы на станциях ЗСЖД в периоды максимальных объемов погрузки-выгрузки, 2011-2016 гг.

Таблица 1.2 – Объемы местной работы грузовых станций ЗСЖД за 2016 г.

| Станция<br>Месяц | Иня-Восточная |       |          |       | Карбышево I |       |          |        | Клещиха  |       |          |        |
|------------------|---------------|-------|----------|-------|-------------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
|                  | Погрузка      |       | Выгрузка |       | Погрузка    |       | Выгрузка |        | Погрузка |       | Выгрузка |        |
|                  | ваг.          | т     | ваг.     | т     | ваг.        | т     | ваг.     | т      | ваг.     | т     | ваг.     | т      |
| Январь           | 1463          | 8432  | 1955     | 94304 | 698         | 47731 | 587      | 39027  | 2345     | 25748 | 3090     | 60379  |
| Февраль          | 1229          | 12601 | 1961     | 86280 | 614         | 41267 | 589      | 38257  | 3796     | 45175 | 4624     | 82243  |
| Март             | 1666          | 15565 | 2182     | 95454 | 752         | 50984 | 1463     | 97327  | 4539     | 62417 | 4409     | 90872  |
| Апрель           | 1332          | 10549 | 2220     | 88870 | 555         | 36899 | 1293     | 86031  | 4173     | 60503 | 4856     | 98602  |
| Май              | 1377          | 12432 | 1764     | 70328 | 395         | 25151 | 1865     | 123648 | 4173     | 60503 | 4350     | 85128  |
| Июнь             | 1299          | 14682 | 1729     | 52809 | 484         | 31121 | 1289     | 86970  | 4729     | 68703 | 5169     | 96499  |
| Июль             | 1346          | 14073 | 1762     | 56862 | 321         | 20817 | 1885     | 125612 | 4358     | 62474 | 4847     | 92694  |
| Август           | 1367          | 12383 | 1845     | 64434 | 184         | 11473 | 1685     | 112797 | 4186     | 57397 | 4931     | 95335  |
| Сентябрь         | 1248          | 12830 | 1687     | 56477 | 715         | 47558 | 1675     | 113251 | 4193     | 67477 | 5259     | 96498  |
| Октябрь          | 1177          | 11804 | 1750     | 69443 | 865         | 58196 | 1166     | 78340  | 4314     | 62924 | 5333     | 101656 |
| Ноябрь           | 1026          | 7222  | 1489     | 60862 | 751         | 51116 | 1311     | 87341  | 4419     | 55218 | 4880     | 95570  |
| Декабрь          | 1329          | 11904 | 1799     | 79557 | 639         | 43054 | 1199     | 80346  | 4935     | 65882 | 4946     | 96312  |

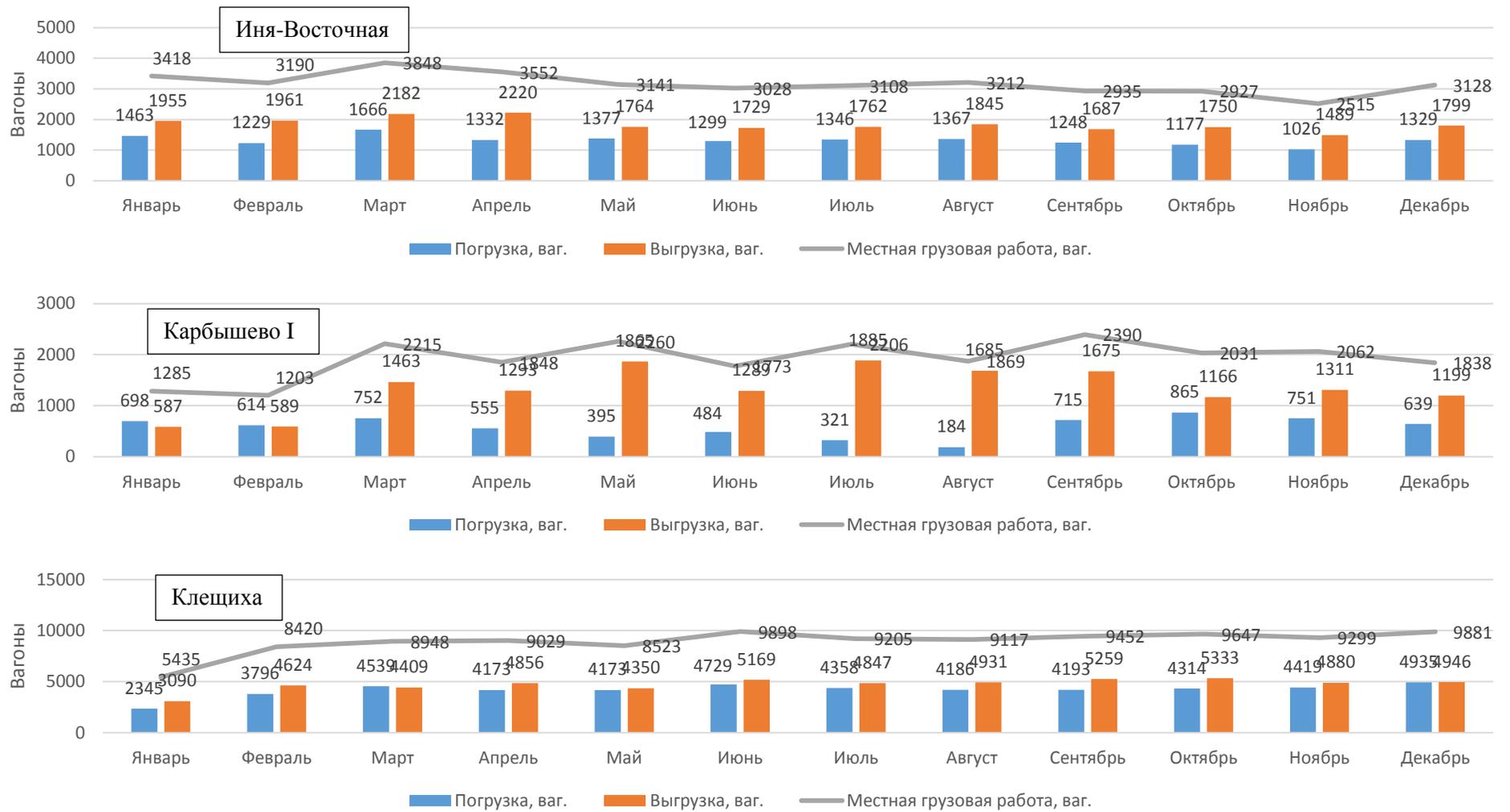


Рисунок 1.4 – Объемы местной работы грузовых станций ЗСЖД за 2016 г.

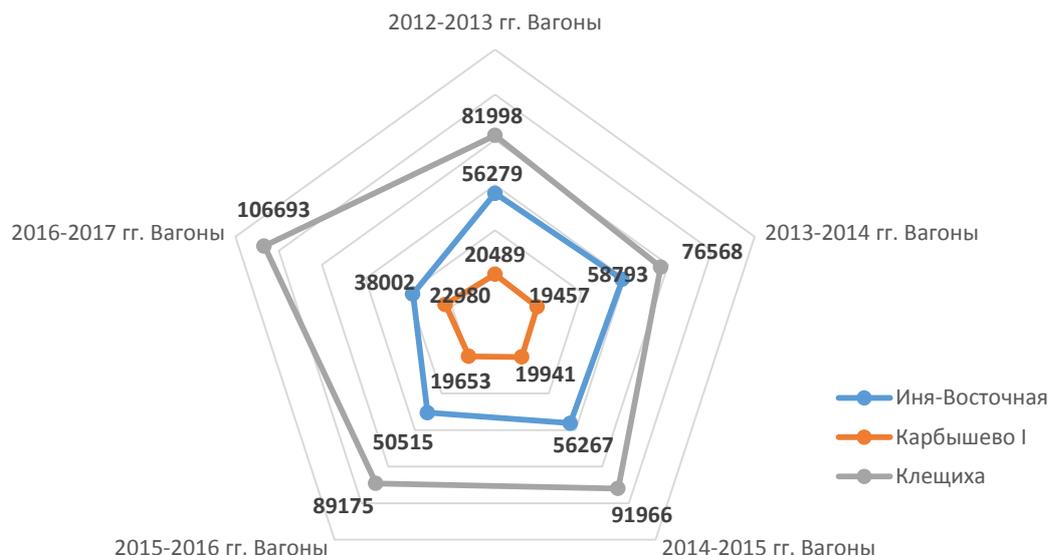


Рисунок 1.5 – Диаграмма вагонопереработки на станциях Клещиха, Иня-Восточная и Карбышево I за 2012-2016 гг.

Реформирование железнодорожной отрасли, долгосрочная тарифная политика, перекрестное взаимодействие с операторами подвижного состава, а также инвестиционная активность как Холдинга ОАО «РЖД», так и частных компаний-собственников, должны благоприятно повлиять на развитие транспортных систем, в том числе и в функционировании грузовых станций и ПНП. Железнодорожный транспорт необщего пользования связывает подразделения промышленных предприятий, организуя внутренние межцеховые перевозки, и одновременно является продолжением сети железнодорожного транспорта общего пользования, обеспечивая взаимодействие с магистралями железных дорог. Эффективность работы станций по освоению объемов погрузки и выгрузки, выходящих на докризисный уровень и превышающих его, зависит от технологии работы, оснащенности, технического и интеллектуального уровня развития транспортных и информационных систем [26].

Согласно результатам отчета реализации инвестиционной программы ОАО «РЖД» за 2015 г. по всем регионам России запланированы мероприятия по увеличению пропускной и перерабатывающей способностей железнодорожных

участков, станций и подъездных путей промышленных предприятий. В соответствии с этим помимо технико-технологических, организационных, правовых и иных мероприятий, направленных на улучшение функциональной надежности станций по переработки значительного объема вагонопотока, необходимо обеспечение эффективного уровня взаимодействия грузовых станций и ПНП. Этот вопрос является актуальным в рамках инновационного развития ОАО «РЖД» [94].

Возможность использования интеллектуальной среды, при организации перевозочного процесса позволит решить следующие задачи:

1) в реальном масштабе времени при отклонении прогнозного значения развития транспортной ситуации от фактического осуществить корректировку и уточнение;

2) ввести возможность контроля за технологией исполнения производственного процесса;

3) внедрить финансовую оценку процессов переработки вагонопотоков;

4) рассчитать оптимальный уровень технического обеспечения станции и ПНП и оценить реальную загруженность станционных объектов;

5) выполнить пооперационный и процессный анализ перерабатывающей способности станции с последующей интерпретацией результатов, позволяющей проверить адекватность предлагаемых решений.

Обслуживание объектов промышленного транспорта на основе интеллектуализации перевозочного процесса является необходимым современным условием, поскольку рынок железнодорожных услуг в транспортном бизнесе холдинга ОАО «РЖД» требует новых инструментов повышения качества обслуживания клиентов и привлечения тем самым дополнительной прибыли.

### **1.3.2 Анализ научных исследований взаимодействия грузовых станций и путей необщего пользования**

Для рациональной организации грузовых перевозок необходимо решение трех основных задач: организовать местную работу на грузовых станциях, переработку транзитных вагонопотоков на технических станциях в пути следования и продвижение поездов от пунктов отправления до пунктов назначения. В современных условиях основная сложность в регулировании продвижения вагонов на сети дорог приходится на грузовые станции. Это связано главным образом с крайне непрогнозируемым и неритмичным характером погрузочно-выгрузочной деятельностью станций при постоянном взаимодействии с объектами промышленного транспорта. В условиях несогласованного продвижения вагонов разных собственников подвижного состава использование общей методики расчета перерабатывающей способности устройств как для магистрального, так и промышленного транспорта не всегда правомерно. Разработка моделей поведения транспортных систем во времена существования Министерства путей сообщения (МПС) контролировалась государством, в то время как после коммерциализация всей отрасли железнодорожных грузовых перевозок, произошедшей с момента образования ОАО «РЖД», моделирование транспортных процессов представляет собой большую ценность для вкладывания инвестиций.

В научных работах Ш. Н. Норматова отмечается большое влияние неравномерности движения грузовых поездов на перевозочный процесс в целом, а также причины ее вероятностного характера. Рассматривая работу сортировочных станций установил, что из-за оперативных изменений в графике движения поездов время прибытия грузовых поездов на станции часто не соответствует плановому. Данные закономерности были установлены с применением теории вероятностей и методов математической статистики, путем исследования характера поездообразования и построения детерминировано-стохастического ряда [57].

Одни из исследований Н. И. Федотова связаны с анализом колебаний погрузки и выгрузки вагонов на грузовых пунктах и станциях. Изменения вызываются сезонными особенностями производства и потребления грузов и имеют довольно устойчивые закономерности. Колебания вагонопотоков вызываются большим количеством разнообразных причин и носят случайный характер. Работу транспортных систем в целом необходимо рассматривать при постоянных колебаниях транспортных потоков [108].

А. В. Быкадоров рассмотрел сортировочную станцию как неделимую многофазную систему, с учетом вероятностного состояния ее парков и других технологических элементов. На основе аналитических зависимостей предложил методику, позволяющую проводить исследования ее поведения [9]. Такой подход к анализу функционирования станции позволил рассмотреть влияние путевого развития на работу внутростанционных элементов, как по отдельности, так и во взаимосвязи между собой и прилегающими участками. Выявление «узких» мест и лимитирующих элементов вместе, позволило давать оценку технологической эффективности предложений по изменению основных параметров с целью повышения перерабатывающей способности отдельных элементов и станции в целом, повышения их эксплуатационной надежности и сокращения простоя вагонов [9].

Впервые теоретические основы взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта были разработаны академиком В. Н. Образцовым [69], проблемы взаимодействия грузовых станций и промышленных предприятий представлены в научных трудах профессора Н. Р. Ющенко [112]. Также вопросы взаимодействия железнодорожных станций и объектов промышленного транспорта отражены в трудах профессоров А. А. Смехова, В. М. Акулиничева, Г. П. Гриневича, В. В. Повороженко, Ф. И. Шаульского, Н. С. Ускова [1, 75, 85-88, 105]. В трудах ученых Г. С. Баландюка, В. И. Балча, Х. М. Лазарева исследуются вопросы организации эксплуатационного взаимодействия станции примыкания и железнодорожных путей необщего пользования [5, 6].

В своей работе К. П. Шенфельд [111] указывает на то, что при планировании порядка распределения порожних вагонов и прикреплении станций с зарождением порожнего вагонопотока к станциям погрузки, основным критерием должен быть минимальный порожний пробег. Обосновано это тем, что «зависимость скорости следования вагонов от расстояний между пунктами отправления и назначения имеет нелинейный характер, а также случайный разброс времени следования порожних вагонов от станций отправления до станций назначения, создает трудности при оперативном планировании погрузки, так как время ожидаемого прибытия может существенно отклоняться от фактического». Для более качественного планирования автор предлагает осуществлять его в два этапа: первоначально заадресовывать порожние вагоны со станций выгрузки на станции распыления, а затем уже на конкретные станции погрузки.

Большие потери в эксплуатационной и местной работе станций возникают из-за невозможности оперативно сопоставить планируемые размеры перевозочной работы с пропускными способностями железных дорог, такую возможность дает моделирование перевозочного процесса [50]. Для того, чтобы оценить возможности восприятия информационных потоков с последующей их переработкой предлагается методика, автором которой является В. В. Багинова. В основе методики использование коэффициента расхождения нормативного и фактического числа уровней управления в структуре перевозок. Данную методику можно применять для непосредственной корректировки организационной структуры возрастающих информационных потоков о продвижении частных вагонов на сети [4].

Выполненный анализ работ в области взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, показал, что вопросы взаимодействия грузовых станций и путей необщего пользования требуют проведения дальнейших исследований в части повышения качества и надежности обслуживания клиентов станций [11, 13, 15, 46, 47, 51, 55, 71, 78, 91, 93, 95, 104, 113].

Научно обоснованный подход к выбору оптимальной очередности подач вагонов под грузовые операции предлагался многими научными работниками в области эксплуатации железных дорог. Одним из первых, кто рассматривал этот вопрос, был Ф. Т. Мамедов [54]. Он установил правило, по которому сначала необходимо планировать подачу вагонов именно на такие фронты погрузки-выгрузки, для которых достигается минимальное количество локомотиво-минут обслуживания.

Профессор Ф. П. Кочнев рассматривая очередность обслуживания грузовых фронтов предложил, при обслуживании грузовых пунктов одним локомотивом, в первую очередь убирать вагоны с тех грузовых пунктов расстояние до которых и время их обслуживания минимально, таким образом ожидание уборки последующих групп сократится [44]. Продолжая исследования в данном направлении И. Б. Сотникова и Ф. И. Карпелевич в своих работах предложили «вычислительный алгоритм расчета оптимальной очередности подач» [34].

В работе [21] авторы В. Н. Иванченко и Н. Н. Лябах применили теорию графов для оптимизации станционной маневровой работы по обслуживанию пути необщего пользования, так как не было найдено аналитическое решение данной задачи, ими был разработан эвристический алгоритм решения.

В работе [6] группой авторов впервые была обоснована математически очередность обслуживания фронтов погрузки-выгрузки, где критерием выбора принят минимум вагоно-часов на подачу и обработку вагонов. В дополнение к перечисленным критериям оптимизации В. М. Макаров добавил условие: «к моменту прибытия сборного поезда должно быть подано и убрано максимальное количество вагонов» [52].

Исследования по вопросам обслуживания станцией грузовых фронтов были систематизированы в трудах Д. Ю. Левина. Задачу оптимизации загрузки мест погрузки, предлагается решить с применением математического программирования, используя элементы неопределенности, т.к. поступление вагонов на станции и времена их обслуживания имеют случайный характер.

Критерием является минимум затрат на простой вагонов и погрузочно-разгрузочных механизмов» [49].

При разработке вариантов подачи вагонов на грузовые пункты необходимо учитывать имеющиеся перерабатывающие способности мест погрузки/выгрузки. В современных условиях для оперативного планирования размеров местной работы на ЭВМ необходимо формализовать процесс обслуживания грузовых фронтов. Один из способов реализации математической модели и построения на ее основе имитационной модели поведения транспортных систем предложен А. М. Масловым, который «рассматривал грузовую работу станции по факту прибытия местных поездов без учета принадлежности вагонов и тех операций, которые предстоят им после погрузки/выгрузки» [56].

Исследование технологии работы ПНП промышленных предприятий и грузовых станций нашло отражение в работах следующих ученых: В. М. Акулиничева, Г. Ф. Бабушкина, А. М. Берестового, О. В. Билогурова, В. И. Бобровского, Т. В. Бутько, В. К. Губенка, М. И. Данька, А. Т. Дерибаса, И. В. Жуковицкого, Г. И. Загария, П. А. Козлова, А. М. Котенко, Л. С. Крохина, В. К. Мироненко, Е. В. Нагорного, В. Я. Негрея, Г. И. Нечаева, А. Д. Омельченко, В. В. Повороженко, А. А. Полякова, В. М. Самсонкина, А. А. Смехова, М. П. Топчиева, С. В. Трофимов, Х. Т. Туранов, Г. В. Ферапонтова, М. Л. Цегельника, П. А. Яновского и других.

Профессор Л. С. Крохин рассматривал приоритетность обслуживания ПНП по времени ожидания освобождения локомотивов и стоимостной оценке времени нахождения заявки в этом ожидании [45].

Автором С. Д. Ивановым разработана методика обслуживания мест погрузки/выгрузки предприятий, в которой очередность их обслуживания определяется самой продолжительной грузовой операцией для одной из подач [20]. В работе Н. К. Турсунбаевой предложен критерий: минимум простоя локомотива в ожидании работ, при определении последовательности обслуживания грузовых фронтов [103]. В. И. Зверевым выделены следующие критерии определения оптимальной очередности подачи вагонов под погрузку-

выгрузку: «минимум маневровых локомотиво-часов маневровой работы, минимум дополнительных вагоно-километров пробега, минимум вагоно-часов ожидания начала грузовых операций после прибытия на станцию, минимум штрафов из-за нарушения сроков доставки грузов» [19]. Автор установил, что можно использовать и интегральный критерий оптимальности.

Х. Т. Туранов в цикле работ [101-102] разработал математическую модель рационального функционирования путей необщего пользования с ритмичной обработкой и отправкой продукции конечным потребителям. Выполнено аналитическое решение задачи Коши системы трёх дифференциальных уравнений с начальными условиями движения вагонов на грузовых фронтах.

В работе С. В. Трофимова [100] описаны перспективные способы технологии управления пропускной способностью объектов промышленного транспорта, способы взаимодействия с производством и системой магистрального железнодорожного транспорта, а также представлена методика взаиморасчетов за подачу-уборку и использование вагонов на путях погрузки-выгрузки. В циклах статей [8, 72, 73] В. Е. Парунакян, А. В. Маслак, В. А. Бойко, М. Л. Аксенов приводят экономическую оценку загруженности станций на основе функционально-стоимостного анализа обслуживания промышленных предприятий. Этот метод в отличие от традиционных исследований технических и технологических возможностей станций перерабатывать грузо- и вагонопотоки позволяет учесть и оценить потери, обусловленные дополнительной транспортной работой и затратами на их выполнение.

Профессор П.А. Козлов в своих научных работах большое внимание уделяет системно-динамическому подходу в исследовании поведения транспортных объектов. Им разработана и внедрена теория динамических резервов транспорта, роль которых состоит в обеспечении эффективной работы транспортной системы в условиях неравномерности. Кроме этого, профессором П. А. Козловым разработана имитационная система транспорта (ИСТРА), которая позволяет не только определить основные технические и технологические параметры объектов различных видов транспорта, но дать оценку

инвестиционным предложениям по развитию транспортной инфраструктуры и технологии работы» [39-42].

В циклах статей отечественных и зарубежных ученых [39, 42, 97] большое внимание уделяется роли современных программных комплексов, которые способны оценить алгоритмы поведения реальных транспортных систем. При имитации структура модели должна максимально подробно повторять структуру реального объекта, а связи между отдельными ее составляющими являются отражением реальных связей. Построенная модель проверяется с точки зрения корректности её реализации, калибруется, т.е. осуществляется сбор данных и проводится проверка правильности модели, т.е. ее валидация. Важным этапом работы с моделью является компьютерный эксперимент, в котором при различных значениях ключевых параметров регистрируются выходные значения исследуемого процесса. Сложные эксперименты позволяют выполнить анализ чувствительности модели, оценить риски управляющих решений и оптимизировать значения параметров таким образом, чтобы достичь эффективного функционирования модели, а затем и самого реального объекта.

В настоящее время зарубежными исследователями при решении поставленных автором в диссертационной работе задач широко применяется реинжиниринг и синтез систем управления нового поколения, в частности агентное моделирование, нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткая логика, агрегативные алгоритмы, моделирование активных мультиагентных макросистем и др. Это позволило осуществить автоматизацию интеллектуальных функций, таких как анализ ситуаций, выбор оптимального решения [3].

Многие зарубежные исследователи рассматривали модели для управления транспортными средствами с детерминированными и стохастическими элементами распределения исследуемых величин. Детерминированные подходы предполагают, что входные параметры (например, спрос на транспортные услуги, транспортировка и время в пути) являются точными значениями. Эти модели оптимизации использовались для рационального распределения порожних транспортных средств в соответствии с указанными правилами распределения.

Часть таких моделей были разработаны и внедрены Feeney, Leddo и Warthall, White и Bomberault, Mendiratta и Turnquist, Ratclife и др. [114]. Kwon [116] представил модель динамичной маршрутизации и планирования перевозок грузовых вагонов на сети железнодорожных дорог. Данная модель пространственно-временного изображения была использована для представления движения вагонопотоков на возможные направления по общей сети с учетом движения товаров для приоритетных клиентов. Была также сформулирована задача линейного непрогнозируемого вагонопотока, и метод генерации столбцов была использован в качестве оптимизации обслуживания грузовых пунктов. Fukasawa [115] предложил метод определения оптимального потока груженых и порожних вагонов в целях максимизации прибыли, дохода или перевозимого тоннажа, учитывая расписание поездов вместе с возможностями тяги. Lawley [117] представил пространственно-временную модель сетевых потоков для планирования повторяющихся поставок железнодорожным транспортом оптом от поставщиков до клиентов. Модель использует различную информацию, в том числе потребительский спрос, характеристики железнодорожной сети, время погрузки и выгрузки, а также мощности станционных устройств обработать поступающий вагонопоток. Автор модели основывался на максимальном уровне загрузки грузовых фронтов при сведении к минимуму времени ожидания для погрузки и разгрузки основного груза. Narisetty [118] представил модель оптимизации назначения разнородных порожних грузовых вагонов как наилучшее соответствие между рабочим парком на станциях и уровнем грузовой работы. Такая модель позволяла оптимизировать транспортные расходы, а также строго соблюдать выполнение срока доставки. Модель реализована на железной дороге Union Pacific и это помогло компании достичь значительного сокращения затрат на транспортировку. Sayarshad и Marler [119] представили разработку аналитического решения размера парка вагонов. В их инструменте анализа включены возможности оптимизации использования подвижного состава, оценки прибыльности от эффективного продвижения грузов и проверки качества оказанных услуг клиентам. Sayarshad [120] предлагает в математической модели

для оптимизации планирования использования однородного парка железнодорожных вагонов в отрасли минимизировать сумму затрат, связанных с качеством обслуживания, и максимизировать прибыль, рассчитанную как разницу между доходами и совокупными расходами за пользование вагонами.

Таким образом, для решения вопросов, связанных с повышением качества обслуживания клиентов на объектах общего и необщего пользования, предлагались соответствующие мероприятия на основе моделирования поведения транспортных систем. В тех условиях, когда продвижение обезличенного вагонного парка на сети железных дорог нередко сопровождается непроизводительным занятием путей станций, затрудняя выполнение эксплуатационной работы, для оценки надежности станций перерабатывать соответствующий объем грузового движения, необходимо согласование количества заявок на перевозку грузов в строгом соответствии с техническими и технологическими возможностями станций. Если имитационная модель работы станции включает в себя предельные значения параметров грузопереработки в целях продвижения вагонов разных собственников и обеспечения таких условий работы, при которых станция способна осуществлять обслуживание ПНП, согласно договорным обязательствам, то для реального прототипа грузовой станции возможно предусмотреть мероприятия по повышению качества и эффективности ее работы. Для этого предлагается рассмотреть поведение транспортной системы «Грузовая станция – ПНП» с позиции не только рационального распределения вагонов на сети дорог, но и ритмичного и качественного обслуживания ПНП, экономической эффективности для владельцев подвижного состава и станций, чьи пути занимают данные вагоны.

## **Выводы по главе 1**

1. Значимость магистрального и промышленного транспорта в системе взаимного функционирования и технологической увязки эксплуатационной и производственной деятельности в продвижении и переработке возрастающих

объемов грузопотока проанализирована в соответствии с основными нормативно-законодательными, отчетными данными и инвестиционными программами ОАО «РЖД». В современных условиях нестабильного экономического состояния железнодорожного транспорта РФ обоснована необходимость в моделировании работы транспортных систем при любых возможных ограничениях с целью как оптимизации перевозочного процесса, так и местной работы на грузовых станциях дорог.

Среди основных параметров функционирования грузовых станций и путей необщего пользования выступают: характер и объем выполняемой работы, техническое оснащение станции и ППП, технология работы станции и обслуживания ППП, включающая способы маневровых передвижений и использование локомотивов.

2. Со времен планового ведения хозяйства и государственного контроля за грузовыми перевозками технология местной станционной работы претерпела значительные изменения, особенно в части продвижения вагонов разных собственников. Из-за несогласованного нахождения подвижного состава на путях станций и отсутствия заявок на дальнейшее их использование создается искусственное ограничение пропускной и перерабатывающей способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта, что в конечном итоге препятствует выполнению функциональных задач грузовой станции, вызывая претензии, связанные с нарушением договорных условий обслуживания ППП.

3. Анализ работ отечественных и зарубежных авторов о взаимодействии станций и ППП позволил установить степень изученности данного вопроса и сформулировать направления дальнейшей работы:

- исследование функционирования транспортных систем с поэлементным динамическим моделированием основных станционных процессов;
- прогнозирование объемов грузовой работы и моделирование процессов продвижения вагонопотоков;
- оценка функциональной надежности грузовых станций в условиях технологической взаимосвязи с ППП;

- оптимизация местной работы станции и обслуживания ПНП;
- экономическое обоснование выбранных решений по оптимизации взаимодействия станции и ПНП при переработке возрастающих объемов грузового движения.

Взаимодействие с объектами промышленного транспорта требует новых инструментов повышения качества обслуживания клиентов и привлечения тем самым дополнительной прибыли. Использование методов прогнозирования, процессного подхода и объектно-ориентированного моделирования позволит подойти более предметно к вопросу о повышении функциональной надежности грузовых станций.

## **2 ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ПУТИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

### **2.1 Основные положения технологии обслуживания путей необщего пользования**

Устав железнодорожного транспорта РФ [106] устанавливает общие положения, определяющие порядок взаимоотношений между всеми участниками перевозочного процесса, в том числе между железными дорогами и промышленными предприятиями. Однако каждый ПНП имеет ряд особенностей, связанных: с протяженностью и профилем пути, путевым развитием, количеством и принадлежностью локомотивов, оснащенностью средствами механизации, расположением и емкостью мест погрузки-выгрузки, а также технологией работы предприятий.

Таким образом, возникают основные эксплуатационные и производственные особенности функционирования станций и ПНП, которые необходимо учитывать при составлении соответствующих договоров. Согласно [65] разрабатываются и утверждаются договоры на эксплуатацию ПНП и на подачу и уборку вагонов. В этих договорах устанавливаются конкретные взаимные обязательства между представителями железной дороги и промпредприятия - владельцем пути (ветвевладельцем), вытекающие из имеющихся особенностей эксплуатации ПНП.

Если обслуживание железнодорожного ПНП осуществляется локомотивом перевозчика, то приемосдаточные операции с проверкой технического и коммерческого состояния вагона производятся непосредственно на местах погрузки-выгрузки.

Максимальное число вагонов в подаче определяется исходя из длины фронтов погрузки/выгрузки

Число вагонов, одновременно подаваемых на железнодорожный ПНП, определяется полезной длиной путей, на которых расположены места погрузки-

выгрузки грузов. Перед подачей вагонов, перевозчик не менее чем за 2 часа уведомляет владельца пути необщего пользования, контрагента или грузополучателя/ грузоотправителя. Уборка вагонов производится после уведомления, выше перечисленными лицами, перевозчика о готовности вагонов к уборке, при этом возможна уборка не всей подачи вагонов, а только ее части. Учет времени простоя вагонов под грузовыми операциями ведется на основании памятки приемосдатчика и в данном случае, он отсчитывается от момента подачи вагонов к месту погрузки или выгрузки грузов до момента получения перевозчиком уведомления о готовности вагонов к уборке.

Существует другой вариант, когда обслуживание железнодорожного ПНП осуществляется собственным локомотивом владельца или пользователя этого ПНП, при этом заключается соответствующий договор, и вагоны передаются (т.е. выполняются приемосдаточные операции с проверкой технического и коммерческого состояния вагона) на выставочных путях, которые могут располагаться на железнодорожной станции примыкания или на путях необщего пользования, указанных в договоре. Максимальное количество вагонов в подаче зависит от технических и технологических возможностей ПНП.

Учет времени нахождения вагонов на железнодорожных путях необщего пользования ведется также на основании памятки приемосдатчика и в данном случае, он отсчитывается от передачи вагонов на выставочных путях до момента возвращения вагонов после выполнения грузовых операций на выставочные пути и сдачи представителю перевозчика.

Для выработки рекомендаций по организации эффективного взаимодействия грузовой станции и путей необщего пользования, необходимо детально рассмотреть процесс транспортного обслуживания в системе «Грузовая станция – ПНП». Главная задача состоит в определении, насколько станция в условиях договоренностей, действующих между ней и ПНП, способна переработать поступающий вагонопоток, используя имеющиеся технические и технологические и интеллектуальные инструменты.

## **2.2 Анализ параметров, влияющих на функциональную надежность грузовых станций при обслуживании путей необщего пользования**

Надежность – комплексное свойство технического объекта (прибора, устройства, машины, системы), которое включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность. Большинство из перечисленных составляющих так или иначе указывает на вероятность выполнения некоторых функций заданной системы, а в контексте исследования поведения грузовой станции при обслуживании ПНП – на вероятность выполнения объемов местной работы.

П. С. Грунтов под понятием «надежность транспортной системы» определяет способность системы сохранять свои функции и характеристики в заданных пределах и заранее установленных условиях эксплуатации. Так, в частности, на надежность функционирования железнодорожной станции влияет надежность работы элементов инфраструктуры – пути, устройств автоматики, телемеханики и связи, локомотивов, вагонов, а также число и длина путей, пропускная способность, нагрузка на систему управления и множество факторов, включая человеческий [14].

Е. Н. Тимухина расширила данное понятие относительно работы каждого отдельного технологического элемента, указывая, что более логично оценивать вероятность выполнения той или иной операции, элементарного технологического процесса и целостной функции транспортной системы [96, 97].

Надежность представляет собой комплексное понятие, включающее в себя различные аспекты функционирования сложных производственных систем, определяющее различные особенности принимаемых производственных решений и оценивающее различные возможные их последствия. В условиях рыночной экономики для достижения высокой экономической эффективности производства необходимо учитывать все качественные и количественные показатели, соответствующие различным компонентам надежности. При этом, наряду с техническими составляющими надежности (безотказность, долговечность,

ремонтпригодность и др.), необходимо учитывать функциональные (вероятность решения поставленной задачи, степень удовлетворения потребительских требований и т.п.).

Другими словами, надежность транспортной системы определяется ее способностью правильно выполнять стоящие перед ней целевые задачи при взаимодействии с внешними объектами, включая отказы и нарушения.

В условиях взаимодействия грузовой станции с обслуживаемым ею ПНП под функциональной надежностью станции следует понимать такое поведение транспортной системы, когда выявленные параметры ее безотказного функционирования и связи между ними обеспечивают требуемый объем переработки вагонов.

Параметры, влияющие на функциональную надежность железнодорожных станций находятся в тесной зависимости от особенностей взаимодействия между отдельными элементами и подсистемами. К этому относится как взаимное влияние парков станции, горки, вытяжек формирования, выставочного парка, путей погрузки-выгрузки и т.д., так и станции в целом при обслуживании ПНП. Надежная работа технологических линий станций по переработке вагонопотоков отражается в безотказном выполнении предназначенных им функций с учетом устойчивого технического состояния системы и принятой технологии работы. Однако, чем сложнее система, тем больше число факторов, влияющих на нестабильное ее поведение.

Процесс управления вагонопотоками на ПНП рассматривается как совокупность задач, решение которых осуществляется в определенной последовательности всеми участниками перевозочного процесса. Для увеличения скорости продвижения вагонопотоков, а также сокращения времени оборота вагонов на ПНП и принятия обоснованных решений о размерах входящих и исходящих вагонопотоков, необходим последовательный алгоритм действий:

1. Ведение постоянного статистического анализа движения вагонопотоков;
2. Контроль возможности подвода вагонов с внешней сети в условиях изменений входящих и исходящих вагонопотоков;

3. Определение в оперативном режиме загруженности вагонами ПНП;
4. Определение рациональной последовательности обслуживания ПНП с учетом занятости станционных элементов и общей потребности в вагонах и грузах на ПНП;
5. Своевременное направление вагонопотоков на те грузовые станции, где с учетом их функциональной надежности возможна переработка вагонопотоков на текущий момент;
6. Постоянный мониторинг принятых решений отделом планирования и организации перевозок грузов.

Загрузка станции – это основной технологический показатель, характеризующий скорость продвижения вагонопотоков. Непроизводительные простои вагонов на грузовых станциях и образование вместе с тем «узких» мест, крайне затрудняющих перевозочный процесс, создает большие проблемы в эксплуатационной деятельности основных подразделений грузовых станций и ПНП [84]. В работах [12, 17, 74] указано, что для оценки имеющиеся технических ресурсов грузовых станций в части улучшения качества взаимного функционирования станций и ПНП требуется систематизация основных факторов, способных повлиять на необходимый уровень функциональной надежности. На рисунке 2.1 в виде схемы представлен механизм воздействия отдельных факторов на рациональное соотношение вагонных парков, уровень загруженности элементов инфраструктуры грузовых станций и путей необщего пользования.

При этом необходимо учитывать, что перечисленные операции в данной системе могут отличаться многими параметрами, например, продолжительностью. Объединение отдельных, технологически взаимосвязанных операций, представляет собой определенный этап перевозочного процесса, а совокупность таких этапов можно рассматривать как многооперационную систему с широким диапазоном технологических, эксплуатационных и экономических особенностей [32].

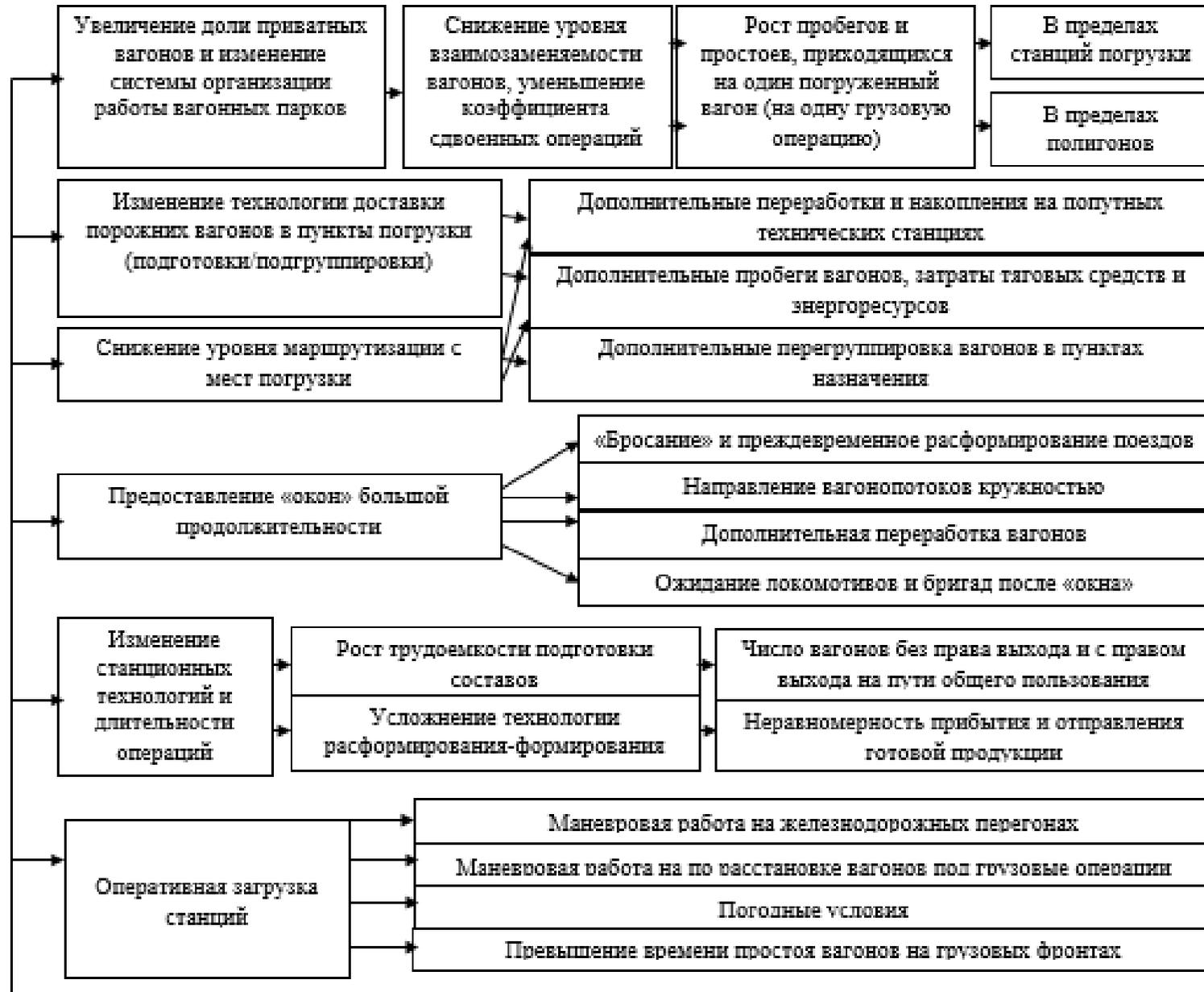
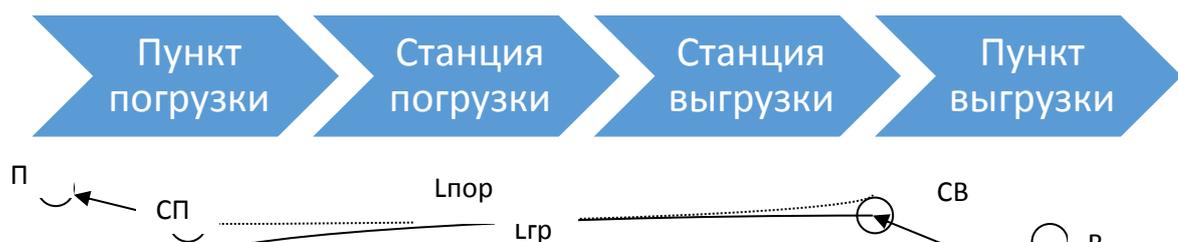




Рисунок 2.1 – Факторы, определяющие рациональное соотношение вагонных парков, уровень загрузки элементов инфраструктуры грузовых станций и путей необщего пользования

Кроме того, при перевозке железнодорожным транспортом большое значение играет порожний пробег вагонов, так как затраты на порожний рейс достигают 60 % от себестоимости перевозки. Поэтому важнейшей задачей по сокращению расходов транспортировки является эффективное управление вагонным парком [17]. Рассмотрим процесс перевозки грузов железнодорожным транспортом на схеме, приведенной на рисунке 2.2.



Условные обозначения: П – пункт погрузки, В- пункт выгрузки, СП – станция погрузки, СВ – станция выгрузки, Lгр – груженный рейс, Lпор – порожний рейс

Рисунок 2.2 - Технология движения вагонов компаний-операторов

Такая схема перевозки демонстрирует существующую модель работы вагонов, принадлежащих операторам подвижного состава. При организации работы по такой модели: сначала определяются характер перевозки (передаточный поезд, маршрут и т.д.), затем подбирается подвижной состав, заключается договор с грузополучателем, предусматривающий особый порядок финансовой ответственности сторон, и затем осуществляется сама перевозка.

В данной технологии работы железнодорожного транспорта с учетом существующих проблем по рациональному распределению частного вагонного парка необходима моделирующая составляющая, с помощью которой возможна оценка возможностей станций, переработке объемов вагонопотоков.

