

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет) » (МАИ)

На правах рукописи

Киндинова Виктория Валерьевна

**МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ОБЪЕКТА СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ**

Специальность: 05.13.18

«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук,
доцент Кузнецова Е.В.

Москва-2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДОВ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ОБЪЕКТОВ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ	9
1.1 Обзор логистических технологий и программных модулей	9
1.2 WMS системы.....	11
1.3 Компьютерное моделирование	14
1.3.1 Аналитическое моделирование	15
1.3.2 Структурно-функциональный подход в моделировании	15
1.3.3 Объектный подход в моделировании	16
1.3.4 Имитационное моделирование.....	16
1.3.5 Комплексное моделирование	17
1.4 Выводы	17
ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ОБ ОБЪЕКТЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АГРЕГАТИВНОГО ПОДХОДА	21
2.1 Абстрактная модель функционирования объекта складской логистики	21
2.2 Структурный и статистический анализ входного потока деталей.....	23
2.3 Структурно-функциональное моделирование технологических процессов объекта складской логистики.....	30
2.4 Концептуальное представление моделей объекта складской логистики на основе агрегативного подхода	35
2.4.1 Формализация аналитической модели	36
2.4.2 Формализация имитационной модели.....	40
2.4.3 Принцип взаимодействия моделей	42
2.5 Выводы	43
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ	45
3.1 Моделирование неординарного, неоднородного входного потока	46
3.1.1 Агентный подход к моделированию неординарного, неоднородного входного потока	46
3.1.2 Реализация класса-агента Truck (Грузовик)	50

3.1.3 Реализация класса-агента Delivery (Поставка)	51
3.1.4 Реализация класса-агента Catalog (Документ).....	52
3.1.5 Реализация класса-агента Pallet (Паллет).....	53
3.1.6 Реализация класса-агента Cargo (Коробка).....	54
3.1.7 Реализация класса-агента Components (Деталь).....	55
3.2 Идентификация и генерация случайного неординарного входного потока .	56
3.3 Моделирование операционных процессов объекта складской логистики ...	61
3.3.1 Концептуальное представление архитектуры ИМ-модели	61
3.3.1.1 Моделирование процессов, связанных с типом заявки Truck	63
3.3.1.2 Моделирование процессов, связанных с типом заявки Delivery, Catalog.....	64
3.3.1.3 Моделирование процессов, связанных с типом заявки Pallet, Cargo, Components	65
3.4. Программная реализация имитационной модели.....	66
3.5 Проверка адекватности имитационной модели	70
3.6 Выводы	73
ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ	75
4. 1 Задачи, решенные на аналитической модели.....	75
4.2 Задачи, решенные на имитационной модели	83
4.3 Примеры управлеченческих алгоритмов.....	92
4.4 Выводы	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
ЛИТЕРАТУРА	97
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ ОБ ОБЪЕКТЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ (ДОПОЛНЕНИЕ К ГЛАВЕ 2)	105
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ СЛУЧАЙНОГО ВХОДНОГО ПОТОКА.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. РАЗРАБОТАННЫЕ КЛАССЫ, РАСШИРЯЮЩИЕ СТАНДАРТНУЮ БИБЛИОТЕКУ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	137

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Для эксплуатантов авиационной техники и авиаремонтных организаций актуальной является задача эффективного функционирования складов авиазапчастей, которая может быть решена с помощью информационных технологий в рамках концепции CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support).

Наиболее распространенными системами управления объектом складской логистики (ОСЛ), в том числе ОСЛ по хранению авиационно-технического имущества (АТИ), являются системы WMS(Warehouse Management system). Основное назначение WMS — выполнение учетных функций, включающих анализ текущей загрузки склада. Системы такого класса не позволяют анализировать логистические процессы в динамике, не помогают найти ответ на вопрос «что будет, если...», что делает их малоэффективными при выработке стратегических и тактических управленческих решений. Поэтому актуальной задачей является разработка инструментария по поддержке принятия управленческих решений для ОСЛ через разработку моделей, алгоритмов и программ анализа логистических процессов как динамически развивающихся.

Цель работы — разработать модели с использованием структурно-функционального, аналитического и имитационного моделирования и на их основе построить комплексную имитационную моделирующую систему (**КИМ-систему**) в качестве системы поддержки принятия решений (СППР) для анализа и управления операционными процессами объекта складской логистики на примере склада авиазапчастей. Это соответствует областям исследований, определенным в паспорте 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (п.5, п.8).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести статистический и структурный анализ входного и выходного потоков на ОСЛ АТИ. Формализовать на структурно-функциональном уровне существующие операционные процессы и выделить показатели качества функционирования.

2. Разработать концептуальное представление моделей ОСЛ и принципы их взаимодействия.
3. Разработать подход к моделированию входного потока, представляющего неординарный неоднородный поток, заявки которого претерпевают многоократное расщепление.
4. Разработать подход к генерации неординарного входного потока.
5. Разработать ***КИМ-систему***, реализующую предложенные модели и алгоритмы, и продемонстрировать использование ***КИМ-системы*** на практических примерах.

Объект исследования. В работе исследуются операционные процессы ОСЛ.

Предмет исследования — модели, алгоритмы и программное обеспечение, применяемые для анализа операционных процессов и управления сложными логистическими объектами.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использованы следующие методы: системный анализ, статистический анализ, имитационное моделирование (ИМ), аналитическое моделирование, технологии программирования, технологии моделирования бизнес-процессов, теория планирования вычислительного эксперимента.

Научная новизна работы.

Предложен комплексный подход к анализу и управлению операционными процессами ОСЛ, предполагающий совместное использование структурно-функционального, аналитического и имитационного моделирования, что позволяет взаимно компенсировать объективно существующие недостатки и ограничения каждого из видов моделирования.

Выполнена проверка адекватности имитационной модели ОСЛ, что повышает убедительность результатов вычислительных экспериментов и степень обоснованности принятия управленческих решений.

В рамках абстрактной модели функционирования ОСЛ построено концептуальное представление моделей ***КИМ-системы*** на основе агрегативного подхода, позволяющее выявлять и единообразно описывать

элементы моделей, их взаимодействие между собой и с внешней средой, что упрощает реализацию моделей на ЭВМ с использованием объектно-ориентированного подхода (ООП).

Предложен принцип взаимодействия моделей в рамках ***КИМ-системы***, позволяющий расширять ***КИМ-систему*** путем добавления новых моделей.

Предложен агентный подход к имитационному моделированию неординарного, неоднородного входного потока. Применение агентного подхода дает возможность быстро и с минимальными затратами адаптировать систему к изменяющимся условиям функционирования.

Предложен подход к генерации случайного входного потока, структура которого инвариантна к его интенсивности.

Практическая значимость.

- ***КИМ-система*** позволяет проводить оценку эффективности диспетчерских протоколов, прописанных в WMS (Warehouse Management system), используется для сравнения сценариев планируемых изменений в технологии обработки реального материального потока заявок, позволяет лицу, принимающему решение (ЛПР), выявлять узкие места технологических процессов и анализировать способы их устранения.
- ***КИМ-система*** позволяет ЛПР оперативно перенастраивать параметры функционирования складского комплекса в зависимости от основных характеристик грузопотока, таких как приоритетность в обработке поставляемых грузов и/или объемно-временных показателей.
- Использование ***КИМ-системы*** на ранних стадиях обработки списка заказов и планов поставок позволяет уменьшить время обработки и выполнения пользовательских заказов.
- В ***КИМ-системе*** предусмотрены интерфейсы, позволяющие задавать управляющие параметры и представлять результаты моделирования в информативном и наглядном виде.
- ***КИМ-система*** может быть использована как независимый программный модуль прототипирования операционных процессов складского комплекса для

илюстрации в динамике всех этапов переработки входного потока заявок, а также для обучения и повышения квалификации персонала.

Внедрение результатов. Модели ***КИМ-системы*** внедрены в состав программно-аналитического обеспечения ряда логистических предприятий, а также в учебный процесс кафедры Вычислительной математики и программирования МАИ в виде базового средства обучения по курсу “Имитационное моделирование в экономике и финансах”.

Апробация работы. Результаты докладывались и обсуждались на V и VI Всероссийских конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (Москва, 2008, 2009), на VII, VIII, IX, X, XI Международных конференциях по неравновесным процессам в соплах и струях (Алушта, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016), на XVI и XVII международных школах-семинарах “Новые Информационные Технологии” (Судак, 2008, 2009), на XVI, XVII, XVIII, XIX, XX Международных конференциях по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (Алушта 2009, 2011, 2013, 2015, 2017), на Четвертой, Пятой, Шестой, Седьмой, Восьмой Всероссийских научно-практических конференциях по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (Санкт-Петербург-2009, 2011, 2017, Казань-2013, Москва-2015), на VII Международной научной конференции “Перспективы развития логистики и управления цепями поставок” (Москва-2017). Работа прошла обсуждение на семинаре кафедры “Математики и моделирования социально-экономических процессов” РАНХиГС СЗИУ (Санкт-Петербург, 20.10.2011), на семинаре кафедры “Вычислительной математики и программирования” МАИ (Москва, 11.05.2012, 19.12.2012, 15.05.2017, 12.10.2017), на семинаре отдела “Математическое моделирование экономических систем” ВЦ РАН (Москва, 24.10.2012, 24.05.2017), на семинаре отдела “Имитационные системы и исследование операций” ФИЦ ИУ РАН (Москва, 10.10.2015), на научном семинаре Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

(20.06.2017), на научном семинаре ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова (05.07.2017), на научном семинаре СПИИРАН (06.07.2017).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 19 работ, из них четыре статьи в журналах из списка ВАК и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений.

ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДОВ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ОБЪЕКТОВ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ

1.1 Обзор логистических технологий и программных модулей

В работе исследуются методы, алгоритмы, технологии, математическое и программное обеспечение, применяемые для анализа и управления операционными процессами, связанными с переработкой материального потока на ОСЛ.

Обзор работ отечественных и зарубежных ученых в области логистики: А.М. Гаджинского, Ю.М. Неруша, В.И. Сергеева, Ю.И. Толуева, С. Питеркина, Н. Оладова, Д. Исаева, Д. Бауэрсокса, Д. Вуда, Д. Вордлоу, Д. Джонсона, М. Дитриха, Д. Клосса, П. Мерфи, Д. Уотерса, - показал, что существующие логистические подходы для управления и оценки эффективности функционирования процессов ОСЛ сводятся к расчетам, использующим статистический анализ работы ОСЛ[1][2][12][13][49][53][58], и применению широко известных логистических технологий[17,43,52]. В своей практической деятельности современные промышленные компании часто используют различные логистические технологии, на основе которых разработаны логистические программные модули, поддерживаемые корпоративной информационной системой. Перечень известных логистических технологий представлен ниже.

Логистическая технология Requirements/Resource Planning (планирование материалов/ресурсов) – RP [52]. Базовыми компьютерными системами, основанными на технологии RP, являются системы MRP (Materials Requirements Planning – планирование необходимых материалов) и MRP II (Manufacturing Resource Planning – планирование производственных ресурсов). MRP системы разрабатывались с целью предотвращения проблем, связанных с запаздыванием или опережением материалов или комплектующих. На практике проблемы решаются за счет того, что заказ на пополнение запасов в MRP системах формируется в необходимом количестве и в нужное время.

Усовершенствование систем MRP привело к их модификации в системы MRP II. MRP II системы содержат тот же функционал, что и MRP, плюс функции планирования производственных мощностей, функции управления складами, снабжением, производством, продажами, а также функции учета и управления финансами. Система DRP (Distribution Requirements Planning) – система планирования потребностей в дистрибуции. DRP система также поддерживает логистическую технологию RP и является аналогом MRP системы в области дистрибуции. Основные функции, реализуемые в DRP системе: контроль за запасами, анализ спроса и предложения, снабжение и сбыт. DRP система позволяет координировать уровень запасов на складах дистрибуторской сети. Хотя DRP и MRP системы построены на основе RP концепции, они имеют существенные отличия. В системе MRP основной инструмент управления – это производственное расписание, которое контролируется производителем. Работа же DRP систем основывается на анализе потребительского спроса, поэтому функционирование DRP систем осуществляется в условиях неопределенности, что приводит к формированию дополнительных требований в управлении товарными запасами в сетях дистрибуции. Система класса ERP (Enterprise Resource Planning – «планирования ресурсов предприятия») объединяет возможности систем MRP, MRP II и модуля финансового планирования. Такое объединение направлено, главным образом, на оптимизацию распределения разнородных ресурсов внутри предприятия. Системы класса ERP позволяют эффективно планировать всю коммерческую деятельность больших предприятий, даже территориально распределенных.