Моделирование оценивает необходимые резервы перевозочных ресурсов, учитывая различные условия при выполнении плана перевозок: отклонение от нормативов перевозки, погрузки, выгрузки, нахождения вагона в порту, на терминале и пр. Эти сведения необходимы для успешного функционирования подсистем оперативного управления [84].

Структурно-функциональная характеристика системы взаимодействия промышленных предприятий и грузовых станций выглядит следующим образом.

Система в отдельные промежутки времени получает заявки на выполнение операций по пропуску поездов, расформированию и формированию поездов, подаче и уборке вагонов на пункты погрузки/выгрузки и др.

Каждой заявке присваивается координата, соответствующая времени ее поступления. В зависимости категории заявки, обслуживание происходит путем последовательного выполнения определенного набора стандартных операций. Обслуживание заявок в динамике предусматривает такие операции как прием и отправление поездов, подача и уборка вагонов и т.д., в статике – обработка вагонов в приемо-отправочных парках, на выставочных путях и т.д. [10].

Таким образом, обслуживание любой заявки проходит несколько фаз, состоящих в свою очередь из элементов, включающих в себя ряд последовательно выполняемых простейших операций, каждая из которых имеет определенную временную продолжительность. На рисунке 2.3 представлена схема, показывающая порядок взаимодействия фаз при обслуживании заявки.

Начальные базисные элементы отмечены  $\alpha_i$ , а конечные –  $\gamma_i$ . Все остальные фазы  $\beta_i$  являются промежуточными.

Таким образом, рассматриваемую систему можно представить, как совокупность фаз, из которых любая последующая примыкает к предыдущей, а каждая фаза состоит из набора базисных и промежуточных элементов. В соответствии с порядком обслуживания заявок один и тот же элемент системы может входить в состав нескольких фаз в качестве базисного или промежуточного их элемента.

Существенной особенностью рассматриваемой системы является недопустимость такого состояния, при котором в нормальных условиях работы продолжительность занятия некоторых элементов, а именно промежуточных, превышает установленные технологические нормы. В связи с этим ожидание обслуживания заявки на таких элементах не допускается и переносится на

ближайший предшествующий базисный элемент, где задержка заявки оказывается технологически выполнимой.

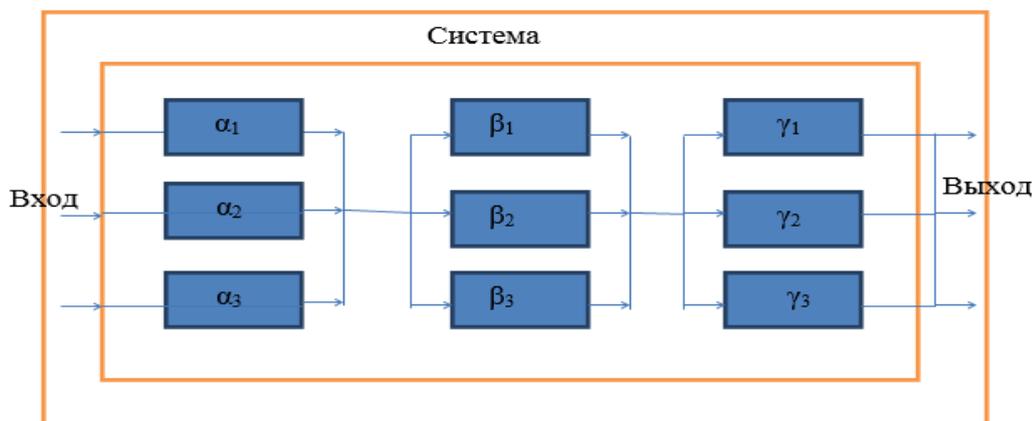


Рисунок 2.3 – Схема взаимодействия фаз обслуживания грузовой станцией ПНП

Применительно к местной работе на грузовых станциях задача оперативного планирования погрузки-выгрузки сводится к определению своевременности прибытия вагонов для подачи под грузовые операции с учетом использования максимальной перерабатывающей способностью мест погрузки-выгрузки.

Процесс моделирования местной работы в общей форме представлен на рисунке 2.4. Здесь учитываются условия свободности-занятости путей погрузки-выгрузки, маневровых локомотивов, железнодорожных выставочных путей и средств механизации для осуществления погрузочно-выгрузочной работы.

Необходимо также учитывать, что моменты занятости промежуточных элементов  $\beta$  и базисного  $\gamma$  могут не совпадать, например, маневровый локомотив свободен, очередная группа вагонов подобрана для подачи на грузовой фронт, а средства механизации выполняют погрузочно-выгрузочные операции с предыдущей группой вагонов [74].

Таким образом, локальная задача обслуживания места необщего пользования сводится к определению свободности или занятости элемента системы и можно ли принять заявку на обслуживание без задержки. Моделируя процесс приема заявок на обслуживание клиентов на местах необщего

пользования, возможно планирование и своевременная выгрузка вагонов. Учитывая, что на станциях назначения часто длительное время простаивают и скапливаются вагоны на несколько суток вперед, что отрицательно влияет на выполнение срока доставки грузов, то необходимо решать эту проблему путем корректировки работы каждого отдельного элемента рассматриваемой системы.

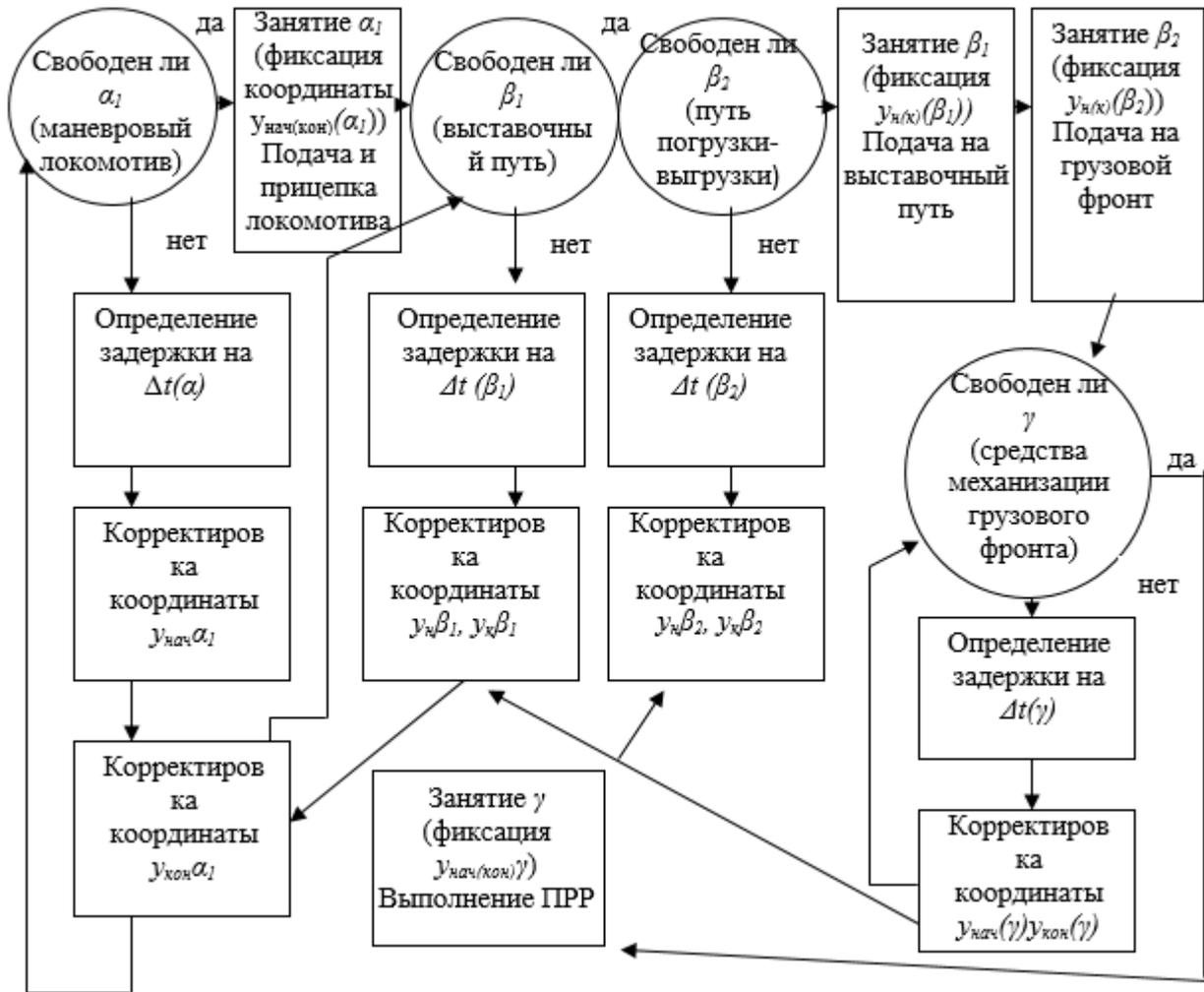


Рисунок 2.4 – Технологическая схема взаимосвязей параметров надежности станции при подаче вагонов под грузовые операции

В условиях, приближенных к реальным, в качестве объекта моделирования выбрана такая станция по обслуживанию ПНП, функционирование которой осуществляется в условиях неравномерности грузовой работы, а также с учетом влияния большинства параметров надежности станций по переработке вагонопотоков, отраженных на рисунке 2.1.

### 2.3 Характеристика моделируемых объектов

В качестве анализируемой транспортной системы выбрана реальная грузовая станция ЗСЖД, в работе которой учитываются такие параметры ее функционирования, как примыкание нескольких ПНП с объемом перевозок более 3 млн т брутто/год, количество и занятость станционных и принадлежащих ПНП маневровых локомотивов, достаточное путевое развитие станции и грузовых пунктов, что в максимальной степени отражается на количестве переработанных вагонов. При этом существующий и перспективный объем грузовой работы, количество ПНП и технология их обслуживания, взаимное влияние фаз обслуживания на каждом этапе переработки вагонопотока рассматриваются при влиянии суточной неравномерности работы. Анализ объектов моделирования приводится относительно действующих нормативных и отчетных данных.

Исследуемая грузовая станция расположена в крупном железнодорожном узле Новосибирск, на основном магистральном ходу, и обслуживает крупные промышленные районы города Новосибирска. На данный момент ОАО «РЖД» и Администрацией Новосибирской области утверждена стратегия развития Северо-Восточного логистического кластера [68], который расположен в районе тяготения исследуемой станции. В новый кластер будут входить складские комплексы, транспортные терминалы и другие объекты инфраструктуры, которые приведут к увеличению объемов местной работы на грузовой станции. Для новых предприятий будущего кластера в районах тяготения станции зарезервирован земельный участок. На данный момент к станции примыкает крупный контейнерный терминал. Рост объемов переработки вагонов на грузовой станции в 2014 году вызвал увеличение простоя местных вагонов, но к концу 2016 года этот показатель несколько снизился. На рисунке 2.5 представлена динамика изменения простоя местных вагонов за период 2012-2016 гг., а на рисунках 2.6-2.7 – динамика выгрузки и погрузки отдельно по маневровым районам и ПНП.

На станции выделено 5 маневровых районов:

– ПНП ОАО «Э-П» – обслуживание локомотивом железной дороги;

- ПНП Нефтебаза КЯ – обслуживание локомотивом железной дороги;
- ПНП Т-4 – обслуживание локомотивом владельца пути;
- ПНП ООО «ЕС» – обслуживание локомотивом владельца пути;
- удаленный маневровый район П, к которому примыкают ПНП.

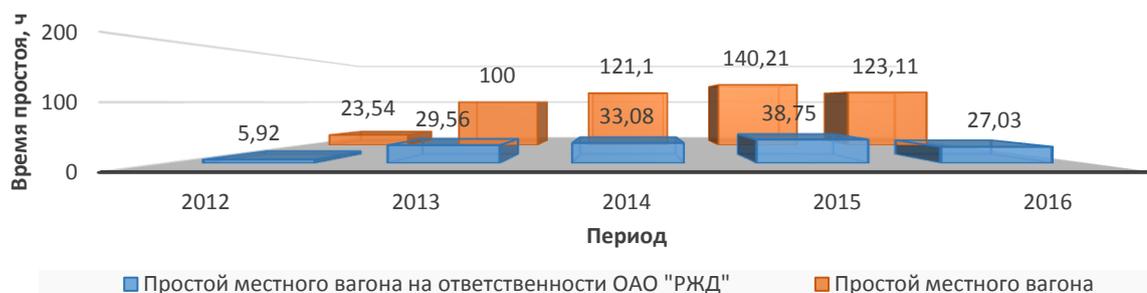


Рисунок 2.5 – Динамика изменения простоя вагонов на грузовой станции ЗСЖД за 2012-2016 гг.

Как следует из статистических данных объемов погрузки-выгрузки реальной станции самый большой грузопоток приходится ПНП, на котором размещен контейнерный терминал. Транспортно-логистический центр (ТЛЦ) «ЕС» входит в Восточную транспортно-логистическую зону Новосибирского транспортного узла. Терминал развивается как опорная точка сети контейнерных поездов, соединяющих грузоотправителей и потребителей Сибири с портами Дальнего Востока, Северо-Запада, центрами дистрибуции в Москве. Технологические мощности новосибирского ТЛЦ на сегодняшний день позволяют принимать и обрабатывать два маршрутных поезда в сутки.

Согласно методологии системно-динамического анализа построения причинно-следственных диаграмм существует несколько комбинаций поведения системы:

- 1) осцилляция: рост, спад, корректировка, рост и т.д;
- 2) S-образный: рост, замедление, равновесие;
- 3) S-образный с превышением: рост, замедление, превышение, сдерживание;
- 4) превышение и коллапс: сбалансированный рост, превышение, спад [36].

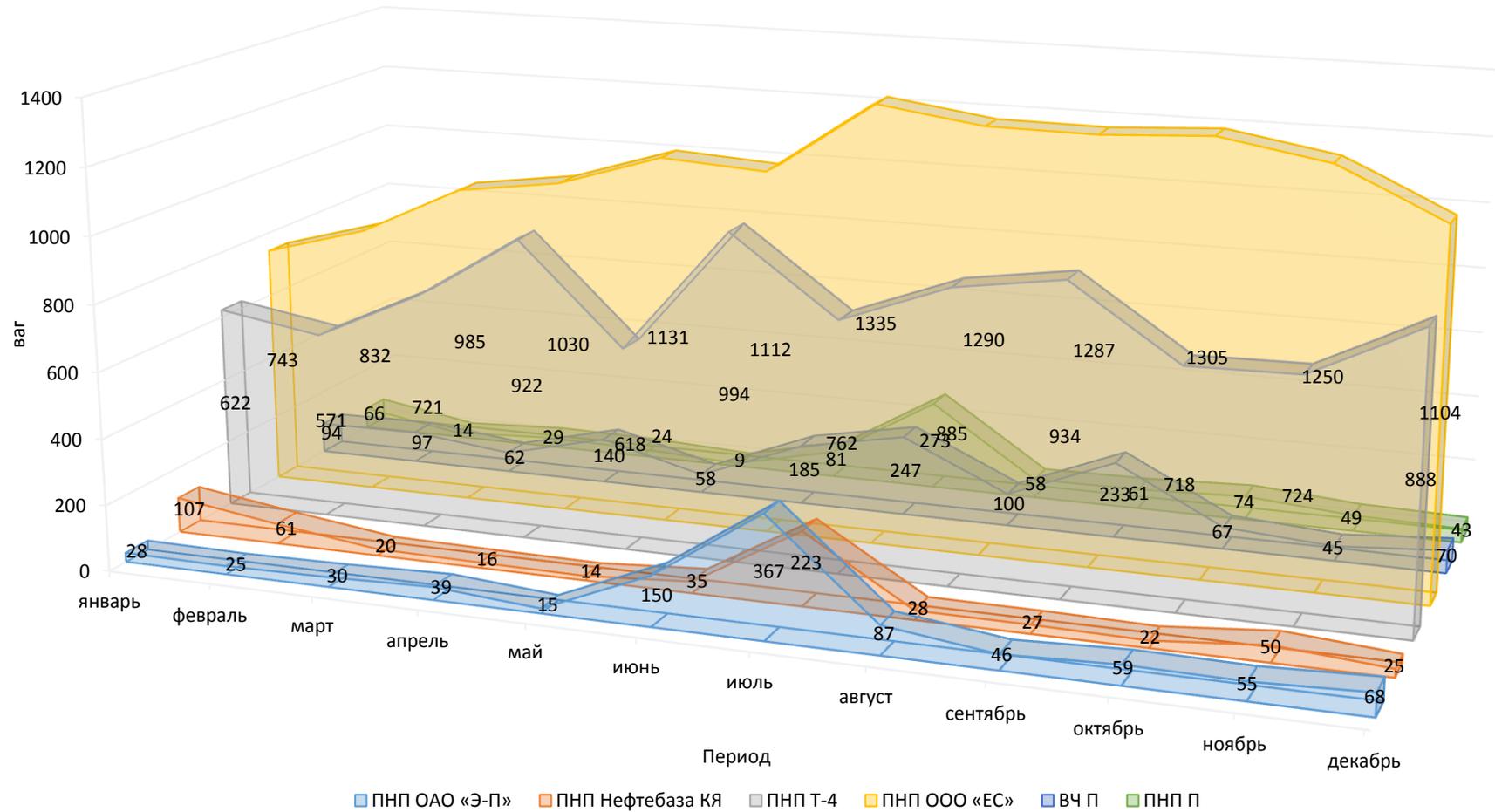


Рисунок 2.6 – Динамика выгрузки реальной грузовой станции по месяцам 2016 г. отдельно по маневровым районам и путям необщего пользования, ваг.

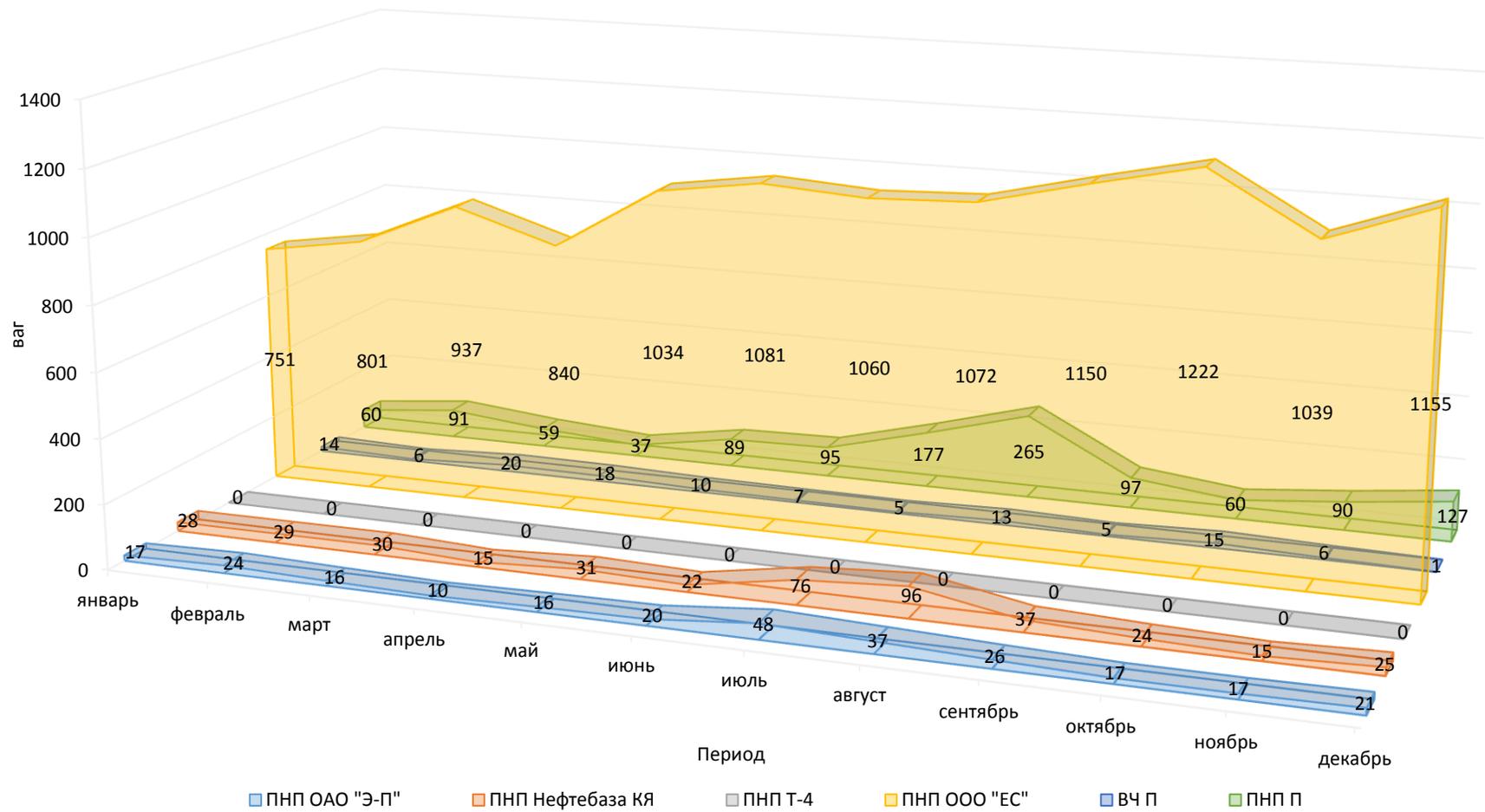


Рисунок 2.7 – Динамика погрузки реальной грузовой станции по месяцам 2016 г. отдельно по маневровым районам и путям необщего пользования, ваг.

Среди представленных комбинаций рынку железнодорожных грузовых перевозок соответствует S-образному росту с превышением. Это в полной мере соответствует процессу реформирования, который отразился на качестве предоставления транспортных услуг. Так, согласно [9], перевозчик не вправе отказать грузоотправителю в перевозке грузов, так как такая услуга является публичной. Отсюда наблюдается естественный рост объемов перевозок. Но в условиях, когда предоставление вагонов клиентам ограничивается договорными обязательствами с третьей стороной в лице компании-собственника подвижного состава, то возникает искусственное ограничение в освоении перспективных объемов грузового движения. Вследствие этого вагоны, занимая пути станций, способствуют снижению их пропускных способностей. Это в свою очередь оказывает нагрузку на инфраструктуру и увеличивает количество «узких мест» [79].

Процесс обезличивания вагонного парка усложнил принципы регулирования продвижения вагонов, что технически означало замедление ритма функционирования железнодорожных транспортных систем. Компании-собственники подвижного состава стараются увеличить доходность от предоставления вагонов в пользование, нанося ущерб перевозочному процессу и вызывая превышение надежности грузоперевозочных транспортных систем: большие станционные простои вагонов [80] и увеличение порожнего пробега [22].

Регулирование перевозочного процесса потребовало изменений в нормативно-правовой базе, что отразилось в приказе Минтранса России от 3 октября 2011 г. № 258 «О внесении изменений в некоторые акты Министерства путей сообщения Российской Федерации» [61]. Благодаря ему обеспечивалось управление парками вагонов разных собственников, что привело ко многим положительным последствиям, в частности к снижению загруженности станций погрузки. Отправляя порожний вагон на станцию погрузки, «оператор должен подтвердить, что имеет заявку и согласие грузоотправителя для отправки груза в данном вагоне» [79].

Таким образом, транспортная система грузовых железнодорожных перевозок, характеризуясь с позиций системной динамики как S-образный рост с эффектом запаздывания, принимает равновесное состояние после «перенасыщения частными вагонами» и ограничений в количестве одновременно обслуживаемых клиентов, корректируя свое состояние для последующего естественного роста. «Система показывает небольшие затухающие колебания вокруг устойчивого уровня инфраструктурного оснащения дорог, станций и объектов промышленного транспорта» [33], что на сегодняшний момент является весьма актуальным для многих станций, в том числе принадлежащих Западно-Сибирской железной дороге. Упрощенное схематичное изображение поведения транспортной системы приведено на рисунке 2.8.

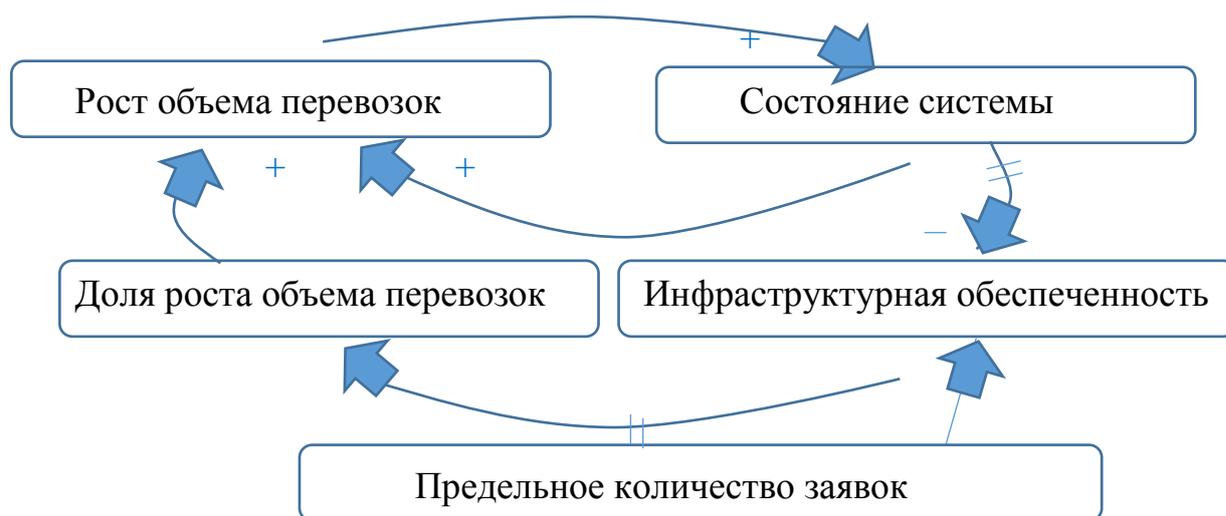


Рисунок 2.8 – Поведение транспортной системы

Для восстановления приемлемого уровня простоя вагонов, в том числе и простоя на ответственности РЖД, снижения загрузки основных элементов станции, а также для стабилизации эксплуатационной обстановки в связи с планируемым увеличением объемов работы «ЕС» с 80 тыс. до 170 тыс. контейнеров в 2018 году, согласно результатам прогнозирования объемов контейнеропереработки Приложения А диссертационного исследования, необходимы мероприятия по развитию технического оснащения и

совершенствования технологии работы реальной грузовой станции. Согласно проектной документации переустройства станции, разработанного в соответствии с выданными ОАО «РЖД» техническими условиями, планируется удлинение приемоотправочных путей до вместимости не менее 71 условного вагона, удлинение выставочного пути, строительство вытяжного тупика в четной горловине — не менее 350 метров и переукладка съездов и стрелочных переводов на новые ординаты. При соответствующем технико-экономическом обосновании это позволит повысить функциональную надежность станции по обработке возрастающего грузопотока.

По состоянию на 2014 г. на терминале ЗАО «ЕС» завершены основные этапы проекта развития путевого хозяйства, направленного на расширение возможностей по обработке контейнеров. В частности, построен новый погрузо-разгрузочный фронт площадью 7,7 тыс. кв. м, общая протяжённость собственных железнодорожных путей доведена до 6,8 км. Таким образом, контейнерный терминал наращивает свои мощности и, как следствие, привлекает дополнительные грузопотоки. В свою очередь, грузовая станция, обслуживающая как терминал, так и еще 4 ПНП, не имеет сортировочного парка, вследствие чего станция может столкнуться с проблемой недостаточности путевого развития и невозможности обработки поездов. Ограниченность парка локомотивов также создает затруднения. Проект путевого развития грузовой станции существует, и для вариантов как нынешнего, так и перспективного освоения размеров грузового движения актуальна оценка действительной функциональной надежности в условиях инфраструктурных ограничений. Нарушение технологического процесса работы грузовой станции несоответствием реальных возможностей обрабатывать объем грузового движения приводит к замедлению оборота вагонов, создавая серьёзную угрозу продвижения вагонопотоков на данном участке Западно-Сибирской железной дороги из-за необходимости распределения вагонов по станциям региона. В результате на ПНП из-за занятости станционных путей возникают затруднения: подвижной состав не освобождается, увеличивается занятость локомотивов из-за необходимости выполнения

дополнительных маневровых операций, при этом возникают существенные убытки от простоя вагонов и, как следствие, невыполнения сроков доставки грузов в пункты назначения» [43].

Необходимо оценивать и регулировать реальные эксплуатационные, технологические возможности станций в освоении перспективных объемов грузового движения, но и стабильно выполнять существующие планы, заявки и договоры. Имитация поведения транспортных систем при различном влиянии внешних и внутренних факторов, многократные эксперименты, анализ результатов и оптимизация перевозочного процесса позволят разработать предложения по повышению функциональной надежности станции по обслуживанию путей необщего пользования.

#### **2.4 Анализ корреляционных зависимостей элементов работы грузовой станции от объема поступающего вагонопотока**

Анализ и планирование перевозок – неотъемлемая часть организации перевозочного процесса. Способность дать точный прогноз основных показателей, характеризующих деятельность предприятий как магистрального, так и промышленного транспорта, является важнейшим этапом в оценке технологических и технических возможностей переработки поступающий объем грузов. Другими словами, задача адекватного прогнозирования имеет высокую значимость.

Математическое моделирование позволяет осуществлять формализованное прогнозирование, т.е. прогнозирование, учитывающее закономерности процессов, и формирующее в итоге будущие значения исследуемого процесса [53].

Прогнозирование получило достаточно широкое развитие и на сегодняшний день количество математических моделей прогнозирования насчитывает свыше 100 классов, однако среди них много повторяющихся в разных вариациях классов.

Основные модели прогнозирования представлены на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Основные модели и методы прогнозирования с применением ЭВМ

При выборе метода прогнозирования необходимо учитывать тип исследуемого процесса, а именно: если изучаемый процесс является обратимым, то относится он стационарным или нестационарным; в случае изучения необратимого процесса, можно ли его рассматривать как эволюционный или хаотический.

Основной характеристикой обратимого процесса является постоянство отдельных статистических характеристик, которые сохраняются на протяжении всего периода наблюдения. Это позволяет прогнозировать такие процессы с применением моделей теории вероятностей и математической статистики.

При этом ошибка аппроксимации, как правило, имеет нормальный закон распределения, просто вычисляется математическое ожидание и дисперсия [83]. Оценка технических и технологических возможностей объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта невозможна без адекватного статистического анализа объемов работы станций, а именно в периоды роста грузового движения, когда транспортная система наиболее загружена.

Прежде чем переходить к прогнозированию и анализу результатов с последующей оптимизацией процесса имитации, необходимо сначала выразить корреляционную зависимость показателей, относительно которых оценивается функциональная надежность станции.

На основе выявленных в разделе 1 диссертационного исследования технических и технологических особенностей работы грузовых станций и ПНП реальная грузовая станция обладает необходимыми для анализа характеристиками: примыкание нескольких ПНП, перерабатывающих более 3 до 25 млн т брутто/год, протяженность путей до 3 км, поездной и маневровой порядок движения локомотивов, обслуживание ПНП локомотивами станции и собственными локомотивами.

Используя статистические данные за 2016 г. по обработке вагонопотока на реальной грузовой станции, построен график линейной зависимости такого процесса, представленный на рисунке 2.10.

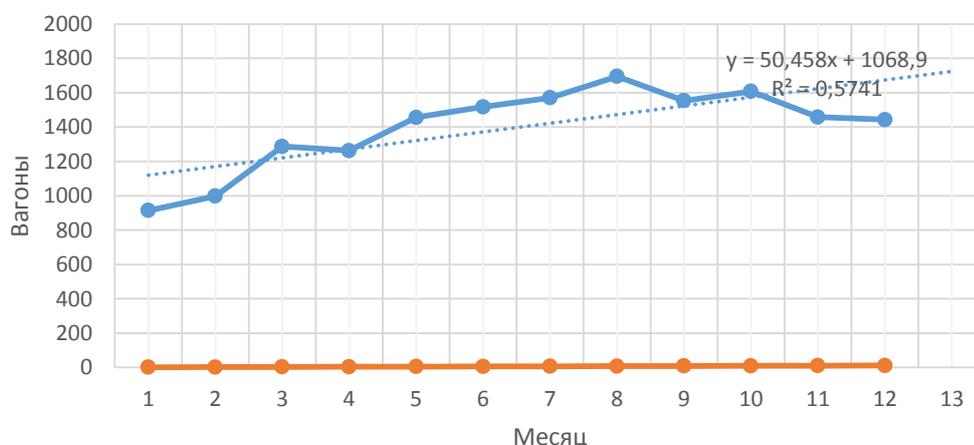


Рисунок 2.10 – Количество переработанных вагонов за 2016 г. на реальной грузовой станции ЗСЖД

Квадрат коэффициента детерминации, равный 0,5741, показывает, что количество переработанных вагонов на станции соответствует линейному характеру поведения этой системы лишь на 57 %. Аналогичные зависимости приведем для установления связи между количеством обработанных вагонов, размерами погрузки и выгрузки, рабочим парком вагонов и временем простоя вагонов на станции. Графики приведены на рисунках 2.11-2.16.

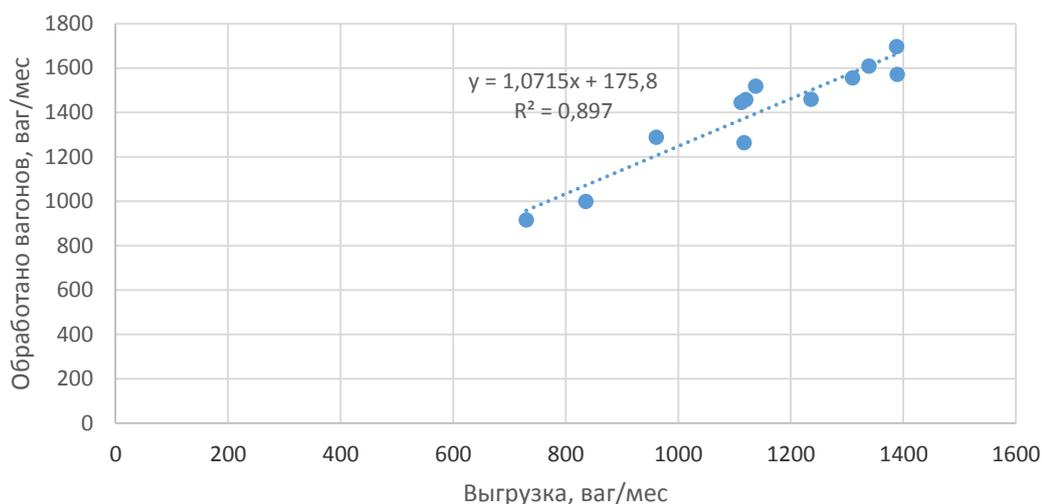


Рисунок 2.11 – Зависимость количества переработанных вагонов от объемов выгрузки

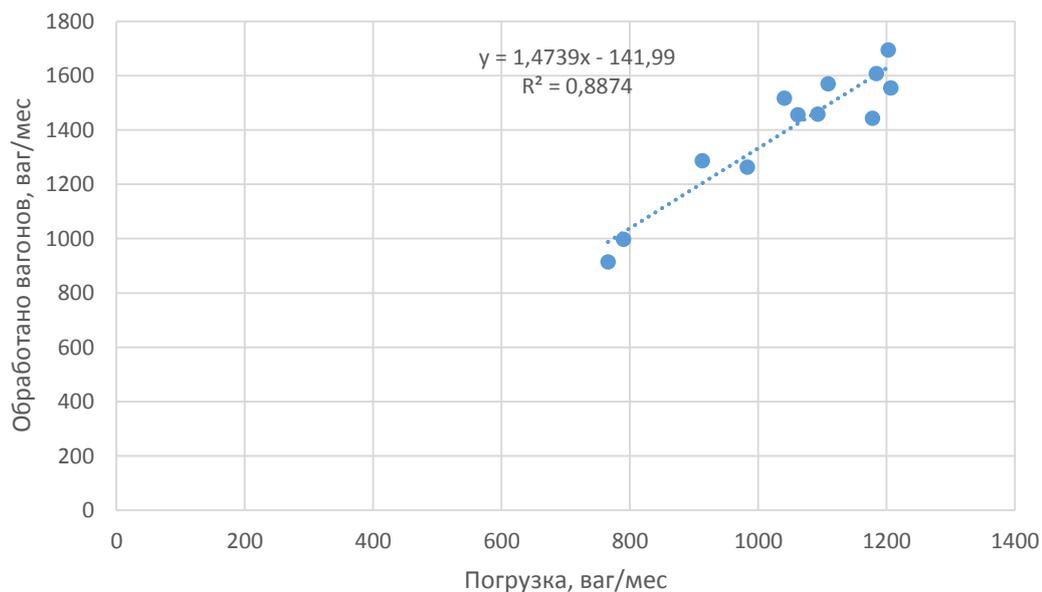


Рисунок 2.12 – Зависимость количества переработанных вагонов от объемов погрузки

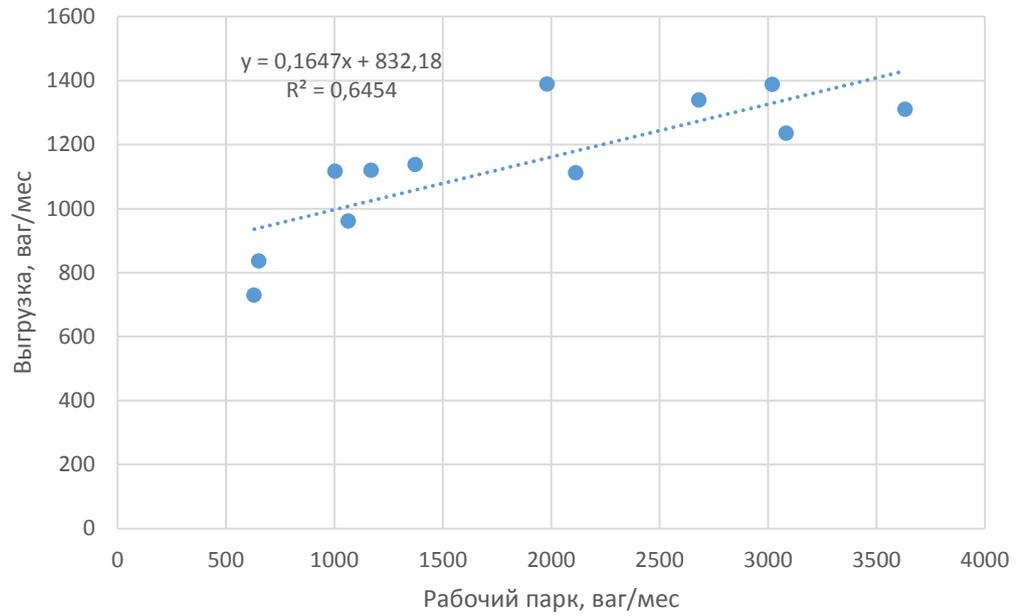


Рисунок 2.13 – Зависимость объемов выгрузки от величины рабочего парка вагонов

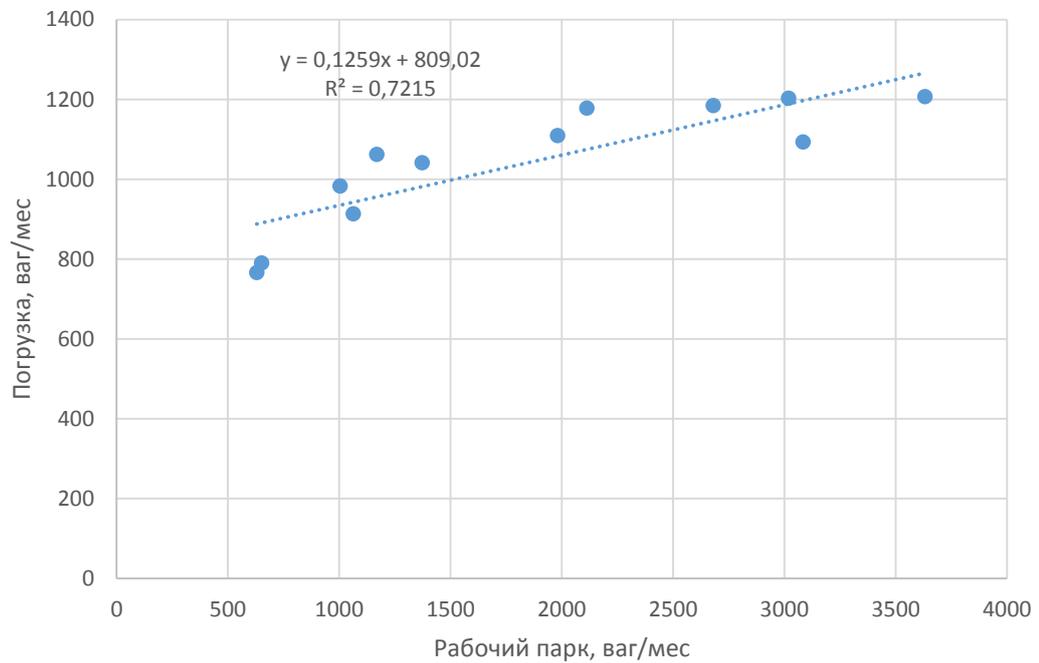


Рисунок 2.14 – Зависимость объемов погрузки от величины рабочего парка вагонов

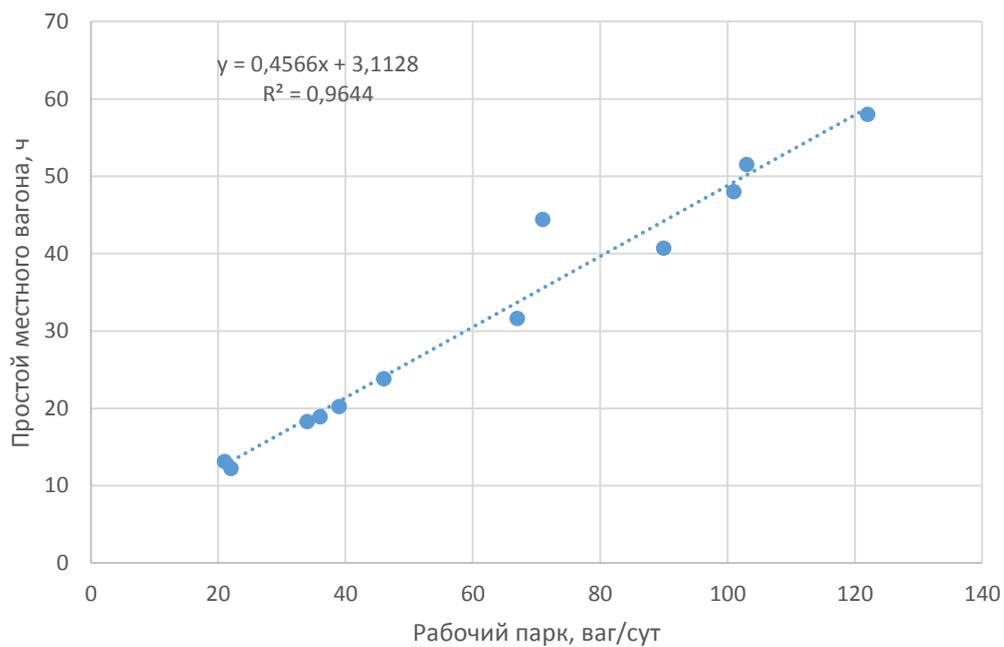


Рисунок 2.15 – Зависимость простоя местного вагона от величины рабочего парка вагонов

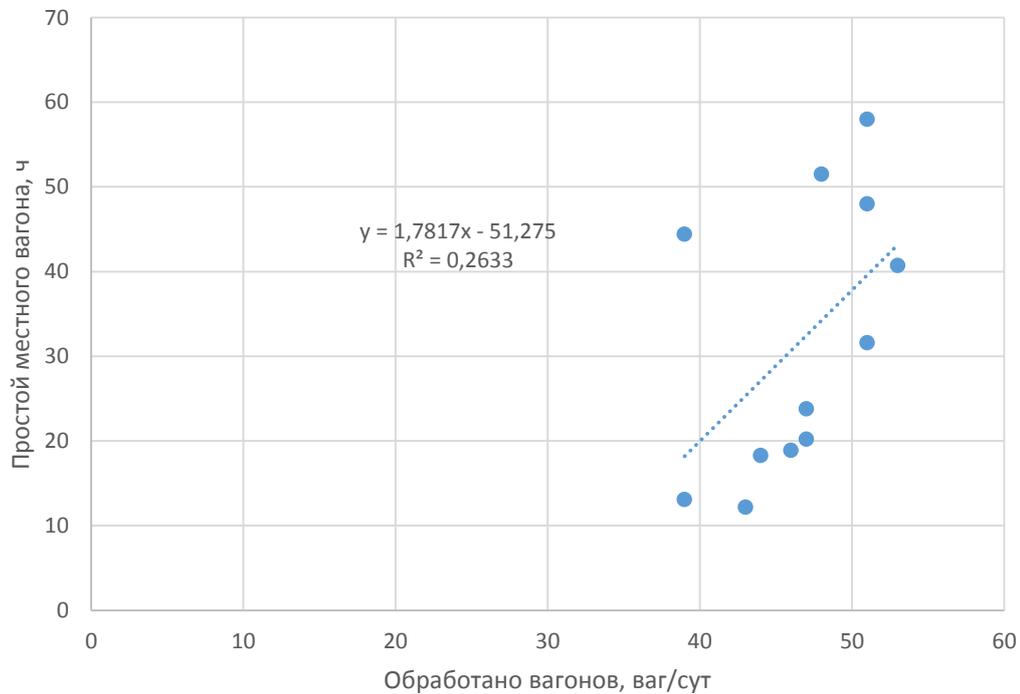


Рисунок 2.16 – Зависимость простоя местного вагона от количества переработанных вагонов

Корреляционные зависимости исследуемых величин свидетельствуют о нелинейном характере взаимосвязи между ними, что подтверждает коэффициент детерминации, составляющий в отдельном случае между простым местным вагоном на станции и количеством переработанных вагонов 0,2633. Значительные колебания потоков показывают на необходимость резерва пропускной и перерабатывающей способностей элементов станции и грузовых комплексов.

Таким образом, исследование взаимодействия отдельных элементов станционной работы позволяет определить прямые и обратные связи, влияющие на показатели функциональной надежности грузовых станций. Поведение исследуемой транспортной системы может находиться под влиянием ключевых параметров грузовой работы, что отражается характерной реакцией системы на любые воздействия. Однако математическая закономерность такого рода связей не всегда адекватно воспроизводит реальную ситуационную модель, для чего требуется детальное системно-динамическое моделирование.

## **2.5 Описание вероятностной модели поведения грузовой станции по переработке поступающего вагонопотока**

Исследованиями в области влияния количества поступающих в транспортную систему поездов на требуемое путевое развитие железнодорожных станций занимались многие отечественными и зарубежными учеными. В своих работах для установления законов распределения операционных интервалов, они использовали положения теории вероятностей и математической статистики, что позволило перейти к разработке имитационных моделей работы железнодорожных станций и узлов, описывающие технологические процессы станций и позволяющие получать более точные результаты.

Так И. Г. Тихомиров предлагал, используя результаты исследований пуассоновского распределения межпоездных интервалов, рассчитывать число станционных путей на периоды сгущенного прибытия поездов, обеспечивающее бесперебойность работы станции [98].

Для железнодорожных станций, взаимодействующих с ППП, характерна зависимость структуры и объёма поступающих вагонопотоков от условий работы станций, перерабатывающей способности мест погрузки-выгрузки, расстояний на которые необходимо подавать вагоны, при обслуживании путей необщего пользования. Указанные факторы оказывают большое влияние на неравномерность поступления поездов, как на сортировочные, так и грузовые станции, которые составляют основу транспортных узлов, поэтому необходимы дополнительные исследования этих процессов [31].

Для этого были собраны и проанализированы статистические данные о работе реальной железнодорожной грузовой станции, взаимодействующей с несколькими крупными ППП.

На рисунках 2.17-2.18 сведены данные по количеству прибывающих маршрутных поездов, имеющих в составе вагоны в адрес терминала. Распределение величин интервалов прибытия поездов соответствует следующим вероятностным законам:  $\gamma$ -распределению, распределению Эрланга не более 2-го порядка, а также пуассоновскому, нормальному и равномерному законам распределения.

Рассчитаем математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратическое отклонение известных величин прибывающего поездопотока.

1. Математическое ожидание:

$$M(x) = \sum_{i=1}^n x_i p_i = 118,3 \text{ поездов/месяц.} \quad (2.1)$$

Этот показатель дает представление, что в среднем в течение 2016 года каждый месяц на станции обработалось 118 поездов, прибытие которых осуществлялось по расписанию.

2. Дисперсия:

$$D(x) = \sum_{i=1}^n M [|X - M(x)|^2] = 6,53 \text{ поезд/месяц} \quad (2.2)$$

3. Среднеквадратичное отклонение составляет:

$$\delta = \sqrt{D(x)} = 2,56 \text{ поезд/месяц.} \quad (2.3)$$

| Месяц   | Направление      | Размеры прибытия<br>поезд/год | Вероятность<br>появления, $p$ |
|---------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Январь  | • Н - НСК        | 69                            | <b>0,084</b>                  |
|         | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|         | • О 3- НСК       | 50                            |                               |
|         | • У НСК          | 0                             |                               |
|         | • Итого          | 119                           |                               |
| Февраль | • Н - НСК        | 67                            | <b>0,081</b>                  |
|         | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|         | • О 3- НСК       | 46                            |                               |
|         | • У НСК          | 0                             |                               |
|         | • Итого          | 113                           |                               |
| Март    | • Н - НСК        | 77                            | <b>0,086</b>                  |
|         | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|         | • О 3- НСК       | 45                            |                               |
|         | • У НСК          | 0                             |                               |
|         | • Итого          | 122                           |                               |
| Апрель  | • Н - НСК        | 67                            | <b>0,082</b>                  |
|         | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|         | • О 3- НСК       | 50                            |                               |
|         | • У НСК          | 0                             |                               |
|         | • Итого          | 117                           |                               |
| Май     | • Н - НСК        | 78                            | <b>0,082</b>                  |
|         | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|         | • О 3- НСК       | 39                            |                               |
|         | • У НСК          | 0                             |                               |
|         | • Итого          | 117                           |                               |
| Июнь    | • Н - НСК        | 67                            | <b>0,082</b>                  |
|         | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|         | • О 3- НСК       | 49                            |                               |
|         | • У НСК          | 0                             |                               |
|         | • Итого          | 116                           |                               |

Рисунок 2.17 – Статистические показатели прибытия грузовых поездов на станцию И-В (январь-июнь 2016 г.)

| Месяц    | Направление      | Размеры прибытия<br>поезд/год | Вероятность<br>появления, $p$ |
|----------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Июль     | • Н - НСК        | 79                            | <b>0,085</b>                  |
|          | • Л Перев. - НСК | 4                             |                               |
|          | • О 3- НСК       | 37                            |                               |
|          | • У НСК          | 0                             |                               |
|          | • Итого          | 120                           |                               |
| Август   | • Н - НСК        | 68                            | <b>0,086</b>                  |
|          | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|          | • О 3- НСК       | 54                            |                               |
|          | • У НСК          | 0                             |                               |
|          | • Итого          | 122                           |                               |
| Сентябрь | • Н - НСК        | 59                            | <b>0,082</b>                  |
|          | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|          | • О 3- НСК       | 58                            |                               |
|          | • У НСК          | 0                             |                               |
|          | • Итого          | 117                           |                               |
| Октябрь  | • Н - НСК        | 59                            | <b>0,085</b>                  |
|          | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|          | • О 3- НСК       | 50                            |                               |
|          | • У НСК          | 12                            |                               |
|          | • Итого          | 121                           |                               |
| Ноябрь   | • Н - НСК        | 59                            | <b>0,082</b>                  |
|          | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|          | • О 3- НСК       | 48                            |                               |
|          | • У НСК          | 10                            |                               |
|          | • Итого          | 117                           |                               |
| Декабрь  | • Н - НСК        | 67                            | <b>0,083</b>                  |
|          | • Л Перев. - НСК | 0                             |                               |
|          | • О 3- НСК       | 41                            |                               |
|          | • У НСК          | 0                             |                               |
|          | • Итого          | 118                           |                               |

Рисунок 2.18 – Статистические показатели прибытия грузовых поездов на станцию И-В (июл.-дек. 2016 г.)

Эти величины характеризуют отклонение количества поступления поездов на станцию. Разброс данных относительно обработанного количества поездов при заданных параметрах работы транспортной системы составляет порядка трех составов в месяц.

Разница между плановым и фактическим количеством поступивших поездов на станцию характеризуется равномерным законом распределения, что следует из гистограммы на рисунке 2.19. Это подтверждается фактом прибытия маршрутных поездов в соответствии с расписанием: любое отклонение от фиксированного времени подхода поездов на станцию не выходит за пределы действующих нормативов.

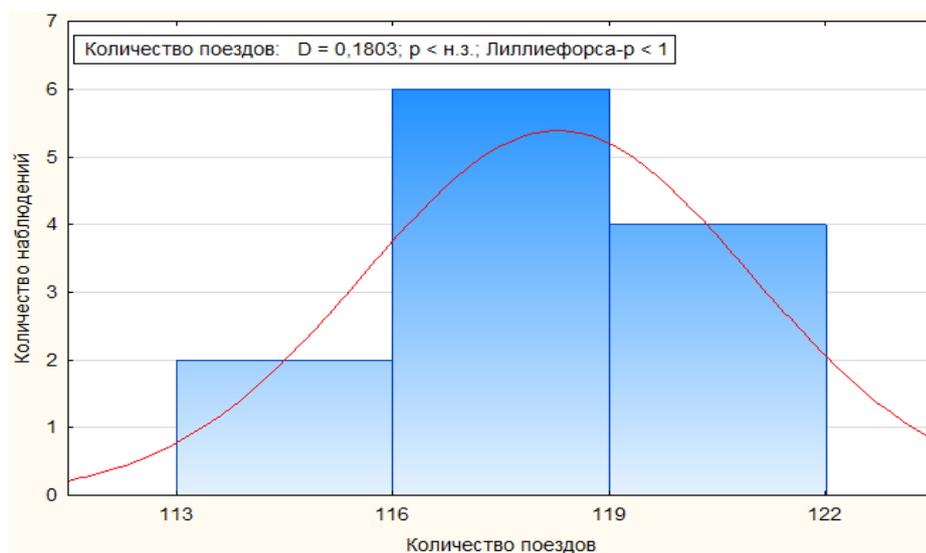


Рисунок 2.19 – Нормальное распределение поступления составов на грузовую станцию

На рисунках 2.20-2.23 представлены гистограммы соотношения частоты от интервалов прибытия составов на станцию. Из них следует, что исследуемый ряд величин имеет равномерное распределение на определенных временных интервалах: эти величины принимают значения только из этого отрезка. Согласно проанализированным данным за период 2013-2016 гг. частоты ежесуточного прибытия поездов составляют от одного до четырех в сутки.

По данным расписания прибытия поездов на реальную грузовую станцию за 2013-2016 гг. составлена гистограмма среднесуточного прибытия поездов. Распределение частот появления всех поездов на станцию в определенные временные интервалы приведено на рисунке 2.24.

Относительно имеющихся данных выявлены отклонения от времени прибытия поездов в течение одной недели: наблюдается влияние случайной величины на разброс фактического времени прибытия. Результат корреляции между двумя множествами данных двухнедельного прибытия поездов приведен на рисунке 2.25.

Проверим предположение о равномерном распределении интервалов прибытия маршрутных поездов на грузовую станцию с помощью теоремы Пирсона.

Для исследования интервалов прибытия поездов на грузовую станцию разобьем их на 20 промежутков времени.

В таблице 2.2 приведены результаты наблюдений, где  $n_i$  - число промежутков из 18 интервалов, каждому интервалу соответствует число  $i$  составов прибывших на станцию поездов, которое меняется в следующих пределах  $i = 0, 1, \dots, 17$ .

Таблица 2.2 – Статистический анализ прибытия поездов на реальную грузовую станцию

| Временной интервал, $n$                    | 0  | 1  | 2  | 3   | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15  | 16  | 17  |
|--------------------------------------------|----|----|----|-----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Число составов во временном интервале, $i$ | 85 | 96 | 77 | 101 | 0 | 15 | 45 | 48 | 48 | 54 | 33 | 49 | 84 | 92 | 80 | 111 | 185 | 101 |

В случае целочисленного распределения крайние интервалы значений выборки следует считать полубесконечными. В интервале  $i > 17$  значения и вычисления соответственно необходимо отбросить, так как данные интервалы содержат мало случаев.

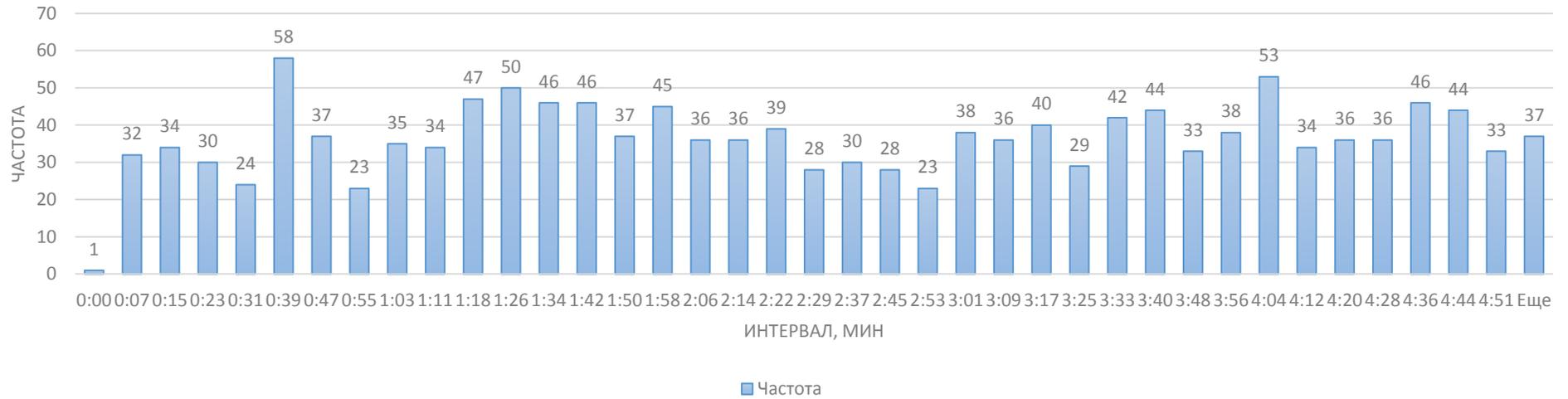


Рисунок 2.20 – Гистограмма среднесуточного прибытия маршрутных поездов в интервале от 00-00 до 07-00



Рисунок 2.21 – Гистограмма среднесуточного прибытия маршрутных поездов в интервале от 07-00 до 17-00

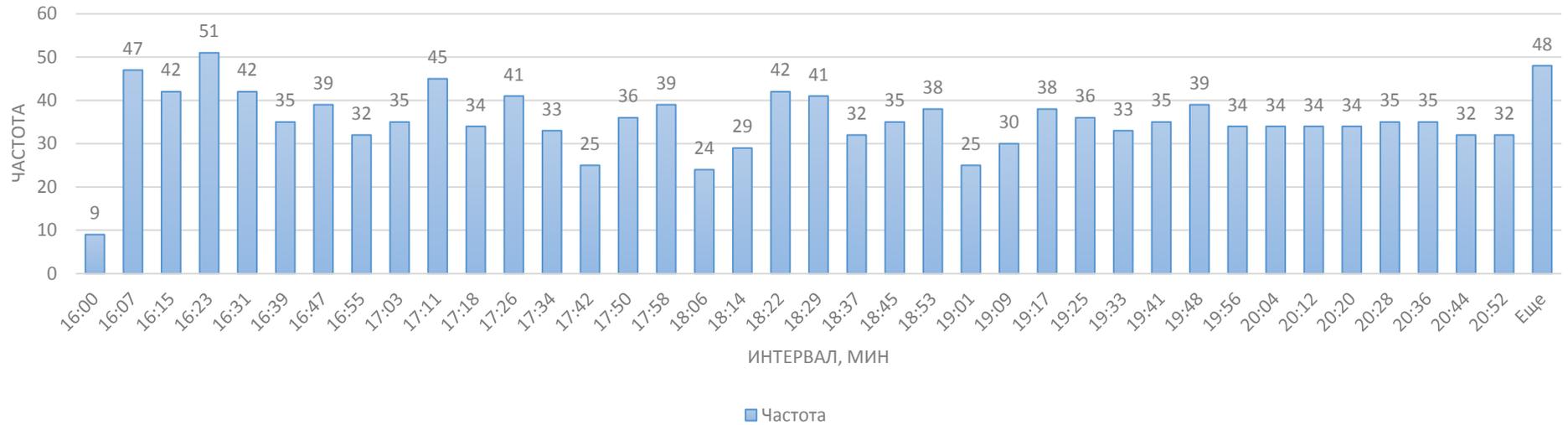


Рисунок 2.22 – Гистограмма среднесуточного прибытия маршрутных поездов в интервале от 16-00 до 23-00

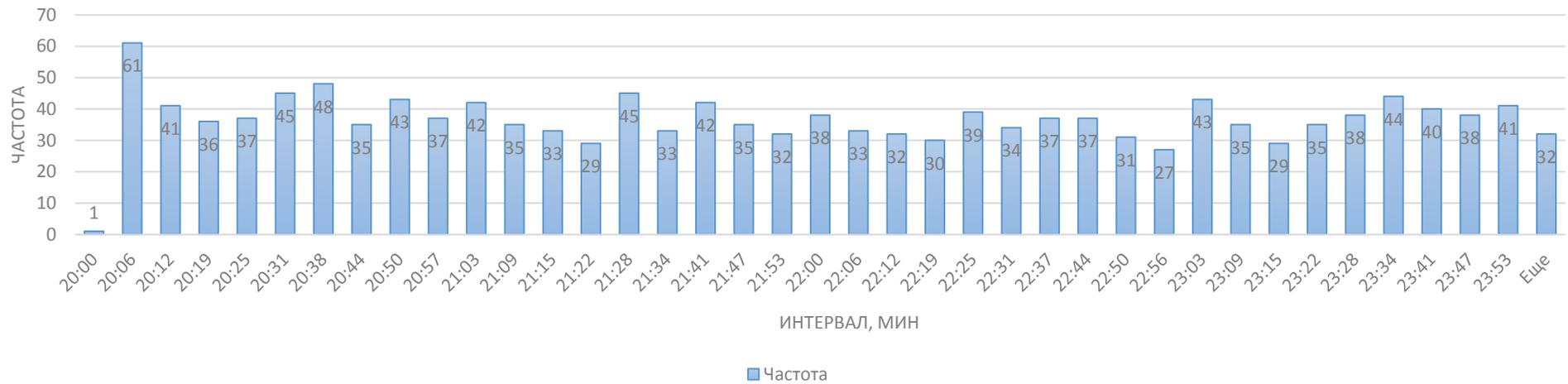


Рисунок 2.23 – Гистограмма среднесуточного прибытия маршрутных поездов в интервале от 20-00 до 24-00

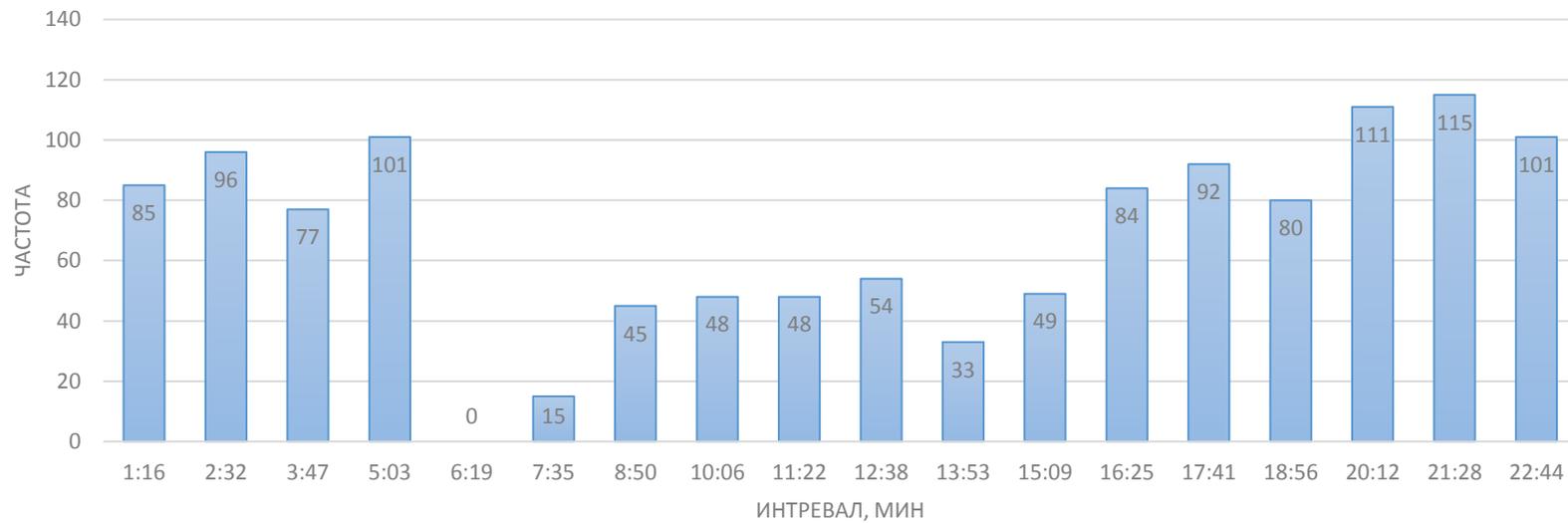


Рисунок 2.24 – Гистограмма среднесуточного прибытия всех поездов на реальную грузовую станцию за 2016 г.

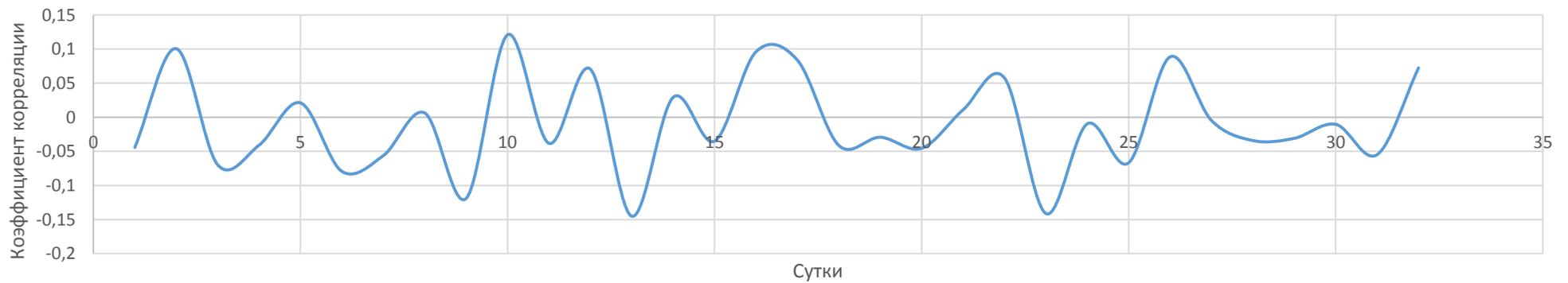


Рисунок 2.25 – Распределение появления поездов на реальной грузовой станции в течение двух первых недель января 2016 г.

На уровне значимости  $\alpha = 0,05$  проверяется гипотеза, что случайная величина  $X$  – число прибывших составов поездов на грузовую станцию во временном промежутке длительностью  $\Delta\tau$  (разность между плановым и фактическим прибытием) – подчиняется равномерному закону распределения

Число интервалов  $i$  при разбиении отрезка определяют по формуле Старджесса:

$$i = 1 + 3,32 \log_{10} n, \quad (2.4)$$

где  $n$  – число прибывших составов поездов на станцию за сутки в период с 01.01.2016 г. по 31.12.2016 г.  $i = 1 + 3,32 \lg (1419) = 11,46$  интервала, что практически совпадает с количеством интервалов на практике (в результате преобразований получено 12 интервалов времени (таблица 2.3), поскольку значение  $n_i$  в некоторых столбцах таблицы 2 меньше 50, то они были объединены с предыдущими столбцами).

Таблица 2.3 – Объединенные временные интервалы прибытия поездов на реальную грузовую станцию

| Временной интервал, $n$                    | 0  | 1  | 2  | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  |
|--------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Число составов во временном интервале, $i$ | 85 | 96 | 77 | 101 | 108 | 134 | 84 | 92 | 80 | 111 | 135 | 101 |

Таким образом, проверке подлежит гипотеза  $H_0$  – распределение выборов в данном ряде подчинено равномерному закону;  $H_1$  – распределение выборов в данном ряде отличается от равномерного.

Произведем расчет величины  $\chi^2 = \sum_{i=0}^{12} \frac{(n_i - n')^2}{n'}$ .

Теоретическая частота  $n' = 95,33$ . Результаты вычислений представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Расчет экспериментальной величины  $\chi^2_3$ 

| $i$ | $n$ | $(n_i - n')$ | $(n_i - n')^2$ | $\frac{(n_i - n')^2}{n'}$ |
|-----|-----|--------------|----------------|---------------------------|
| 0   | 85  | -15,33       | 235,01         | 2,16                      |
| 1   | 96  | -4,33        | 18,75          | 0,17                      |
| 2   | 77  | -23,33       | 544,29         | 5,01                      |
| 3   | 101 | 0,67         | 0,45           | 0,00                      |
| 4   | 108 | 7,67         | 58,83          | 0,54                      |
| 5   | 104 | 3,67         | 13,47          | 0,12                      |
| 6   | 84  | -16,33       | 266,67         | 2,45                      |
| 7   | 92  | -8,33        | 69,39          | 0,64                      |
| 8   | 80  | -20,33       | 413,31         | 3,80                      |
| 9   | 111 | 10,67        | 113,85         | 1,05                      |
| 10  | 105 | 4,67         | 21,81          | 0,20                      |
| 11  | 101 | 0,67         | 0,45           | 0,00                      |
| -   | -   | -            | -              | 16,16                     |

В методе хи-квадрат для случая сложной гипотезы статистикой критерия служит  $\chi^2_{k-l-1}$ , где  $l$  - число параметров, оцениваемых по выборке;  $k$  - максимальное значение числа  $i$ , зарегистрированное в данном эксперименте,  $k = 18$ .

Учтем, что 2 последних столбца исходной таблицы были объединены в несколько, поэтому  $k^* = k - 2 = 16$ , а также то, что неизвестное значение параметра распределения  $a$  было заменено значением его оценки, поэтому число степеней свободы равно окончательно  $k^* - 2 = 16$ .

Квантиль порядка 0,95 распределения  $X^2$  с числом степеней свободы, равным 17,

$$\chi^2_{кр} = \chi^2_{17;0.95} = 26,3. \quad (2.5)$$

Поскольку  $\chi^2_3 = 16,16 < 26,3 = \chi^2_{кр}$ , нет оснований для отклонения гипотезы  $H_0$ . Таким образом, гипотеза  $H_0$  о том, что случайная величина - количество прибывших на реальную грузовую станцию составов поездов, за промежуток времени  $\Delta t$  подчиняется равномерному закону, не противоречит результатам наблюдений и может быть принята на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

Однако распределение входящего поездопотока не является универсальной характеристикой, подходящей для получения достаточно точных результатов. Такие СМО, у которых имеется несколько аппаратов обслуживания с разными характеристиками, принято называть многофазными, что и соответствует

функционированию грузовой станции: поезда, поступающие в расформирование, сначала обрабатывают бригады ПТО, а затем расформировывают, т.е. заявка проходит несколько фаз обслуживания (рисунок 2.26).

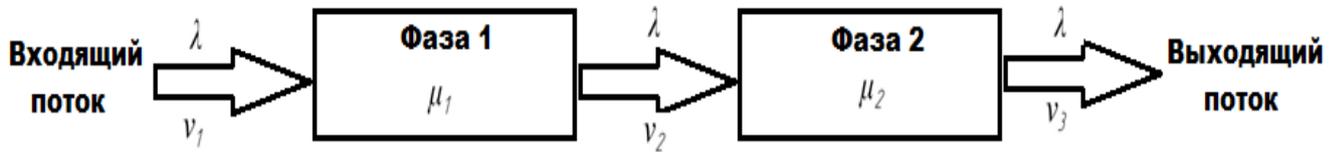


Рисунок 2.26 – Многофазная система массового обслуживания

Коэффициент  $\nu$  вариации выходящего потока определяется:

$$\nu_{\text{ВЫХ}} = \sqrt{\nu_{\text{ВХ}}^2 - \Psi^2(\nu_{\text{ВХ}}^2 - \nu_{\text{ОБ}}^2)}, \quad (2.6)$$

где  $\nu_{\text{ВХ}}$ , - коэффициент вариации входящего потока;  $\nu_{\text{ОБ}}$  - коэффициент вариации времени обслуживания;  $\Psi = \frac{\lambda}{\mu n}$  - коэффициент загрузки аппарата обслуживания (фазы).

Рассмотрим многофазную СМО с пуассоновским входящим потоком с интенсивностью  $\lambda$  и показательным распределением времени обслуживания в каждой из фаз.

Незанятость аппаратов обслуживания оценивается вероятностью, что обе фазы свободны от заявок:

$$P_{0,0} = (1 - \Psi_1)(1 - \Psi_2), \quad (2.7)$$

где  $\Psi_1, \Psi_2$  - загрузка первой и второй фазы соответственно.

Математическое ожидание числа заявок, одновременно находящихся в СМО:

$$M = \left\lfloor \frac{\Psi_1}{1 - \Psi_1} + \frac{\Psi_2}{1 - \Psi_2} \right\rfloor, \quad (2.8)$$

Определим, насколько грузовая станция готова перерабатывать существующий объем грузового движения.

В парк приема грузовой станции в переработку поступает пуассоновский поток поездов со средней интенсивностью  $\lambda = 3,0$  п./ч. Время обработки бригадой

осмотрщиков  $t_{\text{обсл}} = 25$  мин, расформирования  $t_{\text{расф}} = 40$  мин. Интенсивность обработки поездов в парке приема  $\mu_1 = \frac{60}{25} = 2,4$  п./ч. Интенсивность расформирования поездов  $\mu_2 = \frac{60}{40} = 1,5$  п./ч. Коэффициент загрузки первой фазы  $\Psi_1 = \frac{3}{2,4} = 1,25$ . Коэффициент загрузки второй фазы  $\Psi_2 = \frac{3}{1,5} = 2$ . Тогда математическое ожидание числа составов, находящихся в системе:

$$M = \left| \frac{1,25}{1 - 1,25} + \frac{2}{1 - 2} \right| = 6 \text{ составов.}$$

Вероятность отсутствия составов в парке:

$$P_{0,0} = (1 - 1,25)(1 - 2) = 0,25.$$

Таким образом, при существующих объемах работы станция не имеет затруднений в обработке поступающего вагонопотока.

Результаты, получаемые в процессе анализа поведения системы при определенных исходных данных, указывают на итог события, а не на варианты возможных изменений в ходе любых действий в отношении исследуемой системы. Другими словами – нет оптимизационных решений.

На практике четко выявляется неравномерность в прибытии местных вагонов. Их назначение, время прибытия и количество постоянно меняется. Для определения загруженности станции в целом и по конкретным технологическим линиям необходимо более детально проводить планирование и быстро реагировать на любые изменения в работе с местными вагонами [25].

При использовании аналитических методов решения сложные математические расчеты не всегда могут адекватно описывать ту или иную ситуационную модель. Численные методы, т.е. основанные на применении вычислительной техники, нивелируют сложность за счет большого количества однотипных вычислений, дающие при этом наиболее точный результат. Имитационное моделирование как сочетание теории вероятности, статистики и соответствующего программного обеспечения предполагает для получения достоверной информации многократное прохождение построенной модели с

изменением определенных параметров с последующей статистической обработкой полученных результатов.

## **2.6 Процессный подход обслуживания грузовой станции путей необщего пользования**

В рыночных условиях, где постоянными являются перемены, происходящие не линейно, а нарастающие по экспоненте, существует острая необходимость в новых инструментах и методах управления, способных помочь предприятиям стать более эффективными [37].

В соответствии с [66] одним из основных недостатков существующей системы управления ОАО «РЖД» является наличие недостаточно формализованных технологических процессов, что порождает принятие несогласованных и взаимоисключающих решений.

В связи с этим одним из принципов по устранению несогласованности оперативного и стратегического управления и планирования выступает внедрение системы управления качеством. Она подразумевает на уровне взаимодействия станций и обслуживаемых ими ПНП учет тщательного анализа информации и всесторонней оценки влияния принятых решений отдельными подразделениями ОАО «РЖД» [66].

Для предприятий железнодорожного транспорта в условиях перехода на коммерциализацию основной хозяйственной и перевозочной деятельности ОАО «РЖД», а вместе с этим и появлением значительного количества участников транспортного рынка в лице операторов подвижного состава, дополняющих и в большей степени усложняющих процесс обслуживания клиентов, требуются новые подходы к применению известных технических и организационных мероприятий по совершенствованию технологии грузопереработки и продвижению вагонного парка. Для этого требуется идентифицировать важные и основополагающие параметры всех происходящих процессов для последующего результативного и эффективного управления всей транспортной системой. На

рисунке 2.27 представлена упрощенная схема управления транспортным процессом на станции.



Рисунок 2.27 – Схема управления транспортным процессом

Взаимодействие ОАО «РЖД» как владельца железнодорожной инфраструктуры и перевозчика с владельцами железнодорожных путей необщего пользования производится согласно договорным нормам, установленным договорами на эксплуатацию железнодорожных путей необщего пользования, на подачу и уборку вагонов, заключенными в установленном порядке, а также при вагонообороте пути необщего пользования более 200 вагонов в сутки - Единым технологическим процессом работы железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (ЕТП) [67].

При разработке ЕТП необходимо учитывать рациональную организацию взаимодействия железнодорожного пути необщего пользования и станции примыкания:

- равномерность работы грузовой станции и пути необщего пользования с учетом технологии взаимодействия;
- координацию подвода и обработки вагонов со сроками на выполнение операций, графиком движения поездов и контактным графиком производственного процесса ППП;

- непрерывность технологических процессов и поточность выполнения операций на станции примыкания и железнодорожном пути необщего пользования;

- рациональное распределение работы между станцией примыкания и ПНП по подборке групп вагонов, организации технических и коммерческих операций с целью оптимального использования инфраструктуры и сокращения дублирования операций;

- совместное суточное планирование работы станций и обслуживаемых ими путей необщего пользования.

Для организации слаженной работы железнодорожного пути необщего пользования и станции примыкания ЕТП предусматривает:

- скоординированное оперативное планирование;
- взаимную информацию о предстоящей подаче вагонов, подготовке груза к погрузке и погрузке-выгрузке вагонов, имеющихся на ПНП;

- порядок обмена информацией для планирования, учета и документального оформления технических и коммерческих операций перевозочного процесса;

- обеспечение погрузки готовой продукции порожними вагонами с минимизацией непроизводительных простоев с учетом их принадлежности и технического состояния;

- своевременный вывоз готовых поездов, сформированных на ПНП и на станциях примыкания.

Для отображения характерных технологических операций, выполняемых в увязанном процессе функционирования грузовой станции и ПНП, наиболее часто используют сетевые модели. С их помощью достаточно точно устанавливается последовательность и логичность тех или иных процессов, позволяя впоследствии определить взаимосвязь между основными показателями качества обслуживания клиентов железнодорожного транспорта. Как правило, такие модели – это

графическое изображение последовательных и параллельно выполняемых технологических операций.

Сетевой график взаимодействия грузовой станции и ПНП представлен на рисунке 2.28. При построении модели были приняты следующие допущения:

- 1) грузовая станция обслуживает один ПНП;
- 2) подаче-уборка вагонов осуществляется маневровыми локомотивами на места погрузки-выгрузки при соответствующей занятости тягового подвижного состава и своевременности грузовых операций;
- 3) выполнение операций по ЕТП может вызывать непроизводительные простои, связанные с занятостью локомотивов и средств механизации и раскредитованием перевозочных документов;
- 4) не учитываются особенности путевого развития станции, из-за чего не рассматривается враждебность маршрутов передвижения;
- 5) в транспортной системе обеспечивается обслуживание автотранспорта.

При разработке модели технологические сроки оборота вагонов на пути необщего пользования включали в себя следующие операции:

- расформирование поданной группы вагонов и подгруппировка их по местам погрузки/выгрузки;
- подача вагонов на грузовые фронты и расстановка по местам погрузки/выгрузки;
- подготовительные операции;
- погрузка/выгрузка;
- в случае сдвоенных операций, перестановка к месту погрузки/выгрузки;
- уборка вагонов с грузовых фронтов;
- простои вагонов, связанные с ожиданием локомотива, накоплением, оформлением документов и др.;
- формирование;
- приведение в транспортное состояние;
- приемосдаточные операции.

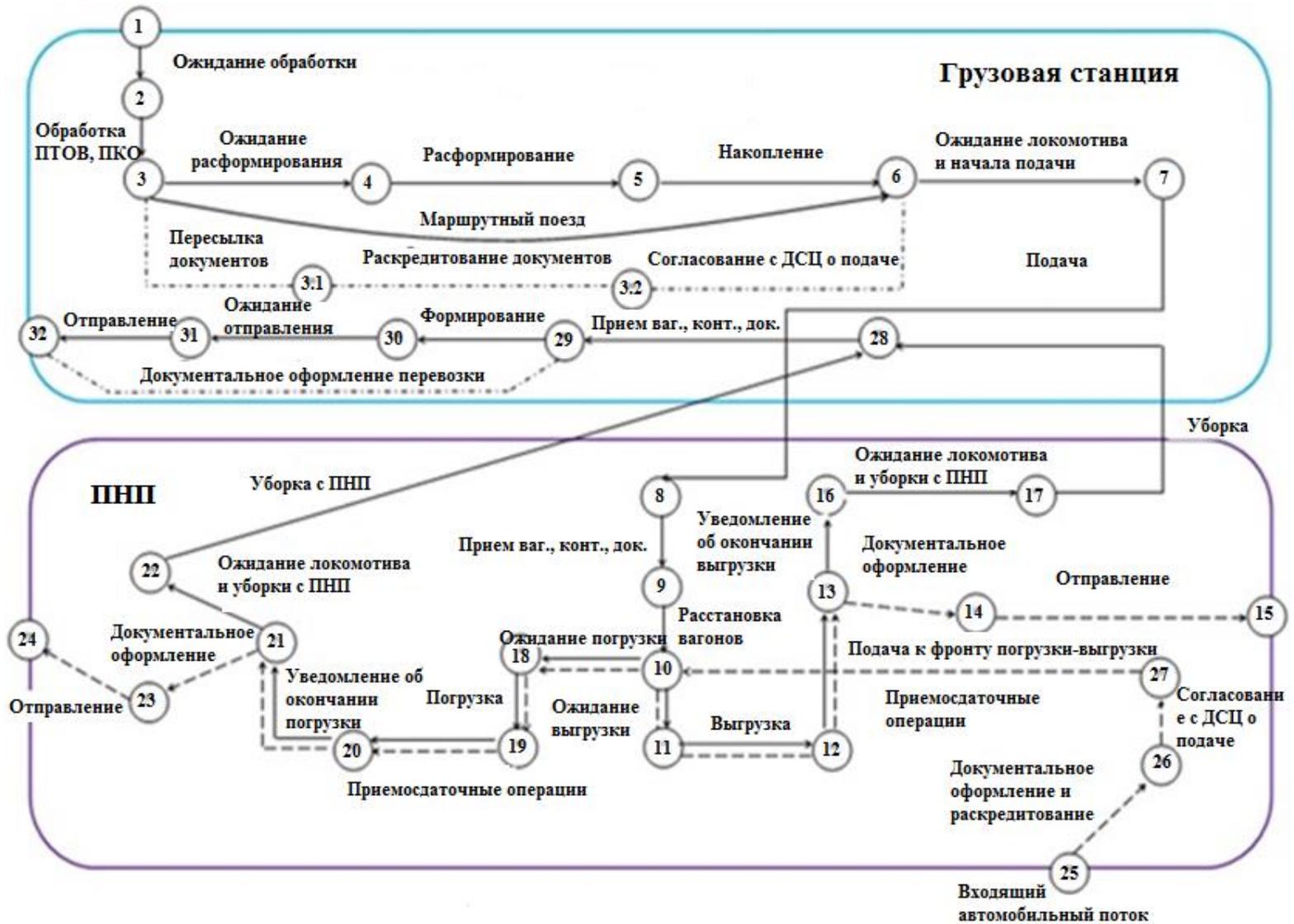


Рисунок 2.28 – Сетевой график обслуживания грузовой станцией ПНП

Развитие такой модели предполагает использование математических и аналитических методов и инструментов для отображения действительной загруженности станции, оптимизации местной работы и оценки надежности станции с учетом перспективных объемов грузопереработки.

## **Выводы по главе 2**

1. Взаимодействие грузовой станции и путей необщего пользования представляется как функционирование сложной транспортной системы с большой эксплуатационной, технологической и экономической разнородностью. Нахождение вагонов на грузовых объектах не должно быть приводить к лишним затратам, как с точки зрения технических ресурсов станции, материальных, а также временных. Поэтому важнейшей задачей по сокращению транспортных расходов является эффективное управление вагонным парком.