Логистическая технология Just-in-time – JIT (точно в срок)[17, 43, 52]. JIT технология зародилась в Японии на фирме Toyota Motors в конце 50-х годов XX века. Основная ее идея заключалась в том, чтобы при заданном производственном графике сборки автомобилей и их основных агрегатов спланировать движение материальных потоков таким образом, чтобы все комплектующие поступали «в нужном количестве, в нужное место и точно в

срок»[17]. Такой подход позволил исключить большие страховые запасы, замораживающие денежные средства фирмы. Основным принципом ЛТ технологии является абсолютное точное планирование производственных процессов, синхронизация и сбалансированность всех элементов логистической системы. Базовой логистической некомпьютерной системой ЛТ технологии является система KANBAN, использующая простые физические сигналы (карточки) для синхронизации производственных процессов. ЛТ технология реализуется программными системами: модуль «Логистика» в ERP/CSRP системах (CSRP – «планирование ресурсов, синхронизированное с потребителем»), MRP II, «SCM-модуль».

Логистическая технология Lean Production (или Lean Manufacturing)[17, 43, 52]. Название этой технологии можно перевести как «гибкое производство». Технология Lean Production развивает идеи ЛТ технологии, при этом отличительной особенностью ее является соединение массового и мелкосерийного производства. Идея такой технологии заключается в соединении следующих концептов: минимального уровня запасов; универсального оборудования; квалифицированного персонала; высокого качества; небольших объемов производственных партий. Основной логистической некомпьютерной системой технологии Lean Production остается система KANBAN. Программными системами, реализующими технологию Lean Production, являются модуль «LP» в ERP, MRP II.

Для современных складских комплексов существует практика применения описанных выше логистических технологий для определения закупочно-сбытовой политики, организации поставок и т.п.. Однако, такие технологии не решают задач анализа и реинжиниринга базовых логистических процессов с целью повышения эффективности функционирования ОСЛ.

1.2 WMS системы

Для отечественных складских предприятий наибольшее распространение приобрели программные системы типа Warehouse Management System (WMS), или «системы управления складом». В WMS системах выделяют три основных

типа: «коробочные» системы, выполняющие стандартный набор функций, «заказные» и «адаптируемые» системы с узконаправленным функционалом[61]. **«Коробочные» WMS [61]** — это программные системы, не требующие доработки и готовые к установке после незначительной настройки. «Коробочные» WMS используются для управления оптовыми коммерческими складами, не предоставляющими дополнительных услуг. Также «коробочные» WMS применяются для складов с простыми бизнес-процессами. На российском рынке «коробочные» WMS представлены системами: Exceed 1000; 1С – ASTOR; «Фолио WMS»; Manhattan SCALE на платформе Microsoft.NET. Как правило, такого рода системы разрабатываются на основе СУБД MS SQL. Зависимость таких систем от конкретной СУБД часто влечет за собой трудовые и финансовые затраты по ее внедрению. Сроки внедрения такого рода WMS варьируются от двух до шести месяцев.

«Адаптируемые» WMS [61] являются наиболее востребованными системами класса WMS. Их используют крупные и средние предприятия со сложными, но типовыми складскими технологическими процессами. К такого рода системам относятся: Exceed 4000 , WMS Logistics Vision Suite, LEAD WMS, Solvo.WMS, CoreWMS, Manhattan WMOS. Как правило, такие системы включают основной центральный модуль, выполняющий базовые функции по управлению складом, и модули, поддерживающие специфические складские процессы. Настройки «адаптируемых» WMS производятся внутри модулей системы, в то время как для «коробочных» WMS “внутренние” настройки не предусмотрены. Чаще всего «адаптируемые» WMS реализуются на основе Unix или Windows и используют СУБД Oracle. Сроки внедрения «адаптируемых» WMS варьируются от четырех до десяти месяцев.

«Заказные» WMS [61] разрабатываются под заказ для складов со сложными сетевыми технологическими процессами. Основная задача «заказных» WMS заключается в том, чтобы максимально учесть все особенности операционных процессов ОСЛ. Наиболее авторитетными разработчиками подобных систем являются компании RedPrairie и Manhattan Associates. Как правило, «заказные»

WMS реализуются на основе базовых модулей фирм-разработчиков, а затем адаптируются под требования заказчика и дополняются специфическим функционалом. Чаще всего «заказные» WMS реализуются на основе Unix и IBM iSeries(AS/400) и используют СУБД Oracle. Сроки разработки и внедрения систем данного класса могут составлять от двух лет и более, а стоимость подобных проектов измеряется миллионами долларов.

Основным назначением отечественных или зарубежных WMS-систем является анализ текущей загрузки склада, основанный на использовании адресного хранения, терминалов сбора данных в режиме реального времени и автоматической идентификации с помощью штрих кодирования. Другими словами, WMS-системы позволяют использовать технологии, значительно повышающие скорость выполнения работ, точность учета складских остатков и в конечном счете удовлетворенность клиентов при снижении затрат на складе.

Системы класса WMS и ERP обладают рядом весомых достоинств: позволяют анализировать ассортимент (проводить ABC-анализ); анализировать точность и исполнимость планов (разновидность XYZ-анализа); анализировать совместные продажи; включают набор инструментов управления запасами и закупками. Однако, такие системы являются излишне тяжеловесными, обладающими избыточной функциональностью, закрытыми, плохо настраиваемыми. Избыточная функциональность ERP-систем порождает необходимость частых обновлений, а для крупного склада, работающего в режиме "24x7", всякое обновление ERP-системы приостанавливает его работу. Кроме того WMS и ERP системы обладают высокой продажной стоимостью и требуют затрат, связанных с внедрением и сопровождением. Системы класса ERP и WMS не включают инструментарий для исследования динамики и реструктуризации логистических процессов[69]. Поэтому актуальной задачей является разработка инструментария, расширяющего функциональные возможности WMS. Решение поставленной задачи возможно за счет привлечения методов системного анализа[47,48,54,67].

1.3 Компьютерное моделирование

Обзор работ зарубежных и российских ученых в области математического моделирования: В.Н. Бусленко, Н.П. Бусленко, В.В. Калашникова, Н.Н. Моисеева, М.Д. Месаровича, Ю.Н. Павловского, А.Д. Цвиркуна, Б.В. Соколова, Р.М. Юсупова, Ю.И. Рыжикова, С.В. Маклакова, Я. Такахара, А. Лоу, В. Кельтона, Р. Шеннона, - показал эффективность привлечения методов системного анализа для комплексного исследования процессов функционирования производственно-технологических объектов. Один из важнейших инструментов прикладного системного анализа – компьютерное моделирование[4,5,6,7,30,44,46,47,48,50,51,55, 59, 60, 68].

В настоящее время при принятии управленческих решений в различных областях человеческой деятельности компьютерное моделирование становится обязательным этапом. Это происходит из-за усложнения систем, которыми человек должен управлять и внутри которых он существует[45,50,62]. К компьютерному моделированию относятся такие виды моделирования как:

- аналитическое моделирование;
- структурно-функциональное моделирование;
- объектное моделирование;
- имитационное моделирование.

Цель применения компьютерного моделирования заключается в получении качественных и количественных результатов функционирования моделей сложных систем (СС). На основе качественных результатов уточняются неизвестные ранее характеристики исследуемой СС, такие как устойчивость, целостность, структура и т.д.[45]. На основе количественных результатов, как правило, делается прогноз значений интересующих переменных СС. Возможность получения не только количественных, но и качественных результатов является основополагающим отличием имитационного моделирования от аналитического моделирования. А возможность получения не только качественных результатов, но и

количественных является важным отличием имитационного моделирования от структурно-функционального моделирования[45].

1.3.1 Аналитическое моделирование

Аналитическое моделирование – это формальное описание исследуемой системы/объекта в виде определенных логических правил и функциональных зависимостей, таких как алгебраические, конечно-разностные, дифференциальные и др. уравнения. Традиционным подходом к исследованию логистических процессов и управления ими является системный анализ и моделирование методами теории массового обслуживания (ТМО). Однако, построение моделей систем массового обслуживания (СМО)[11,14,42] традиционными аналитическими методами ТМО выполняется со значительными ограничениями. В связи с этим СМО модели складских систем, построенные методами ТМО, «не оперируют с такими характерными для задач анализа материальных потоков понятиями, как «процесс транспортировки», «объём поставки», «ассортимент поставки», «уровень запаса» и т.д.»[63]. Разнообразие и сложность логистических процессов приводит к необходимости разработки имитационных моделей складских систем, которые на формальном уровне схожи с моделями, построенными методами ТМО, но на уровне моделирования операционных процессов ОСЛ имитационные модели существенно адекватнее [32,36, 63].

1.3.2 Структурно-функциональный подход в моделировании

Структурно-функциональный подход – это метод исследования СС, начинающийся с описания системы на верхнем уровне абстракции, которое далее детализируется. В конечном итоге модели СС разных уровней абстракции представляются иерархической структурой: модель k -ого уровня абстракции описывается k -ым уровнем иерархии. Нотации структурного подхода IDEF0, DFD, IDEF3 ориентированы на моделирование процессов[9,10,16,46]. Наиболее важными характеристиками этих нотаций являются ограниченное количество элементов на каждом уровне иерархии и строгие правила формальной записи. Нотации структурно подхода IDEF1 и IDEF1X используются для моделирования данных [9,10,16,46].

1.3.3 Объектный подход в моделировании

Процессные блоки, применяемые в нотациях структурного подхода, атомарны и однородны, что препятствует построению адекватной модели, даже в предположении неограниченной детализации. Вследствие этого структурно-функциональный подход стал утрачивать свою применимость. Для преодоления проблемы был разработан объектный подход к моделированию, использующий унифицированный язык моделирования UML (Unified Modeling Language) [8]. Язык UML - это семейство нотаций, использующих единую метамодель. В контексте UML нотацией считаем совокупность графических элементов для построения модели СС. Нотация определяет синтаксис, а метамодель семантику языка моделирования. Введенные определения используются только в рамках UML для достижения строгости правил формализации при сохранении практической полезности. В отличие от структурного подхода объектный подход отличается большим разнообразием и информативностью графических элементов, используемых в нотациях. Объектный подход, с одной стороны, усложняет процесс построения модели, но, с другой стороны, позволяет построить более адекватную и гибкую модель сложной системы.

1.3.4 Имитационное моделирование

Имитационное моделирование заключается в построении модели на компьютере и в проведении над этой моделью вычислительных экспериментов, с целью определения наилучших параметров функционирования реальной системы, проведения над моделью структурной и параметрической оптимизации[3,18,35,39,44,45,50,51,55,57,66,68]. Для автоматизации этих процессов существуют многочисленные системы и пакеты ИМ[45]. Имитационное моделирование базируется на математике, теории вероятностей, математической статистике и теории вычислительных систем. В то же время имитационное моделирование во многом остается интуитивным процессом[45,66].

В имитационном моделировании существует четыре сформировавшихся подхода (парадигмы) моделирования, которые используются для построения

моделей СС на компьютере: дискретно-событийное моделирование[18, 20, 21, 26, 30], системная динамика[15, 18, 24, 40, 41, 44, 66], динамические системы[18], агентное моделирование [18, 27, 30, 45]. Агентное моделирование является наиболее молодым и развивающимся подходом имитационного моделирования, другие три подхода сформировались в прошлом веке и за последнее время практически не поменялись[18]. Агентное моделирование за счет использования интеллектуальной составляющей расширяет возможности практического использования ИМ для решения разнообразных классов задач[70].

1.3.5 Комплексное моделирование

В связи с постоянно повышающейся сложностью, избыточностью, многофункциональностью, структурной динамикой, нелинейностью и непредсказуемостью поведения сложных объектов получила развитие концепция комплексного (системного) моделирования, рассматривающая ИМ во взаимодействии с другими теориями и технологиями моделирования.

Под комплексным моделированием сложных объектов любой природы понимают «методологию и технологии полимодельного описания указанных объектов, а также комбинированного использования методов, алгоритмов и методик многокритериального анализа, синтеза и выбора наиболее предпочтительных управлеченческих решений, связанных с созданием, использованием и развитием рассматриваемых объектов» [50].

1.4 Выводы

Проведенный анализ позволил сделать выводы о том, что в настоящее время наиболее распространенными системами управления складскими процессами являются WMS (Warehouse Management system), основное назначение которых — выполнение учетных функций. Такого рода системы не исследуют бизнес-процессы, протекающие на ОСЛ. Однако мировой опыт и современная технология управления показывают, что самые большие резервы предприятия кроются именно в оптимизации его бизнес-процессов с целью снижения затрат. Для выработки эффективных управлеченческих решений на ОСЛ, «принципиально требуется проведение упреждающего моделирования и

многовариантного прогнозирования различных сценариев реализации жизненных циклов рассматриваемых объектов»[50]. При этом моделирование, как основной инструмент анализа и развития процессов ОСЛ, должно быть адекватно задаче.

На практике для исследования бизнес-процессов ОСЛ наиболее часто используется имитационное моделирование. Имитационная модель способна показать развития ситуации во времени, продемонстрировать или выявить скрытые тенденции, предоставить возможность оперативно проанализировать последствия принимаемых решений, является мощным инструментом исследования сложных систем. Однако, применение методов ИМ имеет объективно существующие недостатки, среди которых: трудности интерпретации полученных результатов, интуитивный характер оценок, касающихся рационального управления системой при имитационном моделировании; «отсутствие хороших методически обоснованных принципов построения имитационных моделей для широкого класса сложных систем»[50], а также ограниченная точность; необходимость большого числа испытаний для получения вероятностных характеристик процессов ОСЛ; ограничения при решении задач оптимизации[50, 55-57].

Модели, разработанные с использованием классических аналитических методов, описывают функционирование ОСЛ с сильными ограничениями по уровню детализации. Так, методы ТМО не позволяют адекватно описать входной товарный поток, объективно неординарный, претерпевающий многократные расщепления, а затем слияния заявок[23, 28].

Модели, разработанные с использованием структурно-функциональных и объектных методов, зачастую отражают свойства и структуру ОСЛ в статике, а не в динамике. Задача моделирования и анализа операционных процессов ОСЛ с использованием методологий структурно-функционального и объектного моделирования на практике решается за счет роста структурных и функциональных описаний, что не облегчает процесс исследования объекта.

Указанные недостатки перечисленных подходов приводят к необходимости совместного использования аналитического, структурно-функционального, объектного и имитационного моделирования, т.е. к использованию концепции комплексного моделирования[32, 50]. Преимущество комплексного моделирования состоит в том, что совместное использование различных моделей, алгоритмов и методов позволяет взаимно компенсировать их существующие недостатки и одновременно усиливать их положительные стороны[50].

Существуют коммерческие программные комплексы, использующие для исследования функционирования бизнес-процессов ОСЛ имитационное моделирование [70]. Однако эти комплексы носят закрытый характер – подходы и методы, используемые при построении имитационных моделей, не известны. Нет информации о том, привлекаются ли в этих комплексах другие виды компьютерного моделирования. Отчеты по результатам их внедрения не опубликованы, невозможно судить о качестве полученных решений и адекватности разработанных моделей.

В связи с этим актуальной задачей является разработка моделей, алгоритмов и программ для системного анализа и управления операционными процессами ОСЛ с применением концепции комплексного моделирования с целью повышения эффективности функционирования. Показателями эффективности функционирования ОСЛ будем считать показатели, принятые в ТМО, характеризующие производительность и загрузку ОСЛ. Повышение эффективности функционирования ОСЛ должно достигаться за счет эффективного распределения людских ресурсов ОСЛ и совершенствования алгоритмов логистических процессов. При решении задачи распределения людских ресурсов по этапам обработки возникает научно-техническая проблема, состоящая в разрешении конфликта между качеством и стоимостью обслуживания входного потока товара.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- ✓ Разработать технологию совместного использования аналитического, структурно-функционального, объектного и имитационного моделирования для системного анализа и управления операционными процессами ОСЛ[22, 23, 25, 28, 32, 34, 36, 37, 38].
- ✓ Предложить подход и на его основе построить концептуальное представление моделей ОСЛ[4, 5, 6, 7, 28, 33].
- ✓ Разработать принципы взаимодействия моделей ОСЛ[28, 32, 34, 36].
- ✓ Реализовать модели ОСЛ с использованием современных подходов и сред разработки в программировании и имитационном моделировании[22, 23, 24, 29, 37].

В ходе выполнения диссертационной работы создан программно-аналитический инструментарий в виде ***КИМ-системы***, которая на сегодняшний день включает две модели ОСЛ: аналитическую (***АН-модель***) и имитационную (***ИМ-модель***)[23, 28].

ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ МОДЕЛИРОВАНИЯ. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АГРЕГАТИВНОГО ПОДХОДА

2.1 Абстрактная модель функционирования объекта складской логистики

Согласно методологии системного анализа разработано описание абстрактной модели функционирования ОСЛ АТИ[28, 29]:

- ОСЛ – многономенклатурный, транзитного типа, не предназначенный для длительного хранения. Основное назначение: принять оптовые партии товара от различных поставщиков, скомплектовать партии под заказ и отгрузить мелкооптовым покупателям.
- Пользовательский заказ содержит совокупность требуемых позиций номенклатурных единиц (неделимых единиц товара) в определенном количестве. Заказ поступает в условиях неопределенности, связанной с моментом поступления и составом заказа. Должен быть исполнен за ограниченный интервал времени.
- Пополнение ОСЛ осуществляется с изменяющейся интенсивностью в условиях неопределенности, связанной с моментом поступления поставки, составом поставки, количеством каждой номенклатурной единицы.
- Функционирование ОСЛ осуществляется в n последовательных этапов от прихода товара до отгрузки товара заказчику.
- ОСЛ имеет заданные геометрические характеристики: фиксированные зоны обработки для каждого этапа и вида товара и маршруты перемещения потоков товара
- Обслуживание ОСЛ осуществляется сотрудниками, каждый из которых прикреплен к определенному этапу производственного процесса и виду товара и работает с заданной производительностью.
- На ОСЛ независимо от его конструктивных особенностей и уровня механизации и автоматизации ключевые процессы управления включают:

управление складскими технологическими процессами, управление персоналом, управление товарными потоками.

ОСЛ АТИ сотрудничает с ведущими компаниями-изготовителями авиационной отрасли и осуществляет поставки авиационных агрегатов, комплектующих изделий и расходных материалов на воздушные суда отечественного и иностранного производства различным авиакомпаниям и ремонтным организациям. Склад организует поставки различных авиационных изделий, отличающихся габаритами и весом, способом доставки, видом упаковки, требованием к необходимому складскому оборудованию. Среди поставляемых авиационных изделий можно выделить следующие логистические группы:

- ◆ компоненты к авиационному двигателю: насосы, подшипники, датчики, лопатки и т.д.;
- ◆ приборное оборудование: указатели скорости, высотометры, тахометры и т.д.;
- ◆ детали шасси: тормозные накладки, колодки упорные, полуоси и т.д.;
- ◆ авионика: транспондеры, аварийные радиомаяки, высотные кодировщики, т.д.;
- ◆ электрика: ручки управления самолетом, контролеры выпуска закрылков, тумблеры, триммеры руля высоты и т.д.;
- ◆ винтомоторная группа: детали топливной системы, свечи детали топливной системы и т.д.;
- ◆ горючие смазочные материалы (ГСМ): авиационные масла, смазки авиационные, гидравлическая жидкость;
- ◆ стекла.

Для ОСЛ АТИ количество этапов обработки $n=3$: I этап – приемки, II этап – размещения на хранение, III этап – комплектации и отгрузки пользовательского заказа. В работе исследуются процессы I этапа, которые начинаются с момента перемещения паллет с разгрузочного пандуса (начало зоны ответственности сотрудников этапа приемки). Процессы парковки

(предшествующие I этапу) и размещения на хранение (II этап) рассматриваются как граничащие и взаимодействующие с процессами I этапа. Паллеты на разгрузочном пандусе ожидают начала обработки на I этапе.

По весогабаритным характеристикам каждая номенклатурная единица (далее деталь) относится к одному из двух видов: габаритная или негабаритная. Каждый вид деталей обрабатывается в своей области i -ого этапа в соответствии со своим технологическим процессом. Соответственно, входной поток перед поступлением на I этап разбивается на два подпотока $j=1,2$ габаритных/негабаритных деталей. Точнее, на разгрузочном пандусе паллеты образуют две очереди: очередь паллет с габаритными и очередь паллет с негабаритными деталями. Обработку j -ого подпотока на i -ом этапе выполняют определенные сотрудники с заданной производительностью $p_{i,j}$, $i=1..3$, $j=1..2[22,23,29,41]$.

Для адекватного моделирования и всестороннего исследования технологии обработки товарного потока на складе были formalизованы не только базовые логистические процессы функционирования склада, но и проанализирован входной поток поставок и потоки обработки товаров. В ходе выполнения работ по formalизации процесса обработки товарного потока и анализу грузопотока использовались следующие инструментальные средства:

- системы для моделирования бизнес-процессов Visio, Bpwin, Enterprise Architect и автоматизированного проектирования баз данных ERwin ;
- система управления базами данных Microsoft SQL Server.

2.2 Структурный и статистический анализ входного потока деталей

Разработана схема товаропотоков рис. 2.1. Схема отражает основные технологические этапы товародвижения на ОСЛ по принятым категориям: типы клиентов (Москва, Регионы); типы обработки (габаритные или негабаритные детали). Грузопоток при моделировании декомпозируется на подпотоки, каждый характеризуется типоразмером, приоритетом и направлением движения товарных единиц. Товар по типоразмеру делится на

габаритный и негабаритный, по приоритету на приоритетный и неприоритетный, по направлению движения на товар для московских и региональных клиентов.

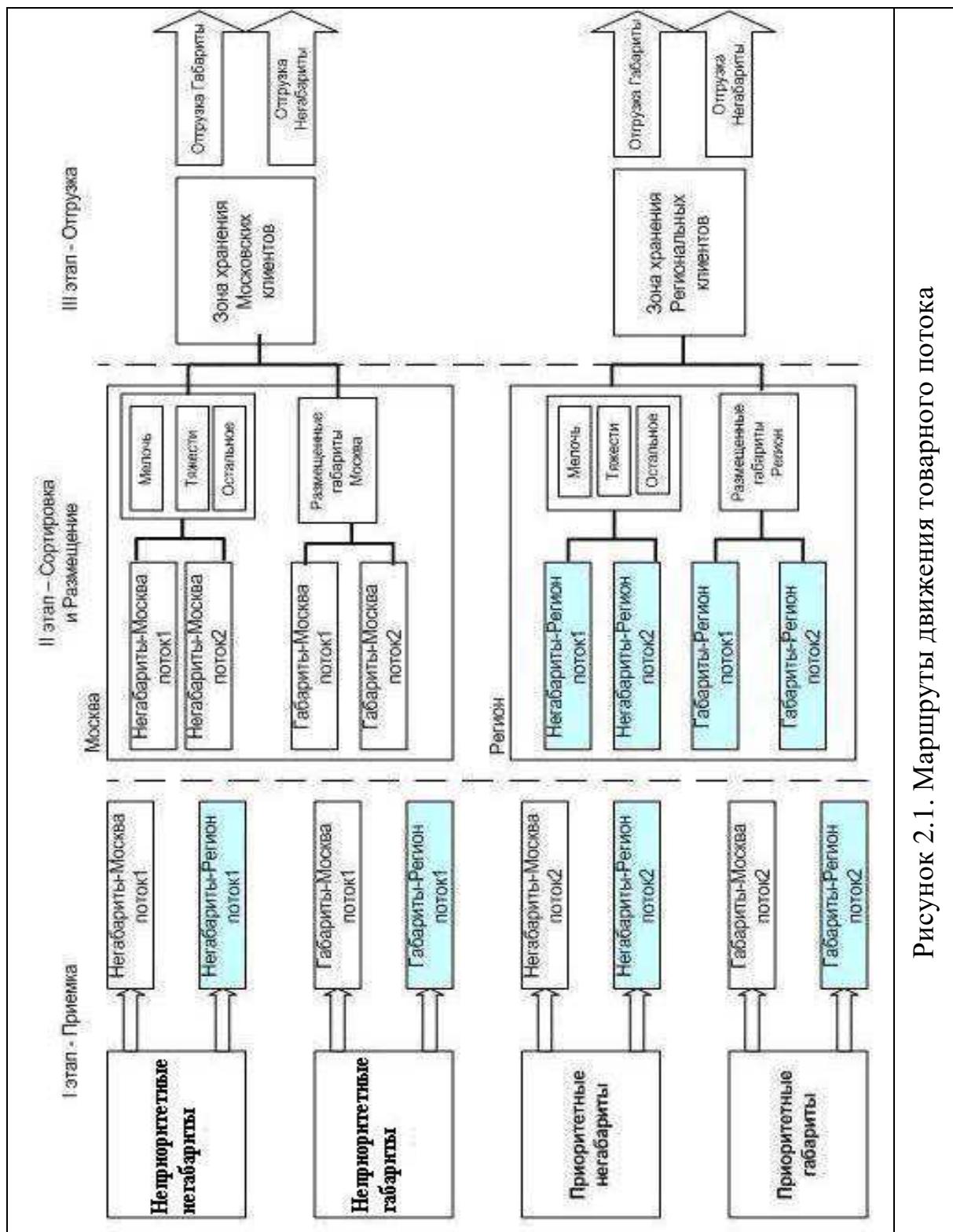


Рисунок 2.1. Маршруты движения товарного потока

Каждый элемент (деталь) грузопотока характеризуется следующими параметрами:

- **тип поставщика** – от кого пришла данная деталь;
- **тип клиента** – кому предназначена деталь: регионы; москва
- **размер**: габариты; легкие негабариты; тяжелые негабариты; мелкие товары
- **вес**;
- **маркировка**: на стороне поставщика; на территории склада;
- **приоритетностью**: приоритетный; неприоритетный.