2. На основе анализа факторов, влияющих на эффективное продвижение вагонов на станциях, стало очевидным, что необходимо повышать функциональную надежность станций для качественного обслуживания ПНП. В системе «Грузовая станция – ПНП» существенной особенностью стала недопустимость такого состояния, при котором в нормальных условиях работы продолжительность занятия некоторых элементов превышает установленные технологические нормы. В связи с этим ожидание обслуживания заявки на таких элементах не допускается и переносится на ближайший предшествующий элемент, где задержка заявки оказывается технологически выполнимой.

3. Аналитические методы оценки поведения транспортной системы во взаимодействии со объектами станций и ПНП не способны предоставить оперативную информацию о загруженности тех или иных технологических элементов, особенно с учетом непрерывности процесса перевозок. В динамике важен не итог события, а возможность его изменить в зависимости от необходимого конечного результата. Из ряда корреляционных зависимостей (рабочий парк и объемы погрузки-выгрузки, простой местного вагона и

количество переработанных вагонов и т.д.) работы реальной грузовой станции при обслуживании крупного ППП следует, что исследуемые величины связаны между собой нелинейно. Это влияет на колебания интервалов поступления поездов на грузовые станции, что требует проведения дополнительных исследований определению функции их распределения.

4. На основе реальных статистических данных объемов работы реальной грузовой станции проверена гипотеза, что случайная величина - количество прибывших на грузовую станцию поездов за промежуток времени  $\Delta t$  подчиняется равномерному закону и соответствует результатам реальных наблюдений. Однако, распределение входящего поездопотока не является универсальной характеристикой, поэтому для оценки реальной загруженности станции при переработке вагонов требуется динамическое моделирование поведения транспортной системы.

5. Элементы сетевого планирования теории бережливого производства и менеджмента качества организаций находят все большее применение на объектах железнодорожной инфраструктуры, а именно в части продвижения вагонов на станциях. Для грузовой станции составлен сетевой график обслуживания ППП с указанием основных базисных и промежуточных операций по управлению вагонопотоком. Это позволяет упростить отображение действительной загруженности станции и определить варианты оптимизации местной работы.

### 3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ И ПУТИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

#### 3.1 Формализация процессов взаимодействия грузовой станции и пути необщего пользования

Цель моделирования работы железнодорожной грузовой станции и пути необщего пользования – оценить функциональную надежность станции, т.е. определить, способна ли железнодорожная грузовая станция при существующей технологии работы не только надежно обрабатывать имеющиеся размеры грузового движения, но и значительно возрастающие, а также оптимизировать условия, при которых возможно повышение предельного количества перерабатываемых вагонов.

Составление Единого технологического процесса работы станций примыкания и путей необщего пользования осуществляется на основе анализа их взаимного функционирования. Зачастую недетерминированный характер местной работы оказывает сильное влияние на возможности использования ресурсов станций и объектов промышленного транспорта для увеличения объемов грузового движения. Виртуальные модели любых систем не могут быть сходны объектам в полной мере, что согласно «теории подобия» объясняется различием в числе пропорциональных параметров и процессов в моделях и реальных объектах [43]. Таким образом, главное определить количество и значения тех базовых функциональных характеристик, от которых процессы в исследуемых транспортных системах будут максимально повторять друг друга. Формализованное представление задаваемых характеристик может быть представлено:

$$N_j = \{t_c, t_n, M_{\text{опт}}, \Gamma, N_{\text{план}} \dots\}, j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.1)$$

где  $N$  – максимальное количество заявок, которое может быть обработано станцией;  $j$  – уровень обслуживания, характеризуемый базовыми

функциональными характеристиками;  $n$  – количество базовых функциональных характеристик.

Среди параметров выступают:  $t_c$  – время нахождения вагонов на станциях, ч;  $t_n$  – время нахождения вагонов на путях необщего пользования, ч;  $M_{\text{опт}}$  – оптимальное количество погрузочно-выгрузочных механизмов, шт;  $\Gamma$  – оптимальный объем грузопереработки, ваг,  $N_{\text{план}}$  – количество заявок, принятых на обслуживание по плану, шт., и т.д.

Грузовая станция, работая в условиях обеспечения максимального количества вагонов к соответствующей нитки графика передаточного поезда, должна так нагружать транспортными потоками основные уровни обслуживания, чтобы перерабатывающая способность фронтов погрузки-выгрузки стремилась к максимуму, а непроизводительные простои в ожидании операций не приводили к снижению функциональной надежности станции [24, 25].

Разработанная имитационная модель взаимодействия грузовых станций и ПНП моделирует работу грузовой станции и грузовых объектов, расположенных на пути необщего пользования. Поскольку порядок поступления вагонов под погрузку-выгрузку, занятость путей станции и грузовых фронтов, погрузочно-разгрузочных механизмов и локомотивов, а также сроков обслуживания вагонов на станции и ПНП имеют стохастического характер, то степень загруженности данной системы оценивается под влиянием перечисленных неопределенностей.

При определении основных параметров рассматриваемой транспортной системы необходимо учитывать дополнительно влияние ее характеристик, связанных с нахождением вагонопотока под непроизводительными операциями в их продвижении. Общее время  $t_3$  нахождения вагонов в транспортной системе оценивается, как:

$$t_3 = \left( \sum_{j=1}^n t_j^{\text{факт}} + \sum_{i=1}^m t_i^{\text{дон}} \right) \rightarrow \min \quad (3.2)$$

где  $t_j^{факт}$  – время обслуживания вагонов, проходящих обслуживание на базовых  $j$ -уровнях, ч;  $t_i^{дон}$  – время на непроизводительные операции на  $i$ -уровнях, с учетом влияния базовых характеристик, ч.

Таким образом, максимальное количество заявок, которое грузовая станция сможет выполнить с учетом планового  $t_j^{план}$ , ч, и фактического  $t_j^{факт}$ , ч времени обработки на  $j$ -уровнях, в целом определяется:

$$N_{дон} = \frac{\sum t_j^{план}}{\sum t_j^{факт}} N_{план}, \text{ заявки/сут} \quad (3.3)$$

Поскольку за одни сутки станцией могут обслуживаться десятки клиентов, то факторы, влияющие на загруженность элементов системы, обеспечивающих формирование/расформирование, погрузку/выгрузку и т.д., должны иметь универсальный характер [31].

Вместе с этим все состояния и значения параметров не всегда одинаковы и равномерны, как это происходит в реальном времени, т.е. время на выполнения аналогичных операций может иметь значительный разброс. Однако, это не значит, что при случайном характере поведения транспортной системы ее функционирование является беспорядочным [7].

Правильно подобранные исходные данные для многократного моделирования позволят получить широкий спектр результатов, а анализ работы модели, апробация и валидация по результатам натуральных наблюдений поспособствуют выявлению и применению адекватных выводов [28].

Исследуемая транспортная система может быть также представлена в виде многоканальной системы массового обслуживания (СМО) с различными видами заявок. СМО в общем виде представлена как:

1) функционирование грузовой станции: входящий транспортный поток; поступление и учёт вагонов и контейнеров на станции (документальное оформление); ожидание выполнения маневровых операций; перестановка вагонов на ПНП; прием вагонов с грузовых фронтов ПНП; документальное оформление новых перевозок; выходящий транспортный поток (вагоны);

2) функционирование пути необщего пользования: поступление и учёт вагонов и автомобилей с грузами; ожидание грузовых операций; собственно погрузка-выгрузка; погрузка вагонов и автомобилей на грузовом комплексе (прямой вариант); ожидание маневровых операций; перестановка на грузовую станцию; выходящий транспортный поток (автомобили).

Структура рассматриваемой системы перевозок представлена на рисунке 3.1.

После описания технологии переход к формализованному представлению процесса ее функционирования в виде математической модели выполняется с использованием математического аппарата для учета воздействия внешних факторов, т.е. системное исследование взаимодействия грузовой станции и путей необщего пользования можно представить, как формализованный объект: «описательная модель + математический аппарат = имитационная модель».

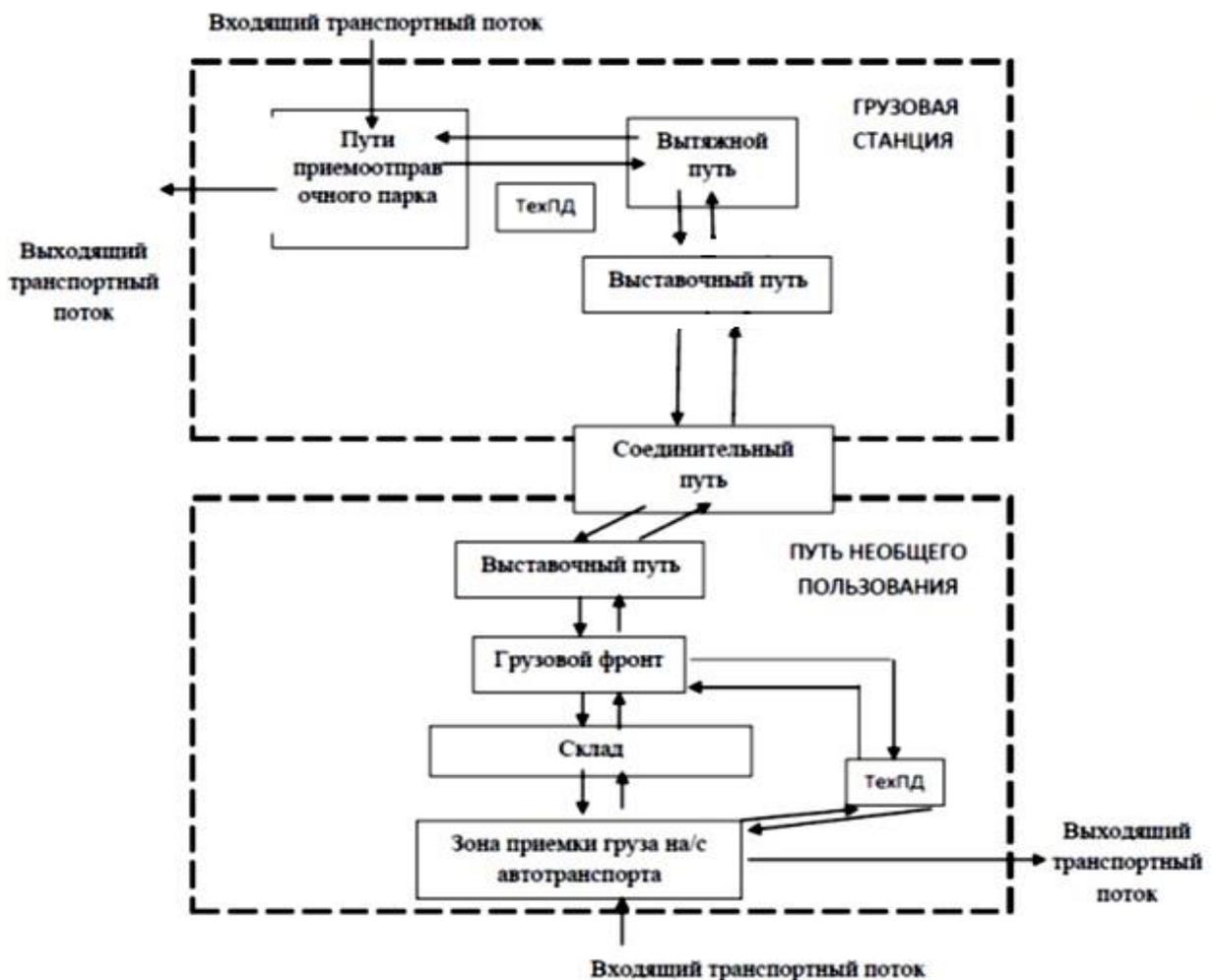


Рисунок 3.1 – Система перевозок «Грузовая станция – ПНП»

Процесс обслуживания поступающей заявки включает определенные фазы обслуживания. Каждая фаза состоит из последовательно выстроенных элементов, состоящих из простейших операций с установленным временем на их выполнение. Начальные базисные элементы отмечены  $\alpha_i$ , а конечные –  $\gamma_i$ . Все остальные фазы  $\beta_i$  являются промежуточными [74].

Базисные элементы: занятость горловин станции, приемоотправочных путей, сортировочных путей, маневровых вытяжек (на рисунке 2.25 операции от 1 до 7), т.е. загруженность технологической линии при подаче вагонов на места погрузки/выгрузки.

Конечные элементы: занятость грузовых устройств пунктов погрузки/выгрузки, маневровых устройств для формирования, сортировочных путей, приемоотправочных путей (на рисунке 2.25 операции от 8 до 32), т.е. загруженность технологической линии при отправлении составов на общую сеть железных дорог.

Промежуточные элементы: непроизводительные простои в ожидания освобождения технологических линий.

Таким образом, рассматриваемая система представляет собой цепочку состоящую из фаз, где каждая последующая фаза примыкает к предыдущей, причем каждая фаза включает в себя как базисные, так и промежуточные элементы. Один и тот же элемент системы, в зависимости от стадии обслуживания заявки, может входить в разные фазы как базисный или промежуточный.

Описать состояние исследуемой системы в конкретный момент времени  $T$  можно как с помощью входных параметров  $A$ , поскольку закономерности их воздействия на объект повсеместны, так и с использованием выходных параметров  $B$ , которые находятся в непосредственной зависимости от внутреннего состояния  $S$  объекта, т.е. положения на базисных и конечных элементах системы в процессе обслуживания заявок.

Рассматриваемую систему можно упрощенно описать как агрегативную функцию:

$$\begin{cases} Z(T_{\sigma}) = f(a_{\sigma}, y_{\sigma}, t); \\ Z(T_{\kappa}) = f(a_{\kappa}, y_{\sigma}, t). \end{cases} \quad (3.4)$$

Так как в процессе обработки заявок на промежуточных элементах возникают значительные задержки (простой вагонов), то состояние системы в конечной стадии необходимо откорректировать с учетом этих изменений:

$$\begin{cases} Z(T_{\sigma} + \Delta) = f(a_{\sigma}, y_{\sigma}, t, \Delta t); \\ Z(T_{\kappa} + \Delta) = f(a_{\kappa}, y_{\sigma}, t, \Delta t). \end{cases} \quad (3.5)$$

Адекватность воздействия каждого параметра на поведение системы целесообразно проверить на имитационной модели и определить степень воздействия каждого элемента, входящих в этот параметр.

В модели рассматриваются следующие заявки:

- 1) заявки как транспортные средства – передаточные и маршрутные поезда;
- 2) заявки на обслуживание грузовой станцией;
- 3) заявки на обслуживание грузовым пунктом.

Заявки как транспортные средства – поезда имеют следующие параметры:

- 1) «видПоезда» – код, соответствующий передаточному или маршрутному поезду;
- 2) «колГрузов» – масса грузового поезда брутто;
- 3) «врСледования» – время подачи/уборки вагонов на грузовой пункт, холостой заезд локомотива;
- 4) «разные» – параметры и технические характеристики исследуемого объекта.

Время обработки заявок в транспортной системе описывается произвольной функцией распределения. Если устройство или объект, на котором должно производиться обслуживание, занят, то возникает очередь в ожидании обработки [27, 29].

В рассматриваемой системе «Грузовая станция- ПНП» обслуживаются передаточные и маршрутные поезда, в составе которых прибывают вагоны как под погрузку, так и под выгрузку грузов. Для идентификации передаточных и маршрутных поездов применяются коды соответственно 1 и 2 в поле «видПоезда».

Для учета объема прибывающих и отправляющихся со станции с грузовых пунктов грузов используются поля, соответственно «колГрузов1» и «колГрузов2». Таким образом, осуществляется контроль входящих и выходящих грузопотоков.

Показатели системы грузоперевозок включают:

«коэфПогр1», «коэфПогр2» – доля грузовых операций (погрузка, выгрузка), приходящихся на обслуживаемый на данном грузовом пункте местный вагон;

«коэфСледования1(2)ГрПункт», «коэфСледования1(2)Станция», — отношение фактического времени подачи и уборки вагонов к/с местам погрузки/выгрузки к нормативному времени коэффициенты, соответственно прибывших в передаточных и маршрутных поездах;

«коэфПостГрПункт» – доля вагонов, поступающих на грузовой пункт, из общего количества прибывающих груженых вагонов; «ПостГрПункт» — объемы поступления груза на грузовой пункт, «всегоПостГрПункт» — количество местных вагонов, поступающих на грузовой пункт;

«коэфПостСтанция» – доля вагонов, поступающих с грузового пункта, из общего количества отправляемых груженых; «ПостСтанция» – количество поступившего груза с грузового пункта, «всегоПостСтанция» – количество местных вагонов, поступающих с грузового пункта на станцию;

«коэфПост» – количество вагонов, обработанных на грузовом пункте к общему количеству местных вагонов, переработанных станцией;

«коэфИспЛок» – занятость маневрового локомотива;

«коэфИсп2» – занятость средств механизации.

При формализованном описании транспортной модели использованы реальные исходные данные. Моделирование выполнено с допущениями, позволяющими представить ее наиболее адекватной.

Количество поездов, прибывающих на моделируемую станцию принято согласно графику движения поездов. При этом в модели представлены только следующие категории грузовых поездов: маршрутные и передаточные. Согласно технологии по прибытии поездов производится технический и коммерческий

осмотр составов, а затем подготовка к расформированию. Параллельно производится обработка перевозочных документов. Затем составы передаточных поездов расформировываются, а из составов маршрутных поездов формируют подачи для передачи на грузовой пункт, так как в них вагоны уже подобраны для одного ПНП и расформирование в данном случае не требуется. После расформирования составов передаточных поездов осуществляют формирование подач вагонов на грузовые пункты. В подачу включают количество вагонов, которое возможно подать на ПНП в соответствии с длиной фронтов погрузки/выгрузки, определенное соответствующим договором. Количество подач регламентировано временем работы грузового пункта, перерабатывающей способностью средств механизации, и вместимости фронтов погрузки-выгрузки, т.е. фактически временем на обработку одной подачи вагонов. После освобождения грузовых фронтов от предыдущей подачи, следующая группа вагонов подаются к местам погрузки/выгрузки, где производятся грузовые операции. Затем вагоны убираются на станцию, где после обработки и накопления установленного количества вагонов формируют передаточные и маршрутные поезда, отправляемые со станции на общую сеть железных дорог, согласно графику движения поездов.

Поступление грузов на грузовые пункты ПНП и вывоз грузов осуществляется как железнодорожным, так и автомобильным транспортом.

Автомобили после проверки документов следуют к месту погрузки-выгрузки. Перегружаться груз может с автомобиля в вагон и наоборот, минуя склад, т.е. по «прямому варианту» либо через склад.

Для того, чтобы модель соответствовала реальным условиям, необходимо перед началом моделирования выполнить «срез», т. е. отобразить реальную ситуацию в рассматриваемой системе с учетом занятости технологических линий, технических средств и объектов. Операции по расформированию вновь прибывших составов, формированию подач и поездов, следование со станции на грузовой пункт и обратно можно осуществлять только при свободности локомотива станции. При этом следует учесть, что локомотив может быть занят

выполнением маневровых операций по обслуживанию других путей необщего пользования, экипироваться в депо и т.д., таким образом возникают простои в ожидании обслуживания местных вагонов

Количество вагонов в подаче под грузовые операции при оптимальной величине загрузки грузовых фронтов на местах погрузки/выгрузки можно определить путем детальной проработки имитационной модели функционирования грузовой станции при обслуживании ПНП. Рабочий парк вагонов, оптимальный для функционально надежной работы, вместимость фронтов, количество путей, локомотивов, средств механизации и т.д. будет определяться моделированием и нахождением допустимых параметров. В конечном итоге технология обслуживания пути необщего пользования включает в себя такие элементы, как занятие станционных объектов, элементов подвижного состава, диспетчерского аппарата и персонала станции и ПНП, а также операции по подаче и уборке вагонов на грузовые фронты, расстановка на местах погрузки-выгрузки, грузовые операции и документальное оформление принятой заявки.

На каждой технологической линии условие необходимого времени нахождения вагонов в переработке должно также обеспечивать использование максимальной перерабатывающей способности мест погрузки-выгрузки. Анализируя статистические данные по временам обслуживания вагонов, получим занятость каждой технологической линии перерабатываемым вагонопотоком.

Аналитически время нахождения вагонов на станции можно представить в следующем виде:

$$T_{ij} = \sum_{i=1}^{K_{ij}} t_{ij}^{баз} + \sum_{i=8}^{K_{ij}} t_{ij}^{кон} + \sum \Delta t_{ij} , \quad (3.6)$$

где  $T_{ij}$  – продолжительность нахождения  $i$ -ого вагонопотока на  $j$ -ом грузовом пункте, ч;  $K_{ij}$  – количество операций в соответствии с сетевым графиком (рисунок 2.25);  $t_{ij}^{баз}$  и  $t_{ij}^{кон}$  – продолжительность нахождения на базовых и конечных элементах, ч;  $\Delta t_{ij}$  – непроизводительные простои на станции, ч.

### 3.2 Разработка и описание этапов моделирования работы грузовой станции по обслуживанию пути необщего пользования

Имитационная модель представляет собой систему динамических блоков, в которые в каждый момент времени поступают транзакты, информирующие о нахождении вагонов с грузом или без него в соответствующих сегментах и готовых к переходу от одного блока другому. Этот процесс осуществляется в соответствии с технологией работы грузовой станции. Для расчета временных интервалов нахождения вагон-транзактов в блоках модели воспользуемся статистическими данными о прибытии поездов на реальную грузовую станцию, «Нормами на выполнение маневровых операций» [58], п. 4 [82] и технологического процесса работы станции и пути необщего пользования.

*Этап 1. Прибытие поездов на грузовую станцию. Ожидание расформирования*

Анализ суточной загруженности станции и графиков исполненного движения поездов, установлено, что в среднем за сутки возможно прибытие трех передаточных, либо одного передаточного и одного маршрутного или двух маршрутных поездов. Рассмотрим случай с увеличением количества поездов: передаточных до трех в сутки и одного маршрутного, с учетом наиболее вероятного времени их прибытия. В таблице 3.1 приведено расписание прибытия поездов.

Таблица 3.1 – Расписание прибытия передаточных и маршрутных поездов

| Номер поезда | Время прибытия |
|--------------|----------------|
| 3601         | 1:28           |
| 3603         | 10:30          |
| 2001         | 16-00          |
| 3605         | 20:04          |

Обработка поезда по прибытии: треугольное распределение от 60 до 70 мин.

Моделирование процесса ожидания расформирования зависит от занятости маневрового локомотива в течение суток, приведенного в таблице 3.2.

### *Этап 2. Расформирование*

Расформирование прибывающих поездов осуществляется с занятием приемоотправочных путей, поскольку на станции отсутствуют отдельные сортировочные пути. В случае прибытия передаточного поезда происходит его расформирование, а для маршрутного – деление на отцепы для подачи на фронт погрузки-выгрузки.

Таблица 3.2 – Маневровая работа локомотива в течение суток по суточному плану графика

| Начало операций | Конец операций |
|-----------------|----------------|
| 0-40            | 6-23           |
| 6-34            | 9-11           |
| 9-53            | 10-18          |
| 10-55           | 11-15          |
| 12-52           | 13-02          |
| 13-54           | 16-10          |
| 16-45           | 22-24          |

Время операций на расформирование составов:

$$T_{\text{расф}} = A g_0 + B n_c, \quad (3.7)$$

где  $g_0$  – количество отцепов в расформировываемом составе;  $n_c$  – количество вагонов в составе;  $A$  – нормативный коэффициент в минутах на один отцеп при расформировании;  $B$  – нормативный коэффициент на один вагон при расформировании. Величины нормативных коэффициентов  $A$  и  $B$  приведены в Приложении Б.

В модели процесс расформирования принимается на выбор либо осаживанием, либо толчками. Количество вагонов в отцепках распределяется случайно.

### *Этап 3. Формирование подач на грузовой фронт*

Для подборки вагонов по грузовым фронтам определяем время на сортировку по формуле:

$$T_c = A \cdot q_n + B \cdot n_n, \quad (3.8)$$

где А, Б – нормативные коэффициенты в минутах, приведенные в таблице 3.4;  $q_n$  – количество групп в подаче;  $n_n$  – среднее количество вагонов в подаче.

При сортировке вагонов и формировании подач занимают приемо-отправочные пути и маневровый локомотив станции, далее подача вагонов на грузовые фронты осуществляется по соединительным путям собственным локомотивом ПНП, при его свободности.

#### *Этап 4. Следование со станции на грузовой пункт*

Согласно [82] время подачи вагонов на грузовой пункт определяется исходя из расстояния подачи вагонов на грузовой пункт, количества вагонов в подаче и необходимости выполнения операций по опробованию тормозов.

В Приложении Б приведены значения для соединительного пути в 1750 м.

Также необходимо учесть время на дополнительные операции: получение разрешения на выполнение маневровых операций, проход составителя, перевод стрелочных переводов, закрепление состава тормозными башмаками, что в среднем составляет порядка 20 мин на поданную группу вагонов.

#### *Этап 5. Ожидание погрузки-выгрузки*

Со станции вагоны собственным локомотивом ПНП подают на выставочные пути, после чего расставляют по грузовым фронтам в зависимости от их вместимости. На рассматриваемом грузовом объекте три места погрузки-выгрузки вместимостью, соответственно 15 вагонов, 20 вагонов и 30 вагонов. В Приложении Б приведены временные интервалы на расстановку вагонов.

*Этап 6. Погрузочно-выгрузочные операции с вагонами и автомобилями при наличии прямого варианта*

Для расчета времени простоя под грузовыми операциями поданной к каждому месту погрузки/выгрузки группы вагонов используем метод линейной интерполяции.

Для третьего грузового фронта из 10 вагонов – 60 мин, для третьего из 15 вагонов – 120 мин и для второго из 20 вагонов – 180 мин.

Также одновременно при наличии автомобилей осуществляется их погрузка-выгрузка. Средняя густота поступления автотранспорта на грузовой пункт составляет 3 маш/час.

*Этап 7. Ожидание на отправление с грузового пункта*

Время на операции по сборке вагонов с мест погрузки/выгрузки после окончания грузовых операций определяется:

$$T_{сб} = 1,8 \cdot p + 0,3 \cdot n_{сб} \quad (3.9)$$

где 1,8; 0,3 –коэффициенты, учитывающие время необходимое сборку вагонов с одного места погрузки/выгрузки;  $p$  – количество мест погрузки/выгрузки,;  $n_{сб}$  – количество вагонов, в формируемой группе.

*Этап 8. Следование с грузового пункта на станцию*

Аналогично этапу 4.

*Этап 9. Ожидание формирования и отправление*

При формировании состава на одном пути из одной группы вагонов, время на формирование определяем по формуле:

$$T_{\phi} = T_{ПТЭ} + T_{подт}, \quad (3.10)$$

где  $T_{ПТЭ}$  – время расстановки вагонов в соответствии с требованиями ПТЭ;  $T_{подт}$  – времена на подтягивание вагонов.

$$T_{ПТЭ} = B + E n_{\phi}, \quad (3.11)$$

где  $B$  –коэффициент, учитывающий дополнительное время на подбор автосцепок по осям;  $E$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на выполнение операций по расстановке вагонов согласно ПТЭ;  $n_{\phi}$  – количество вагонов в формируемом составе.

$$T_{подт} = 0,08 n_{\phi} \quad (3.12)$$

В соответствии с требованиями ПТЭ для обеспечения расстановки  $n$  вагонов, прибывших на путь накопления в течение суток, количество расцепок определяем по формуле:

$$\rho_0 = \frac{\rho}{n} n_{\phi}, \quad (3.13)$$

Нормы времени на маневровые операции, связанные с расстановкой состава, а также окончанием формирования определены в соответствии с [58].

### 3.3 Формирование модели «Грузовая станция – ППП»

Процесс моделирования поведения транспортной системы «грузовая станция – ППП» при различных технологии работы и объемах грузового движения реализован при помощи программного дистрибьютива – AnyLogic, язык программирования – Java. На рисунках 3.2 и 3.3 представлены фрагменты имитации функционирования грузовой станции и грузового пункта.

При запуске модели источники ПередПоезд и МаршрутПоезд генерируют число заявок, равное количеству передаточных и маршрутных поездов соответственно. На этом активность источников прекращается.

Эти заявки-поезда поступают на имитируемые объектами queue ПутьПриема1 и ПутьПриема2 соответственно.

Элементы hold и hold1 изначально заблокированы, поэтому заявки-поезда дальше не проходят.

Элементы hold и hold1 управляются сегментом **Поступление и учёт грузов на станции**. Как только на станции произойдет обработка вагонов по прибытию, а также проверится условие свободности маневровой вытяжки и маневрового локомотива, необходимого для начала маневровых операций по расформированию прибывших поездов, формируется команда на разблокирование элемента hold.

Заявка-поезд поступает на объект наРасформ (объект exit) и далее на сегмент **Расформирование**.

Сегмент **Поступление и учёт грузов на станции** предназначен для имитации приёма поступающих грузов, их учёта, раскредитования и формирования команды для начала расформирования.

Объект истГрузов1 генерирует заявку-партию класса ГрузПункт поступивших вагонов, число которых в составе распределено по экспоненциальному закону. Заявка-партия поступает на объект selectOutput.

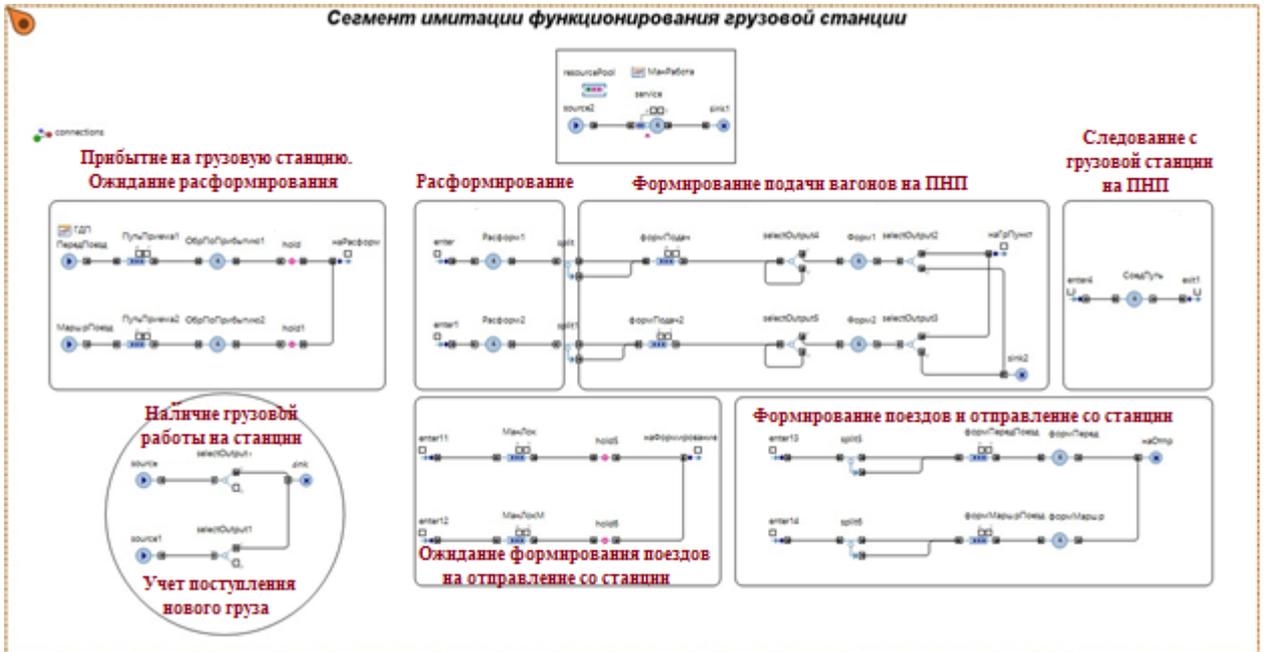


Рисунок 3.2 – Фрагмент имитации технологии работы грузовой станции

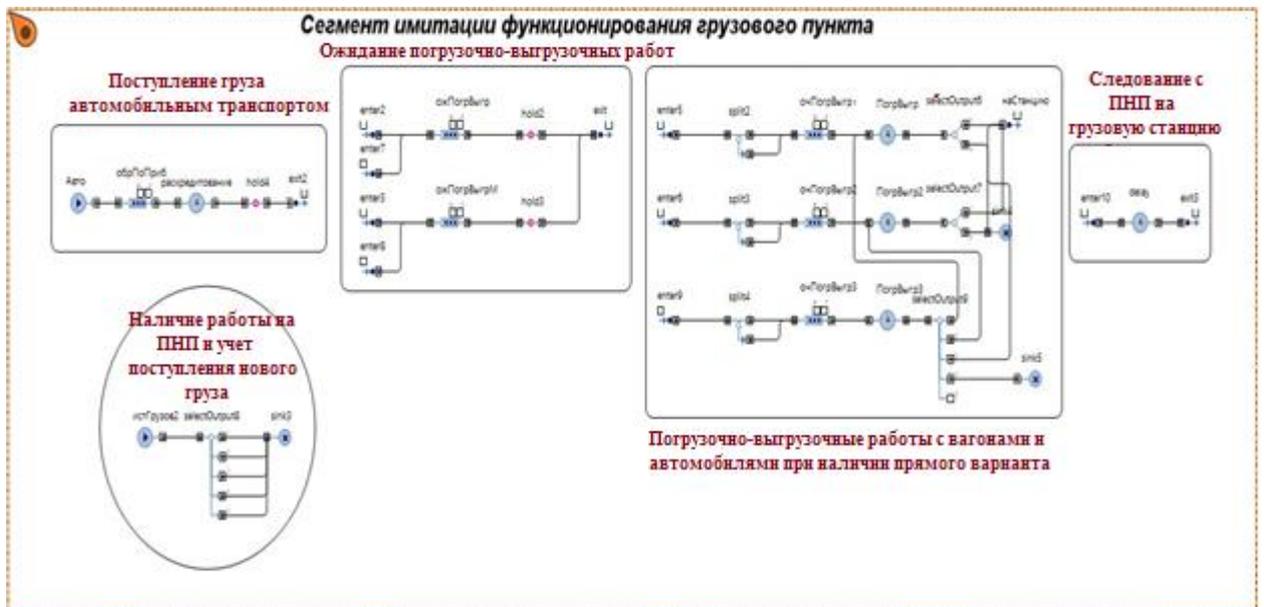


Рисунок 3.3 – Фрагмент имитации технологии работы грузового пункта

В условии 1 проверяется наличие локомотивов, свободных для выполнения маневровых операций по расформированию и формированию составов. Проверка будет осуществляться до тех пор, пока условие не выполнится.

После выполнения условия 1 проверяется условие 2, при котором вытяжной путь должен быть свободен от операций расформирования и формирования.

При выполнении условия 2 формируется команда на разблокирование элемента hold и hold1 и передаточный поезд расформировывается.

Как только в модели появляется очередная заявка-партия производится, в описанном выше порядке, серия проверок. Все заявки типа ГрузПункт выводятся из модели.

Сегмент **Расформирование** предназначен для имитации расформирования прибывших поездов и делению на отцепы маршрутные поезда для последующей подачи на маршрутный терминал.

Из сегмента **Прибытие поездов на грузовую станцию** через объект enter2 поступила заявка-поезд передаточный в объект split. Объектом split заявка размножается на число заявок, равное количеству вагонов в поезде, которые должны быть расформированы.

Таким образом, далее каждая заявка интерпретируется как заявка-вагон. Тем не менее, каждой копии присваиваются значения полей оригинала, так как после расформирования все заявки-вагоны, кроме последней, будут выведены из модели.

Заявки-вагоны занимают очередь к объекту Расформ, имитирующему непосредственно расформирование поездов и накопление вагонов на путях сортировочного парка на подачу. После объекта Расформ, заявки-вагоны входят в сегмент **Формирование подач на грузовой фронт**. Далее в объект selectOutput1.

Этот объект проверяет условие сформированы ли подачи. При выполнении этого условия последняя заявка теперь уже в качестве заявки-поезда поступит в объект наГрПункт (exit).

Из этого объекта заявка-поезд передаточный поступит в сегмент имитации **Следование со станции на грузовой пункт**.

Аналогичным образом имитируется формирование подач заявки-поезда маршрутного. Имитация начинается с поступления заявки-поезда через объект enter3 в объект split1.

Сегмент **Поступление груза автомобильным транспортом** имитирует прибытие автомобилей и их последующую обработку и документальное оформление.

Сегмент **Наличие грузовой работы на грузовом пункте** предназначен для имитации приёма поступающих от источников грузов, их учёта и формирования команды на ожидание погрузки или выгрузки.

Объект source с именем истГрузов2 генерирует заявку-партию класса ГрузТерминал поступивших контейнеров. Заявка-партия поступает на объект selectOutput6.

Сегмент **Следование со станции на грузовой пункт** предназначен для имитации подачи вагонов и контейнеров на грузовой фронт предприятия.

При поступлении передаточного поезда на станцию, т.е. в enter4 и далее в объект delay , в системе имитируется передача вагонов со станции на грузовой пункт, где вагоны будут ожидать выполнения грузовых операций , т.е. заявка-поезд переходит в следующий сегмент **Ожидание погрузки-выгрузки**.

Предположим, что поступила заявка-поезд передаточный в объект enter4 и далее в объект с именем СоедПуть (delay). Идентификатор СоедПуть означает, что объект имитирует непосредственно следование со станции на терминал, где заявка-поезд входит в сегмент **Ожидания погрузки-выгрузки**.

Сегмент **Ожидание погрузки-выгрузки** предназначен для имитации ожидания грузовых операций с вагонами, прибывших после расформирования со станции, и поступившими автомобилями.

Предположим, что поступила заявка-поезд с терминала в объект enter6. Если маневровый локомотив свободен, то разблокируется объект hold2 и заявка-поезд входит в сегмент имитации **Погрузочно-выгрузочные операции с вагонами и автомобилями**. Если прибывает маршрутный поезд, то заявка поступает в объект enter6. Далее операции выполняются в той же

последовательности, что и с передаточным поездом. Через объекты enter7 и enter8 поступают заявки-автомобили, которые также ожидают погрузки-выгрузки. Затем через объект enter9 поступают заявки-автомобили для грузовых операций, причем часть груза проходит, минуя склад.

Сегмент **Следование с грузового пункта на станцию** предназначен для имитации уборки вагонов с фронта погрузки-выгрузки терминала на грузовую станцию для формирования поездов.

Сегмент **Формирование поездов к отправлению** предназначен для имитации формирования поездов из вагонов, поступивших с терминала после грузовых операций.

Предположим, что из сегмента **Ожидание формирования на отправление** через объект enter8 поступила заявка-поезд передаточный в объект split5. Объектом split5 заявка преобразуется в заявки-вагоны их число соответствует количеству вагонов в формируемом поезде. Заявка-оригинал остается в архиве.

Далее каждая заявка рассматривается как заявка-вагон. Заявки-вагоны занимают очередь к объекту формПередПоезд, имитирующему непосредственно формирование поездов на отправление со станции.

После объекта формПередПоезд, на выходе которого ведётся счёт сформированных поездов, заявки-вагоны входят в объект selectOutput6.

Этот объект проверяет условие сформирован ли поезд. При выполнении этого условия, последняя заявка теперь уже в качестве заявки-поезда поступает в объект наОтпр (exit).

### **Выводы по главе 3**

1. В качестве объекта исследования выбрана грузовая станция, работа которой осуществляется при взаимном влиянии основных функциональных параметров обслуживания ПНП: достаточное путевое развитие, количество и занятость маневровых локомотивов, развитое складское хозяйство ПНП, рабочий парк вагонов и технология обслуживания ПНП (очередность подачи, количество

вагонов в переставляемых группах, обработка вагонов маршрутных поездов и т.д.).

2. Параметры имитации работы грузовой станции и обслуживания ПНП определены на основе отчетных и статистических данных о вагонопотоках, перерабатываемых станцией. Нормы времени на выполнение маневровых, грузовых и коммерческих операций, приняты в соответствии с технологическим процессом работы станции и ПНП. Кроме этого, согласно вероятностным моделям прибытия поездов на станцию определен нормальный закон распределения случайной величины поступающих вагонов в переработку на станцию. При этом принято допущение об отсутствии технологических сбоев, вызванных отказами технических средств.

3. При изменении транспортных потоков изменяется технология работы и структура обслуживания грузовой станцией примыкающих к ней ПНП, что затрагивает функциональные параметры ее надежной работы. Во избежание отрицательной динамика таких изменений требуется предпринимать оперативные решения по рациональному использованию ресурсов станции или технического переоснащения, соответствуя заявленным объемам грузо- и вагонопереработки,.

4. Основываясь на принципах имитационного моделирования и особенностях работы грузовых станций, воспроизведен процесс поведения транспортной системы «грузовая станция – ПНП» при различных вариантах технологии работы и объемах грузового движения на программном продукте AnyLogic, способном создать объектно-ориентированное представление перевозочного процесса.

## **4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕЕ РАБОТЫ**

### **4.1 Методика выполнения экспериментов на модели «Грузовая станция – ПНП» и анализ результатов моделирования**

Моделирование процесса обслуживания грузовой станцией путей необщего пользования осуществляется при полном повторении технологии продвижения вагонов по технологическим линиям. Вагонопоток выступает в качестве транзакта<sup>1</sup>, перемещающегося в имитационной системе из одного блока в другой по командам, выполняя условия, которых получает разрешение перехода в следующий блок. По окончании сегментов моделирования транзакт уничтожается.

Основная идея предлагаемой модели – передвижение внутри нее динамических элементов (транзактов), которые в различных ситуациях способны имитировать момент поступления каждого поезда. Транзакты определяют к какому типу относится данный поезд, а также фиксируют состояние вагонов – груженные или порожние. Модель создана таким образом, что транзакты создаются, выполняют свои функции и уничтожаются [28].

Метод объектно-ориентированного моделирования, реализованный в программе, позволяет представить грузовую станцию и ПНП в двух соответствующих сегментах «Грузовая станция» и «Путь необщего пользования», где с временным шагом последовательно рассматриваются состояния транзактов.

В модели приняты допущения:

– грузовая станция обслуживает несколько ПНП, однако «имитация работы грузового пункта» создана для обслуживания наиболее крупного из них. Учитывая, что не все вагоны, находящиеся в передаточных поездах, движутся на моделируемые грузовые пункты, вагоны-транзакты, предназначенные для других

---

<sup>1</sup> Элементы, имитирующие передвижения вагонов в модели работы станции, называют транзактами.