Математическая модель входного потока деталей[14]:

Пусть $\Omega=\{\omega\}$ – вероятностное пространство с σ -алгеброй \mathcal{N} событий и вероятностной мерой $P(A)$, $A \in \mathcal{N}$, тогда моделью потока будем считать случайную последовательность $\{t_n=t_n(\omega), 1 \leq n < N(\omega)\}$, где $1 \leq N(\omega) \leq \infty$, $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n \leq \dots$ при выполнении свойств:

Свойство 1. $P(n < N(\omega), t_n(\omega) < x)$, то есть в частности, при условии , что $n < N(\omega)$, $t_n(\omega)$ – случайная величина.

Свойство 2. Для любого x $P(n < N(\omega), t_n(\omega) < x) \rightarrow 0$, при $n \rightarrow \infty$

Статистический анализ потока деталей осуществлялся с помощью клиентского приложения, разработанного на базе Microsoft Access. Из системы мониторинга получены выборки: $V1=(k_1, \dots, k_n)$, порожденная СВ К, характеризующей интенсивность входного потока габаритных деталей; $V2=(b_1, \dots, b_n)$, порожденная СВ В, характеризующей интенсивность входного потока негабаритных деталей; $V3=(c_1, \dots, c_n)$, порожденная СВ С, характеризующей интенсивность потока обработки габаритных деталей этапа I; $V4=(d_1, \dots, d_n)$, порожденная СВ D, характеризующей интенсивность потока обработки негабаритных деталей этапа I. Размер выборок $V1, V2, V3, V4 n=720$.

По выборкам $V1, V2, V3, V4$ выполнена идентификация входного потока и потока обработки габаритных/негабаритных деталей этапа I с использованием критерия χ^2 (критерий Пирсона) с уровнем значимости $\alpha=0.05$, показано, что все потоки можно рассматривать как пуассоновские[19,65]. Методом

максимального правдоподобия получены оценки параметров, характеризующие распределения. Оценка максимального правдоподобия (МП-оценка) [19,65] параметра λ вычисляется по формуле:

$$\hat{\lambda}(V_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (2.1),$$

где n размер выборки, k_i - элемент выборки.

После группировки данных в m групп по значениям k_i , $i=1, m$ и вычисления эмпирических частот r_i , формула 2.1 принимает вид:

$$\hat{\lambda}(V_n) = \frac{\sum_{i=1}^m k_i * r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} \quad (2.2),$$

Вычисление теоретических частот r_i^T и наблюдаемого значения Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$ производится по формулам:

$$r_i^T = n * p_i = n * \frac{\lambda^{k_i}}{k_i!} * e^{-\lambda} \quad (2.3)$$

$$\chi^2_{\text{наблюд}} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_i - r_i^T)^2}{r_i^T} \quad (2.4)$$

Идентификация входного потока габаритных деталей

Данные выборки $V1$ систематизированы и представлены в виде гистограммы рис. 2.2.

Гипотеза H_0 : СВ K имеет распределение Пуассона $\Pi(\lambda)$ с неизвестным параметром $\lambda_G = \lambda$ с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

Для заданного уровня значимости $\alpha=0,05$ и числу степеней свободы $v=m-2$, (где m – число групп в ряду) по таблице значений критических точек χ^2 -распределения находим $\chi^2_{\text{критич}}(\alpha; v)$.

По формуле 2.1 получена МП-оценка значения интенсивности входного потока габаритов $\lambda_G = 196$ дет.час. Определено наблюдаемое значение Пирсона по формуле 2.4 $\chi^2_{\text{наблюд}} = 85.79$. Определено $\chi^2_{\text{критич}}(0.05; 71) = 91.67$. Поскольку

$\chi^2_{\text{наблюд}} = 85.79$ не попадает в критическую область: $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, гипотеза H_0 верна. Таким образом, справедливо предположение о том, что СВ K имеет **распределение Пуассона** с параметром $\lambda_G = 196$ дет/час с уровнем значимости $\alpha = 0.05$.

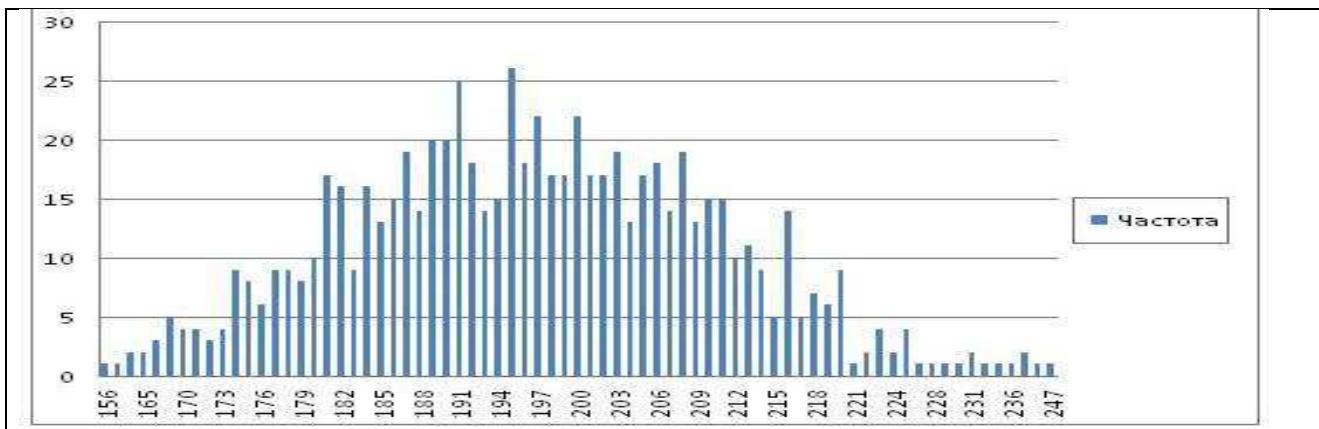


Рисунок 2.2. Гистограмма частот для величины интенсивность поступления габаритных деталей λ_G в зону приемки.

Идентификация потока обработки габаритных деталей I

Данные выборки V2 систематизированы и представлены в виде гистограммы рис. 2.3.

Гипотеза H_0 : СВ V имеет распределение Пуассона $\Pi(\lambda)$ с неизвестным параметром $\mu_{1G} = \lambda$ с уровнем значимости $\alpha = 0.05$.

По формуле 2.1 получена МП оценка значения интенсивности потока обработки габаритов $\mu_G = 50$ дет.час. Определено наблюдаемое значение Пирсона по формуле 2.4 $\chi^2_{\text{наблюд}} = 50.36$. Определено $\chi^2_{\text{критич}}(0.05; 39) = 54.57$.

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Таким образом, справедливо предположение о том, что СВ V имеет **распределение Пуассона** с параметром $\mu_{1G} = 50$ дет.час с уровнем значимости $\alpha = 0.05$.

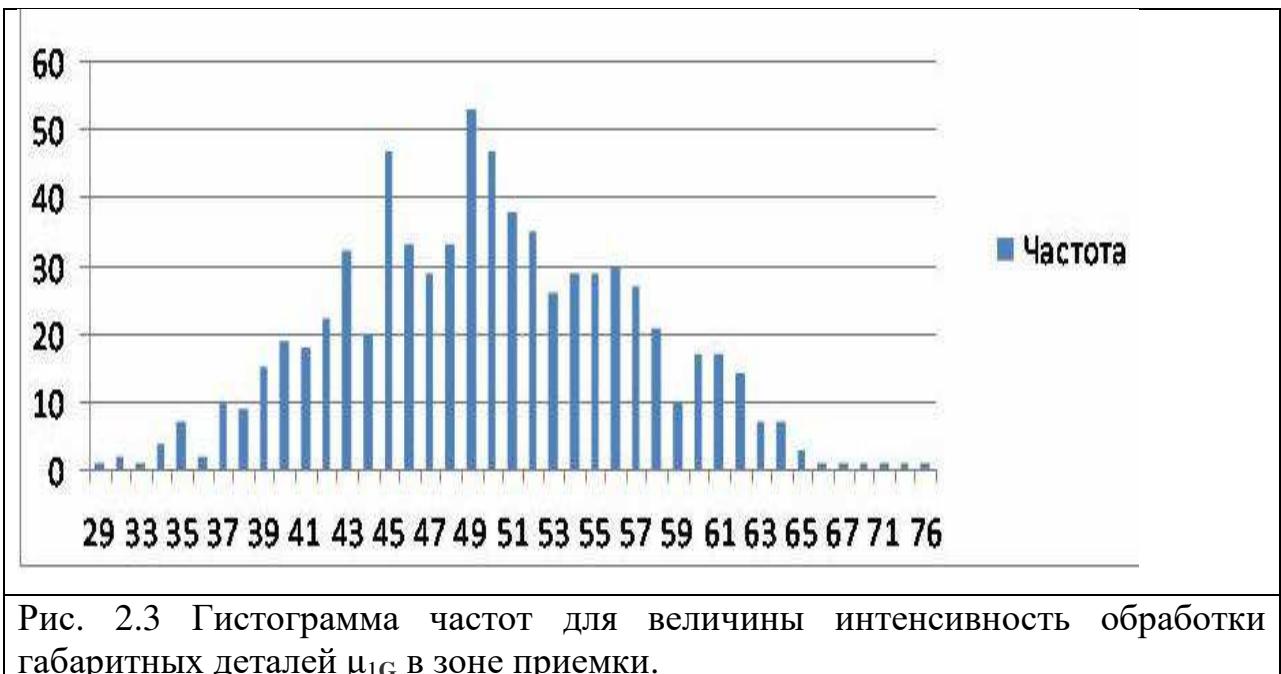


Рис. 2.3 Гистограмма частот для величины интенсивность обработки габаритных деталей μ_{1G} в зоне приемки.

Идентификация входного потока негабаритных деталей

Данные выборки V3 систематизированы и представлены в виде гистограммы рис. 2.4.

Гипотеза H_0 : СВ С имеет распределение Пуассона $\Pi(\lambda)$ с неизвестным параметром $\lambda_{NG} = \lambda$ с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

По формуле 2.1 получена МП-оценка значения интенсивности входного потока габаритных деталей $\lambda_{NG} = 904$ дет.час . Определено наблюдаемое значение Пирсона по формуле 2.4 $\chi^2_{\text{наблюд}} = 159.47$. Определено $\chi^2_{\text{критич}} (0.05; 140) = 168.61$. Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, нет оснований отвергать гипотезу H_0 .

Таким образом, справедливо предположение о том, что СВ С имеет распределение Пуассона с параметром $\lambda_{NG} = 904$ дет.час с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

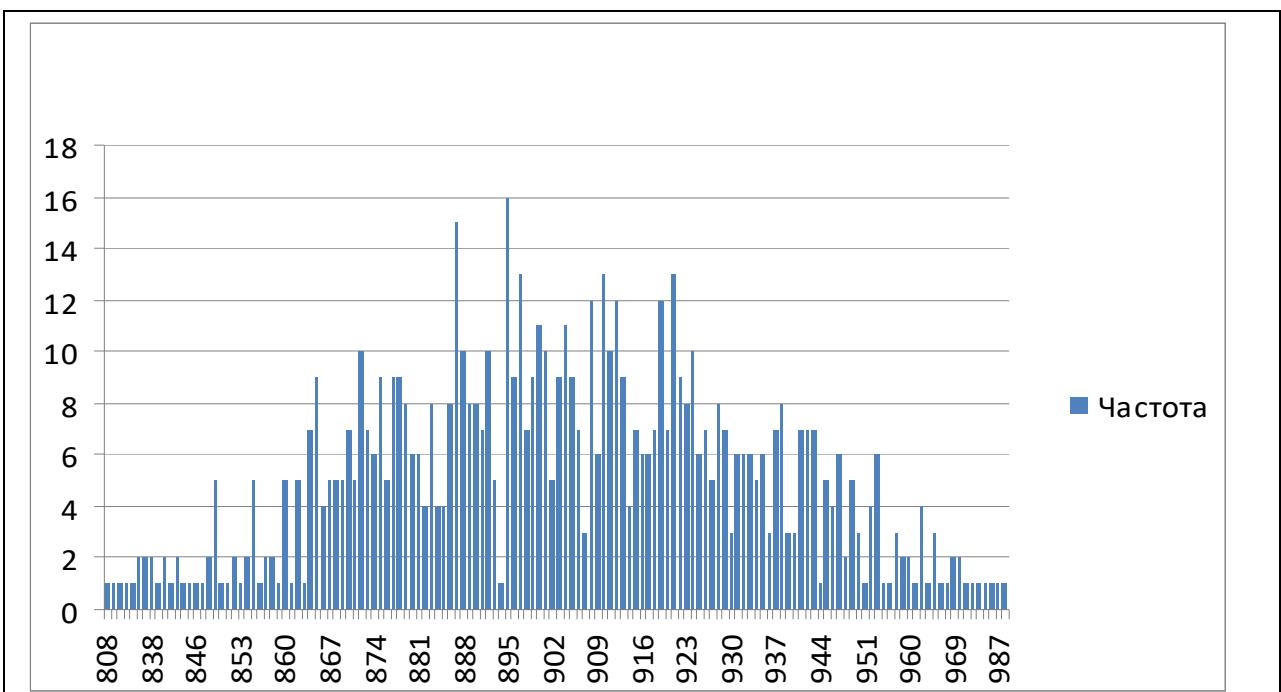


Рис. 2.4. Гистограмма частот для величины интенсивность поступления негабаритных деталей λ_{NG} в зону приемки.

Идентификация потока обработки негабаритных деталей этап I

Данные выборки V4 систематизированы и представлены в виде гистограммы рис. 2.4.

Гипотеза H_0 : СВ D имеет распределение Пуассона $\Pi(\lambda)$ с неизвестным параметром $\mu_{1NG} = \lambda$ с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

По формуле 2.1 получена МП-оценка значения $\mu_{1NG}=150$ дет.час. Определено наблюдаемое значение Пирсона по формуле 2.4 $\chi^2_{\text{наблюд}} = 81.54$. Определено $\chi^2_{\text{критич}}(0.05; 65) = 84.82$. Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Таким образом, справедливо предположение о том, что СВ D имеет распределение Пуассона с параметром $\mu_{1NG} = 150$ дет.час с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

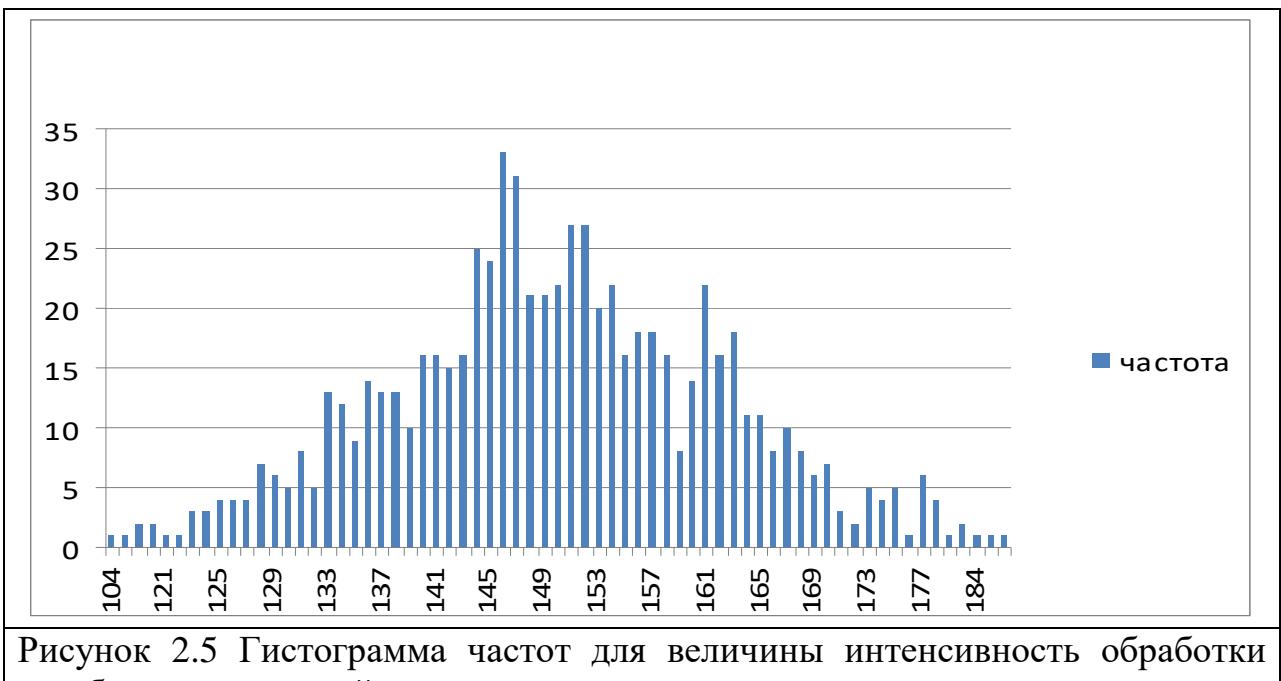


Рисунок 2.5 Гистограмма частот для величины интенсивность обработки негабаритных деталей μ_{1NG} в зоне приемки.

Идентификация потока обработки габаритных/ негабаритных деталей этапа II представлена в Приложении 1. Показано, что потоки обработки габаритных/негабаритных деталей этапа II можно рассматривать как пуссоновские с параметрами $\mu_{2G}=30$ дет./час и $\mu_{2NG}=120$ дет./час .

2.3 Структурно-функциональное моделирование технологических процессов объекта складской логистики

По регламентированным инструкциям технология приема АТИ зависит от типоразмера товара. По типоразмеру АТИ можно разделить на габариты, тяжелые негабариты, мелкие товары, легкие негабариты и хрупкие АТИ. Зона приемки формально разбита на две технологические зоны стационарную и мобильную. В мобильной зоне осуществляется прием габаритных и хрупких АТИ. В стационарной зоне производится прием мелких, тяжелых негабаритных и легких негабаритных АТИ. В зоне приемки проводится предварительная сортировка АТИ по направлениям движения. Персонал этапа приемки - сотрудники приемки габаритных/негабаритных деталей. Виды работ, выполняемые персоналом зоны приемки, – проверка количества и качества поставляемой продукции на предмет комплектности поставляемого товара и отсутствия у него внешних признаков брака; маркировка принимаемого груза

складскими этикетками, если груз заранее не прошел маркировку на стороне поставщика; распределение товара по направлениям его хранения. Каждому сотруднику предоставляется специальное рабочее место либо в зоне мобильной приемки, либо в зоне стационарной приемки.

Разработана геометрическая схема склада представлена в Приложении 1 на рис. П1.3. На рис. 2.6 представлена геометрия зоны приемки складского комплекса, где 1 – зона приемки габаритных деталей (мобильная приемка); 2 – зона приемки негабаритных деталей (стационарная приемка); 3 – зона промежуточной сортировки по направлениям; 4 – зона для принятых маркированных деталей; 5 – зона для грузов, ожидающих разбора; 6 - разгрузочные лоты.

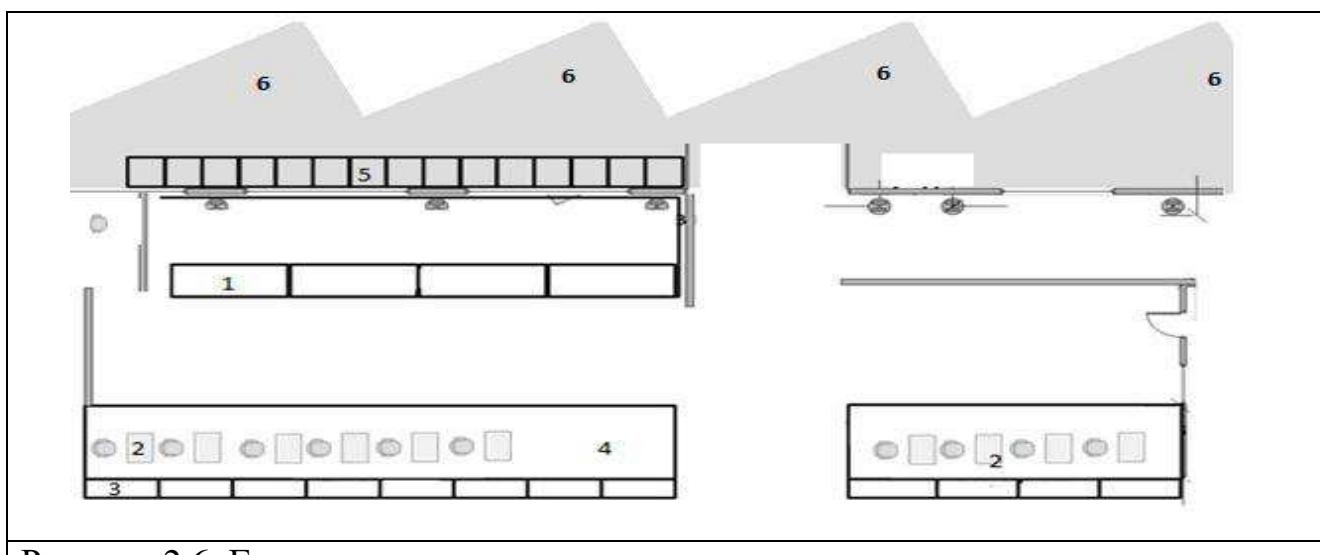


Рисунок 2.6. Геометрия зоны приемки

Формализация процесса обработки товарного потока осуществлялась с применение методологии структурно-функционального моделирования IDEF0, Cross Functional Flowchart диаграмм (кросс-функциональные диаграммы) в программных средах Visio и Bpwin.

В качестве примера представлена одна из разработанных процессных диаграмм в нотации IDEF0 , отражающая технологию переработки товаров в зависимости от типоразмера (негабаритные или габаритные детали). (рис. 2.7)

Вербальное описание процессов диаграммы рис.2.7

- ◆ **В случае если товары габаритные**, они направляются в зону мобильной приемки [22, 41]. В этой зоне происходит проверка деталей на качество и