ПНП, определяются как доли от общего количества вагонов в указанных составах;

– количество комплексных бригад обработки прибывших и вновь отправляемых поездов считается достаточным, а задержки по времени обслуживания могут возникнуть исключительно в случаях занятости обработкой предыдущего поезда;

– вместимость складских терминалов не ограничивает работу средств погрузки-выгрузки;

– за время моделирования обеспечивается равенство прибывшего и отправляемого вагонопотока в случае, если вагоны-транзакты успевают пройти все сегменты модели [28].

Расписание движения поездов, задаваемое перед началом моделирования, отражает характер предстоящей оперативной работы. Данная модель в своей основе имеет возможность представить работу станций в реальных обстоятельствах, используя все характеристики нахождения вагонов по времени, в том числе, если превышен их нормативный срок. Именно работу грузовых станций и ПНП модель способна существенно улучшить и оптимизировать.

Единицей моделируемого времени могут быть секунды, минуты, часы и сутки, так что поведение системы на любом этапе ее функционирования можно отследить с большой точностью или наоборот достаточно укрупненно.

«Программа позволяет самостоятельно задавать следующие параметры:

- количество прибывающих передаточных и маршрутных поездов;
- количество вагонов в составе поездов;
- тип расформирования (осаживание или толчки);
- количество маневровых локомотивов;
- время прибытия поездов;
- время на грузовые операции» [28].

Анализ работы грузовой станции с учетом влияния случайных факторов лучше всего проводить при помощи имитационного моделирования. Типовая структура выполнения имитации приведена на рисунке 4.1.

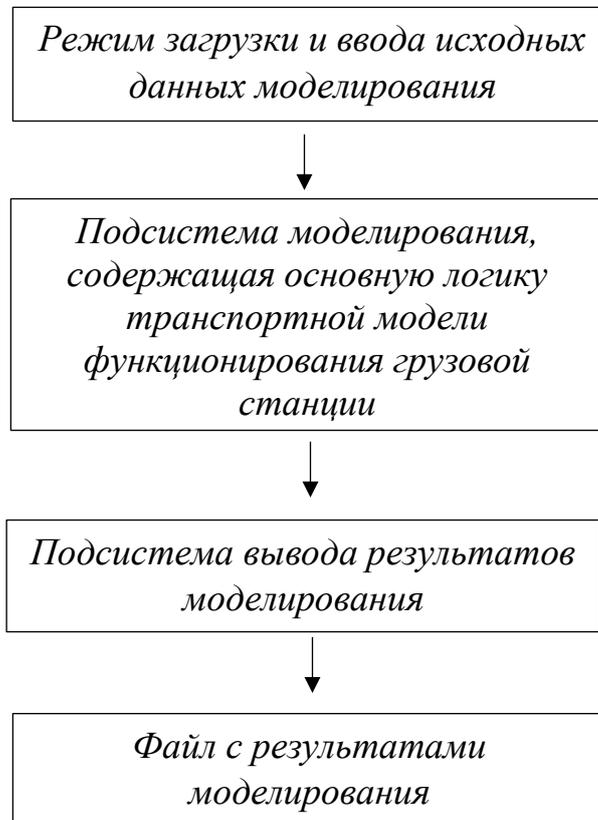


Рисунок 4.1 – Структура программного комплекса имитационного моделирования

Моделирование произведено для различных вариантов работы грузовой станции. Основные результаты сведены в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 – Эксперименты с разным количеством вагонов в составе при постоянном расписании прибытия поездов

| «Параметры и показатели»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | «Величина» |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---|
| <b>Эксперимент 1 (в поездах по 40 вагонов)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |   |
| Среднее время пребывания вагонов в системе, мин                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 777,25     |   |
| Загрузка приемоотправочных путей, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 82,3       |   |
| Загрузка маневровых локомотивов станции, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 78,9       |   |
| Загрузка маневровых локомотивов грузового пункта, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 29,8       |   |
| Число прибывающих поездов (передаточные I маршрутные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3          | 2 |
| Число отправленных поездов (передаточные I маршрутные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1          | 0 |
| <b>Эксперимент 2 (в поездах по 45 вагонов)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |   |
| Среднее время пребывания вагонов в системе, мин                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 777,25     |   |
| Загрузка приемоотправочных путей, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 83,2       |   |
| Загрузка маневровых локомотивов станции, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 79         |   |
| Загрузка маневровых локомотивов грузового пункта, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 31,2       |   |
| Число прибывающих поездов (передаточные I маршрутные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3          | 2 |
| Число отправленных поездов (передаточные I маршрутные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1          | 0 |
| <b>Эксперимент 3 (в поездах по 50 вагонов)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |   |
| Среднее время пребывания вагонов в системе, мин                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 868,25     |   |
| Загрузка приемоотправочных путей, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 87         |   |
| Загрузка маневровых локомотивов станции, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 78,9       |   |
| Загрузка маневровых локомотивов грузового пункта, %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 33,4       |   |
| Число прибывающих поездов (передаточные I маршрутные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3          | 2 |
| Число отправленных поездов (передаточные I маршрутные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1          | 0 |
| <p><i>Примечание:</i> за время моделирования, равное одним суткам виртуального времени, на станции с учетом существующей технологии ее работы возможно переработать количество вагонов только для формирования одного состава. Все остальные прибывающие поезда принимаются на свободные приемоотправочные пути вплоть до полного их заполнения, остальные стоят «по неприему». Таким образом, из-за высокой загрузки станционных путей необходима корректировка времени прибытия в расписании движения поездов» [28].</p> |            |   |

Таблица 4.2 – Эксперименты со случайным количеством вагонов в составе при различных интервалах прибытия поездов

| «Параметры и показатели                                | Величина |    |
|--------------------------------------------------------|----------|----|
| <b>Эксперимент 4 (интервал прибытия 100 мин)</b>       |          |    |
| Среднее время пребывания вагонов в системе, мин        | -        |    |
| Загрузка приемоправочных путей, %                      | 98       |    |
| Загрузка маневровых локомотивов станции, %             | 91,4     |    |
| Загрузка маневровых локомотивов грузового пункта, %    | 54,8     |    |
| Число прибывающих поездов (передаточные I маршрутные)  | 21       | 7  |
| Число отправленных поездов (передаточные I маршрутные) | 0        | 0  |
| <b>Эксперимент 5 (интервал прибытия 300 мин)</b>       |          |    |
| Среднее время пребывания вагонов в системе, мин        | 949,25   |    |
| Загрузка приемоправочных путей, %                      | 98       |    |
| Загрузка маневровых локомотивов станции, %             | 86,8     |    |
| Загрузка маневровых локомотивов грузового пункта, %    | 50,9     |    |
| Число прибывающих поездов (передаточные I маршрутные)  | 6        | 4  |
| Число отправленных поездов (передаточные I маршрутные) | 1        | 0  |
| <b>Эксперимент 6 (интервал прибытия 600 мин)</b>       |          |    |
| Среднее время пребывания вагонов в системе, мин        | 718,09   |    |
| Загрузка приемоправочных путей, %                      | 84,9     |    |
| Загрузка маневровых локомотивов станции, %             | 76,7     |    |
| Загрузка маневровых локомотивов грузового пункта, %    | 42,5     |    |
| Число прибывающих поездов (передаточные I маршрутные)  | 4        | 2  |
| Число отправленных поездов (передаточные I маршрутные) | 1        | 0  |
| <b>Эксперимент 7 (интервал прибытия 800 мин)</b>       |          |    |
| Среднее время пребывания вагонов в системе, мин        | 816,17   |    |
| Загрузка приемоправочных путей, %                      | 82,3     |    |
| Загрузка маневровых локомотивов станции, %             | 65       |    |
| Загрузка маневровых локомотивов грузового пункта, %    | 44,4     |    |
| Число прибывающих поездов (передаточные I маршрутные)  | 3        | 1  |
| Число отправленных поездов (передаточные I маршрутные) | 1        | 1» |

Окончание таблицы 4.2.

| «Параметры и показатели                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Величина |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <p><i>Примечание:</i> при изменении интервала прибытия поездов, но при сохранении технологии работы станции высокая загрузка приемоотправочных путей и маневровых локомотивов ограничивает количество максимально обработанных вагонов. Из-за занятости станционных устройств невозможен прием всех планируемых поездов, что приводит к занятию перегона. При увеличении интервала существенно снижается загрузка объектов станции, а количество переработанных вагонов становится достаточным для формирования двух составов» [28].</p> |          |

Уровень функциональной надежности грузовой станции в контексте суточного пропуска поездов проанализирован в ходе экспериментов с моделью. В условиях разного количества вагонов в прибывающих поездах и корректировки интервала прибытия поездов на станцию были определены основные эксплуатационные показатели при существующей технологии работы. Подтверждение экспериментальных данных зафиксировано реальными статистическими и отчетными данными функционирования реальной грузовой станции ЗСЖД.

Для проверки адекватности результатов имитации функционирования грузовой станции на модели «Грузовая станция – ПНП» с данными натурных наблюдений используется  $F$ -критерий для оценки разности между дисперсиями двух генеральных совокупностей. Для проверки равенства двух дисперсий в критерии используется  $F$ -статистика, вычисляемая по формуле:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (4.1)$$

где  $S_1^2$  – дисперсия выборки из первой генеральной совокупности,  $n_1$  – объем выборки, извлеченной из первой генеральной совокупности (100 наблюдений),  $S_2^2$  – дисперсия выборки из второй генеральной совокупности,  $n_2$  – объем выборки, извлеченной из второй генеральной совокупности (120 наблюдений),  $n_1-1$  – количество степеней свободы числителя,  $n_2-1$  – количество степеней свободы знаменателя.

Выборка осуществляется на основе данных натуральных наблюдений (первая генеральная совокупность) и имитационного моделирования (вторая генеральная совокупность) о среднем времени нахождения вагонов в системе «Грузовая станция – ППП». Эта проверка основана на исследовании их отношения, т.е. если каждая генеральная совокупность является нормально распределенной, то отношение  $S_1^2/S_2^2$  подчиняется  $F$ -распределению. При заданном уровне значимости  $\alpha$  нулевая и альтернативная гипотезы имеют вид:  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ,  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ . Если  $F$  больше верхнего критического значения или меньше нижнего критического значения из  $F$ -распределения с 99 степенями свободы в числителе и 119 степенями свободы в знаменателе, то нулевая гипотеза отклоняется.

При уровне значимости  $\alpha = 0,05$  верхнее критическое значения  $F$ -распределения составляет  $F(0,975;99;119) = 1,456$ ; нижнее критическое значения  $F$ -распределения -  $F(0,025;99;119) = 0,682$ .

Двухвыборочный  $F$ -тест для дисперсии представлен на рисунке 4.2.

|    | <i>Натурные наблюдения</i>                                            | <i>Имитационное моделирование</i> |           |
|----|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| 3  |                                                                       |                                   |           |
| 4  | Среднее                                                               | 837,198                           | 831,304   |
| 5  | Дисперсия                                                             | 26458,596                         | 27208,726 |
| 6  | Наблюдения                                                            | 100,000                           | 120,000   |
| 7  | df                                                                    | 99,000                            | 119,000   |
| 8  | F                                                                     | 0,972                             |           |
| 9  | P(F<=f) односторонне                                                  | 0,445                             |           |
| 10 | F критическое одност                                                  | 0,726                             |           |
| 11 |                                                                       |                                   |           |
| 12 | Верхний $\alpha/2$ -квантиль F-распределения с n1-1 и n2-1 ст.свободы | 0,682                             |           |
| 13 | Нижний $\alpha/2$ -квантиль F-распределения с n1-1 и n2-1 ст.свободы  | 1,456                             |           |

Рисунок 4.2 - Расчет  $F$ -статистики с помощью Пакета анализа (MS Excel)

Поскольку  $0,682 < F = 0,972 < 1,456$ , нет оснований отклонять нулевую гипотезу. Таким образом, сходимость результатов моделирования и реальных наблюдений времени нахождения вагонов в системе «Грузовая станция – ППП» обладает практически одинаковой изменчивостью как в одной генеральной совокупности, так и в другой. Следовательно, можем сделать вывод об

адекватности разработанной имитационной модели «Грузовая станция – ПНП» исследуемому процессу.

На основе результатов множественного ежедневного моделирования можно получить данные об изменении надежности станции, когда параметры выполнения операций станции изменяются. Необходимо проверять поведение исследуемой системы при изменении таких параметров, как количество путей приема, время обработки составов и их расформирования, количество маневровых локомотивов и их загруженность, продолжительность грузовых операций, время формирования поездов для отправления и рабочего парка вагонов.

Результаты анализа были взяты как среднее для 10 экспериментов ежедневного моделирования по каждому изученному параметру. В то же время максимальное количество вагонов, одновременно подаваемых на ПНП, составляет 45. Из-за того, что длина очереди в модели не контролировалась, задержки в обслуживании возникли из-за неравномерной работы станций и ПНП. На основе выполненной модели можно определить основные показатели, такие как время простоя вагонов, ожидающих погрузки/выгрузки, загрузку локомотива, незанятость грузовых фронтов и т. д. и оптимизировать работу предприятия на основании результатов экспериментов. Результаты моделирования сведены в таблицу 4.3, а также сделаны графически и представлены для иллюстрации поведения системы при изменении ключевых параметров на рисунке 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты моделирования при изменении параметров модели функционирования грузовой станции

| Наименование параметра                             |                     | Значение параметра          |       | Среднее время пребывания вагонов в системе |       | Загрузка маневровых локомотивов |       | Загрузка приемоотправочных путей |       | Загрузка локомотивов грузового пункта |       | Количество переработанных вагонов, ваг |       |        |
|----------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------|--------------------------------------------|-------|---------------------------------|-------|----------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|----------------------------------------|-------|--------|
| Количество приемоотправочных путей                 |                     | 3                           |       | 777,25                                     |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,30                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 4                           |       | 716,18                                     |       | 0,83                            |       | 0,69                             |       | 0,31                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 5                           |       | 677,16                                     |       | 0,92                            |       | 0,44                             |       | 0,358                                 |       | 150                                    |       |        |
|                                                    |                     | 6                           |       | 677,4                                      |       | 0,92                            |       | 0,37                             |       | 0,367                                 |       | 150                                    |       |        |
|                                                    |                     | 7                           |       | 676,9                                      |       | 0,91                            |       | 0,32                             |       | 0,357                                 |       | 150                                    |       |        |
| Время обработки в парке прибытия, мин              |                     | 40                          |       | 755,25                                     |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 50                          |       | 868,25                                     |       | 0,89                            |       | 0,79                             |       | 0,34                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 60                          |       | 771,25                                     |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 70                          |       | 779,25                                     |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 80                          |       | 793,25                                     |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
| Расформирование                                    | Тип расформирования | Количество вагонов в отцепе | Осаж. | Толчки                                     | Осаж. | Толчки                          | Осаж. | Толчки                           | Осаж. | Толчки                                | Осаж. | Толчки                                 | Осаж. | Толчки |
|                                                    |                     |                             | 3     | 747,5                                      | 779,3 | 0,8                             | 0,83  | 0,61                             | 0,79  | 0,31                                  | 0,3   | 150                                    | 45    |        |
|                                                    |                     |                             | 5     | 775,3                                      | 773,3 | 0,8                             | 0,82  | 0,79                             | 0,79  | 0,3                                   | 0,3   | 45                                     | 45    |        |
|                                                    |                     |                             | 7     | 779,3                                      | 775,3 | 0,83                            | 0,83  | 0,79                             | 0,79  | 0,3                                   | 0,3   | 45                                     | 45    |        |
|                                                    |                     |                             | 10    | 777,25                                     | 771,3 | 0,83                            | 0,83  | 0,79                             | 0,79  | 0,3                                   | 0,3   | 45                                     | 45    |        |
| 12                                                 | 775,25              | 689,3                       | 0,83  | 0,79                                       | 0,79  | 0,76                            | 0,32  | 0,25                             | 45    | 45                                    |       |                                        |       |        |
| Количество локомотивов, лок                        |                     | 1                           |       | 772,5                                      |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 2                           |       | 685,4                                      |       | 0,5                             |       | 0,42                             |       | 0,24                                  |       | 210                                    |       |        |
|                                                    |                     | 3                           |       | 576,5                                      |       | 0,41                            |       | 0,4                              |       | 0,2                                   |       | 255                                    |       |        |
| Время выполнения грузовых операций, мин            |                     | 150                         |       | 845,1                                      |       | 0,89                            |       | 0,78                             |       | 0,32                                  |       | 150                                    |       |        |
|                                                    |                     | 180                         |       | 777,25                                     |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 220                         |       | 816,06                                     |       | 0,82                            |       | 0,64                             |       | 0,34                                  |       | 150                                    |       |        |
|                                                    |                     | 250                         |       | 1039,25                                    |       | 0,91                            |       | 0,77                             |       | 0,35                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 360                         |       | 1440                                       |       | 0,98                            |       | 0,75                             |       | 0,4                                   |       | 0                                      |       |        |
| Время формирования составов на отправление, мин    |                     | 50                          |       | 811,25                                     |       | 0,87                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 80                          |       | 837,25                                     |       | 0,87                            |       | 0,79                             |       | 0,31                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 110                         |       | 867,25                                     |       | 0,89                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 150                         |       | 911,25                                     |       | 0,9                             |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 170                         |       | 927,25                                     |       | 0,9                             |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |
| Количество вагонов в подаче на грузовой пункт, ваг |                     | 10                          |       | 1085,25                                    |       | 0,98                            |       | 0,81                             |       | 0,52                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 15                          |       | 1039,3                                     |       | 0,92                            |       | 0,83                             |       | 0,35                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 20                          |       | 789,34                                     |       | 0,83                            |       | 0,78                             |       | 0,28                                  |       | 105                                    |       |        |
|                                                    |                     | 30                          |       | 771,25                                     |       | 0,8                             |       | 0,79                             |       | 0,29                                  |       | 45                                     |       |        |
|                                                    |                     | 35                          |       | 777,25                                     |       | 0,83                            |       | 0,79                             |       | 0,3                                   |       | 45                                     |       |        |

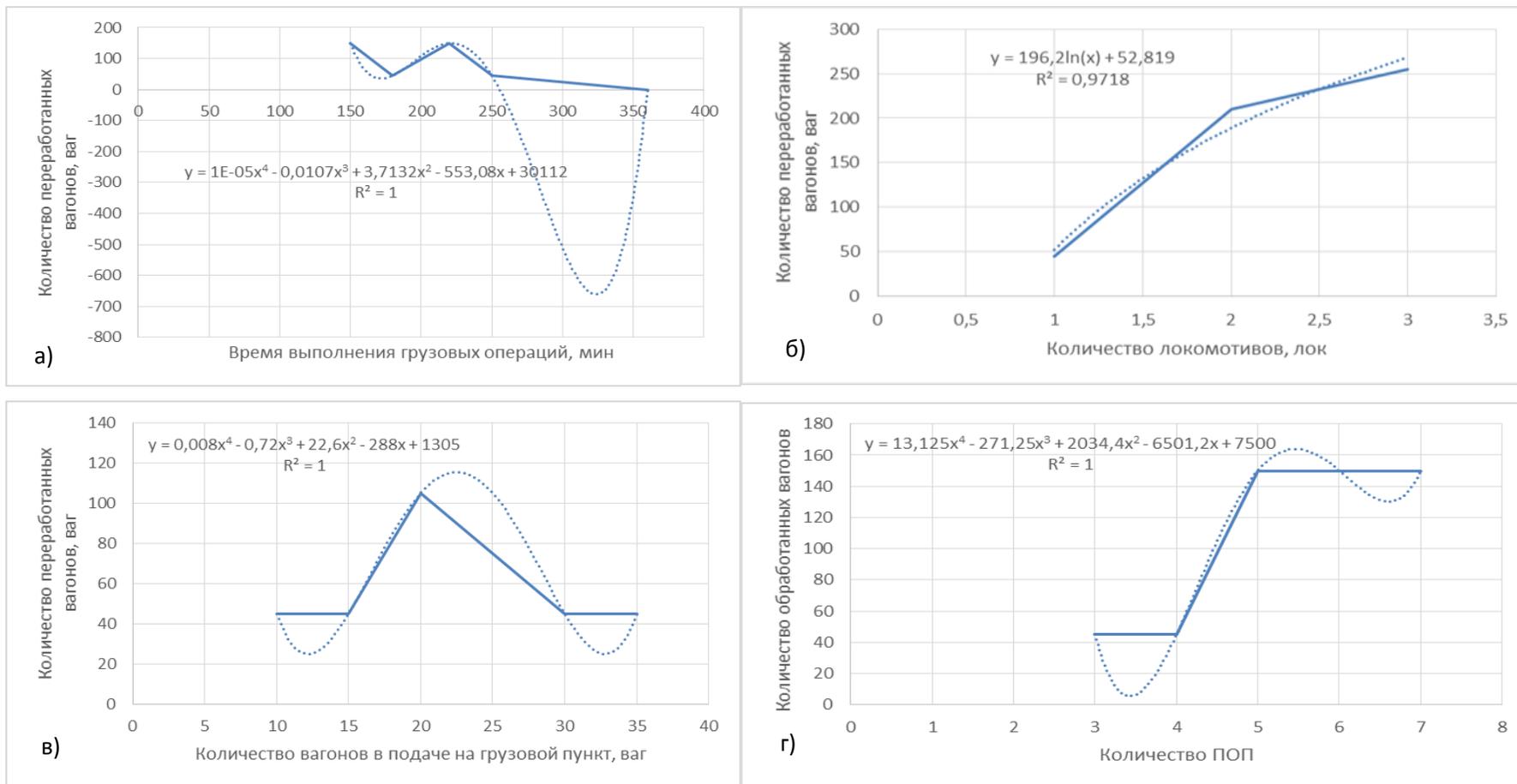


Рисунок 4.3 – Зависимости количества переработанных вагонов от: а) времени выполнения грузовых операций с вагонами; б) количества маневровых локомотивов; в) количества вагонов в подаче; г) количества приемоотправочных путей

Приведенные корреляционные зависимости указывают, что связь между исследуемыми величинами нелинейна. Поведение грузовой станции как транспортной системы обслуживания ПНП повторяет случайный процесс их совместной работы, а изучение воздействия отдельных показателей их работы на соответствующее характерное поведение транспортной системы может быть математически закономерно, но не может действительно отражать реальную ситуацию [28].

Результаты многочисленных экспериментов на модели показывают, что на количество обработанных вагонов оказывает серьезное влияние, при прочих равных условиях, количество одновременно используемых маневровых локомотивов и путей станции, их загрузка в течение дня, а также как размер рабочего парка вагонов, оптимальная загрузка средств механизации на грузовых фронтах и количество вагонов в подаче.

Принимая во внимание эти особенности транспортной системы «Грузовая станция - ПНП», для определения функциональной надежности грузовой станции были проведены еще два эксперимента (№1 и №2): в эксперименте №1 размеры входящего потока считаются существующими с учетом их случайного прибытия, а в эксперименте №2 они увеличены по сравнению с существующими размерами прибытия. Результаты приведены в табл. 4.4-4.5 и на рисунках 4.4-4.5.

Таблица 4.4 – Многосуточный эксперимент № 1 с имитационной моделью

| Исходные данные: количество локомотивов<br>- 1, приемоотправочных путей - 3. | Период моделирования, сут. |    |    |    |    |     |     |    |    |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|
|                                                                              | 1                          | 2  | 3  | 4  | 5  | 6   | 7   | 8  | 9  | 10 |
| Количество переработанных вагонов на<br>станции (ваг./сут)                   | 45                         | 90 | 45 | 45 | 45 | 90  | 90  | 90 | 90 | 45 |
| Входящий вагонопоток (ваг.)                                                  | 120                        | 70 | 20 | 55 | 48 | 100 | 110 | 45 | 62 | 55 |

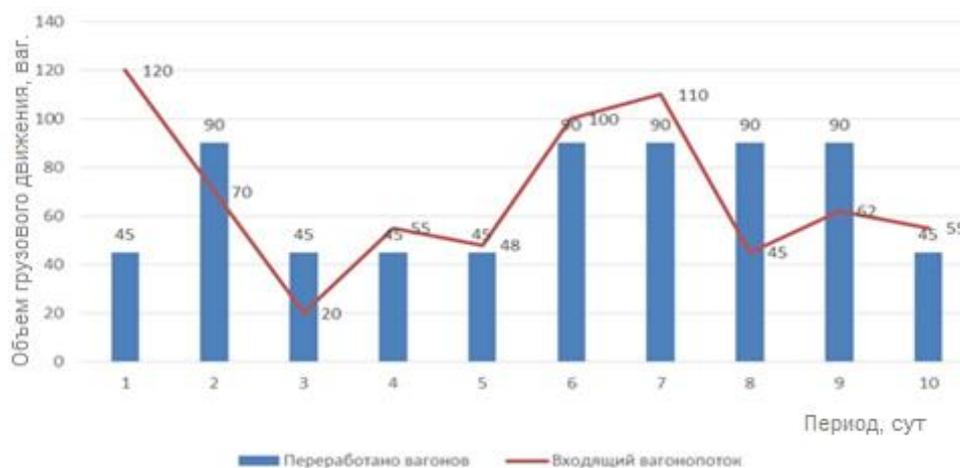


Рисунок 4.4 – Суточное количество переработанных вагонов на станции (эксперимент №1)

Таблица 4.5 – Многосуточный эксперимент №2 на имитационной модели

| Исходные данные: количество локомотивов – 1, приемоотправочных путей – 3 | Период моделирования, сут. |     |     |    |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                                          | 1                          | 2   | 3   | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| Количество переработанных вагонов на станции (ваг./сут)                  | 45                         | 45  | 90  | 90 | 90  | 45  | 45  | 0   | 0   | 0   |
| Входящий вагонопоток (ваг.)                                              | 120                        | 140 | 137 | 95 | 100 | 120 | 155 | 170 | 125 | 140 |

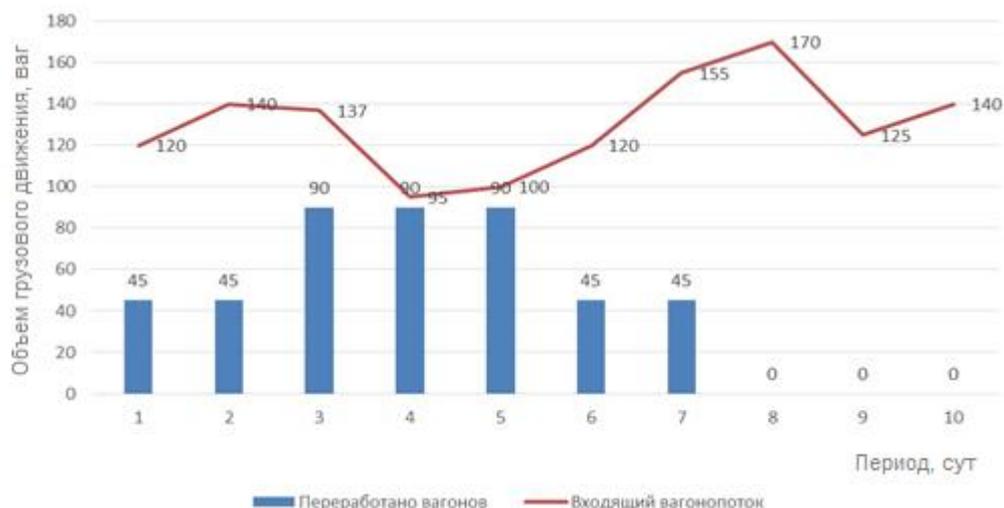


Рисунок 4.5 – Суточное количество переработанных вагонов на станции (эксперимент №2)

В эксперименте №1 функционирование транспортной системы осуществляется в нормальном режиме, и имеется резерв перерабатывающей

способности. Рабочий парк вагонов за отчетные сутки составляет 169 вагонов, графическое изображение которого приведено на рисунке 4.6.

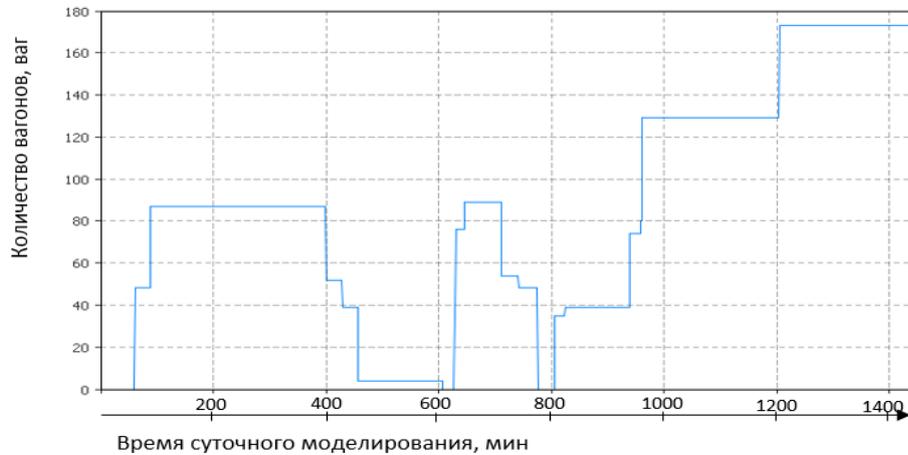


Рисунок 4.6 – Количество вагонов в системе «Грузовая станция – ПНП» при прибытии трех передаточных и одного маршрутного поездов

С увеличением объема грузовых перевозок, как показано в эксперименте №2, станция с существующей технологией работы не способна обрабатывать входящий поток вагонов, поскольку станционные пути полностью загружены. Рабочий парк вагонов, составляя более 190 вагонов, нарушает технологию работы и создает затруднения в обеспечении функциональной надежности станции при обработке поездов и обслуживании ПНП.

#### **4.2 Оптимизация технических и технологических параметров грузовой станции общего пользования по критерию обеспечения функциональной надежности**

Проводимые эксперименты при разработке и анализе работы модели позволяют отладить основные нарушения в логике операций и их технологической взаимосвязи.

Оптимизационные эксперименты с моделью позволяют определить те условия, при которых может быть достигнуто устойчивое функционирование грузовой станции и путей необщего пользования.

Обратной задачей моделирования считается поиск значений факторов, которые определяют наиболее предпочтительное решение из области допустимых значений и максимизирует индекс эффективности системы (функциональная надежность). Если количество возможных решений незначительно, то решение обратной задачи сводится к простому перебиранию всех возможных решений, используя в т.ч. методы направленного перечисления (эвристика). В то же время оптимальное решение после множественного решения «прямой задачи» и нахождения вектора результирующих индикаторов ведется для каждого набора входных параметров. Оптимизатор OptQuest, разработанный на основе метаэвристики разброса и поиска табу, действует как блок для записи значений выходных индексов и выбора следующего приближения в оптимизации. [28]

Процесс оптимизации включает в себя несколько прогонов модели с такими значениями параметров, что позволяет найти максимум или минимум целевой функции, как при влиянии случайности, так и при ограничениях. Для отображения репрезентативных данных, которым можно доверять, эксперименты повторяются для одного из наборов значений параметров, и средний результат всех повторений принимается как решение целевой функции. Изучение работы действующих станций и грузовых объектов, позволяет выделить значения основных функциональных характеристик на основе анализа технологии работы: время нахождения местных вагонов на станциях и ПНП, необходимого количества средств механизации, оптимального объема грузовых работ, числа поступающих заявок на обслуживание и т. д.» [28]. Выражение целевой функции, на которой проводятся эксперименты, приведено в параграфе 2.4 диссертационного исследования.

Настройка эксперимента оптимизации состоит из следующего алгоритма, показанного на рисунке 4.7.

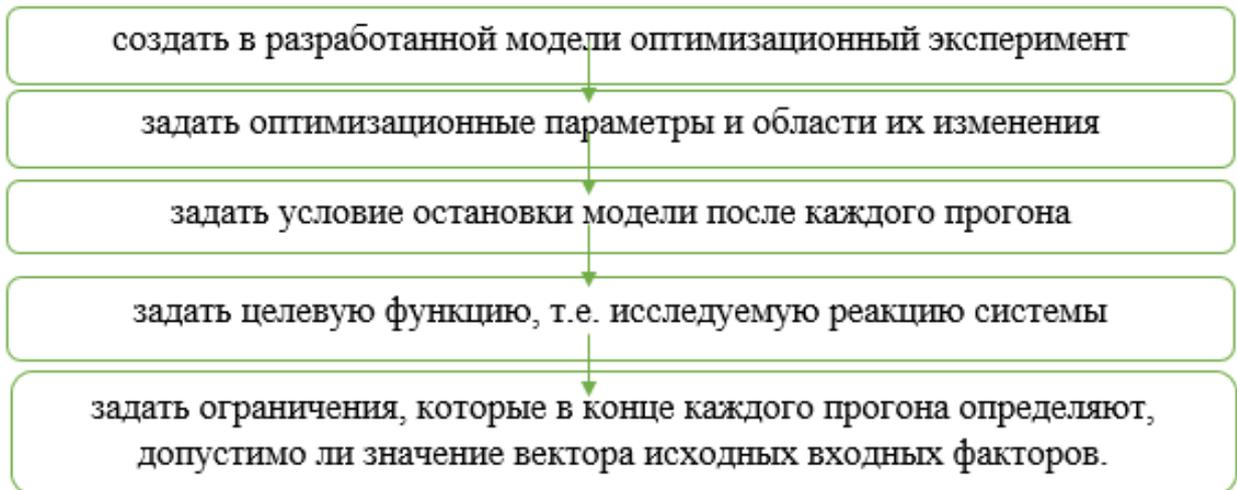


Рисунок 4.7 – Алгоритм создания и проведения оптимизационного эксперимента в программе

Запуск оптимизационного эксперимента подберет действительные значения входных параметров, обращая целевую функцию к минимуму или максимуму, как настроит пользователь. Система выдаст предписание, какие параметры следует изменить, чтобы получить необходимый результат в организации перевозок.

Разработанный алгоритм проверит, во-первых, надежно ли станция справляется с реальными объемами грузового движения и, во-вторых, как изменятся условия безотказной работы при совершенствовании технологии перевозочного процесса.

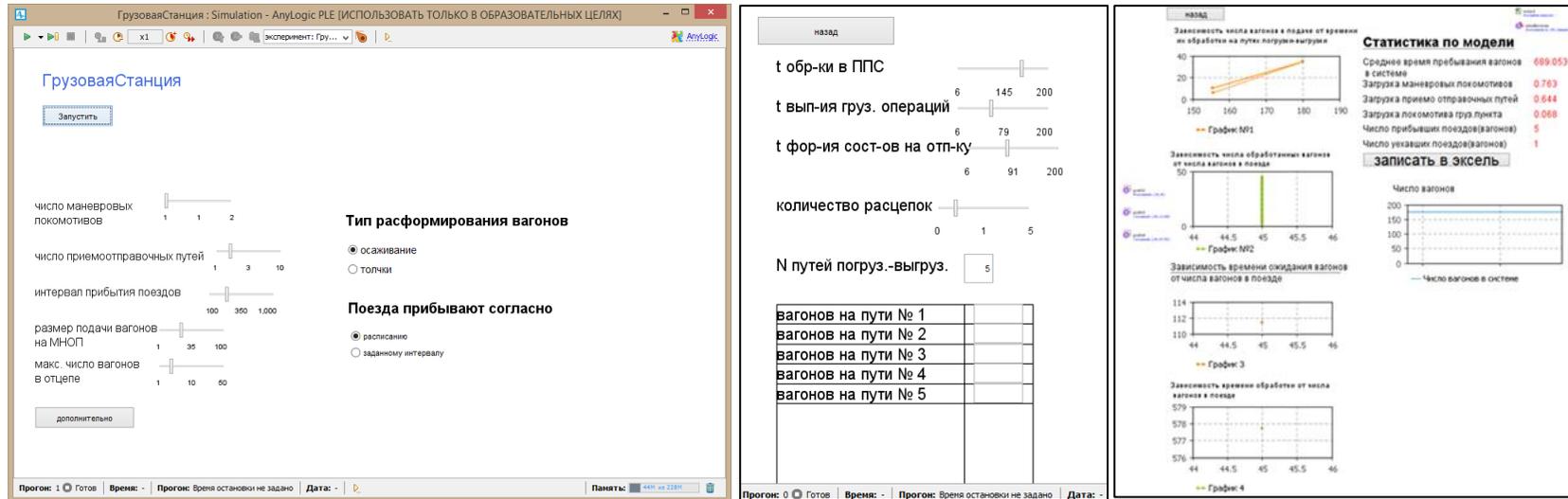
Оценка функциональной надежности станции осуществляется при последовательном выполнении комплекса подготовительных действий перед введением исходных данных в программу, непосредственно ввод и задание начальных параметров в алгоритм работы модели, а также послеимитационная корректировка изменяемых параметров с проведением оптимизационных экспериментов. Таким образом, методика состоит в следующем:

1. *Подготовительные действия с моделью.* Проводится сбор информации об исследуемой грузовой станции и обслуживаемых ее путях необщего пользования. Для расчета параметров имитации функционирования грузовой станции и пути необщего пользования должны использоваться статистические данные о прибытии поездов на станцию, нормы на выполнение

маневровых операций, установленные [10,11] и технологическим процессом работы станции и примыкающего пути необщего пользования. В качестве первичных параметров выделены следующие:

- количество прибывающих передаточных и маршрутных поездов;
- количество приемоотправочных путей грузовой станции;
- количество вагонов в составе прибывающих передаточных и маршрутных поездов и формируемых на отправление;
- тип расформирования (осаживание или толчки);
- количество маневровых локомотивов;
- время прибытия поездов (интервал прибытия или согласно графику движения поездов);
- время на грузовые операции;
- количество вагонов в отцепе при расформировании;
- количество вагонов в подаче на грузовой фронт;
- время обработки составов по прибытии и отправлении со станции.

2. *Ввод исходных данных в алгоритм моделирования.* Модель работает по данным о наличии вагонов с грузом и без груза в соответствующих блоках транспортной системы. Перемещение внутри модели от одного блока к другому осуществляется в соответствии с технологическим процессом работы станции по обслуживанию ПНП и с учетом временных интервалов выполнения соответствующих операций с вагонами. Задание исходных данных осуществляется как с помощью базы данных в формате MS Excel, так и через интерфейс самого приложения модели. Данный подход позволяет учитывать не только простые численные параметры, но и сложные структуры данных, например, расписание прибытия поездов или распределение объема грузопотока в зависимости от типа таких поездов. Интерфейс задания данных моделирования приведен на рисунке 4.8.



**Сегмент имитации функционирования грузового пункта**

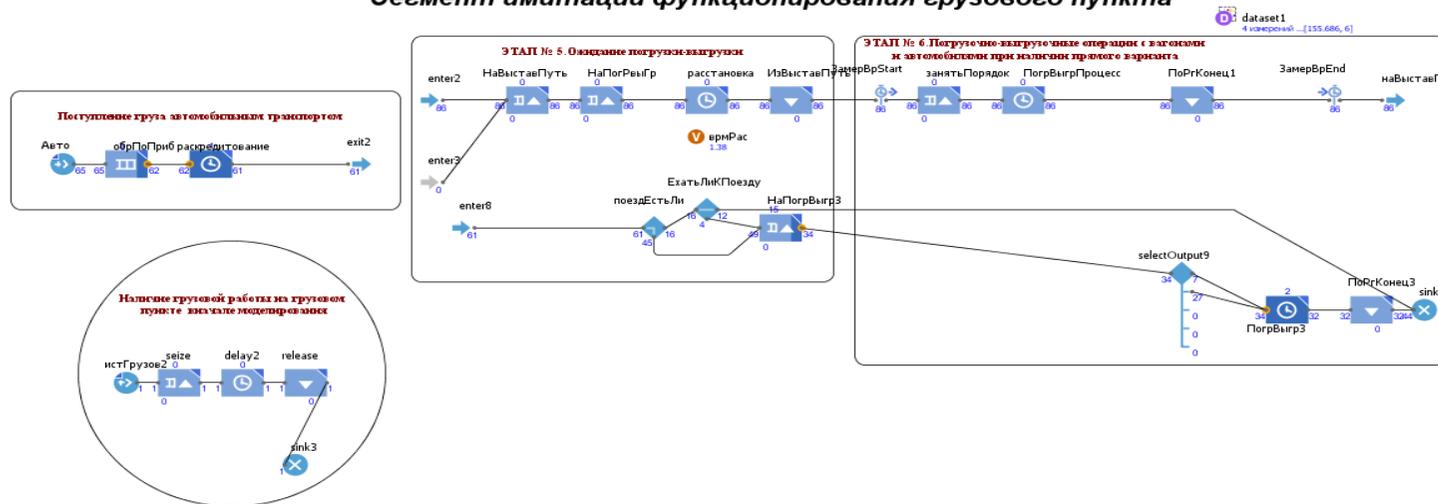


Рисунок 4.8 – Фрагмент работы имитационной модели «Грузовая станция – ПНП»

3. *Моделирование и корректировка параметров модели.* Представление результатов моделирования осуществляется в графическом, табличном и текстовом виде. Распределение времени нахождения вагонов в системе представляется в виде графиков. Все данные могут быть сохранены в структурированном виде во внешний файл: текстовый файл или электронную таблицу. В течение короткого времени осуществить проверку нескольких вариантов функционирования виртуальной станции, выполняя так называемые прогоны или сценарии «что-если». При этом модель предоставляет не только конечный результат расчётов, но также позволяет наблюдать за и динамикой изменения показателей с течением времени.

4. *Анализ результатов моделирования и проведение оптимизационных экспериментов.* Чувствительность поведения транспортной системы позволяет рассмотреть множество сценариев при изменении одной или нескольких переменных в модели. Для этого в режиме «Simulation» пользователем контролируется прохождение каждым транзактом соответствующего блока и при необходимости изменяется интенсивность его пребывания в системе. При обнаружении лимитирующих элементов в модели необходимо заполнить блок «Optimization», в котором нужно выделить все допустимые ограничения моделирования. По итогам оптимизационного эксперимента системой будут предложены пользователю наилучшие значения исследуемых параметров.

### **4.3 Вычислительный эксперимент использования имитационной модели в оптимизации грузовой работы станции при обосновании комплекса технических, технологических и организационных мер повышения функциональной надежности станции**

#### **4.3.1 Проверка адекватности модели «Грузовая станция – ПНП»**

В ходе экспериментов с имитационной моделью, представленных в п. 4.1 исследования, установлено, что определяющей задачей в этой проблеме является

повышение перерабатывающей способности технических устройств станции до уровня, обеспечивающего бесперебойную подачу и уборку вагонов на грузовой пункт. Таким образом, повышение эффективности работы грузовой станции, сокращение продолжительности и снижение платы за пользование вагонами должны обеспечиваться на основе разработки комплекса технических, технологических и организационно-управленческих мероприятий.

Среднесуточные размеры погрузки, выгрузки и грузооборота по ПНП реальной грузовой станции представлены в таблице 4.6, а распределение вагонов по ПНП станции и поступление местных вагонов – в таблице 4.7.

Таблица 4.6 – Среднесуточные объемы работы по ПНП реальной грузовой станции за июль 2016 года

| Маневровый район местной работы станции | Вид операции |          |             |
|-----------------------------------------|--------------|----------|-------------|
|                                         | Погрузка     | Выгрузка | Грузооборот |
| ПНП ОАО «Э-П»                           | 2            | 16       | 18          |
| ПНП Нефтебаза КЯ                        | 3            | 9        | 12          |
| ПНП Т-4                                 | 0            | 32       | 32          |
| ПНП ООО «ЕС»                            | 44           | 56       | 100         |
| ВЧ маневрового района П                 | 1            | 10       | 11          |
| ПНП маневрового района П                | 7            | 12       | 19          |

Число поездов, прибывающих на станцию:

$$N_n = \frac{\sum N_{усл}^i + N_{дон}}{m_c}, \quad (4.2)$$

где  $\sum N_{усл}^i$  – сумма местных вагонов в условных вагонах;  $N_{дон}$  – число дополнительных вагонов для сопровождения и прикрытия, принято для грузов ВМ равное 5 ваг – 4 платформы прикрытия и 1 вагон для военизированной охраны;  $m_c$  – число вагонов в составе поезда.

Таблица 4.7 – Распределение вагонов по ПНП реальной грузовой станции

| =-09876Наименование п/п  | Количество вагонов |           |           |          |            |           |          |           |          |           | Баланс порожних вагонов |           |           |          |           |            |          |          |          |           |
|--------------------------|--------------------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|----------|----------|----------|-----------|
|                          | Выгрузка           |           |           |          |            | Погрузка  |          |           |          |           | Избыток                 |           |           |          |           | Недостаток |          |          |          |           |
|                          | кр                 | пв        | пл        | спец     | всего      | кр        | пв       | пл        | спец     | всего     | кр                      | пв        | пл        | спец     | всего     | кр         | пв       | пл       | спец     | всего     |
| ПНП ОАО “ЭС”             | 16                 |           |           |          | <b>16</b>  | 2         |          |           |          | <b>2</b>  | 16                      |           |           |          | <b>16</b> | 2          |          |          |          | <b>2</b>  |
| ПНП Нефтебаза КЯ         |                    |           |           | 9        | <b>9</b>   |           |          |           | 3        | <b>3</b>  |                         |           |           | 9        | <b>9</b>  |            |          |          | 3        | <b>3</b>  |
| ПНП Т-4                  |                    | 32        |           |          | <b>32</b>  |           |          |           |          | <b>0</b>  |                         | 32        |           |          | <b>32</b> |            |          |          |          | <b>0</b>  |
| ПНП ООО<br>«ЕС»          |                    |           | 56        |          | <b>56</b>  |           |          | 44        |          | <b>44</b> |                         |           | 17        |          | <b>17</b> |            |          | 5        |          | <b>5</b>  |
| ВЧ маневрового района П  | 10                 |           |           |          | <b>10</b>  | 1         |          |           |          | <b>1</b>  | 10                      |           |           |          | <b>10</b> | 1          |          |          |          | <b>1</b>  |
| ПНП маневрового района П | 12                 |           |           |          | <b>12</b>  | 7         |          |           |          | <b>7</b>  | 5                       |           |           |          | <b>5</b>  |            |          |          |          | <b>0</b>  |
| <b>Итого по станции</b>  | <b>38</b>          | <b>32</b> | <b>56</b> | <b>9</b> | <b>135</b> | <b>10</b> | <b>0</b> | <b>44</b> | <b>3</b> | <b>57</b> | <b>31</b>               | <b>32</b> | <b>17</b> | <b>9</b> | <b>89</b> | <b>3</b>   | <b>0</b> | <b>5</b> | <b>3</b> | <b>11</b> |

Ввиду разнородности и неравномерности прибытия вагонов принято, что длина любого вагона равна длине условного вагона.

$$N_n = \frac{146+5}{57} = 2,65 \approx 3 \text{ поезда / сут.}$$

На станцию прибывают в расформирование 3 поезда длиной 57 условных вагонов. В 2016 году на реальную грузовую станцию поступал один маршрутный поезд в составе 71 условных вагонов, поэтому число передаточных поездов в 2016 году составляло:

$$N_n^{2016} = \frac{106+5}{71} = 1,56 \approx 2 \text{ поезда / сут.}$$

На станции ожидается увеличение объемов переработки контейнеров, поступающих в адрес ПНП ЗАО «ЕС». Перспективные размеры прибытия и отправления в адрес ПНП ООО «ЕС» (определенные автором с применением методов прогнозирования (Приложение А)) представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Планируемые размеры переработки контейнеров на реальной грузовой станции по ПНП ЗАО «ЕС»

| Год  | Погрузка, ваг/сут | Выгрузка, ваг/сут | Грузооборот, ваг/сут | Вагонооборот, ваг/сут | Объем переработки контейнеров, конт./год |
|------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|
| 2015 | 55                | 70                | 125                  | 152                   | 100000                                   |
| 2016 | 66                | 84                | 150                  | 184                   | 120000                                   |

Распределение вагонов по грузовой станции, учитывающее увеличение объемов грузового движения, показано в таблицах 4.9-4.10.

Таблица 4.9 – Композиция составов и расписание прибытия передаточных поездов в 2016 году

| № поезда      | Время прибытия | Количество вагонов | Разложение составов |    |    |      |                  |            |    |      |             |    |    |      |              |             |    |      |      |             |    |            |            |    |     |             |  |  |
|---------------|----------------|--------------------|---------------------|----|----|------|------------------|------------|----|------|-------------|----|----|------|--------------|-------------|----|------|------|-------------|----|------------|------------|----|-----|-------------|--|--|
|               |                |                    | ПНП ОАО "Э-П"       |    |    |      | ПНП Нефтебаза КЯ |            |    |      | ПНП Т-4     |    |    |      | ПНП ООО "ЕС" |             |    |      | ВЧ П |             |    |            | ПНП П      |    |     |             |  |  |
|               |                |                    | кр                  | пв | пл | спец | кр               | пв         | пл | спец | кр          | пв | пл | спец | кр           | пв          | пл | спец | кр   | пв          | пл | спец       | кр         | пв | пл  | спец        |  |  |
| 3602          | 1:28           | 48/8               | 8/2                 |    |    |      |                  |            |    |      |             |    |    |      |              | 30/0        |    |      |      | 10/1        |    | 0/4        | 0/1        |    |     |             |  |  |
| 3604          | 10:30          | 40/5               | 8/0                 |    |    |      |                  |            |    |      |             |    |    |      |              | 26/5        |    |      |      |             |    |            |            |    | 6/0 |             |  |  |
| 3601          | 20:04          | 47/3               |                     |    |    |      |                  | 9/3        |    |      | 32/0        |    |    |      |              |             |    |      |      |             |    |            |            |    | 6/0 |             |  |  |
| <b>Итого:</b> |                | <b>135/16</b>      | <b>16/2</b>         |    |    |      |                  | <b>9/3</b> |    |      | <b>32/0</b> |    |    |      |              | <b>56/5</b> |    |      |      | <b>10/1</b> |    | <b>0/4</b> | <b>0/1</b> |    |     | <b>12/0</b> |  |  |

Таблица 4.10 – Композиция составов и расписание прибытия передаточных поездов в 2017 году

| № поезда      | Время прибытия | Количество вагонов | Разложение составов |    |    |      |                  |            |    |      |             |    |    |      |              |             |    |      |      |             |    |            |            |             |    |      |  |
|---------------|----------------|--------------------|---------------------|----|----|------|------------------|------------|----|------|-------------|----|----|------|--------------|-------------|----|------|------|-------------|----|------------|------------|-------------|----|------|--|
|               |                |                    | ПНП ОАО "Э-П"       |    |    |      | ПНП Нефтебаза КЯ |            |    |      | ПНП Т-4     |    |    |      | ПНП ООО "ЕС" |             |    |      | ВЧ П |             |    |            | ПНП П      |             |    |      |  |
|               |                |                    | кр                  | пв | пл | спец | кр               | пв         | пл | спец | кр          | пв | пл | спец | кр           | пв          | пл | спец | кр   | пв          | пл | спец       | кр         | пв          | пл | спец |  |
| 3602          | 1:28           | 46/11              | 8/2                 |    |    |      |                  | 9/3        |    |      |             |    |    |      |              | 13/0        |    |      |      | 10/1        |    | 0/4        | 0/1        | 6/0         |    |      |  |
| 3601          | 10:58          | 46/8               | 8/0                 |    |    |      |                  |            |    |      | 32/0        |    |    |      |              | 0/8         |    |      |      |             |    |            |            | 6/0         |    |      |  |
| 1021          | 21:26          | 71/0               |                     |    |    |      |                  |            |    |      |             |    |    |      |              | 71/0        |    |      |      |             |    |            |            |             |    |      |  |
| <b>Итого:</b> |                | <b>163/19</b>      | <b>16/2</b>         |    |    |      |                  | <b>9/3</b> |    |      | <b>32/0</b> |    |    |      |              | <b>84/8</b> |    |      |      | <b>10/1</b> |    | <b>0/4</b> | <b>0/1</b> | <b>12/0</b> |    |      |  |

Суточные план-графики при существующих объемах местной работы за 2016 год и планируемые на 2017 г. приведены в Приложении Г.

На основании суточного плана-графика рассчитаны следующие показатели эксплуатационной работы реальной грузовой станции.

Загрузка приемоотправочных путей определена по формуле:

$$\psi_n^i = \frac{\sum T_{зан}}{1440}, \quad (4.3)$$

где  $\sum T_{зан}$  – суммарное время занятия пути технологическими операциями и простой в ожидании работы, мин; 1440 – число минут в сутках.

Расчет загрузки путей представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет загрузки приемоотправочных путей грузовой станции

| Путь   | Время занятия, мин | Загрузка, % |
|--------|--------------------|-------------|
| 3 путь | 930                | 65          |
| 4 путь | 1390               | 96          |
| 5 путь | 1056               | 73          |

Загрузка маневровых локомотивов вычислена по формуле:

$$\psi_{лок}^i = \frac{\sum Mt}{1440}, \quad (4.4)$$

где  $\sum Mt$  – суммарные локомотиво-минуты работы, лок-мин.

Коэффициент использования маневровых локомотивов:

$$\psi_{лок}^i = \frac{\sum Mt}{1440 \cdot M_{лок}}, \quad (4.5)$$

где  $M_{лок}$  – число локомотивов маневровых локомотивов;  $\sum Mt$  – общие локомотиво-минуты, лок-мин.

$$\psi_{лок} = \frac{1044 + 1077}{1440 \cdot 2} = 0,74.$$

Среднее время нахождения местного вагона на станции – время от момента прибытия до момента отправления со станции, определено по формуле:

$$t_{cp}^m = \frac{\sum (nt)_m}{\sum n_m}, \quad (4.6)$$

где  $\sum (nt)_m$  – общее количество вагоно-часов простоя местных вагонов на станции под всеми операциями;  $\sum n_m$  – общее количество местных вагонов, перерабатываемых станцией в течение суток.

Расчет вагоно-часов простоя местных вагонов по суточному план-графику 2016 года представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчет вагоно-часов простоя местных вагонов

| № поезда      | Вагоны     | Время прибытия, ч-мин | Время отправления, ч-мин | Простой, ч | Вагоно-часы    |
|---------------|------------|-----------------------|--------------------------|------------|----------------|
| 3602          | 30         | 1:28                  | 0:32                     | 23,03      | 690,9          |
|               | 16         |                       | 10:09                    | 32,7       | 523,2          |
|               | 10         |                       | 16:24                    | 14,93      | 149,3          |
| 3604          | 31         | 10:30                 | 10:09                    | 23,67      | 733,77         |
|               | 8          |                       | 0:32                     | 14,03      | 112,24         |
|               | 6          |                       | 0:32                     | 38,03      | 228,18         |
| 3601          | 32         | 20:04                 | 16:24                    | 19,97      | 639,04         |
|               | 6          |                       | 16:24                    | 19,97      | 119,82         |
|               | 6          |                       | 0:32                     | 28,46      | 170,76         |
|               | 6          |                       | 0:32                     | 28,46      | 170,76         |
| <b>Итого:</b> | <b>151</b> | -                     | -                        | -          | <b>3537,97</b> |

$$\sum (nt)_m = 3537,97 \text{ ваг-ч.}$$

Средний простой местного вагона на станции составляет:

$$t_{cp}^m = \frac{3537,97}{151} = 23,43 \text{ ч.}$$

Средний остаток местных вагонов на станции (рабочий парк) найден из выражения:

$$n_{pn} = \frac{\sum (nt)_m}{24}. \quad (4.7)$$

$$n_{pn} = \frac{3537,97}{24} = 148 \text{ ваг.}$$

Расчет вагоно-часов простоя местных вагонов по суточному план-графику работы реальной грузовой станции с увеличенным вагонопотоком представлен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет вагоно-часов простоя местных вагонов

| № поезда      | Вагоны     | Время прибытия, ч-мин | Время отправления, ч-мин | Простой, ч | Вагоно-часы    |
|---------------|------------|-----------------------|--------------------------|------------|----------------|
| 3602          | 16         | 1-28                  | 00-50                    | 23,20      | 371,2          |
|               | 10         |                       | 20-41                    | 19,21      | 192,1          |
|               | 13         |                       | 20-41                    | 19,21      | 249,73         |
|               | 6          |                       | 10-17                    | 32,82      | 196,92         |
|               | 12         |                       | 4-08                     | 26,67      | 320,04         |
| 3601          | 8          | 10-58                 | 00-50                    | 13,84      | 110,72         |
|               | 32         |                       | 10-17                    | 23,30      | 745,6          |
|               | 8          |                       | 4-08                     | 17,17      | 137,36         |
|               | 6          |                       | 10-17                    | 23,30      | 139,8          |
| 1021          | 34         | 21-26                 | 00-50                    | 27,23      | 925,82         |
|               | 1          |                       | 20-41                    | 23,09      | 23,09          |
|               | 18         |                       | 4-08                     | 30,50      | 549            |
|               | 5          |                       | 20-41                    | 23,08      | 115,4          |
|               | 13         |                       | 20-41                    | 23,08      | 300,04         |
| <b>Итого:</b> | <b>182</b> | -                     | -                        | -          | <b>4376,82</b> |

Средний простой местного вагона на станции составляет:

$$t_{cp}^m = \frac{4376,82}{182} = 24,05 \text{ ч.}$$

Рабочий парк:  $n_{pn} = \frac{4376,82}{24} = 183 \text{ ваг.}$

Загрузка приемоотправочных путей и маневровых локомотивов приведена в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Загрузка приемоотправочных путей станции

| Путь        | 3 путь | 4 путь | 5 путь |
|-------------|--------|--------|--------|
| Загрузка, % | 88     | 89     | 77     |

Загрузка маневровых локомотивов станции составляет 71 % для локомотива № 1 и 63 % для локомотива № 2.

Таким образом, при возрастающем объеме грузового движения надежность станции по своевременной переработке поступающего вагонопотока значительно снижается из-за высокой загрузки приемоотправочных путей и маневровых локомотивов. При имитационном моделировании (эксперименты 2-4 п. 4.1) демонстрировались аналогичные показатели суточной загруженности станционных объектов, что подтверждает адекватность результатов моделирования.

Оптимизация работы станции показывает необходимость в корректировке интервала прибытия поездов и необходимости укладки дополнительного приемоотправочного пути, что снижало бы суммарную загруженность объектов станции при существенно возросшем вагонопотоке. Так при перспективах освоения ЗАО «ЕС» 140 тыс. TEU/год, вагонооборот на реальной грузовой станции возрастет до 214 ваг/сут, что при существующей технологии работы приведет к парализации эксплуатационной и местной работы.

Новая композиция составов и расписание прибытия передаточных и маршрутных поездов представлены в таблице 4.15.

Расчет вагоно-часов простоя местных вагонов по суточному план-графику работы грузовой станции с увеличенным вагонопотоком представлен в таблице 4.16.

Средний простой местного вагона на станции составляет:

$$t_{cp}^M = \frac{4738,61}{197} = 24,05 \text{ ч.}$$

Рабочий парк: 
$$n_{pn} = \frac{4738,61}{24} = 198 \text{ ваг.}$$

Загрузка приемоотправочных путей и маневровых локомотивов приведена в таблице 4.17.

Таблица 4.15 – Композиция составов и расписание прибытия передаточных поездов в 2017 году

| № поезда      | Время прибытия | Количество вагонов | Разложение составов |    |    |     |                  |    |    |     |            |    |    |     |              |             |    |     |      |    |    |     |       |             |    |            |            |             |  |  |  |
|---------------|----------------|--------------------|---------------------|----|----|-----|------------------|----|----|-----|------------|----|----|-----|--------------|-------------|----|-----|------|----|----|-----|-------|-------------|----|------------|------------|-------------|--|--|--|
|               |                |                    | ПНП ОАО "Э-П"       |    |    |     | ПНП Нефтебаза КЯ |    |    |     | ПНП Т-4    |    |    |     | ПНП ООО "ЕС" |             |    |     | ВЧ П |    |    |     | ПНП П |             |    |            |            |             |  |  |  |
|               |                |                    | кр                  | пв | пл | спе | кр               | пв | пл | спе | кр         | пв | пл | спе | кр           | пв          | пл | спе | кр   | пв | пл | спе | кр    | пв          | пл | спе        |            |             |  |  |  |
| 3602          | 1:28           | 53/11              | 8/2                 |    |    |     |                  |    |    |     | 9/3        |    |    |     |              |             |    |     | 20/0 |    |    |     |       | 10/1        |    | 0/4        | 0/1        | 6/0         |  |  |  |
| 3601          | 10:58          | 53/9               | 8/0                 |    |    |     |                  |    |    |     |            |    |    |     |              | 32/0        |    |     |      |    |    |     |       |             |    |            |            | 6/0         |  |  |  |
| 1021          | 20:07          | 71/0               |                     |    |    |     |                  |    |    |     |            |    |    |     |              |             |    |     | 71/0 |    |    |     |       |             |    |            |            |             |  |  |  |
| <b>Итого:</b> |                | <b>177/20</b>      | <b>16/2</b>         |    |    |     |                  |    |    |     | <b>9/3</b> |    |    |     |              | <b>32/0</b> |    |     |      |    |    |     |       | <b>10/1</b> |    | <b>0/4</b> | <b>0/1</b> | <b>12/0</b> |  |  |  |

Таблица 4.16 – Расчет вагоно-часов простоя местных вагонов

| № поезда      | Вагоны     | Время прибытия, ч-мин | Время отправления, ч-мин | Простой, ч | Вагоно-часы    |
|---------------|------------|-----------------------|--------------------------|------------|----------------|
| 3602          | 10         | 1-28                  | 21-32                    | 20,07      | 200,70         |
|               | 9          |                       | 04-10                    | 26,50      | 238,50         |
|               | 23         |                       | 21-32                    | 20,07      | 461,61         |
|               | 16         |                       | 04-10                    | 26,50      | 424,0          |
|               | 6          |                       | 10-41                    | 9,21       | 55,26          |
| 3601          | 8          | 10-58                 | 04-10                    | 17,20      | 137,60         |
|               | 32         |                       | 10-41                    | 24,28      | 776,96         |
|               | 16         |                       | 04-10                    | 17,20      | 275,20         |
|               | 6          |                       | 10-41                    | 24,28      | 145,68         |
| 1021          | 33         | 20-07                 | 00-45                    | 28,63      | 944,79         |
|               | 3          |                       | 21-32                    | 25,42      | 76,26          |
|               | 35         |                       | 00-45                    | 28,63      | 1002,05        |
| <b>Итого:</b> | <b>197</b> | -                     | -                        | -          | <b>4738,61</b> |

Таблица 4.17 – Загрузка приемоотправочных путей станции

| Путь        | 3 путь | 4 путь | 5 путь | 7 путь |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Загрузка, % | 78     | 85     | 65     | 65     |

Загрузка маневровых локомотивов станции составляет 71 % для локомотива № 1 и 63 % для локомотива № 2. Таким образом, все исследуемые параметры находятся в допустимых пределах, обеспечивающих нормальное функционирование станционных объектов.

Разработанные план-графики работы реальной грузовой станции и железнодорожных ПНП являются одними из возможных состояний, в которых может находиться рассматриваемая транспортная система. Обоснование целесообразности изменения технологии работы станции и выбор различных критериев ее оптимизации на основе исполненной имитационной модели позволит оперативно реагировать на любые изменения перевозочного процесса. Кроме этого, возможно оценить расходы на обслуживание системы «Грузовая станция - ПНП», которые возникают на этапах развития железнодорожных станций.

### 4.3.2 Оптимизационный эксперимент повышения функциональной надежности работы грузовой станции

Проведем отладку результатов моделирования и сбор данных для проведения оптимизационного эксперимента для оценки функциональной надежности работы реальной грузовой станции при возрастающих объемах переработки.

Наличной перерабатывающей способностью станции оценивается «количество транспортных единиц, с которыми возможно осуществить погрузочно-выгрузочную работу за расчетное время» [23]:

$$N_{гр} = \sum_{i=1}^{N_{гр}} \frac{T_i - t_{пост,i}^{\phi}}{T_{ц}^{\phi}(1+\rho)} K_{ц,i} b_i, \text{ где} \quad (4.8)$$

$N_2$  – количество грузовых фронтов;  $T_i$  – расчетное время работы  $i$ -ого грузового фронта;  $t_{пост,i}^{\phi}$  – время выполнения операций, не связанных с грузовой работой;  $T_{ц}^{\phi}$  – цикл работы грузовых фронтов;  $K_{ц,i}$  – количество подач на  $i$ -ом грузовом фронте за время  $T_{ц}^{\phi}$ ;  $b_i$  – среднее количество вагонов в подаче на  $i$ -ом грузовой фронт;  $\rho$  – коэффициент, учитывающий возникновение отказов средств механизации на  $i$ -ом грузовом фронте.

Оценка пропускной и перерабатывающей способности грузовой станции и оптимизация работы грузовых фронтов возможна, если имеется информация, демонстрирующая характер и динамику грузовых перевозок. Для исключения случаев возникновения непроизводительных простоев вагонов, формированию очередей и сверхнормативной загруженности элементов станции, а вследствие дополнительных затрат нужно работать с точным прогнозом потребных величин в определении перерабатывающей способности. Нужно принимать во внимание, что такой параметр как размер вагонопотока изменчив в зависимости от прогнозируемых факторов: загрузка сортировочных станций на сети, неполносоставность и порционность прибытия груза, сезонности; а также

использование инфраструктурных компонентов станции при обработке вновь прибывших составов (занятие/ освобождение путей, средств механизации, соединительных и выставочных путей и т. д.).

Согласно [82] коэффициент неравномерности вагонопотока определяется на основе методов математической статистики, где вариационный ряд исследуемой случайной величины первоначально строится для расчетного периода, а затем рассчитывается интервал подгруппировки:

$$l_{гр} = \frac{N_{max} - N_{min}}{1 + 3.322 \lg(N)}, \text{ где} \quad (4.9)$$

$N_{max}$  и  $N_{min}$  – максимальный и минимальный размер ежедневного вагонопотока за расчетный период;  $N$  – количество значений в выборке (количество дней в периоде расчета).

Из сгруппированных значений коэффициента неравномерности вычисляются математическое ожидание  $M$  и стандартное отклонение  $\sigma$ . Коэффициент неравномерности определяется:

$$K_n = 1 + V, \quad (4.10)$$

где  $V$  – коэффициент вариации потока, характеризующий разброс случайной величины:

$$V = \frac{\sigma(N)}{M(N)} \quad (4.11)$$

Статистические данные работы реальной грузовой станции могут обеспечить предоптимизационный анализ функционирования рассматриваемой системы «грузовая станция – ПНП». В качестве таких данных рассмотрим параметры реальной грузовой станции на 2017 год: количество обработанных вагонов. Обслуживание каждого объекта исследуемой системы, на примере И-В и Е, позволяет станции обрабатывать объем трафика, показанный на рисунке 4.9.

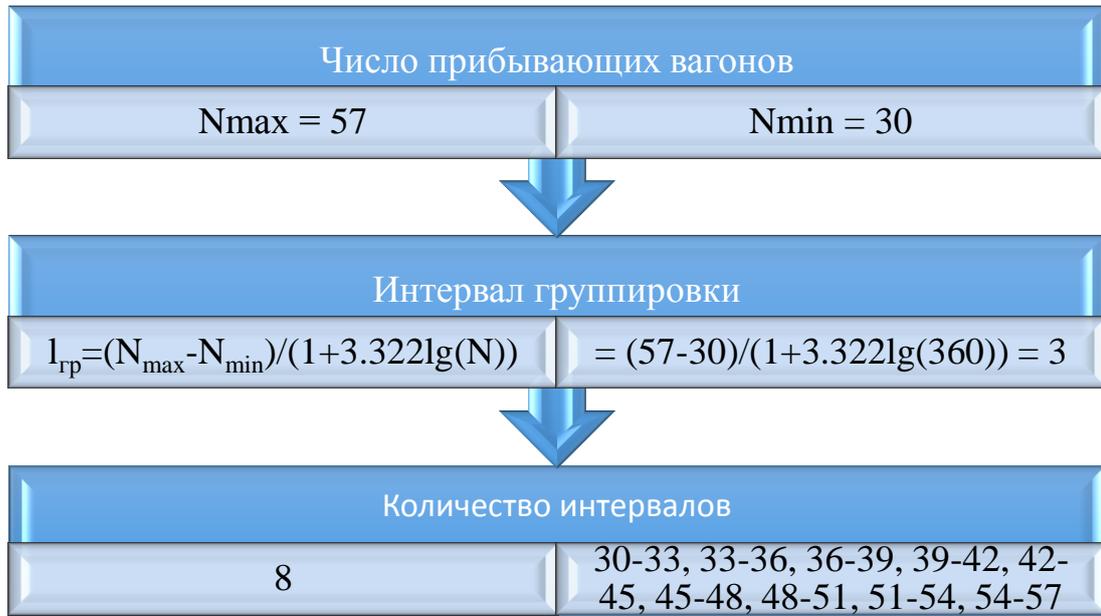


Рисунок 4.9 – Определение интервалов математического моделирования

Вариационный ряд, расчет  $M$  и  $\sigma$  представлены в таблице 4.18.

Таким образом, коэффициент неравномерности обрабатываемого вагонопотока станцией составляет  $K = 1 + 0,14 = 1,14$ .

Таблица 4.18 – Определение математического ожидания  $M$  и дисперсии  $\sigma$

| Значение случайной величины в интервале группировки | Частота появления в интервале группировки | Вероятность | Математическое ожидание $M$ | Дисперсия $\sigma$ | Коэффициент вариации потока $V$ |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1                                                   | 2                                         | 3           | 4                           | 5                  | 6                               |
| 30-33                                               | 30                                        | 0,08        | 2,61                        | 19,96              | 0,14                            |
| 33-36                                               | 30                                        | 0,08        | 2,86                        | 12,98              |                                 |
| 36-39                                               | 0                                         | 0,00        | 0,00                        | 0,00               |                                 |
| 39-42                                               | 0                                         | 0,00        | 0,00                        | 0,00               |                                 |
| 42-45                                               | 60                                        | 0,17        | 7,26                        | 2,06               |                                 |
| 45-48                                               | 0                                         | 0,00        | 0,00                        | 0,00               |                                 |
| 48-51                                               | 120                                       | 0,33        | 16,53                       | 2,07               |                                 |
| 51-54                                               | 90                                        | 0,25        | 13,1,                       | 7,54               |                                 |
| 54-57                                               | 30                                        | 0,08        | 4,60                        | 0,70               |                                 |
| Итог                                                | 360                                       | 1,00        | 47,01                       | 45,31              |                                 |

Учитывая непосредственное влияние работы грузовых пунктов на качество работы обслуживаемых их станций, для определения наличной пропускной способности грузовых станций должны входить параметры выражения (4.8).

Принимая во внимание расчетную месячную неравномерность, определим значение перерабатываемого вагонопотока на реальных ПНП. Для анализа используем действительный суточный план-график работы реальной грузовой станции. Обслуживаемые станцией ПНП условно называют «первый», «второй» и т. д. Начальные параметры приведены в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Расчетные данные по ПНП

| Наименование ПНП                                                   | ПНП<br>ОАО «Э-<br>П» | ПНП<br>Нефтебаза<br>К Я | ПНП Т-4 | ПНП ООО<br>«ЕС» | ВЧ П | ПНП П |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------|-----------------|------|-------|
| Количество грузовых фронтов                                        | 1                    | 1                       | 1       | 3               | 1    | 2     |
| Расчетное время работы                                             | 20,33                | 20,92                   | 20,83   | 19,08           | 20,3 | 18,9  |
| Время выполнения операций, не связанных с грузовой работой         | 18                   |                         |         |                 |      |       |
| Цикл работы грузовых фронтов                                       | 1,0                  | 4,75                    | 1,25    | 3,35            | 2,0  | 2,0   |
| Количество подач                                                   | 2                    | 1                       | 2       | 5               | 1    | 3     |
| Среднее количество вагонов в подаче                                | 10                   | 32                      | 8       | 35              | 16   | 6     |
| Коэффициент, учитывающий возникновение отказов средств механизации | 0,3                  |                         |         |                 |      |       |

Время работы грузового пункта принимается из расчета количества смен в сутки  $n_{см}$ , времени работы смены  $t_{см}$  и числа подач  $k$ :

$$T = n_{см}(t_{см} - 1,5) - k \cdot t_{пер}, \text{ где} \quad (4.12)$$

1,5 – время на прием/сдачу смены;  $t_{пер}$  – время на перестановку вагонов.

Тогда получаем:

$$\text{для «Э-П» } T = 2(12 - 1,5) - 2(0,5 \cdot 0,67) = 20,33 \text{ ч;}$$

$$\text{для Нефтебазы КЯ } T = 2(12 - 1,5) - 1(0,5 \cdot 0,17) = 20,92 \text{ ч;}$$

$$\text{для Т-4 } T = 2(12 - 1,5) - 2(0,5 \cdot 0,17) = 20,83 \text{ ч;}$$

для «ЕС»  $T = 3(8-1,5) - 5(0,5 \cdot 0,17) = 19,08$  ч;

для ВЧ П  $T = 2(12 - 1,5) - 1 \cdot (0,5 \cdot 1,4) = 20,3$  ч;

для П  $T = 2(12 - 1,5) - 3(0,5 \cdot 1,4) = 18,9$  ч.

Перерабатывающая способность грузовой станции составит:

$$N_{\text{гр}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{Г}}} \frac{T_i - t_{\text{пост.}i}^{\phi}}{T_{\text{ц}}^{\phi}(1+\rho)} K_{\text{ц.}i} b_i =$$

$$\frac{20,33-18}{1(1+0,3)} 2 \cdot 10 + \frac{20,92-18}{4,75(1+0,3)} 1 \cdot 32 + \frac{20,83-18}{1,25(1+0,3)} 2 \cdot 8 + \frac{19,08-18}{3,35(1+0,3)} 5 \cdot 35 + \frac{20,3-18}{2(1+0,3)} 1 \cdot 16 + \frac{18,9-18}{2(1+0,3)} 3 \cdot 6 = 20,26 + 15,14 + 27,86 + 56,33 + 14,15 + 6,23 = 139,97 \text{ ваг} \approx 140$$

ваг.

На рисунке 4.10 показан результат одного из экспериментов по оптимизации, в котором предельными параметрами были «количество путей приема на станции», «интервал прибытия поездов» и «количество локомотивов станции». Результаты экспериментов установили возможность отправки 6 поездов при занятости маневровых локомотивов и путей приема не более 85 %, рабочем парке вагонов, не превышающего 140 вагонов (формулы 4.8-4.12). Для этих условий должны быть соблюдены следующие требования к техническому оснащению станции и эксплуатационной работе:

- 1) количество путей - 5;
- 2) количество локомотивов - 2;
- 3) интервал прибытия поездов - 350 мин.

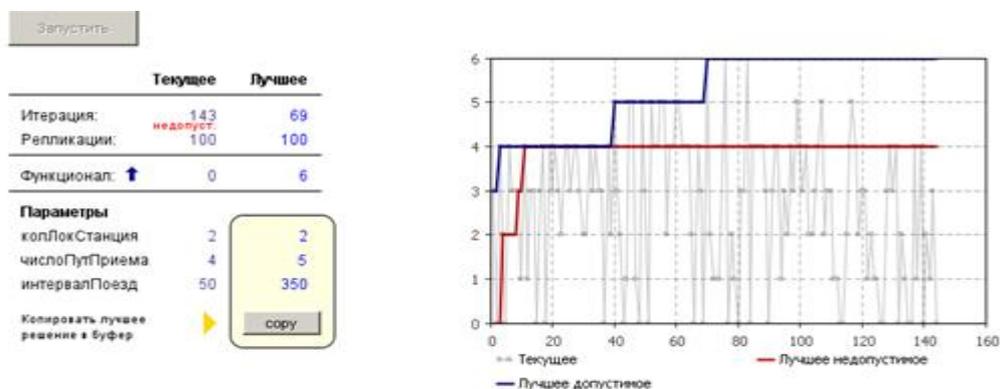


Рисунок 4.10 – Фрагмент оптимизационного эксперимента по определению перерабатывающей способности станции

Таким образом, пользуясь реальными данными функционирования станции, можно осуществить проектную проработку вариантов развития и совершенствования технологии работы, осуществить ряд экспериментов на модели и составить экспертные заключения на основе выполненных аналитических расчетов и результатов моделирования. По имитационной модели возможно принять наиболее обоснованные решения о строительстве дополнительных объектов на станции, что приведет к повышению функциональной надежности станции, приросту грузооборота и улучшению качества обслуживания пользователей услугами железнодорожного транспорта.

#### **Выводы по главе 4**

1. Разработанная методика выполнения численных экспериментов на модели «Грузовая станция – ПНП» учитывает влияние рабочего парка вагонов грузовой станции на объёмом их переработки, занятость маневровых локомотивов и существующую технологию обслуживания ПНП (очередность и порядок обслуживания прибывающих поездов, формирование подач на пути погрузки-выгрузки, собственно погрузка-выгрузка и т.д.). Было установлено, что при определенной величине рабочего парка объём переработки нарушается. Это связано с заполнением путей станции вагонами, что ограничивает её возможности с точки зрения формирования подач на пункты погрузки-выгрузки, а также своевременной уборки уже обработанных вагонов. Выявлено максимальное значение величины рабочего парка вагонов реальной грузовой станции, составляющее 169 ваг/сут, превышение которого не позволяет станции надежно функционировать.

2. Анализ результатов экспериментов взаимного влияния параметров надежности транспортной системы позволяет определить, что количество маневровых локомотивов и приемоотправочных путей грузовой станции, их загрузка в течение дня и размер рабочего парка имеют наибольшее влияние на количество перерабатываемого вагонопотока. Причем от рабочего парка зависит

продолжительности выполнения грузовых операций и оптимальная загрузка средств механизации на грузовых пунктах.

3. Производительность модели проверяется на множестве статистических данных в условиях функционирования реальной грузовой станции. Прибытие четырех поездов позволяет станции работать в нормальном режиме; максимальный рабочий парк вагонов - 169. При увеличении количества поступающих поездов, сокращении интервала прибытия поездов, но при неизменной технологии работы станция будет парализована из-за занятости путей и маневровых локомотивов. Таким образом невозможно принимать поезда в расформирование. По данным графиков имитационной модели работы грузовой станции и суточных план-графиков следует, что в условиях увеличения количества поездов при существующей технологии работы, инфраструктурной обеспеченности и времени на выполнение технологических и грузовых операций станция не сможет обслуживать грузовые пункты своевременно и надежно.

4. При необходимости оптимизации работы грузовой станции с использованием модели «Грузовая станция – ПНП» решается обратная задача имитационного моделирования: значение из области допустимых решений обращает в максимум показатель надежности системы. Результатами экспериментальных репликаций модели для реальной грузовой станции стала возможность отправления 6 поездов при загрузке маневровых локомотивов и приемоотправочных путей не более 85 %, и величине рабочего парка вагонов, не превышающего 140 вагонов. Для этих условий потребуются следующие технические и технологические изменения: пять приемоотправочных путей, два маневровых локомотива, межпоездной интервал прибытия – 350 мин.

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ

### 5.1 Причинно-следственные связи загруженности грузовых железнодорожных станций с позиции теории системной динамики

Для успешного управления сложными системами необходимо прежде всего понять механизм функционирования сложных систем, определить точки управленческого воздействия на них, а затем разработать мероприятия по корректировке их поведения. Анализ причинно-следственных связей позволяет просмотреть множество сценариев при изменении в модели одной или нескольких переменных. Системно-динамические модели, состоящие из петель обратной связи, формируют реакцию системы на любые изменения, происходящие как случайно, так и под влиянием как-либо факторов. Как было сказано в п. 2.1 диссертационного исследования такой вид моделирования «полезен при выявлении важных переменных и установлении взаимосвязей между ними» [33, 36].

На уровне восприятия **Входящий вагонопоток** в транспортной системе может быть классифицирован как **Переработанный вагонопоток** после выполнения с ним грузовых операций. При этом **Входящий вагонопоток** пополняет **Переработанный вагонопоток**, а **Выходящий**, наоборот, его уменьшает. Таким образом, **Переработанный вагонопоток** является накопителем, а **Входящий** и **Выходящий вагонопотоки** — его входящим и исходящим потоками соответственно. На рисунке 5.1 представлена такая простейшая потоковая диаграмма.

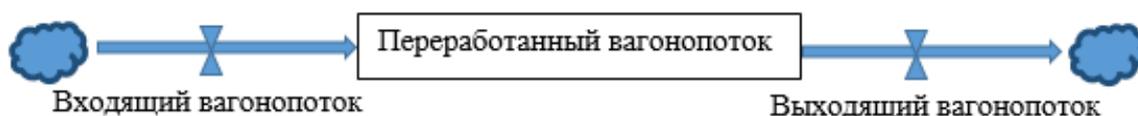


Рисунок 5.1 – Начальная потоковая диаграмма

Изменение переменной **Входящего вагонопотока** возможно при корректировке **Инфраструктурной обеспеченности станции**. Поточковая модель, дополненная накопителем, ограничивающим возможности станции в вагонопереботке, представлена на рисунке 5.2.

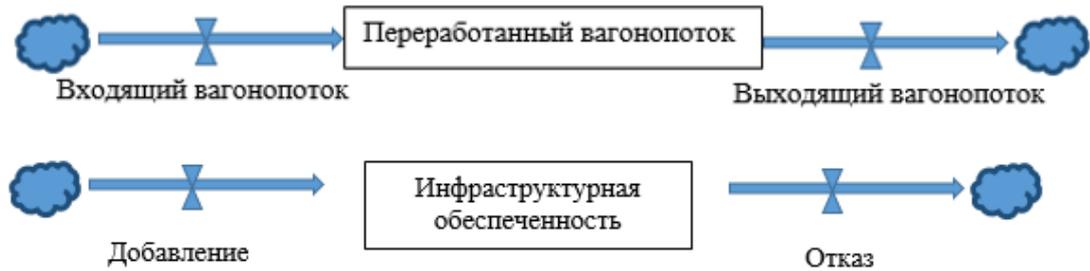


Рисунок 5.2 – Дополненная потоковая модель

Таким образом, взаимосвязь указанных переменных основывается на том, что объем входящего вагонопотока пропорционально накопителю **Инфраструктурная обеспеченность**, состояние которого определяется другими переменными: **Необходимое количество локомотивов** и **Время на оптимизацию**, (приведение текущей оснащённости станции к необходимому уровню развития).

Дополнительно с этим вводятся накопитель **Рабочий парк вагонов**, исходящий поток **Темп местной работы** и переменные **Количество грузовых операций** и **Степень использования вагонов**. Диаграмма с указанием связей представлена на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 – Поточковая диаграмма с указанием связей

Модель можно дополнить накопителями **Выполнение заявок** (допустимое количество принятых заявок), **Грузовой пункт** и **Клиенты**, а также переменными **Корректировка заявок** и **Планируемый объем грузовой работы**. Переменная **Корректировка заявок** осуществляет качественное изменение накопителя **Выполнение заявок** в случае изменения технологии работы и технического оснащения. **Планируемый объем грузовой работы** оценивает загруженность ПНП и коррелирует фактически выполненное число заявок с имеющимися резервами грузоперерабатывающих мощностей станции и ПНП. **Клиенты** представляют собой накопитель, где привлечение и отток пользователей услугами железнодорожного транспорта зависит от того, как станция справляется с существующим объемом работы. В диаграмме появляются новые контуры обратной связи, представленные на рисунке 5.4.