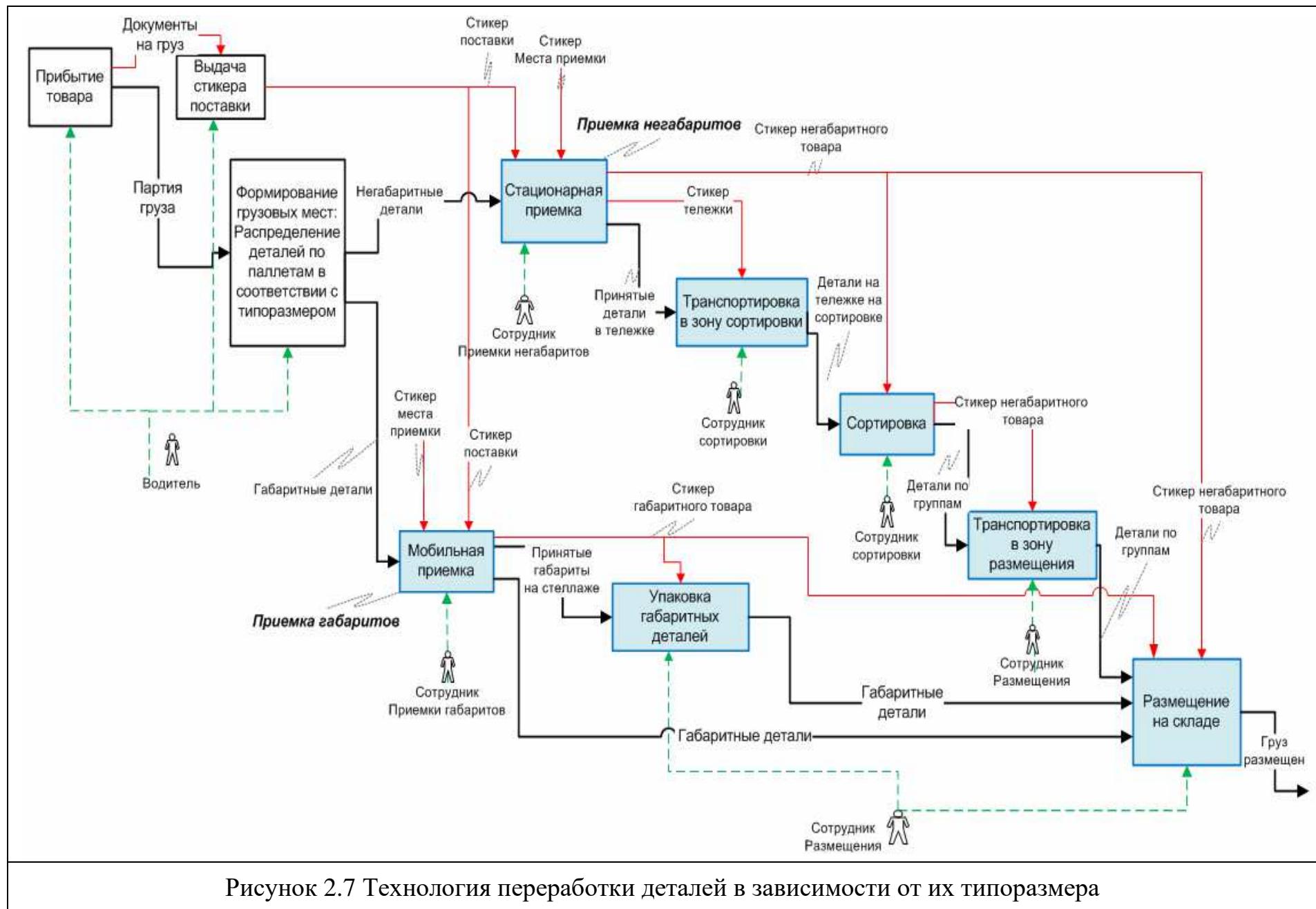


Рисунок 2.7 Технология переработки деталей в зависимости от их типоразмера

комплектность. После зоны мобильной приемки, в случае если не требуется дополнительная упаковка, габаритные товары сразу же отправляются в зону размещения, если же упаковка всё же требуется, габаритная деталь проходит процедуру дополнительной упаковки и только тогда отправляется в зону размещения габаритных деталей и поступает в зону промежуточного хранения. **В случае если детали негабаритные**, они направляются в зону стационарной приемки [22, 41]. Далее, после осуществления операции учета товара, товар отправляется в зону дополнительной сортировки. В этой зоне осуществляется сортировка деталей по транспортным компаниям и типам хранения, после этого товар перемещается в зону размещения, и, наконец, в зону хранения. АТИ поступает на склад автомобильным транспортом. Водитель — представитель поставщика (ПП), доставляющий товар на склад, регистрируется в группе учета складского документооборота и получает клиентский стикер. В одной поставке может быть товар от разных поставщиков. Далее в зависимости от условий договоренности с поставщиками АТИ, ПП либо ждет окончания процедуры приема товара, либо не ждет. Действия ПП зависят от статуса привезенного им груза: приоритетного или неприоритетного. Если груз неприоритетный, то ПП не ждет окончания процедуры приема. Он подъезжает к разгрузочному лоту и с помощью грузчиков и механизированного оборудования склада выгружает груз на место, указанное диспетчером. Диспетчер производит первичную проверку количества грузовых мест по накладной. Груз выгружается на паллеты. Если в поставке груз от нескольких поставщиков, он сортируется по поставщикам и распределяется на разные паллеты. По окончании выгрузки ПП маркирует груз с помощью клиентского стикера, указывает количество привезенных мест, передает груз для дальнейшей обработки сотрудникам склада и уезжает. По существующей технологии для неприоритетного груза длительность процесса приемки не должна превышать 12 часов. Для приоритетного груза ПП выгружает груз на паллеты, как и в случае неприоритетного, передает груз для дальнейшей обработки операторам склада

и ждет окончания процедуры приема товара. Если к моменту передачи груза операторы обрабатывали неприоритетные поставки, то по установленной технологии они должны приостановить этот процесс и начать прием приоритетного груза. Если все операторы заняты приемом приоритетных грузов, ПП с приоритетным грузом встает в очередь. Для приоритетных поставок процедура работы с браком, излишками и недостачей упрощается: избыточные и бракованные детали сразу же возвращаются поставщику.

В Приложении 1 на рисунке П1.4 представлена схема парковочных мест для поставщиков и геометрическое расположение отдела документооборота. Также разработана операционная карта процессов для зоны приемки габаритных и негабаритных деталей, она представлена в Приложении 1 в таблице П1.1.

В Приложении 1 представлены кросс-функциональные диаграммы технологических процессов складского комплекса:

- ◆ рисунок П1.5 - диаграмма, отражающая технологический процесс приемки габаритных АТИ;
- ◆ на рисунке П1.6- диаграмма, отражающая технологический процесс упаковки габаритных АТИ;
- ◆ рисунок П1.7 - диаграмма, отражающая технологический процесс приемки негабаритных грузов;
- ◆ рисунок П1.8- диаграмма, отражающая технологический процесс размещения габаритных деталей;
- ◆ рисунок П1.9 - диаграмма, отражающая технологический процесс перемещения негабаритных деталей из зоны приемки в зону сортировки;
- ◆ рисунок П1.10- диаграмма, отражающая технологический процесс сортировки негабаритных деталей по направлениям хранения и транспортным компаниям;
- ◆ рисунок П1.11 - диаграмма, отражающая технологический процесс размещения на хранение негабаритных деталей.

2.4 Концептуальное представление моделей объекта складской логистики на основе агрегативного подхода

Разработано концептуальное представление моделей ОСЛ на основе агрегативного подхода Бусленко[5,6,7,28,33], использующего понятие *агрегата* как абстрактной схемы функционирования сложной системы, а также понятие агрегативной системы (*A – системы*) как сложной системы, которая сама является агрегатом и для которой существует расчленение на агрегаты.

Агрегат *A* (рис 2.8) формально задается совокупностью множеств *T,X,W,Y,Z,H,G*,

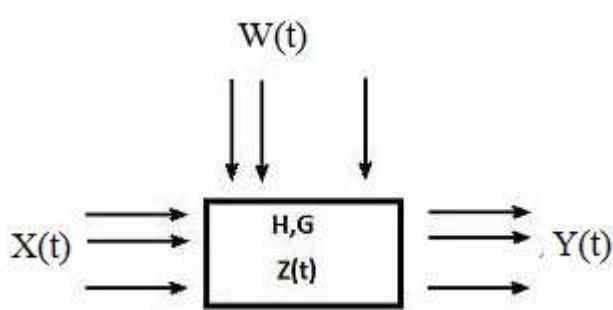


Рис 2.8. Концептуальное представление агрегата

Y,Z и случайными операторами *H* и *G*: $A=\{T,X,W,Y,Z,H,G\}$ [6]. Здесь

T – множество моментов времени;

X, Y и *W* – множество входных, выходных и управляющих сигналов;

Z – множество состояний агрегата;

G и *H* – операторы выходов и переходов соответственно.

В каждый момент времени *t* из интервала $(0,T)$ агрегат находится в одном из возможных состояний $z=\{z_1, z_2, \dots, z_m\}$. Состояния z_i , входы x_j , выходы y_k , управляющие сигналы g_l являются функциями времени $z(t)$, $x(t)$, $y(t)$, $g(t)$. Состояние агрегата $z(t)$ для любого момента времени $t>t_0$ определяется по предыдущим состояниям случайным оператором *H*: $z(t)=H(z(t_0),t)$. Формирование выходного сигнала $y(t)$ происходит по состояниям агрегата $z(t)$ посредством применения оператора *G*.

A – систему (рис. 2.9) формально определим как кортеж множеств $\{A,Q\}$, где *A* - множество взаимосвязанных агрегатов *A – системы*; *Q* - множество связей между агрегатами *A – системы*.

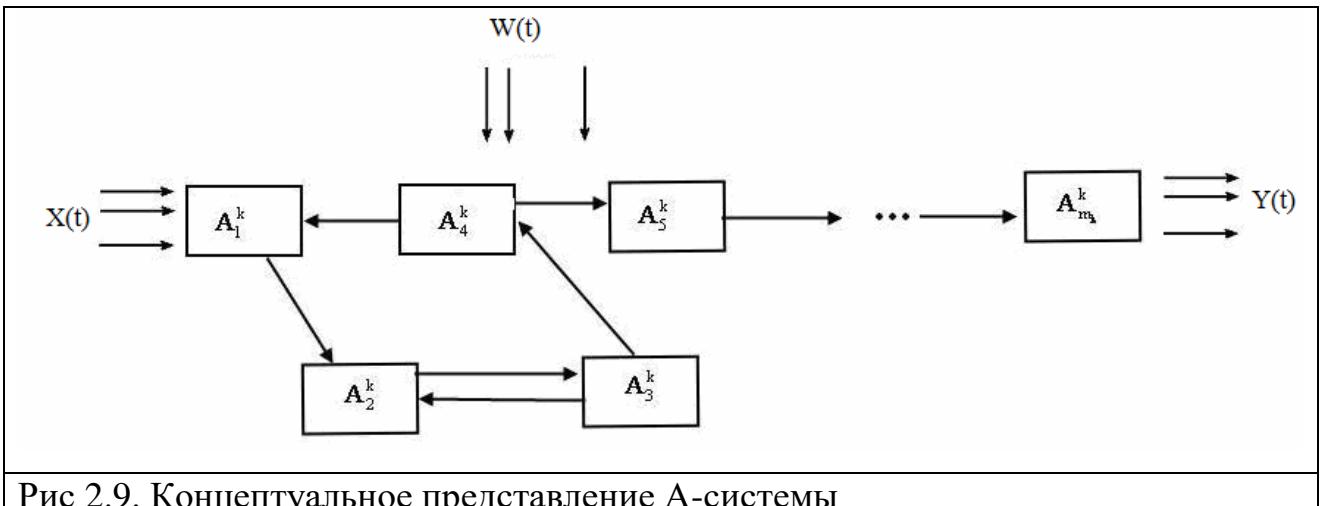


Рис 2.9. Концептуальное представление А-системы

ОСЛ как сложную систему (далее *S-систему*) можно рассматривать на разных уровнях абстракции: уровень $k=0$, когда система представлена как черный ящик; уровень $k>=1$, когда система представлена совокупностью $l=1,..,M^k$ взаимосвязанных подсистем. Каждую подсистему на k -ом уровне абстракции можно описать *A-системой*[28, 33].

Определим модель S-системы $M(S)$ как l -ую *A-систему* на k -ом уровне абстракции[28,33]. Другими словами, пусть A^k - множество агрегатов и Q^k - множество связей между агрегатами k -ого уровня абстракции; AM и mn_l^k - соответственно множество и количество агрегатов l -ой *A-системы* k -ого уровня абстракции, на которой выполняется построение модели, mM_l^k – номер первого выделенного агрегата, QM – множество связей между выделенными агрегатами l -ой *A-системы* k -ого уровня абстракции, тогда $M(S)$ – есть кортеж множеств $\{AM, QM\}$, где $AM=\{A_i^k\}$, $i= m M_l^k .. m M_l^k + m n_l^k - 1$, $AM \subseteq A^k$; $QM=\{Q_{ij}^k\}$, где Q_{ij}^k - связь между агрегатами A_i^k и A_j^k , $i, j = m M_l^k .. m M_l^k + m n_l^k - 1$. $QM \subseteq Q^k$, $m M_l^k = 1 .. M^k$.

2.4.1 Формализация аналитической модели

АН-модель уровня абстракции $k=1$, в соответствии с абстрактной схемой, описывает функционирование ОСЛ на этапах I и II, что позволяет избежать конфликтов на границе этапов I и II. На этом уровне абстракции будем рассматривать входной поток как ординарный поток деталей. Построение модели выполняется с использованием аппарата ТМО[14,44]. Поскольку входной поток на этапе приемки разделяется на два подпотока, **АН-модель** представляет собой две независимые двухфазные многоканальные системы

массового обслуживания (СМО) с неограниченным блоком ожидания, без приоритетов CMO_G и CMO_{NG} . (рис. 2.10)[28, 33]. На вход CMO_G подается поток заявок габаритных деталей, на вход CMO_{NG} - поток заявок негабаритных деталей.

На интервале времени T тактического управления будем считать входной поток и поток обработки стационарными: λ_G , λ_{NG} – интенсивности входного потока заявок габаритов/негабаритов, μ_{1G} , μ_{1NG} , μ_{2G} , μ_{2NG} – интенсивности потоков обработки на этапах I, II заявок габаритов/негабаритов. Каналы обслуживания – n_{ij} сотрудников i -ого этапа, обслуживающих j -ый подпоток $i,j=1,2$.