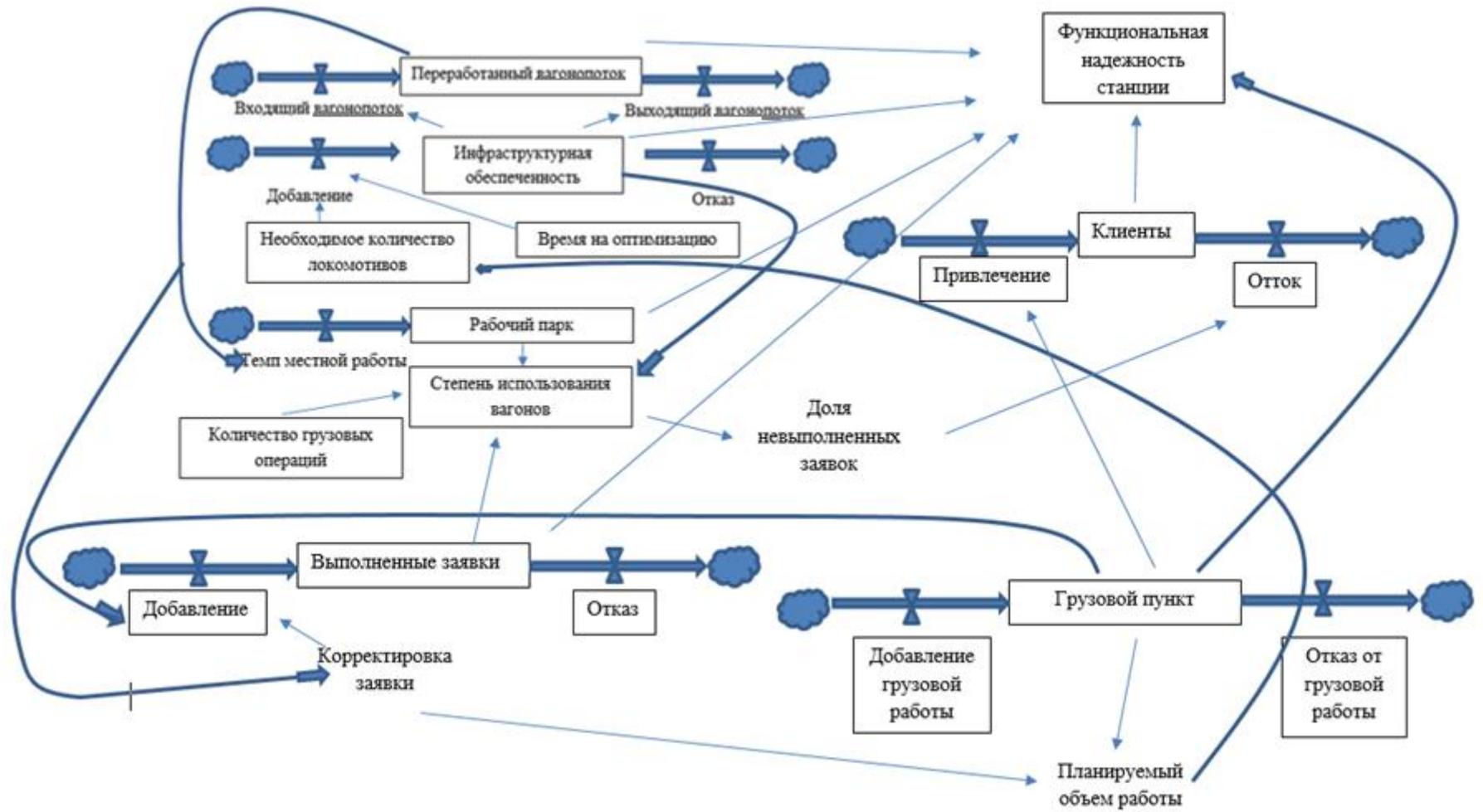


Рисунок 5.4 – Окончательная потоковая диаграмма функционирования грузовой станции

Характеристика взаимного влияния переменных внутри исследуемой транспортной системы в ходе моделировании процесса обслуживания грузовой станции ПНП выделяет следующие причинно-следственные связи: переменная **Корректировка заявок** влияет на переменную **Планируемый объем грузовой работы**, а также по цепочке приводит к изменению переменных **Выполнение заявок**, **Инфраструктурная обеспеченность**, **Рабочий парк вагонов** и **Переработанный вагонопоток**. Изменение этих переменных представляет собой осцилляции с затухающими колебаниями. Так первоначально в начале моделирования **Входящий поток** одномоментно вырастает, заставляя увеличиваться переменную **Рабочий парк**. Это в свою очередь влияет на переменную **Корректировка заявок**, поскольку **Переработанный вагонопоток** занимая **Грузовой пункт**, вызывает повышение его загруженности. При этом эффект запаздывания, как реакция системы на изменения, позволяет станции откорректировать количество заявок, которое возможно выполнить, и **Планируемый объем грузовой работы** корректируется под влиянием произошедших преобразований [33].

В течение длительного времени, когда транспортная система окончательно стабилизируется, уровень накопителя **Переработанные вагоны**, выравниваясь с уровнем загрузки обслуживания клиентов (**Клиенты**) и их заявок (**Выполненные заявки**), вместе с **Инфраструктурной обеспеченностью** влияет на итоговый уровень **Функциональной надежности**.

Проблема надежности является комплексной как с точки зрения ее характеристики и измерения, так и в ее причинно-следственных проявлениях. Действительно комплексный подход к проблеме надежности невозможен без детальной проработки ее экономических аспектов, что весьма актуально в отношении функционирования железнодорожных станций и объектов их обслуживания.

Экономическая надежность является логическим завершением понятия надежности как свойство выполнять определенные задачи в определенных условиях. Таким образом, способность транспортной системы к достижению

заданного экономического эффекта, что возможно только при полном обеспечении функциональной надежности грузовой станции при обслуживании ПНП, подтверждает необходимость всех мероприятий, предпринятых при оптимизации работы станции.

Экономическая надежность резюмирует суммарную надежность в стоимостных показателях через величины затрат на обеспечение необходимого уровня функциональных составляющих и стоимостной оценки последствий их недостаточного уровня.

Суммарная надежность транспортной системы определяется на основе принципа сложения вероятностей отдельных элементов (этапов).

Регулярность для любой технологической линии станции как составляющая общей регулярности может быть представлена выражением:

$$P_i = \left(1 - \frac{N_{нар}}{N_o}\right) \quad (5.1)$$

где  $N_{нар}$  - количество случаев нарушения регулярности.

Рассматривая грузовую станцию как двухуровневую систему, где I уровень – грузовая станция, II уровень – путь необщего пользования, регулярность переработки вагонопотоков выражается:

$$P_{i,j} = \frac{N_{Pi,j}}{N_o} = \left(1 - \frac{N_{наpi,j}}{N_o}\right) \quad (5.2)$$

где  $N_{наpi,j}$  - нарушение регулярности на одном из подуровней транспортной системы (технологические линии).

Средняя регулярность для одного из подуровней системы можно рассчитать следующим образом:

$$P_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{N_{наpi}}{N_o}\right) \quad (5.3)$$

$$P_2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(1 - \frac{N_{наpj}}{N_o}\right) \quad (5.4)$$

где  $n, m$  - количество подсистем, для которых рассчитывается регулярность соответственно на I и II уровнях.

Средняя регулярность в целом по функциональным службам станции:

$$P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_j \right) \quad (5.5)$$

Нарушения регулярности могут происходить по различным причинам на любом из двух уровней. Случаи нарушения регулярности зарождаются, как правило, на I уровне структуры, который определяется существующей технологией работы, инфраструктурным обеспечением станции и составом работников.

Вероятность того, что по вине станции не произошло нарушения регулярности будет равна:

$$P(A) = P_1(A_1) \times P_2(A_2) \quad (5.6)$$

где  $A$  - событие, состоящее в том, что по вине станции не произошло нарушения регулярности;  $A_i$  - событие, состоящее в том, что на  $i$ -ом уровне структуры не произошло нарушение.

Вероятность возникновения задержки на каждом уровне будет равна:

$$P_1(A_1) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \times P\left(\frac{A_1}{H_i}\right) \quad (5.7)$$

$$P_2(A_2) = \sum_{i=1}^n P(M_i) \times P\left(\frac{A_1}{M_i}\right) \quad (5.8)$$

$M_i$ ,  $H_i$  - события, состоящие в том, что в  $i$ -й службе I и II уровней произошло нарушение регулярности.

Для оценки экономического эффекта деятельности грузовой станции по обслуживанию ПНП оцениваются экономические последствия нарушения регулярности прибытия и обработки поездов и необходимые затраты для обеспечения заданного уровня переработки вагонов, т.е. функциональной надежности станции.

Поскольку экономические последствия нарушения регулярности имеют обратную зависимость от уровня надежности, а затраты на повышение надежности - прямую, оптимальным будет являться уровень надежности, при котором данные величины (потери и затраты) будут равны. При этом

обеспечивается минимум их суммарной величины, который и следует рассматривать как заданный экономический результат.

В современных условиях возрастает роль точных методов расчета основных параметров железнодорожных станций. «Технологические и экономические показатели работы станций непосредственно зависят от технической структуры и технологии работы, которые, в свою очередь, не могут не изменяться при изменении транспортных потоков. Динамичность ситуации требует оперативных решений по нахождению рационального технического оснащения, соответствующего текущему поездо- и вагонопотоку, рациональной технологии работы, а также оценки последствий изменений в структуре и технологии работы станции» [28]. Кроме этого, экономический эффект от создания условий, повышающих уровень надежности станций обработать как можно больший объем грузового движения, в соответствии с теорией бережливого производства, принятой на вооружение структурными подразделениями железнодорожного транспорта в согласно Функциональной стратегии управления качеством в ОАО «РЖД» [56], должен давать положительную реакцию на любую оптимизацию существующей технологии работы.

## **5.2 Повышение уровня функциональной надежности станции и экономическая оценка вариантов технического и технологического развития**

Учитывая многофункциональность грузовых станций, современные эксплуатационные условия их работы сильно усложнились: объемы транспортной работы увеличиваются, а перерабатывающие мощности станционных объектов вместе с этим зачастую достигают предела. Проведение экономической оценки вариантов совершенствования технической оснащенности и технологии работы грузовой станции позволит оценить себестоимость обслуживания ПНП через управление станционными процессами, что наиболее точно определит затраты на операции по переработке вагонопотока, а также предоставляет информацию для анализа и улучшения [72, 73].

Анализируя работу грузовой станции, основная ее деятельность состоит в выполнении функции технологической линии, обладающей определенной мощностью по приему с внешней сети, переработке, подаче-уборке и выгрузке на контейнерном терминале вагонов ( $\Phi$ ). Основными параметрами этой технологической линии является величина вагонопотока ( $Q$ ), установленная в соответствии с графиком движения поездов, и время на переработку вагона ( $T_n$ ), принимаемое на основе расчетных значений технологического процесса работы станции.

При переработке вагонопотока станция выполняет определенный объем транспортной работы ( $A$ , ваг-ч). Станция характеризуется принципиальной схемой ( $S$ ) и оснащена комплексом технических устройств, включающим приемоотправочный парк ( $\Pi$ ) с путями ( $N_1, N_2, N_3$ ), вытяжной путь ( $B$ ), и имеет парк локомотивов ( $L$ ).

Перерабатывающая способность технических устройств зависит от ( $S$ ), определяется их конструкцией и оценивается степенью загрузки по времени путей (соответственно  $N_1, N_2, N_3$ ), а также затратами локомотивного времени ( $L$ , лок.-ч).

Результирующими показателями работы станции являются общая продолжительность переработки, включая простои ( $T_{об}$ , ваг-ч) и стоимостные затраты на пребывание вагонов на станции ( $C$ , руб).

Вместе с этим, станция представляет собой объект, объединяющий технические устройства как структурные элементы в единый комплекс, и характеризуется следующими основными признаками: принципиальной схемой ( $S$ ), конструкцией технических устройств ( $\Pi, B$ ) и парком локомотивов ( $L$ ). Они обеспечивают работу станции, реализуя свою перерабатывающую способность ( $N_1, N_2, N_3, L$ ), которая, в свою очередь, определяет объем транспортной работы ( $A$ ), продолжительность переработки вагонопотока ( $T_{об}$ ) и, как следствие, плату за простой на станционных путях ( $\Xi_3$ ). В данном случае

$$\Xi_3 = f(N_1, N_2, N_3, L). \quad (5.9)$$

По результатам моделирования (п. 4.3.1) занятость путей составляет 1252 мин, маневровых локомотивов станции - 1042 мин. При принятии решения об изменении интервала прибытия поездов при сохранении технологии работы (п. 4.3.2) исследуемые параметры составили 1185 и 858 мин соответственно.

Эффект получаемый от снижения занятости маневровых локомотивов определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_л = T^л \cdot C^лок \cdot 365 \quad (5.10)$$

где  $T^л$  – экономия занятости локомотива, определяется как разница между занятостью локомотива по существующему варианту и по предлагаемому вариантам;  $C^лок$  – расходная ставка 1 часа занятости маневрового локомотива, 2202,94 руб.; 365 – количество дней в году.

$$\mathcal{E} = (1042-858)/60 \cdot 2202,94 \cdot 365 = 2465824,17 \text{ руб./год}$$

Эффект от освобождения приемоотправочных путей определяется:

$$\mathcal{E}_п = T^п \cdot L \cdot C^п \cdot 365 \quad (5.11)$$

где  $T^п$  – экономия занятости приемоотправочных путей станции, определяется как разницы между существующим вариантом и предлагаемым вариантом, ч;  $L$  - длина занятых путей, км;  $C^п$  – расходная ставка 1 часа занятия 1 км станционных путей 3 – С железной дороги, 21,93 руб.; 365 – количество дней в году.

$$\mathcal{E}_п = (1252-1185)/60 \cdot 2,63 \cdot 21,93 \cdot 365 = 23507,74 \text{ руб./год.}$$

Общий экономический доход определяется как сумма эффекта от снижения занятости маневровых локомотивов и эффект, получаемого от освобождения приемоотправочных путей станции:

$$\mathcal{E} = 2465824,17 + 23507,74 = 2489331,91 \text{ руб./год.}$$

Кроме этого, потребуются капитальные затраты на укладку дополнительного приемоотправочного пути. Расчет переустройства произведен по укрупненной норме расхода на один километр пути, по укладке стрелочных переводов и установке светофоров – на один стрелочный перевод и светофор, по балластировке пути – по норме расхода ( $m^3$  на 1 км пути) [38, 76]. Нормы расхода приведены в таблице 5.1.

В п. 2.3 был рассмотрен план переустройства реальной грузовой станции, включающий следующие мероприятия:

1. Удлинение существующих приемоотправочных путей № 3 и № 5 с 850 м до 1050 м вместимостью 71 условных вагонов.
2. Укладка вытяжного пути № 22 длиной 650 м вместимостью 24 условных вагонов.
3. Переукладка пяти стрелочных переводов с четной и нечетной горловин станции.

Таблица 5.1 – Расходные ставки по капитальным затратам

| Капитальные затраты                        | Укрупненные расходные ставки, млн. руб. |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Переукладка стрелочного перевода           | 0,25                                    |
| Укладка пути (рельсошпальная решетка)      | 12,46                                   |
| Переукладка пути                           | 2                                       |
| Балластировка пути                         | 0,1                                     |
| Постановка стрелочного перевода на балласт | 0,175                                   |
| Перестановка существующего светофора       | 0,2                                     |

Расчет капитальных затрат представлен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Объем капитальных затрат

| Капитальные затраты                            | Объем работ | Капитальные затраты К, млн руб. |
|------------------------------------------------|-------------|---------------------------------|
| Переукладка стрелочного перевода, шт           | 5           | 1,25                            |
| Укладка пути (рельсошпальная решетка), км      | 0,65        | 8,1                             |
| Переукладка пути, км                           | 0,4         | 0,8                             |
| Балластировка пути, м <sup>3</sup>             | 3,15        | 0,315                           |
| Постановка стрелочного перевода на балласт, шт | 5           | 0,875                           |
| Перестановка существующего светофора, шт       | 3           | 0,6                             |
| Итого                                          | -           | 11,94                           |

Годовые приведенные расходы  $K_{пр}$  по совершенствованию путевого развития с учетом коэффициента дисконтирования  $E_d = 0,1$ :

$$K_{пр} = 11,94 \cdot 0,1 = 1,194 \text{ млн. руб./год.}$$

Текущие годовые расходы на содержание, амортизацию и ремонт пути составляют 2 % от капитальных затрат на переустройство пути:  $11,94 \cdot 0,02 = 0,239$  млн. руб/год.

Таким образом, разработанная имитационная модель с использованием оптимизации технологии работы грузовой станции позволяет для конкретной величины объема транспортной работы определять текущие значения, прогнозировать требуемый уровень перерабатывающей мощности станции в целом, рассматривая различные варианты совершенствования ее конструкции или внедрения новых организационно-управленческих мероприятий [32].

Согласно методологии функционально-стоимостного анализа работы грузовой станции [8, 72, 73], конкретные технические решения должны приниматься на основе оценки и сравнения потерь, обусловленных дополнительной транспортной работой, связанной простоями, и затрат, необходимых на их устранение. Выражение (5.9) с позиции перераспределения эксплуатационных расходов на выполнение только необходимых и достаточных операций по переработке вагонов, сокращая простои местных вагонов, примет вид:

$$\mathcal{E}_z = \frac{24 \cdot T_p \Delta A \cdot \Pi}{T_n \cdot Q} \quad (5.12)$$

где  $\Delta A$  - дополнительная транспортная работа на выполнение неучтенной или ненужной функции, ваг-ч/сутки;  $\Pi$  - тариф платы за пользование станционными путями, руб/ч;  $T_n$  - время оборота вагона на станции, мин/сут;  $T_p$  - расчетный период, сут.

Выражение (5.12) представляет собой величину затрат, которые могут быть использованы для увеличения вагонопотока, перерабатываемого станцией, компенсирующее потери на дополнительную транспортную работу.

В соответствии с результатами оптимизационного эксперимента с имитационной моделью повышение объема переработки вагонопотока на грузовой станции в реальных условиях до 300 ваг/сут при загрузке станционных путей и маневровых локомотивов до 85 % и величине рабочего парка вагонов в 140 ваг/ч (п. 3.7) потребует следующее количество затрат:

$$\vartheta_3 = \frac{24 \cdot 1 \cdot (4738,61 - 3537,97) \cdot 21,93}{(816,17 / 1440) \cdot 300} = 3716,41 \text{ руб/сут.}$$

В годовом исчислении при тех параметрах транспортной системы, которые позволят максимально использовать имеющиеся технические ресурсы станции и до минимума свести непроизводительные простои местных вагонов на станционных путях, затраты составят  $3716,41 \cdot 365 = 1356489,65$  руб/год.

Величина ЧДД при постоянной норме дисконта определяется:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_H)^t}, \quad (5.13)$$

где  $t$  – текущий год, результаты и затраты которого приводятся к расчётному году;  $T_p$  – горизонт расчёта (расчётный период);  $R_t$  – результаты, достигаемые на  $t$  – ом шаге расчёта (доходы), р./год;  $Z_t$  – затраты (текущие издержки и инвестиции), осуществляемые на том же шаге, р./год;  $E_H$  – норма дисконта (норма дохода на капитал), которая отражает отдачу на капитал, вложенный в инвестиционный проект.

$$Z_t = \sum K + S, \quad (5.14)$$

где  $\sum K$  – капитальные вложения (инвестиции);  $S$  – текущие расходы.

Расчёт ЧДД представлен в таблице 5.3, а графическое изображение на рисунке 5.5.

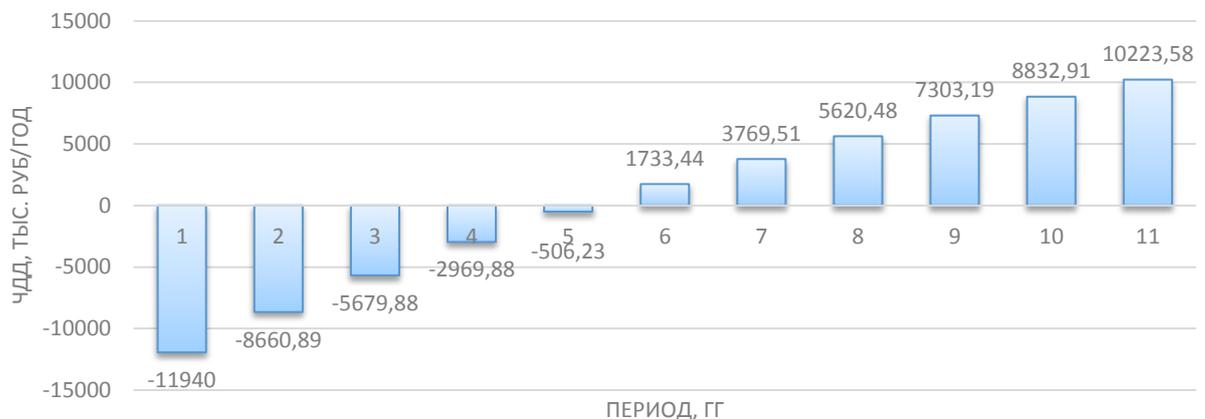


Рисунок 5.5 – Гистограмма ЧДД от переустройства грузовой станции по результатам экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности станции

Таблица 5.3 – Расчет чистого дисконтированного дохода (ЧДД) от переустройства грузовой станции

| Показатели                                                                        | Период, гг. |          |          |          |         |         |         |         |         |         |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                                                                                   | 0           | 1        | 2        | 3        | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10       |
|                                                                                   | Затраты     |          |          |          |         |         |         |         |         |         |          |
| Инвестиции, тыс.р.                                                                | 11940       |          |          |          |         |         |         |         |         |         |          |
| Текущие расходы: расходы на текущее содержание, амортизацию и ремонт, тыс. р./год |             | 238,8    | 238,8    | 238,8    | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8    |
| Итого без дисконтирования, тыс.р./год                                             | 11940       | 238,8    | 238,8    | 238,8    | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8   | 238,8    |
| Результаты                                                                        |             |          |          |          |         |         |         |         |         |         |          |
| Экономия лок.-ч, тыс.р./год                                                       |             | 2465,82  | 2465,82  | 2465,82  | 2465,82 | 2465,82 | 2465,82 | 2465,82 | 2465,82 | 2465,82 | 2465,82  |
| Экономия вагон-ч от освобождения приемоотправочных путей, тыс.р./год              |             | 23,51    | 23,51    | 23,51    | 23,51   | 23,51   | 23,51   | 23,51   | 23,51   | 23,51   | 23,51    |
| Экономический эффект от применения технологии, тыс. р./год                        |             | 1356,49  | 1356,49  | 1356,49  | 1356,49 | 1356,49 | 1356,49 | 1356,49 | 1356,49 | 1356,49 | 1356,49  |
| Итого результаты без дисконтирования, тыс.р./год                                  |             | 3845,82  | 3845,82  | 3845,82  | 3845,82 | 3845,82 | 3845,82 | 3845,82 | 3845,82 | 3845,82 | 3845,82  |
| Коэффициент дисконтирования                                                       | 1           | 0,909    | 0,826    | 0,751    | 0,683   | 0,621   | 0,564   | 0,513   | 0,467   | 0,424   | 0,386    |
| Эффект на i-том шаге                                                              | -11940      | 3607,02  | 3607,02  | 3607,02  | 3607,02 | 3607,02 | 3607,02 | 3607,02 | 3607,02 | 3607,02 | 3607,02  |
| Интегральный эффект                                                               | -11940      | 3279,11  | 2981,01  | 2710,01  | 2463,64 | 2239,68 | 2036,07 | 1850,97 | 1682,70 | 1529,73 | 1390,66  |
| ЧДД                                                                               | -11940      | -8660,89 | -5679,88 | -2969,88 | -506,23 | 1733,44 | 3769,51 | 5620,48 | 7303,19 | 8832,91 | 10223,58 |

Таким образом, применение методики повышения функциональной надежности реальной грузовой станции по обслуживанию ПНП при увеличении объемов переработки до 300 ваг/сут позволят за счет устранения недостатков, искусственно завышающих загруженность станционных объектов, получать экономический эффект:

$$\text{Э}_{об} = 2,489 - (1,194 + 0,239) + 1,356 = 2,412 \text{ млн. руб./год.}$$

По разработанной методике экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию ПНП определены ключевые экономические потери в количестве 2,489 млн. руб/год, а также единовременных капиталовложений в переустройство станции в 20,69 млн. руб. Однако, учитывая рациональное распределение ресурсов станции и исключение непроизводительного использования станционных путей и локомотивов, общий экономический эффект от мероприятий не только превысит затраты, но и дополнительно принесет прибыль в размере 2,412 млн. руб./год.

## **Выводы по главе 5**

1. Проведен функциональный анализ работы грузовой станции. Представлено процессно-диаграммное описание управления сложной транспортной системой, и определены основные затраты, необходимые для развития железнодорожной инфраструктуры при возрастающих объемах переработки.

2. Определено, что при растущем грузопотоке, учитывая фактор случайности, выполнение ряда операций на грузовых станциях создает искусственную загрузку объектов инфраструктуры, что снижает реальные технологические возможности станций по освоению перспективных объемов грузового движения. Значительные непроизводительные простои приводят к повышению уровня рабочего парка вагонов, блокированию станционных путей и невозможности эффективно взаимодействовать с владельцами подвижного состава.

3. Экономическая надежность является логическим завершением понятия надежности как свойство выполнять определенные задачи в определенных условиях. Составлена вероятностная модель, позволяющая оценить способность транспортной системы к достижению заданного экономического эффекта, как суммарная надежность определенная на основе принципа сложения вероятностей (надежностей) отдельных этапов обработки вагонов станцией при обслуживании ППП.

4. Экономическая надежность является логическим завершением понятия надежности как свойство выполнять определенные задачи в определенных условиях. Разработанная методика экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию ППП позволила выполнить расчет эффективности мероприятий совершенствования технического оснащения и технологии работы станции на основе результатов, полученных в ходе моделирования и оптимизации грузовой работы. Определены ключевые экономические потери в количестве 2,489 млн. руб/год, переустройство станции потребует около 20,69 млн руб. единовременных капиталовложений. Однако, учитывая рациональное распределение ресурсов станции и исключение непроизводительного использования станционных путей и локомотивов, общий экономический эффект от мероприятий не только превысит затраты, но и дополнительно принесет прибыль в размере 2,412 млн. руб./год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы и предложения.

1. Анализ научных исследований отечественных и зарубежных авторов, а также нормативных документов в области взаимодействия станций и ПНП показал, что своевременность подачи вагонов и их уборка с ПНП, а также выполнение сроков доставки грузов зависят от организации местной работы станций, степени использования имеющейся технической оснащенности и загруженности основных технологических линий обслуживаемых объектов промышленного транспорта.

2. Исследования показали, что взаимодействие грузовой станции и путей не-общего пользования представляется как функционирование сложной транспортной системы с большой технологической, эксплуатационной и экономической разнородностью. Предложено под функциональной надежностью грузовой станции по обслуживанию ПНП понимать такое поведение транспортной системы, когда выявленные параметры ее безотказного функционирования и связи между ними обеспечивают требуемый объем переработки вагонов.

3. Установлено из корреляционных зависимостей параметров работы грузовой станции при обслуживании ПНП, что взаимосвязь между исследуемыми величинами носит нелинейный характер, так коэффициент детерминации между простым местного вагона на станции и рабочим парком составляет 0,964, что свидетельствует о сильной взаимосвязи; простой местного вагона на станции и количество переработанных вагонов коррелируют с коэффициентом 0,263, что доказывает их взаимный нелинейный характер. Неравномерность переработки оказывает существенное влияние на характер продвижения вагонопотоков.

4. Составлена на основе реальных статистических данных объемов местной работы грузовой станции вероятностная модель и проверена гипотеза, что количество составов поездов, прибывших на грузовую станцию за промежуток

времени  $\Delta t$ , подчиняется равномерному закону и не противоречит результатам реальных наблюдений. Однако, распределение входящего поездопотока не является универсальной характеристикой, поэтому для оценки реальной загруженности станции при переработке вагонов требуется динамическое моделирование поведения транспортной системы.

5. Выбрано для описания поведения транспортной системы «Грузовая станция – ПНП» системно-динамическое моделирование. Формализация процессов в системе представлена описательной моделью, отражающей имитацию обработки заявок на перевозку грузов. На ее основе построена математическая модель, описывающая состояние объекта упрощенной агрегативной функцией в каждый момент времени с учетом входных параметров, подчиненных нормальному закону распределения, и выходных, значение которых зависит от внутреннего состояния объекта. Способность учесть множество критериев при многократном изменении условий работы и состояния объектов реализована на имитационной модели.

6. Разработана имитационная модель функционирования грузовой станции и ПНП. Программный дистрибьютив – AnyLogic, язык программирования - Java. Проверка адекватности и работоспособности имитационной модели выполнена по критерию Фишера. Исследование отношения дисперсий выборок из двух генеральных совокупностей (натурные наблюдения и результаты экспериментов на модели о среднем времени нахождения вагонов на станции)  $S_{12}/S_{22} = 0,63$ , что подтвердило условие сходимости результатов моделирования и реальных наблюдений.

7. Разработанная методика выполнения экспериментов на модели «Грузовая станция – ПНП» учитывает влияние рабочего парка вагонов грузовой станции на объём их переработки, занятость маневровых локомотивов и существующую технологию обслуживания ПНП (очередность и порядок обслуживания прибывающих поездов, формирование подач на пути погрузки-выгрузки, собственно погрузка-выгрузка и т.д.) и позволяет выбрать вариант, при котором обеспечивается функциональная надежность работы грузовой станции при

увеличении объемов вагонопотока. Результатами экспериментальных репликаций модели для станции стала возможность отправления 6 поездов при загрузке маневровых локомотивов и приемоотправочных путей не более 85 %, и величине рабочего парка вагонов, не превышающего 140 вагонов. Для этих условий потребуются следующие технические и технологические изменения: пять приемоотправочных путей, два маневровых локомотива, межпоездной интервал прибытия – 350 мин.

8. Согласно разработанной методике экономической оценки вариантов повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию ПНП, рациональное распределение ресурсов станции и исключение непроизводительного использования станционных путей и локомотивов позволит получать прибыль в размере 2,412 млн. руб./год.

9. Результаты исследования были внедрены на предприятии Западно-Сибирской железной дороги при разработке рациональных технических и технологических параметров терминально-логистического центра (ТЛЦ) и станции примыкания для этапного освоения перспективных размеров перевозок. В дальнейшем могут быть использованы при разработке и совершенствовании нормативно-технической и правовой документации, регламентирующей взаимодействие грузовых станций при обслуживании ПНП.

10. По результатам диссертационного исследования можно сделать общий вывод, что за счет внедрения предполагаемых в работе мероприятий возможно достичь значительного повышения функциональной надежности грузовых станций, увеличения объема перевозок грузов, улучшить использование транспортных средств и сооружений, усовершенствовать технологию взаимодействия железнодорожных станций и ПНП, а также снизить транспортные издержки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Акулиничев В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог: учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.;
- 2) Акулиничев В. М. Организация перевозок на промышленном транспорте: учебник. – М., 1983. – 247 с.;
- 3) Апатцев В. И. Идеология интеллектуального управления сложными транспортными системами / В. И. Апатцев, М. Г. Лысиков, А. М. Ольшанский // Наука и техника транспорта. – 2014. - № 2. – С. 62-64;
- 4) Багинова В. В. Методика оценки организационной структуры оперативного управления вагонопотоками на путях необщего пользования / В. В. Багинова, А. Н. Рахмангулов, П. Н. Мишуров // Транспорт Урала. – 2010. – № 4. – С. 25-29;
- 5) Баландюк Г. С. Железнодорожный транспорт промышленных предприятий и его взаимосогласованная работа с магистральным транспортом / Г. С. Баландюк. – М., 1960. – 72 с.;
- 6) Баландюк Г. С. Сетевое планирование работы на грузовых станциях железнодорожного и промышленного транспорта [Текст] / В. И. Балч, Х. М. Лазарев // Применение мат. методов и ЭЦВМ в грузовой работе железных дорог: труды МИИТ. – М., 1968. – № 286. – С. 77-94.;
- 7) Боев В. Д. Исследование адекватности GPSS World и AnyLogic при моделировании дискретно-событийных процессов: монография. – СПб.: ВАС, 2011. – 404 с.;
- 8) Бойко В. А. Метод оценки перерабатывающей способности технических устройств грузовой станции с учетом динамики ее работы / В. А. Бойко, Ю. В. Гусев // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 19. – С. 261-266;
- 9) Быкадоров А. В. Системное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций: автореферат

дис. ... д-р техн. наук: 05.22.08 / Быкадоров Александр Васильевич. – М., 1981. – 45 с.;

10) Бюллетень социально-экономического кризиса в России. Динамика грузоперевозок в России [Электронный ресурс] // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – Режим доступа: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/7400.pdf>;

11) Гарлицкий Е. И. Совершенствование технологии обслуживания железнодорожных путей необщего пользования: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Гарлицкий Евгений Игоревич. – Хабаровск, 2014. – 149 с.;

12) Гарлицкий Е. И. Формализация процессов в системе «станция примыкания – пути необщего пользования / Е. И. Гарлицкий, В. А. Телегина // Транспорт азиатско-тихоокеанского региона. – 2013. – № 1. – С. 85-88;

13) Герасимов Ю. М. Эффективный метод планирования работы грузовой станции / Ю. М. Герасимов, В. Н. Коченков, Ф. Г. Мамедов // Ж.-д. трансп. – 1981. – № 1. – С. 23-27;

14) Грунтов П. С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.;

15) Давыдов Г. Е. Становление и развитие единой технологии работы станций примыкания и железнодорожных путей необщего пользования [Текст] / Г. Е. Давыдов [и др.] // Бюл. трансп. информ. – 2009. – № 6. – С. 13-18.; 2010. – № 2. – С. 16-21;

16) Ефименко Ю. И. Железнодорожные станции и узлы [Текст] / Ю. И. Ефименко [и др.] – М., Изд. центр «Академия», 2006. – 336 С.

17) Железнов Д. В. Создание станций, специализированных для массового отстоя и подготовки вагонов, как основной путь повышения качества эксплуатационной работы полигонов в условиях обращения избыточного парка и ограничений пропускной способности // Вестн. РГУПС. – 2012. – № 3. – С. 49-55;

18) Железнодорожные станции и узлы [Текст] / В. Г. Шубко [и др.]; под ред. В. Г. Шубко и Н. В. Правдина. – М.: УМК МПС России, 2002. – 368 с.

- 19) Зверев В. И. Оптимизация формирования местных поездов на технических станциях и их работы на участке [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Зверев Виталий Игоревич. – М., 2001. – 343 с.;
- 20) Иванов С. Д. Оптимизация обслуживания грузовых фронтов предприятий промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ) [Текст]: дисс...канд. техн. наук: 05.22.12 / Иванов Савелий Дорофеевич – М., 1984. – 126 с.;
- 21) Иванченко В. Н. Программно-алгоритмическое обеспечение задач управления маневровой работой на сортировочной станции [Текст] / В. Н. Иванченко // Вестн. ВНИИЖТ. – 1994. – № 8. – С. 38-40;
- 22) Институт проблем естественных монополий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ipem.ru>.;
- 23) Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог: изд. офиц. [Текст] / МПС СССР; утв. 24.04.89 г. – М.: Транспорт, 1991. – 304 с.;
- 24) Кагадий И. Н. Влияние транспортно-логистической инфраструктуры промышленных предприятий на эффективность работы станций примыканий / И. Н. Кагадий // Политранспортные системы: материалы VIII междунар. науч.-техн. конф. в рамках года науки Россия - ЕС, 2015. – С. 394-398.;
- 25) Кагадий И. Н. Использование метода имитационного моделирования в местной работе железнодорожных станций // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Шестой междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию со дня образования Иркут. гос. ун-та путей сообщ., г. Иркутск. – Иркутск, 2015. – С. 96. – 98;
- 26) Кагадий И. Н. К вопросу о влиянии перерабатывающей способности станций на регулирование вагонопотоков в современных условиях // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Том 1, №2. – С. 67–74;
- 27) Кагадий И. Н. Моделирование работы грузовых фронтов объектов промышленного транспорта / И. Н. Кагадий // Совершенствование технологии

перевозочного процесса к 80-летию факультета «Управление процессами перевозок». – Новосибирск, 2015. – С. 188-193.;

28) Кагадий И. Н. Повышение функциональной надежности грузовой станции на основе оптимизации основных параметров ее работы / И. Н. Кагадий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2016. – № 4 (52). – С. 164-171.;

29) Кагадий И. Н. Системная динамика функционирования грузовой станции // Транспортный комплекс в регионах: опыт и перспективы организации движения: материалы междунар. науч. – практ. конф. – Воронеж, 2015. – № 1. – С. 26 – 29;

30) Псеровская Е. Д. Исследование системы «Грузовая станция – путь необщего пользования» с использованием имитационной модели / Е. Д. Псеровская, И. Н. Кагадий // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 6-9;

31) Псеровская Е. Д. Моделирование грузовой работы станции во взаимодействии с путями необщего пользования / Е. Д. Псеровская, И. Н. Кагадий // Известия Транссиба. – 2016. – № 1 (25). – С. 91-96.

32) Псеровская Е. Д. Оценка влияния основных параметров грузовой станции на ее перерабатывающую способность / Е. Д. Псеровская, И. Н. Кагадий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – Новосибирск. – 2017. – № 1 (40). – С. 19-29.

33) Псеровская Е. Д. Причинно-следственные связи загруженности грузовых железнодорожных станций с позиции теории системной динамики / Е. Д. Псеровская, И. Н. Кагадий // Транспорт Урала. – Екатеринбург. – 2016. – № 4 (51). – С. 77-82.;

34) Карпелевич Ф. И. Эффективный метод планирования работы грузовой станции / Ф. И. Карпелевич, И. Б. Сотников // Вестн. ВНИИЖТ. – 1988. - № 1. – С. 8-11;

35) Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем: введ. в моделирование с Anylogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009 – С. 13;

36) Каталевский Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учеб. пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д. Ю. Каталевский. – М., 2015. – 496 с.;

37) Кирисов С. В. Теория и практика применения процессного подхода к управлению качеством деятельности организации: монография / С. В. Кирисов. – Тамбов, 2009. – 80 с.;

38) Козлов А. М. Проектирование железнодорожных станций и узлов: Справ. и метод руководство. / А.М. Козлов, К.Г. Гусева. – 2-е изд. перераб. и доп. – М., 1980. – 592 с.;

39) Козлов П. А. Модель оптимизации управления парками вагонов разных собственников / П. А. Козлов, И. П. Владимирская, Н. А. Тушин // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. – 2010. – № 3 (39). – С. 93-98.;

40) Козлов П. А. Повышение функциональной надежности транспортных систем / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, М. А. Чернин // Наука и техника транспорта. – 2010. – № 2. – С. 72-75.;

41) Козлов П. А. Поток и бункер-канал в транспортной системе / П. А. Козлов // Мир транспорта. – 2014. – № 2 (51). – С. 30-37.;

42) Козлов П. А. Технология макро моделирования транспортных узлов / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. Ю. Пермикин // Транспорт Урала. – 2014. – № 3 (42). – С. 3-6.;

43) Король Р. Г. Взаимодействие различных видов транспорта в транспортном узле при наличии терминала «сухой порт» (на примере владивостокского транспортного узла) / дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Король Роман Григорьевич. – Хабаровск, 2015. – 179 с.;

44) Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог: учеб. пособие для вузов [Текст] / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М., 1990. – 424 с.;

45) Крохин Л. С. Управление работой грузовых железнодорожных станций (теория, методы автоматизации, опыт внедрения) [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Крохин Леонид Сергеевич. – М., 1997. – 325 с.;

46) Кустов В. Н. Вопросы взаимодействия в работе станций и грузовых пунктов [Текст] / В. Н. Кустов // Совершенствование эксплуатационной работы и экономика железных дорог: тр. ЛИИЖТ. – 1967. – Вып. 259. – С. 19-28;

47) Лазарев Е. Г. Комплексное совершенствование работы предприятий промышленного железнодорожного транспорта с использованием имитационного моделирования [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.12 / Лазарев Евгений Георгиевич. – Ростов-на-Дону, 1983. – 215 с.;

48) Левин Д. Ю. Маршрутизация порожних вагонопотоков: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Левин Дмитрий Юрьевич – М., 1979. – 195 с.;

49) Левин Д. Ю. Организация местной работы: монография. – М., 2013. – 612 с.;

50) Левин Д. Ю. Управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте // Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». – М., – 2010. – С. 95-101;

51) Либерман Б. А. Обоснование принципов взаимодействия магистрального железнодорожного и промышленного транспорта в современных условиях (на примере металлургических комбинатов) [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Либерман Борис Александрович. – Липецк, 2001. – 211 с.;

52) Макаров В. М. Решение задач оптимизации развоза вагонов по станциям и подъездным путям в центрах управления местной работой [Текст] / В. М. Макаров // Труды ВНИАС. – 2005. – № 3. – С. 76-83.;

53) Максимей И. В. Использование имитационного моделирования для нахождения интегрального максимального потока в транспортной сети региона [Текст] / И. В. Максимей, Е. И. Сукач, П. В. Гируц // DataRecording, Storage & Processing. – 2008. – Т. 10, 1. – С. 49-58.;

54) Мамедов Ф. Т. Прогнозирование работы грузовой станции [Текст] / Ф. Т. Мамедов // Ж.-д. трансп. – 1977. – № 12. – С. 48-49;

55) Мануйлова М. Л. Установление оптимальной последовательности выполнения грузовых и маневровых операций при оперативном планировании

работы грузовой станции [Текст] / М. Л. Мануйлова // Вопросы эксплуатации и экономики железных дорог: труды МИИТ. – 1972. – Вып. 416. – С. 35-42;

56) Маслов А. М., Математическая модель входящего вагонопотока для определения уровня загрузки грузовой станции / А. М. Маслов, А. Л. Казаков // Вычисл. технологии. – 2008. – № 3 – С. 58-65;

57) Норматов Н. Ш. Исследование неравномерности движения и некоторых рациональных методов усиления перерабатывающей способности сортировочных станций: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Норматов Шавкат Нурматович. – М., 1972 – 54 с.;

58) Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов. – М., 2007. – 98 с.;

59) Об утверждении Положения о железнодорожной станции (с изменениями на 28 января 2015 года) [Текст]: распоряжение ОАО «РЖД» от 31 мая 2011 года № 1186-р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902285883>;

60) Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2020 года: приказ Минтранса РФ от 12.05.2005 № 45 [Электронный ресурс] // Консультант: информ. – прав. портал – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_99374/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99374/);

61) О внесении изменений в некоторые акты Министерства путей сообщения Российской Федерации [Текст]: приказ Минтранса России от 03.10.2011 № 258. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_120327/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120327/);

62) О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (вместе с «Планом мероприятий по реализации в 2008-2015 годах Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Текст]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17.06.2008 № 877-р // Собр. законодательства РФ. – 2008. – № 29 (ч. II) – ст. 3537;

63) О Федеральной целевой программе «Развития транспортной системы России (2010-2030 гг.) [Текст]: постановление Правительства Рос. Федерации от 05.12.2001 № 848 // Собр. законодательства РФ. – 2001. – № 51. – ст. 4895;

64) Об утверждении Улучшения работы промышленного транспорта / Постановление Правительства Рос. Федерации от 02.06.1971 № 338. – Режим доступа: [http://www.libussr.ru/doc\\_ussr/usr\\_7557.htm](http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_7557.htm);

65) Об утверждении Правил Эксплуатации и обслуживания железнодорожных путей необщего пользования [Текст]: приказ МПС РФ от 18.06.2003 № 28 (ред. от 04.05.2009) // Рос. газ. – 2009. – № 119/2.;

66) Об утверждении Функциональной стратегии управления качеством в ОАО «РЖД» [Текст]: распоряжение ОАО «РЖД» от 15.01.2007 № 46р [Электронный ресурс] // Российские железные дороги. – Режим доступа: [http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=1448](http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=1448);

67) Об утверждении Единого сетевого технологического процесса железнодорожных грузовых перевозок [Текст]: распоряжение ОАО «РЖД» № 2786р от 28.12.2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/2012-god/27058-2786r-ot-28-dekabrya-2012-g-o-edinom-setevom-tehnologicheskom-processe-zheleznodorozhnyh-gruzovyh-perevozok.html>;

68) Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 года [Текст]: постановление губернатора НСО от 03.12.2007 № 474 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.nso.ru/sites/test.new.nso.ru/wodby\\_files/files/migrate/activity/Socio-Economic\\_Policy/strat\\_plan/Documents/1654.pdf](http://www.nso.ru/sites/test.new.nso.ru/wodby_files/files/migrate/activity/Socio-Economic_Policy/strat_plan/Documents/1654.pdf)

69) Образцов В. Н. Основы комплексной теории транспорта / В. Н. Образцов, Ф. И. Шаульский. – М., 1948. – 492 с.;

70) Общий Устав российских железных дорог и Положение о Совете по железнодорожным делам. Том XII, ч. 1. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/6186471/>;

- 71) Орлова И. А. К вопросу о неравномерности работы грузовых станций [Текст] / И. А. Орлова // Вопросы совершенствования железнодорожного хладотранспорта: тр. МИИТ. – М., 1971. – Вып. 376. – С. 78-92;
- 72) Парунакян В. Э. Методика оценки перерабатывающей мощности грузовой железнодорожной станции промышленного предприятия. Ч. I / В. Э. Парунакян., В. А. Бойко // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-т. – 2007. – № 17. – С. 193-197;
- 73) Парунакян В. Э. Методика оценки перерабатывающей мощности грузовой железнодорожной станции промышленного предприятия. Ч. II / В. Э. Парунакян., В. А. Бойко // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-т. – 2007. – № 18. – С. 214-220;
- 74) Персианов В. А. Моделирование транспортных систем [Текст] / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н. С. Усков. – М., 1976. – С. 64;
- 75) Повороженко, В. В. Повышение производительности подвижного состава / В. В. Повороженко. – М., 1987. – 84 с.;
- 76) Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М.: Техинформ, 2001. – 256 с.
- 77) Проектирование железнодорожных станций [Текст] / сокращ. пер. с нем. В. И. Шейко; под ред. В. Я. Болотного. – М.: Транспорт, 1978. – 487 с.;
- 78) Ратин А. С. Исследование параметров технологического процесса грузовой станции на имитационной модели с использованием универсальной системы моделирования [Текст] / А. С. Ратин, Л. С. Крохин, А. Г. Седых // Управление вагонопотоками: тр. МИИТ. – М., 1978. – Вып. 587. – С. 104-113;
- 79) Рахимов К. Р. Необходимость и проблемы организации вагонопотоков на сети дорог в современных условиях // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. – 2012. – № 3. – С. 66-73;
- 80) Саакян Ю. З. Анализ эффективности // Коммерсантъ BusinessGuide. – 2011. – № 64. – С. 3-5;

- 81) Савченко И. Е. Железнодорожные станции и узлы. [Текст] / И. Е. Савченко, С. В. Земблинов, И. И. Страковский; под ред. В. М. Акулиничева, Н. Н. Шабалина, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 479 с.;
- 82) Сборник правил перевозок и тарифов железнодорожного транспорта № 306. Временные указания по разработке единых технологических процессов работы ПНП и станций примыкания. – М. «Транспорт». – 1985. – 45 с.;
- 83) Светуньков С. Г. Методы социально-экономического прогнозирования: учеб. для вузов. Том 1. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2009. – 189 с.;
- 84) Сиразетдинова А. Д. Методика управления вагонопотоками на путях необщего пользования, учитывающая оперативную загруженность станций / автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Сиразетдинова Альфия Данисовна. – Екатеринбург, 2010. – 25 с.;
- 85) Смехов, А. А. Математические модели процессов грузовой работы [Текст] / А. А. Смехов. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с. ;
- 86) Смехов А. А. Оптимизация процессов грузовой работы [Текст] / А. А. Смехов. – М.: Транспорт, 1973. – 263 с.;
- 87) Смехов А. А. Построение математической и сетевой модели грузовой станции методом статистических испытаний / А. А. Смехов // Математические и сетевые модели грузовых станций: тр. МИИТ. – М., 1970. – Вып. 300. – С. 3-26;
- 88) Смехов А. А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте [Текст]/А. А. Смехов.– М.: Транспорт, 1990.–352 с.;
- 89) Собрание законов и распоряжений Рабоче-Крестьянского Правительства СССР за 1934 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://istmat.info/node/43049>;
- 90) Совет операторов железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] // Информационный портал. – Режим доступа: [http://www.railsovet.ru/news/industry\\_news/?ELEMENT\\_ID=6179](http://www.railsovet.ru/news/industry_news/?ELEMENT_ID=6179);
- 91) Советов, Б. Я. Моделирование систем: учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.;

92) СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91. Строительные нормы и правила. Промышленный транспорт [Текст]. – М.: Промтрансниипроект, 1996. – 95 с.;

93) Стефаненко М. Н. Моделирование работы грузовых фронтов на подъездном пути [Текст] / М. Н. Стефаненко // Вестн. ВНИИЖТ. – 1968. – № 1. – С. 14-17;

94) СТО РЖД 08.013.2011. Стандарт ОАО «РЖД». Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Общие положения: (утв. и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2012 № 1267 р) [Электронный ресурс] // Консультант Плюс. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=537983>

95) Ташпулатов Ш. Т. Исследования оптимальных приоритетов при выполнении маневровых операций на грузовых станциях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Ташпулатов Шавкат Шарипович. – М., 1974. – 24 с.;

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

97) Тимухина Е. Н. Повышение безопасности функционирования и надежности транспортных объектов при технологических сбоях: монография. – Екатеринбург, 2014. – 112 с.;

98) Тихомиров И. Г. Технология работы участковых и сортировочных станций / И.Г. Тихомиров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1973.–271 с.;

99) Тишкин Е. М. Расчет очередности обслуживания грузовых фронтов на станции / Е. М. Тишкин [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – № 5. – С. 29-31;

100) Трофимов, С. В. Научно-методические основы функционирования и развития промышленных транспортных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Трофимов Сергей Владимирович. – М., 2004. – 45 с.;

101) Туранов Х. Т. Построение дифференциальной модели движения подвижного состава на местах необщего пользования / Х. Т. Туранов, Н. П. Чуев // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 7. – С. 13-18;

102) Туранов Х. Т. Численное моделирование движения грузовых вагонов на местах необщего пользования / Х. Т. Туранов, Н. П. Чуев // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 19. – С. 8-18;

103) Турсунбаева Н.К. Совершенствование технологии взаимодействия грузовой станции и подъездных путей предприятий [Текст]: автореф. дисс...канд. техн. наук: 05.22.08 /Турсунбаева Нишаной Камильжановна–Ташкент,1993.–24 с.;

104) Уманский В. И. Управление местной работой в интеллектуальных станционных системах / В. И. Уманский, В. М. Макаров, С. И. Долганюк // Вестн. ВНИИЖТ. – 2013. – № 5. – С. 16-21;

105) Усков Н. С. Направления взаимодействия промышленного и магистрального транспорта [Текст] / Н. С. Усков // Пром. трансп. – 1972. – № 7. – С. 8-10;

106) Устав Железнодорожного транспорта Российской Федерации: Федер. закон [Текст]: [принят Гос. Думой 24 дек. 2002 г.: одобрен Советом Федерации 27 дек. 2002 г.]. – М., 2003. – 242 с;

107) Фарков А. Г. Планирование перевозок промышленным железнодорожным транспортом при проектировании логистических информационных систем [Текст] / А. Г. Фарков; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 48 с.;

108) Федотов Н. И. «Исследование процессов работы и проектирования транспортных систем при колебаниях транспортных потоков»: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Федотов Николай Иванович. – М., 1971. – 32 с.;

109) Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] // Информационный портал. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b15\\_13/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_13/Main.htm);

110) Ферапонтов Г. В. Железнодорожные подъездные пути необщего пользования [Текст] / Г. В. Ферапонтов. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 227 с.;

111) Шенфельд К. П. Задача распределения порожних вагонов под погрузку в современных условиях // Вестн. ВНИИЖТ – 2012. – № 3. – С. 3-7;

112) Ющенко Н. Р. Выбор оптимального варианта организации маневровой работы грузовых станций на основе методов линейного программирования [Текст] / Н. Р. Ющенко, М. Н. Бакалов // Вопросы эксплуатации железных дорог: тр. ДИИТ. – М., 1966. – Вып. 61. – 160 с.;

113) Яневич В. З. Использование метода статистического моделирования для расчета исходных данных при анализе работы станций и подъездных путей [Текст] / В. З. Яневич, В. П. Ильяшенко // Решение инженерных задач для железнодорожного транспорта: тр. ДИИТ. – М., 1975. – Вып. 174/5. – С. 13-22;

114) Feeney, G., 1997. Controlling the distribution of empty freight cars. In: Proceedings of the Tenth National Meeting. Operational Research Society of America, Baltimore 36 (5), p. 84-89;

115) Fukasawa, R., de Aragao, M.P., Porto, O., Uchoa, E., 2002. Solving the freight car flow problem to optimality. Electronic Notes in Theoretical Computer Science 66 (6), p. 42–52;

116) Kwon, K., Martland, C.D., Sussman, J.M., 1998. Routing and scheduling temporal and heterogeneous freight car traffic on rail networks. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 34 (2), p. 101–115;

117) Lawley, M., Parmeshwaran, V., Richard, J.P., Turkcan, A., Dalal, M., Ramcharan, D., 2008. A time–space scheduling model for optimizing recurring bulk railcar deliveries. Transportation Research Part B 42 (6), p. 438–454;

118) Narisetty, A.K., Richard, J.P., Ramcharan, D., Murphy, D., Minks, G., Fuller, J., 2008. An optimization model for empty freight car assignment at Union Pacific Railroad. Interfaces 38 (2), p. 89–102;

119) Sayarshad, H.R., Marler, T., 2010. A new multi-objective optimization formulation for rail–car fleet sizing problems. Operational Research: An International Journal 10 (2), p. 175–198;

120) Sayarshad, H.R., Javadian, N., Tavakoli-Moghadam, R., Forghani, N., 2010. Solving multi-objective optimization formulation for fleet planning in a railway industry. Annals of Operations Research 181 (1), p. 185–197.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Прогнозирование объемов контейнеропотоков по моделям Брауна и Хольта

Таблица А.1 – Объемы переработки контейнеров на контейнерном терминале за 2014-2017 гг., TEU

| 2014      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
|           |       | Янв. | Фев. | Март | Апр. | Май  | Июнь | Июль | Авг. | Сент. | Окт. | Нояб. | Дек. |
| Порожние  | Вход  | 968  | 1024 | 1014 | 1323 | 1436 | 1094 | 1540 | 1510 | 1740  | 1681 | 1913  | 1717 |
|           | Выход | 1118 | 921  | 1257 | 1534 | 1462 | 1290 | 1195 | 1549 | 1672  | 1810 | 1828  | 1925 |
| Груженные | Вход  | 1032 | 970  | 2948 | 3191 | 3203 | 3141 | 3024 | 2949 | 3416  | 3821 | 2998  | 2711 |
|           | Выход | 1309 | 752  | 2667 | 3251 | 3366 | 3305 | 2618 | 2921 | 3399  | 3594 | 2918  | 2671 |
| 2015      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
|           |       | Янв. | Фев. | Март | Апр. | Май  | Июнь | Июль | Авг. | Сент. | Окт. | Нояб. | Дек. |
| Порожние  | Вход  | 1074 | 1221 | 1124 | 1287 | 2048 | 2347 | 2959 | 3079 | 2697  | 2718 | 2407  | 2311 |
|           | Выход | 1350 | 1163 | 1279 | 1620 | 2069 | 2288 | 2679 | 2795 | 2653  | 2700 | 2020  | 2940 |
| Груженные | Вход  | 2123 | 2817 | 2478 | 2634 | 3555 | 3688 | 4006 | 4854 | 4567  | 4072 | 3885  | 3600 |
|           | Выход | 2262 | 3224 | 2585 | 2552 | 3385 | 3650 | 4090 | 4229 | 4646  | 4178 | 3919  | 3424 |
| 2016      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
|           |       | Янв. | Фев. | Март | Апр. | Май  | Июнь | Июль | Авг. | Сент. | Окт. | Нояб. | Дек. |
| Порожние  | Вход  | 2149 | 2381 | 2109 | 2464 | 2612 | 2357 | 3049 | 2882 | 2820  | 2458 | 1822  | 2156 |
|           | Выход | 2060 | 1905 | 2462 | 2322 | 2745 | 2896 | 2693 | 2571 | 2507  | 2389 | 2391  | 2445 |
| Груженные | Вход  | 3443 | 3965 | 4976 | 4384 | 4025 | 4525 | 4178 | 4332 | 4074  | 4129 | 3221  | 3412 |
|           | Выход | 3485 | 3906 | 4238 | 4170 | 4014 | 4223 | 4868 | 3925 | 4387  | 4128 | 3414  | 3119 |
| 2017      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
|           |       | Янв. | Фев. | Март | Апр. | Май  | Июнь | Июль | Авг. | Сент. | Окт. | Нояб. | Дек. |
| Порожние  | Вход  | 1541 | 1881 | 2216 | 2236 | 2772 | 2636 | 3235 | 2707 | 2369  | 2463 | 1920  | 2240 |
|           | Выход | 2039 | 1889 | 2435 | 1958 | 2607 | 2511 | 2425 | 2786 | 2725  | 2750 | 2295  | 2264 |
| Груженные | Вход  | 2745 | 3195 | 3287 | 3588 | 3813 | 4200 | 4754 | 4340 | 4320  | 4187 | 3600  | 3870 |
|           | Выход | 2918 | 3123 | 3298 | 3650 | 3731 | 4102 | 4657 | 4341 | 4263  | 4150 | 3761  | 4101 |

Таблица А.2 – Прогнозирование объемов контейнеропотока на 2018 г.

| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Прибытие порожних контейнеров, TEU |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|-------------|---------------------------|------------------------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|
|             |                           | Годовые контейнеропотоки           |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание        |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,1                                |           |                    | 0,2                |           |                    | 0,3                |           |                    |
| $Y_t$       | $Y_{t+1}$                 | $(Y_t - Y_{t2})^2$                 | $Y_t$     | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$     | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |           |                    |
| 2014        | 16960                     | 16960                              | 16960     | 0                  | 16960              | 16960     | 0                  | 16960              | 16960     | 16960              |
| 2015        | 25272                     | 16960                              | 17791,2   | 55962368,64        | 16960              | 18622,4   | 44217180,16        | 16960              | 16960     | 17791,2            |
| 2016        | 29259                     | 17791,2                            | 18937,98  | 106523453,8        | 18622,4            | 20749,72  | 72407846,12        | 19453,6            | 17791,2   | 18937,98           |
| 2017        | 28216                     | 18937,98                           | 19865,782 | 69726140,65        | 20749,72           | 22242,976 | 35677015,7         | 22395,22           | 18937,98  | 19865,782          |
| Прогноз     |                           | 19865,78                           |           |                    | 22242,97           |           |                    | 24141,45           |           |                    |
| Погрешность |                           | 8797,95                            |           |                    | 7125,12            |           |                    | 5702,84            |           |                    |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки           |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание        |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,4                                |           |                    | 0,5                |           |                    | 0,6                |           |                    |
|             |                           | $Y_t$                              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |
| 2014        | 16960                     | 16960                              | 16960     | 0                  | 16960              | 16960     | 0                  | 16960              | 16960     | 0                  |
| 2015        | 25272                     | 16960                              | 20284,8   | 24872163,84        | 16960              | 21116     | 17272336           | 16960              | 21947,2   | 11054295,04        |
| 2016        | 29259                     | 20284,8                            | 23874,48  | 28993055,63        | 21116              | 25187,5   | 16577112,25        | 21947,2            | 26334,28  | 8553987,078        |
| 2017        | 28216                     | 23874,48                           | 25611,088 | 6785566,528        | 25187,5            | 26701,75  | 2292953,063        | 26334,28           | 27463,312 | 566539,2253        |
| Прогноз     |                           | 25611,08                           |           |                    | 26701,75           |           |                    | 27463,31           |           |                    |
| Погрешность |                           | 4496,32                            |           |                    | 3470,94            |           |                    | 2593,24            |           |                    |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки           |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание        |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,7                                |           |                    | 0,8                |           |                    | 0,9                |           |                    |
|             |                           | $Y_t$                              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |
| 2014        | 16960                     | 16960                              | 16960     | 0                  | 16960              | 16960     | 0                  | 16960              | 16960     | 0                  |
| 2015        | 25272                     | 16960                              | 22778,4   | 6218040,96         | 16960              | 23609,6   | 2763573,76         | 16960              | 24440,8   | 690893,44          |
| 2016        | 29259                     | 22778,4                            | 27314,82  | 3779835,872        | 23609,6            | 28129,12  | 1276628,814        | 24440,8            | 28777,18  | 232150,5124        |
| 2017        | 28216                     | 27314,82                           | 27945,646 | 73091,28532        | 28129,12           | 28198,624 | 301,925376         | 28777,18           | 28272,118 | 3149,229924        |
| Прогноз     |                           | 27945,64                           |           |                    | 28198,62           |           |                    | 28272,11           |           |                    |
| Погрешность |                           | 1832,20                            |           |                    | 1160,53            |           |                    | 555,63             |           |                    |

## Продолжение таблицы А.2.

| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Отправление порожних контейнеров, TEU |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|-------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|
|             |                           | Годовые контейнеропотоки              |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание           |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,1                                   |           |                    | 0,2                |           |                    | 0,3                |           |                    |
| $Y_t$       | $Y_{t+1}$                 | $(Y_t - Y_{t2})^2$                    | $Y_t$     | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$     | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |           |                    |
| 2014        | 17561                     | 17561                                 | 17561     | 0                  | 17561              | 17561     | 0                  | 17561              | 17561     | 0                  |
| 2015        | 25556                     | 17561                                 | 18360,5   | 51775220,25        | 17561              | 19160     | 40908816           | 17561              | 19959,5   | 31320812,25        |
| 2016        | 29386                     | 18360,5                               | 19463,05  | 98464936,7         | 19160              | 21205,2   | 66925488,64        | 19959,5            | 22787,45  | 43540862,1         |
| 2017        | 28684                     | 19463,05                              | 20385,14  | 68870994,31        | 21205,2            | 22700,96  | 35796767,64        | 22787,45           | 24556,41  | 17036957,93        |
| Прогноз     |                           | 20385,14                              |           |                    | 22700,96           |           |                    | 24556,41           |           |                    |
| Погрешность |                           | 8546,17                               |           |                    | 6919,32            |           |                    | 5534,69            |           |                    |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки              |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание           |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,4                                   |           |                    | 0,5                |           |                    | 0,6                |           |                    |
|             |                           | $Y_t$                                 | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |
| 2014        | 17561                     | 17561                                 | 17561     | 0                  | 17561              | 17561     | 0                  | 17561              | 17561     | 0                  |
| 2015        | 25556                     | 17561                                 | 20759     | 23011209           | 17561              | 21558,5   | 15980006,25        | 17561              | 22358     | 10227204           |
| 2016        | 29386                     | 20759                                 | 24209,8   | 26793046,44        | 21558,5            | 25472,25  | 15317439,06        | 22358              | 26574,8   | 7902845,44         |
| 2017        | 28684                     | 24209,8                               | 25999,48  | 7206647,63         | 25472,25           | 27078,12  | 2578834,51         | 26574,8            | 27840,32  | 711795,94          |
| Прогноз     |                           | 25999,48                              |           |                    | 27078,12           |           |                    | 27840,32           |           |                    |
| Погрешность |                           | 4359,31                               |           |                    | 3360,37            |           |                    | 2506,11            |           |                    |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки              |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание           |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,7                                   |           |                    | 0,8                |           |                    | 0,9                |           |                    |
|             |                           | $Y_t$                                 | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |
| 2014        | 17561                     | 17561                                 | 17561     | 0                  | 17561              | 17561     | 0                  | 17561              | 17561     | 0                  |
| 2015        | 25556                     | 17561                                 | 23157,5   | 5752802,25         | 17561              | 23957     | 2556801            | 17561              | 24756,5   | 639200,25          |
| 2016        | 29386                     | 23157,5                               | 27517,45  | 3491479,10         | 23957              | 28300,2   | 1178961,64         | 24756,5            | 28283,45  | 1215616,50         |
| 2017        | 28684                     | 27517,45                              | 28334,03  | 122475,50          | 28300,2            | 28607,24  | 5892,09            | 28283,45           | 27761,905 | 850259,18          |
| Прогноз     |                           | 28334,03                              |           |                    | 28607,24           |           |                    | 27761,90           |           |                    |
| Погрешность |                           | 1766,98                               |           |                    | 1116,78            |           |                    | 949,57             |           |                    |

## Продолжение таблицы А.2.

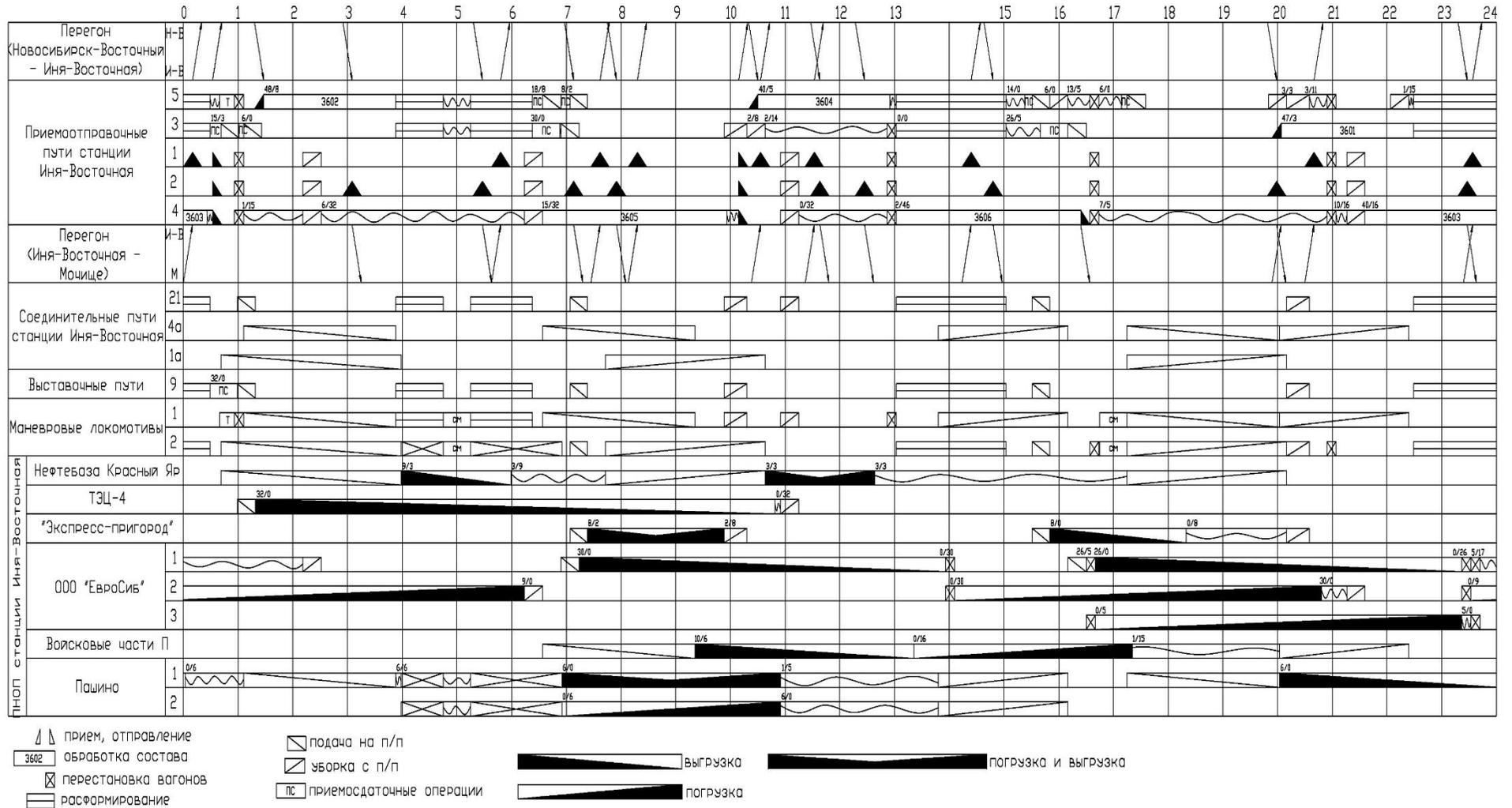
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Прибытие грузеных контейнеров, TEU |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |             |
|-------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|
|             |                           | Годовые контейнеропотоки           |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |             |
|             |                           | Параметрическое сглаживание        |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |             |
|             |                           | 0,1                                |                    |             | 0,2                |                    |             | 0,3                |                    |             |
|             | $Y_t$                     | $Y_{t+1}$                          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$       | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$       | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |             |
| 2014        | 33404                     | 33404                              | 33404              | 0           | 33404              | 33404              | 0           | 33404              | 33404              | 0           |
| 2015        | 42279                     | 33404                              | 34291,5            | 63800156,25 | 33404              | 35179              | 50410000    | 33404              | 36066,5            | 38595156,25 |
| 2016        | 48664                     | 34291,5                            | 35728,75           | 167320692,6 | 35179              | 37876              | 116380944   | 36066,5            | 39845,75           | 77761533,06 |
| 2017        | 45899                     | 35728,75                           | 36745,77           | 83781527,9  | 37876              | 39480,6            | 41195858,56 | 39845,75           | 41661,72           | 17954499,43 |
| Прогноз     |                           | 36745,77                           |                    |             | 39480,6            |                    |             | 41661,72           |                    |             |
| Погрешность |                           | 10245,36                           |                    |             | 8326,39            |                    |             | 6691,06            |                    |             |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки           |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |             |
|             |                           | Параметрическое сглаживание        |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |             |
|             |                           | 0,4                                |                    |             | 0,5                |                    |             | 0,6                |                    |             |
|             |                           |                                    | $Y_t$              | $Y_{t+1}$   | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$   | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$   |
| 2014        | 33404                     | 33404                              | 33404              | 0           | 33404              | 33404              | 0           | 33404              | 33404              | 0           |
| 2015        | 42279                     | 33404                              | 36954              | 28355625    | 33404              | 37841,5            | 19691406,25 | 33404              | 38729              | 12602500    |
| 2016        | 48664                     | 36954                              | 41638              | 49364676    | 37841,5            | 43252,75           | 29281626,56 | 38729              | 44690              | 15792676    |
| 2017        | 45899                     | 41638                              | 43342,4            | 6536203,56  | 43252,75           | 44575,87           | 1750659,76  | 44690              | 45415,4            | 233868,96   |
| Прогноз     |                           | 43342,4                            |                    |             | 44575,87           |                    |             | 45415,4            |                    |             |
| Погрешность |                           | 5299,57                            |                    |             | 4111,92            |                    |             | 3089,17            |                    |             |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки           |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |             |
|             |                           | Параметрическое сглаживание        |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |             |
|             |                           | 0,7                                |                    |             | 0,8                |                    |             | 0,9                |                    |             |
|             |                           |                                    | $Y_t$              | $Y_{t+1}$   | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$   | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$   |
| 2014        | 33404                     | 33404                              | 33404              | 0           | 33404              | 33404              | 0           | 33404              | 33404              | 0           |
| 2015        | 42279                     | 33404                              | 39616,5            | 7088906,25  | 33404              | 40504              | 3150625     | 33404              | 41391,5            | 787656,25   |
| 2016        | 48664                     | 39616,5                            | 45949,75           | 7367153,06  | 40504              | 47032              | 2663424     | 41391,5            | 47936,75           | 528892,56   |
| 2017        | 45899                     | 45949,75                           | 45914,22           | 231,80      | 47032              | 46125,6            | 51347,56    | 47936,75           | 46102,77           | 41524,25    |
| Прогноз     |                           | 45914,22                           |                    |             | 46125,6            |                    |             | 46102,77           |                    |             |
| Погрешность |                           | 2195,16                            |                    |             | 1398,26            |                    |             | 672,82             |                    |             |

## Окончание таблицы А.2.

| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Отправление грузных контейнеров, TEU |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|-------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|
|             |                           | Годовые контейнеропотоки             |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание          |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,1                                  |           |                    | 0,2                |           |                    | 0,3                |           |                    |
| $Y_t$       | $Y_{t+1}$                 | $(Y_t - Y_{t2})^2$                   | $Y_t$     | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$     | $Y_{t+1}$          | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |           |                    |
| 2014        | 32771                     | 32771                                | 32771     | 0                  | 32771              | 32771     | 0                  | 32771              | 32771     | 0                  |
| 2015        | 42144                     | 32771                                | 33708,3   | 71161034,49        | 32771              | 34645,6   | 56226002,56        | 32771              | 35582,9   | 43048033,21        |
| 2016        | 47877                     | 33708,3                              | 35125,17  | 162609168,3        | 34645,6            | 37291,88  | 112044765,4        | 35582,9            | 39271,13  | 74060998,46        |
| 2017        | 46095                     | 35125,17                             | 36222,153 | 97473107,89        | 37291,88           | 39052,50  | 49596749,91        | 39271,13           | 41318,291 | 22816948,87        |
| Прогноз     |                           | 36222,15                             |           |                    | 39052,50           |           |                    | 41318,29           |           |                    |
| Погрешность |                           | 10507,82                             |           |                    | 8521,88            |           |                    | 6829,49            |           |                    |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки             |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание          |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,4                                  |           |                    | 0,5                |           |                    | 0,6                |           |                    |
|             |                           | $Y_t$                                | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |
| 2014        | 32771                     | 32771                                | 32771     | 0                  | 32771              | 32771     | 0                  | 32771              | 32771     | 0                  |
| 2015        | 42144                     | 32771                                | 36520,2   | 31627126,44        | 32771              | 37457,5   | 21963282,25        | 32771              | 38394,8   | 14056500,64        |
| 2016        | 47877                     | 36520,2                              | 41062,92  | 46431686,25        | 37457,5            | 42667,25  | 27141495,06        | 38394,8            | 44084,12  | 14385938,69        |
| 2017        | 46095                     | 41062,92                             | 43075,75  | 9115858,48         | 42667,25           | 44381,12  | 2937367,51         | 44084,12           | 45290,64  | 646982,13          |
| Прогноз     |                           | 43075,75                             |           |                    | 44381,12           |           |                    | 45290,64           |           |                    |
| Погрешность |                           | 5390,56                              |           |                    | 4165,01            |           |                    | 3113,91            |           |                    |
| Год         | Размеры погрузки-выгрузки | Годовые контейнеропотоки             |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | Параметрическое сглаживание          |           |                    |                    |           |                    |                    |           |                    |
|             |                           | 0,7                                  |           |                    | 0,8                |           |                    | 0,9                |           |                    |
|             |                           | $Y_t$                                | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ | $Y_t$              | $Y_{t+1}$ | $(Y_t - Y_{t2})^2$ |
| 2014        | 32771                     | 32771                                | 32771     | 0                  | 32771              | 32771     | 0                  | 32771              | 32771     | 0                  |
| 2015        | 42144                     | 32771                                | 39332,1   | 7906781,61         | 32771              | 40269,4   | 3514125,16         | 32771              | 41206,7   | 878531,29          |
| 2016        | 47877                     | 39332,1                              | 45313,53  | 6571378,44         | 40269,4            | 46355,48  | 2315023,11         | 41206,7            | 46460,13  | 2007520,59         |
| 2017        | 46095                     | 45313,53                             | 45860,55  | 54962,58           | 46355,48           | 46147,09  | 2713,99            | 46460,13           | 44998,01  | 1203371,70         |
| Прогноз     |                           | 45860,55                             |           |                    | 46147,09           |           |                    | 44998,01           |           |                    |
| Погрешность |                           | 2200,99                              |           |                    | 1394,25            |           |                    | 1167,53            |           |                    |

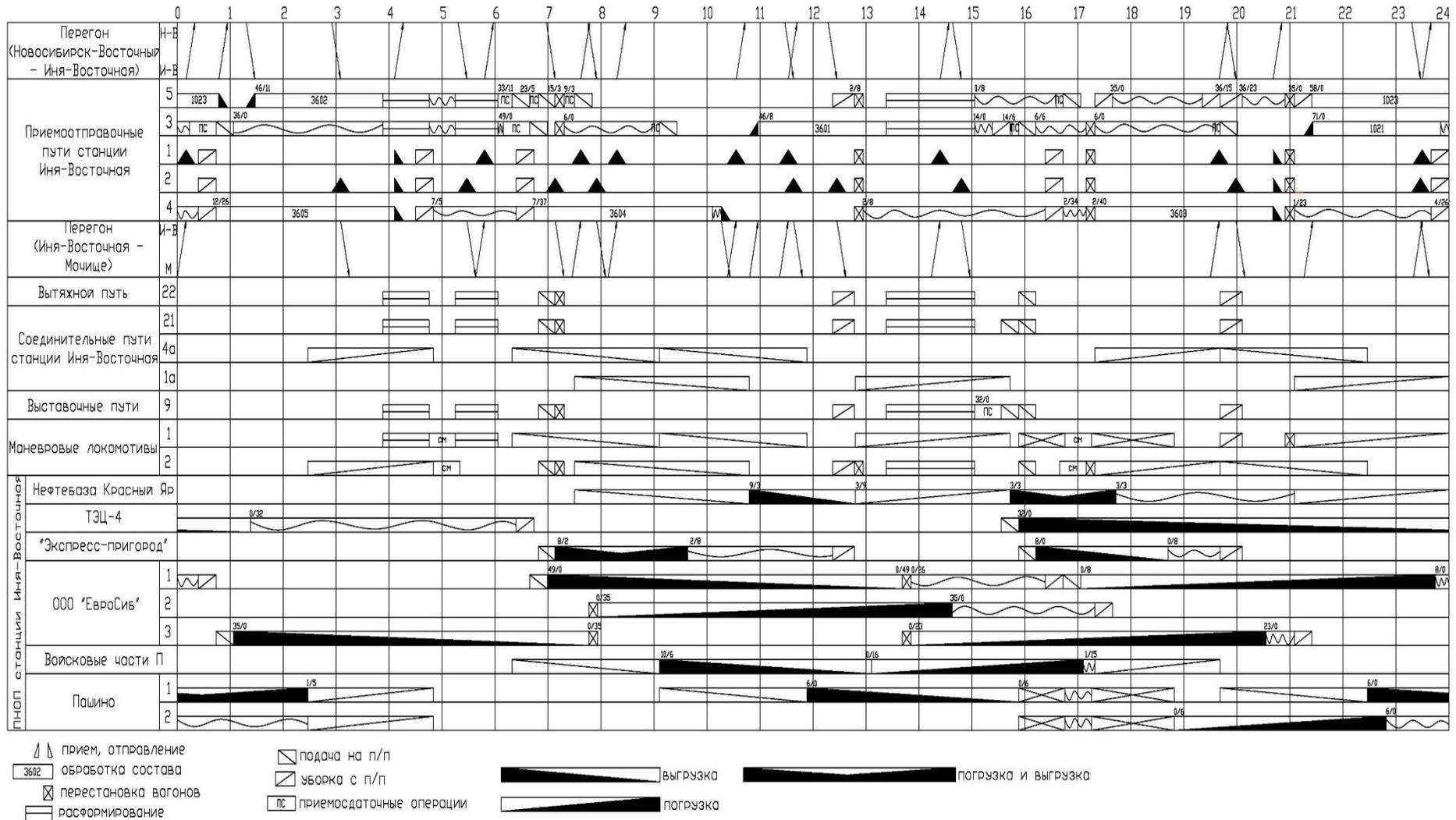
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Суточный план-график работы реальной грузовой станции ЗСЖД за 2016 г.



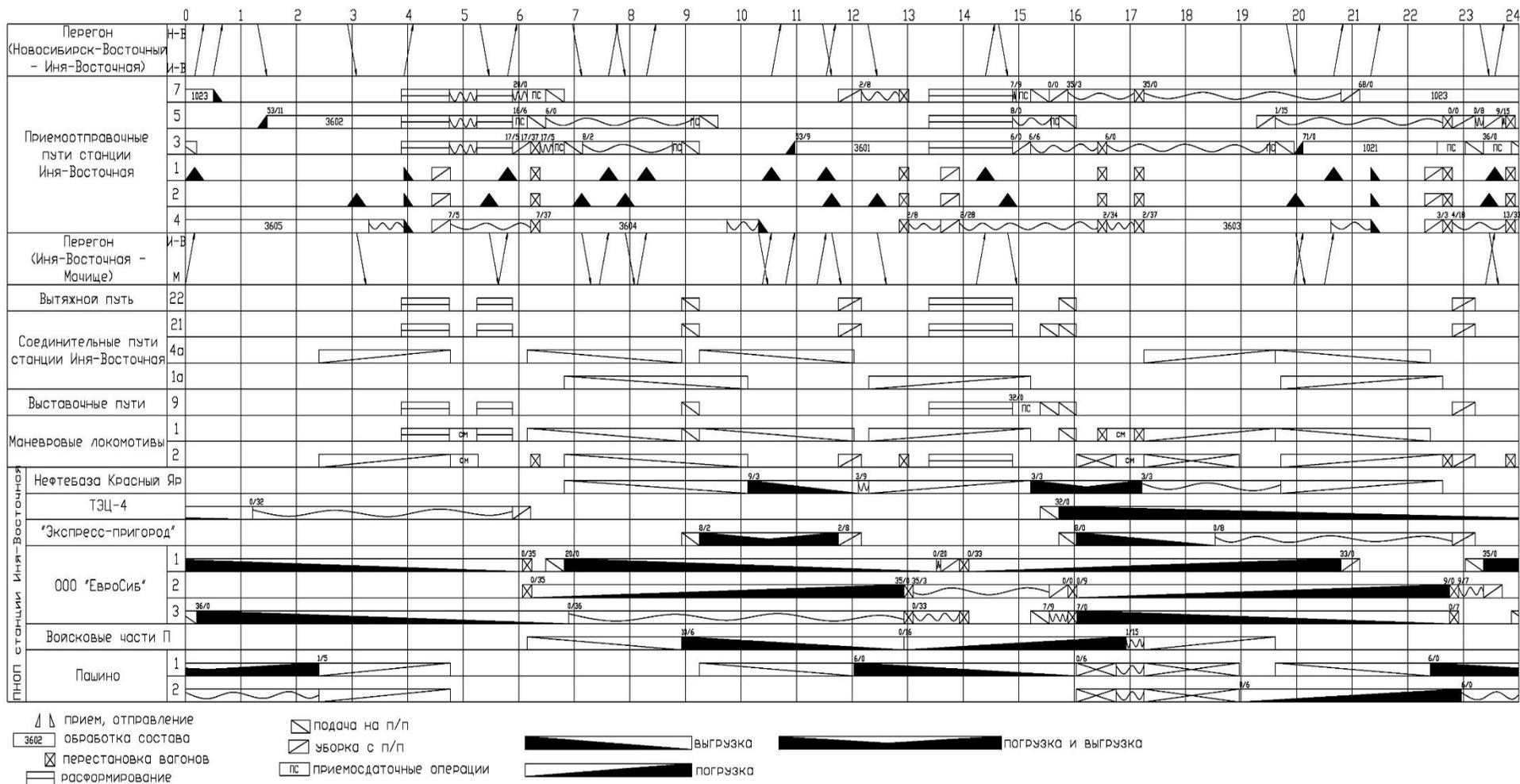
## ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Суточный план-график работы реальной грузовой станции ЗСЖД при изменении технологии работы на 2017 г.



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Суточный план-график по результатам оптимизации местной работы реальной грузовой станции ЗСЖД



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## Справка о внедрении результатов диссертационного исследования



РОСЖЕЛДОР  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ» (СГУПС)**  
✉ 630049, г. Новосибирск-49, ☎ тел.: (383) 328-04-70, 328-05-75 ✉ e-mail: public@stu.ru  
ул. Дуси Ковальчук, 191 ☎ факс: (383) 226-79-78 http://www.stu.ru  
ОГРН 1025401011680 ИНН / КПП 5402113155 / 540201001

21.03.18 № 545

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

*[Signature]*  
«19» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**Акт о внедрении результатов диссертационной работы  
Кагадия Игоря Николаевича в учебный процесс**

Настоящая справка подтверждает использование в учебном процессе факультета «Управление процессами перевозок на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» материалов диссертационной работы Кагадия И. Н. на тему «Повышение функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 - «Управление процессами перевозок» (технические науки).

Научные результаты диссертационной работы используются при обучении студентов по специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», специализаций «Магистральный транспорт», «Грузовая и коммерческая работа» и «Транспортный бизнес и логистика». Материалы диссертационной работы, касающиеся теоретических аспектов взаимодействия грузовой станции и пути необщего пользования (ПНП), включены в учебный курс рабочей программы Б1.Б.32 дисциплины «Управление грузовой и коммерческой работой», что позволяет студентам научиться анализировать данные, связанные с выполнением местной грузовой работы, и принимать решения по рациональной организации процесса переработки вагонов на грузовых станциях. Прикладные аспекты использования результатов диссертационного исследования в части повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию ПНП и оценки экономической эффективности вариантов повышения функциональной надежности грузовой станции используются при выполнении выпускных квалификационных работ (ВКР) студентами 5 курса на кафедре «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» ФГБОУ ВО СГУПС. В исследовательском разделе ВКР студентами с применением имитационной модели «грузовая станция – ПНП» разрабатывается технология и оптимизация параметров взаимодействия грузовой станции и путей необщего пользования.

Декан факультета УПП,  
канд. техн. наук, доцент

*[Signature]*  
А. А. Климов

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Справка о внедрении результатов диссертационного исследования



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»  
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ  
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

**ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ  
ДИРЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ**

ул. Вокзальная магистраль, 12,  
г. Новосибирск, 630004,  
Тел.: (383) 229-48-02, факс: (383) 229-93-88  
E-mail: d-sekretar@wsr.ru, www.zszd.rzd.ru

20.03.2018 г. № 1494/ЗД  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

#### АКТ

#### о внедрении результатов диссертационной работы Кагадия Игоря Николаевича

Результаты, полученные Кагадием И.Н. при выполнении диссертационной работы на тему: «Повышение функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию путей необщего пользования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – «Управление процессами перевозок», имеют прикладное значение для железнодорожных грузовых станций, обслуживающих пути необщего пользования.

Выполнена апробация методики повышения функциональной надежности грузовой станции Иня-Восточная Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Полученные результаты позволили провести оценку загруженности станционных объектов и определить лимитирующие элементы. Оптимизация технических и технологических параметров работы грузовой станции выполнена на виртуальной модели, что позволило провести корректировку технологии взаимодействия грузовой станции и путей необщего пользования (ПНП).

Для станции Иня-Восточная выполнена оценка экономической эффективности вариантов повышения функциональной надежности грузовой станции по обслуживанию ПНП.

Разработанная методика представляет практическую ценность и может быть применена и для других грузовых станций ОАО «РЖД» при определении оптимальных (рациональных) конструктивных и технологических параметров с целью повышения их функциональной надежности, в том числе при увеличении объемов перевозок.

Главный инженер дирекции



Д.А.Мандрик

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

## Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615352

«Оптимизация работы железнодорожных грузовых станций  
и объектов промышленного транспорта»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Сибирский  
государственный университет путей сообщения» (RU)*

Авторы: *Кагадий Игорь Николаевич (RU),  
Псеровская Елена Дмитриевна (RU)*

Заявка № 2017612777

Дата поступления 03 апреля 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 15 мая 2017 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