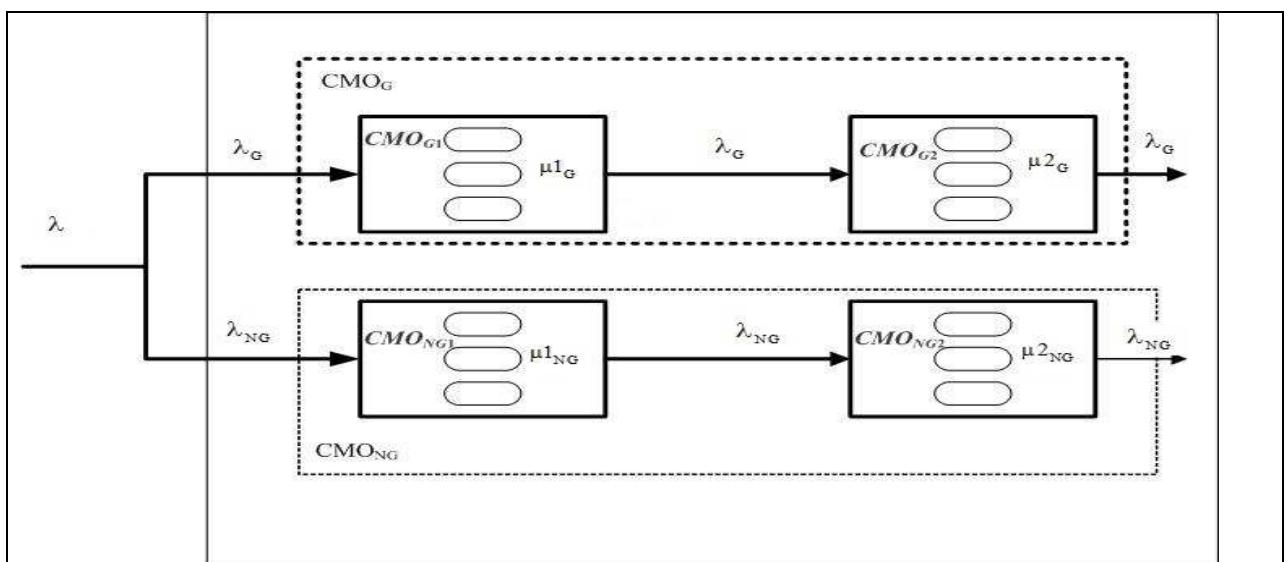


Рисунок 2.10. Схема функционирования этапа приемки и этапа размещения на хранение в терминах ТМО

Выполнена идентификация входного потока и потоков обработки с использованием критерия χ^2 . С уровнем значимости $\alpha=0.05$ показано, что все потоки можно аппроксимировать пуссоновским потоком. Методом максимального правдоподобия получены оценки параметров, характеризующие их распределения (таблица 2.1).

Таблица 2.1. Параметры пуссоновского распределения для потоков

Входной поток	Интенсивность входного потока (детали/час)	Интенсивность потока обработки (детали/ час)	
		Этап I	Этап II
Габаритные детали	$\lambda_G=196$	$\mu_{1G}=50$	$\mu_{2G}=30$
Негабаритные детали	$\lambda_{NG}=904$	$\mu_{1NG}=150$	$\mu_{2NG}=120$

Утверждение 1. Двухфазную СМО **CMO_G АН-модели** с неограниченным блоком ожидания, на вход которой подается поток заявок-габаритов можно рассматривать как две независимые однофазные СМО CMO_{G1} и CMO_{G2} , обе типа **M/M/n** с пуассоновским входящим потоком заявок-габаритов с интенсивностью λ_G и с показательным распределением времени обслуживания: CMO_{G1} с параметром μ_{1G} и CMO_{G2} с параметром μ_{2G} .

Доказательство. По теореме Бёрке[42], исходящий поток стационарной СМО типа **M/M/n** [11,14,41] с неограниченной очередью, с пуассоновским входящим потоком с параметром λ и показательным распределением времени обслуживания с параметром μ в каждом из **n** приборов является пуассоновским потоком с тем же самым параметром λ . Выше было показано, что входной поток CMO_G пуассоновский с параметром λ_G и потоки обработки обоих этапов также пуассоновские, т.е. время обслуживания заявки распределено по показательному закону с параметром μ_{1G} на I этапе и с параметром μ_{2G} на II этапе. Рассмотрим СМО CMO_{G1} . Эта СМО типа **M/M/n** с неограниченной очередью. Таким образом, исходящий из CMO_{G1} поток имеет интенсивность λ_G . Поскольку исходящий из CMO_{G1} поток является входящим в СМО CMO_{G2} , то на вход CMO_{G2} подается поток также интенсивности λ_G . Следовательно, система CMO_{G2} - это СМО типа **M/M/n** с входным потоком интенсивности λ_G и с показательным временем обслуживания с параметром μ_{2G} . Тем самым, можно рассматривать CMO_{G2} независимо от CMO_{G1} .

Утверждение 2. Двухфазную СМО **CMO_{NG} АН-модели** с неограниченным блоком ожидания, на вход которой подается поток заявок-негабаритов, можно рассматривать как две независимые однофазные СМО CMO_{NG1} и CMO_{NG2} , обе типа **M/M/n** с пуассоновским входящим потоком заявок-негабаритов с интенсивностью λ_{NG} и с показательным распределением времени обслуживания: CMO_{NG1} с параметром μ_{1NG} и CMO_{NG2} с параметром μ_{2NG} .

Доказательство аналогично доказательству Утверждения 1.

С точки зрения введенного формального представления модели S-системы модель 1-ого уровня абстракции **AH-модель** имеет вид: **AH-модель** = $\{A_1^1, Q_1^1\}$. Определим A_1^1, Q_1^1 .

Каждую из четырех СМО, входящих в **AH-модель**, можно описать агрегатом.

СМО_{G1}, моделирующей работу подобласти габаритов этапа I приемки, соответствует агрегат A_1^1 : входные сигналы $x_1(t)$ - это входной поток габаритных деталей; выходные сигналы $y_1(t)$ - это поток принятых габаритных деталей, а также характеристики функционирования подобласти габаритов этапа I приемки; управляющие сигналы $g_1(t)$ - количество сотрудников в подобласти габаритов этапа I.

СМО_{NG1}, моделирующей работу подобласти негабаритов этапа I приемки, соответствует агрегат A_2^1 : входные сигналы $x_2(t)$ - входной поток негабаритных деталей; выходные сигналы $y_2(t)$ - поток принятых негабаритных деталей, а также характеристики функционирования подобласти негабаритов этапа I приемки; управляющие сигналы $g_2(t)$ - количество сотрудников на этапе приемки в подобласти негабаритов этапа I.

СМО_{G2}, моделирующей работу подобласти габаритов этапа II (размещения на хранение), соответствует агрегат A_3^1 : входные сигналы $x_3(t)$ - это $y_1(t)$ выходные сигналы агрегата A_1^1 ; выходные сигналы $y_3(t)$ - поток обработанных габаритных деталей и характеристики функционирования подобласти габаритов этапа II; управляющие сигналы $g_3(t)$ - количество сотрудников в подобласти габаритов на этапе II.

СМО_{NG2}, моделирующей работу подобласти негабаритов этапа II (размещения на хранение), соответствует агрегат A_4^1 : входные сигналы $x_4(t)$ - это $y_2(t)$ выходные сигналы агрегата A_2^1 ; выходные сигналы $y_4(t)$ - поток обработанных негабаритных деталей, а также характеристики функционирования подобласти негабаритов этапа II; управляющие сигналы $g_4(t)$ - количество сотрудников в подобласти негабаритов на этапе II.

Таким образом, на уровне абстракции $k=1$ для **АН-модели**: $A_I^1 = \{A_i^1\}$, $i=1..4$; $Q_I^1 = \{Q_{ij}^1\}$, $i=1..2$, $j=i+2$ представлено связями Q_{13}^1 – между A_1^1 и A_3^1 ; Q_{24}^1 – между A_2^1 и A_4^1 .

2.4.2 Формализация имитационной модели

ИМ-модель[22,23,25,28,29,33] имитирует на детальном уровне (уровень абстракции $k=2$) операционные процессы этапа I и зоны парковки, предварительно formalизованные на структурно-функциональном уровне и представленные в виде кросс-функциональных диаграмм[22,41]. Построение модели осуществляется в предположении неординарного входного потока, что позволяет более адекватно описать процессы его обработки. Операционные процессы этапа I обрабатывают объекты, которые являются результатом расщепления объектов, порожденных в зоне парковки. Определим логическую схему процессов как графическую диаграмму, отражающую множество процессов, упорядоченных в соответствии с алгоритмом производственной технологии, для каждого из которых определена соответствующая математическая схема[4]. Логическая схема процессов этапа I и зоны парковки представлена на рис.2.11

С точки зрения введенного формального представления модели S-системы модель 2-ого уровня абстракции **ИМ-модель** имеет вид: $IM\text{-модель} = \{A_I^2, Q_I^2\}$. Определим A_I^2, Q_I^2 .

Характер низкоуровневых процессов определяет применение двух разнородных математических схем: СМО и конечные автоматы (КА). На уровне абстракции $k=2$ каждый из выделенных процессов этапа I (рис.2.11) и зоны парковки можно представить в виде агрегата

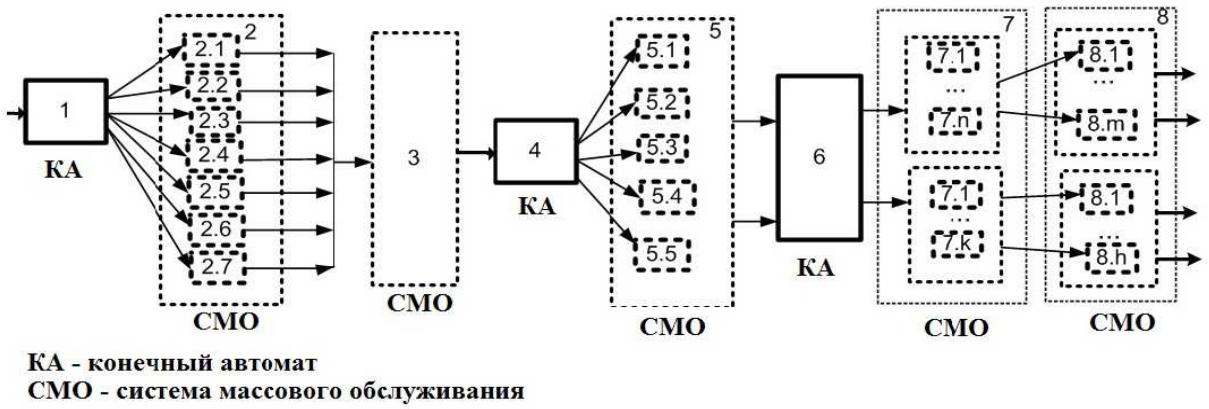


Рисунок 2.11. Логическая схема процессов этапа приемки и зоны парковки
Процесс1 “управления парковочными местами”. Процессу 1 соответствует агрегат A_1^2 : входные сигналы $x_1(t)$ – это входной поток грузовиков; выходные сигналы $y_1(t)$ – поток грузовиков и их распределение по парковочным местам; управляющие сигналы $g_1(t)$ – алгоритм распределения грузовиков по парковочным местам. A_1^2 типа *конечный автомат*.

Процесс2 “обслуживания грузовиков на парковке”. Процессу 2 соответствует агрегат A_2^2 : входные сигналы $x_2(t)$ – это $y_1(t)$ выходные сигналы агрегата A_1^2 ; выходные сигналы $y_2(t)$ – поток грузовиков и документы на поставки; управляющие сигналы $g_2(t)$ – количество парковочных мест. A_2^2 типа *СМО*.

Процесс3 “обслуживания грузовиков в отделе документооборота”. Процессу 3 соответствует агрегат A_3^2 : входные сигналы $x_3(t)$ – это $y_2(t)$ выходные сигналы агрегата A_2^2 ; выходные сигналы $y_3(t)$ – поток грузовиков, обслуженных в отделе документооборота; управляющие сигналы $g_3(t)$ – количество персонала отдела документооборота. A_3^2 типа *СМО*.

Процесс4 “управления разгрузочными лотами”. Процессу 4 соответствует агрегат A_4^2 : входные сигналы $x_4(t)$ – это $y_3(t)$ выходные сигналы агрегата A_3^2 ; выходные сигналы $y_4(t)$ – поток грузовиков и их распределение по разгрузочным лотам; управляющие сигналы $g_4(t)$ – правила обработки очереди грузовиков, алгоритм распределения грузовиков по разгрузочным лотам. A_4^2 типа *конечный автомат*.

Процесс 5 “разгрузки грузовика”. Процессу 5 соответствует агрегат A_5^2 : входные сигналы $x_5(t)$ - это $y_4(t)$ выходные сигналы агрегата A_4^2 ; выходные сигналы $y_5(t)$ – поток поставок, каждая из которых содержит поставки одного из двух видов габариты/негабариты; управляющие сигналы $g_5(t)$ – правила обработки поставок грузовика, количество лотов. A_5^2 типа *СМО*.

Процесс 6 “диспетчеризации паллет по местам приема”. Процессу 6 соответствует агрегат A_6^2 : входные сигналы $x_6(t)$ - это $y_5(t)$ выходные сигналы агрегата A_5^2 ; выходные сигналы $y_6(t)$ – поток паллет с коробками, содержащими габаритные или негабаритные детали, и координаты мест их приема; управляющие сигналы $g_6(t)$ – алгоритм распределения паллет по местам приема. A_6^2 типа *конечный автомат*.

Процесс 7 “доставки паллет с габаритными/негабаритными деталями”. Процессу 7 соответствует агрегат A_7^2 : входные сигналы $x_7(t)$ - это $y_6(t)$ выходные сигналы агрегата A_6^2 ; выходные сигналы $y_7(t)$ – поток паллет с габаритными и негабаритными деталями; управляющие сигналы $g_7(t)$ – координаты мест приема, количество персонала доставки. A_7^2 типа *СМО*.

Процесс 8 “приема паллет с габаритными и негабаритными деталями”. Процессу 8 соответствует агрегат A_8^2 : входные сигналы $x_8(t)$ - это $y_7(t)$ выходные сигналы агрегата A_7^2 ; выходные сигналы $y_8(t)$ – это поток габаритных и негабаритных деталей; управляющие сигналы $g_8(t)$ – количество сотрудников по приему габаритных и негабаритных деталей. A_8^2 типа *СМО*.

Таким образом, на уровне абстракции $k=2$ для *ИМ-модели* множество агрегатов $A_1^2=\{A_i^2\}$, $i=1..8$. Множество связей между агрегатами представлено связями Q_{12}^2 – между A_1^2 и A_2^2 , Q_{23}^2 – между A_2^2 и A_3^2 , Q_{34}^2 – между A_3^2 и A_4^2 , Q_{45}^2 – между A_4^2 и A_5^2 , Q_{56}^2 – между A_5^2 и A_6^2 , Q_{67}^2 – между A_6^2 и A_7^2 , Q_{78}^2 – связь между A_7^2 и A_8^2 , т.е. $Q_1^2=\{Q_{ij}^2\}$, $i=1..7, j=i+1$.

2.4.3 Принцип взаимодействия моделей

Определим принцип взаимодействия моделей *S-системы*[23,28]. Для двух моделей, описывающих один и тот же процесс на разных уровнях абстракции, модель верхнего уровня позволяет оперативно найти грубые оценки

характеристик процесса, которые затем используются для настройки модели нижнего уровня. Модель нижнего уровня позволяет корректировать параметры модели верхнего уровня, а также решать задачи, недоступные для модели верхнего уровня.

На рис. 2.12 представлена схема, определяющая взаимное соотношение **АН-модели** и **ИМ-модели**.

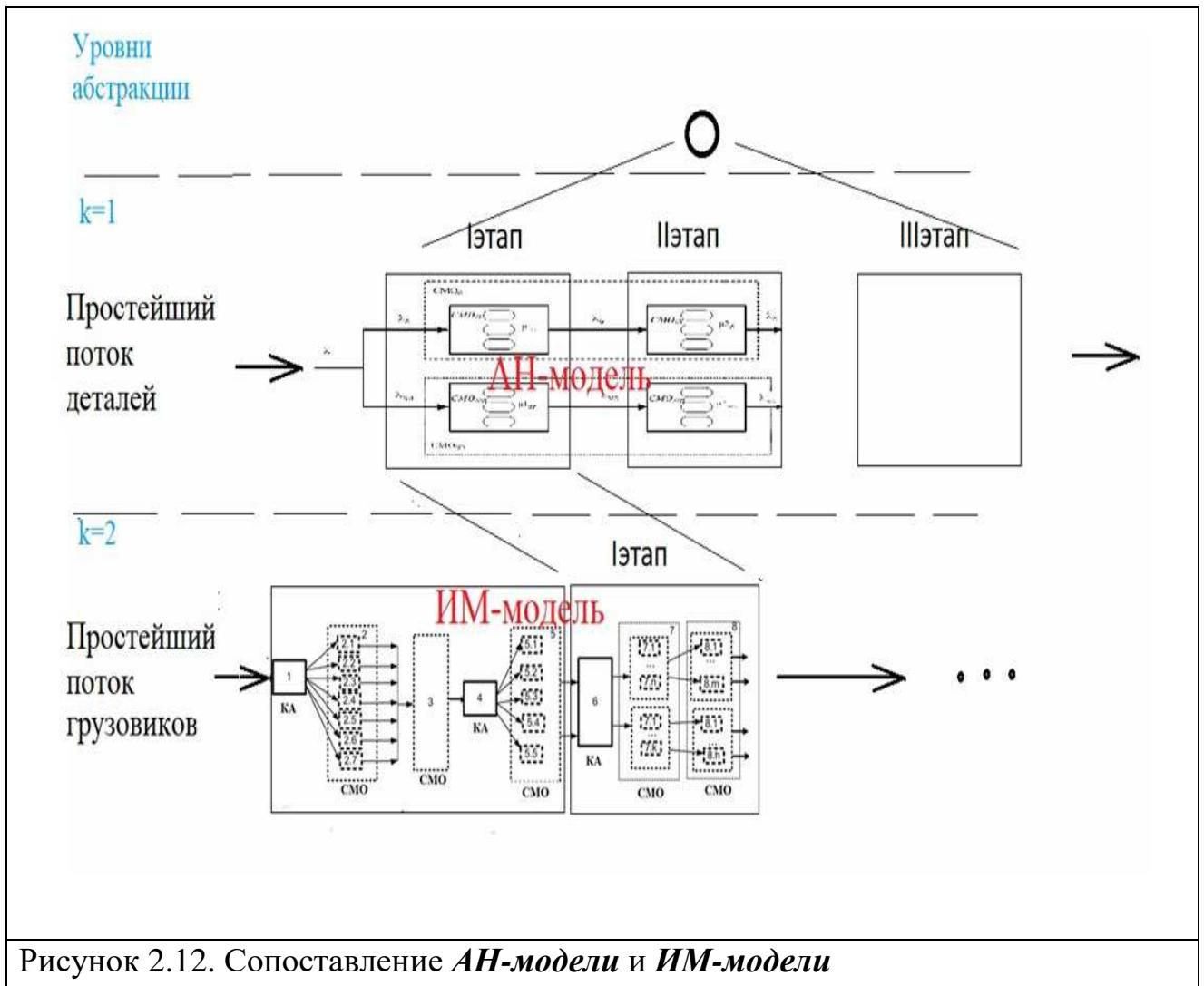


Рисунок 2.12. Сопоставление **АН-модели** и **ИМ-модели**

2.5 Выводы

Разработанное формальное представление моделей на основе агрегативного подхода, а также предложенный принцип взаимодействия моделей обеспечивают[28]:

- совместное использование нескольких унифицированных модельных представлений ОСЛ, что позволяет изучать систему с нужным для исследователя уровнем детализации, проводить процедуру интеграции

моделей разных уровней, представимых разными математическими классами, а также упрощает реализацию моделей на ЭВМ с использованием ООП.

- безболезненную реконфигурацию и расширение функционала ***KIM-системы***, направленные на решение возникающих задач производства;
- возможность масштабировать ***KIM-систему*** — использовать разработанные модели для решения задач анализа и реинжиниринга схожих по принципам функционирования ОСЛ.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Имитационная модель является наиболее важной составляющей **КИМ-системы**. **ИМ-модель** имитирует на детальном уровне функционирование этапа приемки (этап I) и зоны парковки с использованием гибридного подхода, сочетающего дискретно-событийное, агентное моделирование и ООП[8,18,45,70]. **ИМ-модель** разработана средствами инструментальной среды разработки имитационных моделей Anylogic[18,45,70]. Как отмечалось в первой главе, в имитационном моделировании можно выделить четыре парадигмы моделирования при построении моделей: динамические системы, системную динамику, дискретно-событийное моделирование, агентный подход. Программный продукт AnyLogic поддерживает все четыре подхода для создания имитационных моделей, что дает возможность моделировать и исследовать сложные системы, состоящие из разнородных элементов. Для описания операционных процессов ОСЛ на низком уровне абстракции используется дискретно-событийный подход. Основное средство дискретно-событийного моделирования в среде Anylogic — это библиотека Enterprise Library[18]. Библиотека Enterprise Library предоставляет высокоуровневый интерфейс для быстрого создания дискретно-событийных моделей с помощью блок-схем. Библиотека содержит традиционные объекты моделирования: очереди(Queue), задержки(Delay), конвейеры(Conveyor), ресурсы(Resource), обслуживание(Service) и т.д. Поскольку операционные процессы ОСЛ сложны, стандартных возможностей библиотеки Enterprise Library недостаточно. Возникла необходимость расширить эту библиотеку новыми классами в смысле ООП: разработать дополнительные программно-инструментальные модули процессного моделирования. Применение ООП возможно, так как Java-платформа инструмента AnyLogic предоставляет возможность расширять модели за счет программирования на языке Java и создавать собственные библиотеки классов Active Object (активных объектов)[18].

ИМ-модель включает две составляющих: модель входного потока и модель операционных процессов[22, 23, 29].

3.1 Моделирование неординарного, неоднородного входного потока

3.1.1 Агентный подход к моделированию неординарного, неоднородного входного потока

Для моделирования входного потока АТИ используется мультиагентный подход, поскольку он позволяет моделировать неординарный и неоднородный поток, позволяет учесть способ доставки, приоритетность груза, вид упаковки, технологию обработки, сопроводительную документацию. Грузопоток на этапе приемки представляется на разных уровнях детализации сначала грузовиками, затем поставками, затем сопроводительной документацией, потом коробками и, наконец, деталями, что соответствует цепочке преобразующихся друг в друга объектов: Truck→Delivery→Catalog→Pallet→Cargo→Components. Каждый объект моделируется агентами соответствующего типа. Разработано шесть типов агентов: грузовики (AgentTr), поставки (AgentDel), каталоги (AgentCat), паллеты(AgentPal), коробки (AgentCar), детали(AgentCom). С использованием теоретико-множественного подхода формализуем модель агента:

Agent = {NameAgent, SetAtr, SetRel, SetState, SetEvent, SetCon, SetReac} (3.1),
где NameAgent – идентификатор агента, SetAtr- множество атрибутов агента, SetRel – множество отношений агента, SetState – множество состояний агента, SetEvent- множество событий воспринимаемых агентом, SetCon- множество условий реакции агента на события, SetReac- множества реакций агента на события.

Таким образом, модель входного потока АТИ $M(Flow)$ представляется как конечное множество агентов:

$$M(Flow) = \{ \text{Agent}_i \} \quad (3.2),$$

где

$$\{Agent_i\} = AgentTr \cup AgentDel \cup AgentCat \cup AgentPal \cup AgentCar \cup AgentCom,$$

$i=1..countA$, $countA \subseteq \mathbb{Z}$ - количество агентов в модели входного потока.

Подмножества агентов связаны бинарным отношением агрегации. Множество $SetRel$ является объединением непересекающихся множеств отношений: $SetRel1$ – грузовики-поставки; $SetRel2$ – поставки-каталоги; $SetRel3$ – каталоги-паллеты; $SetRel4$ – паллеты-коробки; $SetRel5$ – коробки-детали.

$$SetRel = SetRel1 \cup SetRel2 \cup SetRel3 \cup SetRel4 \cup SetRel5 \quad (3.3)$$

Совокупность множеств $\{SetState, SetEvent, SetCon, SetReac\}$ определяет динамическое поведение агента. При этом, подмножество $\{SetCon, SetReac\}$ рассматривается как множество продукции, где $SetCon$ – посылки (условия продукции), $SetReac$ – заключения (действия).

Каждый тип агента реализуется соответствующим классом-агентом, который описывается диаграммой поведения и множеством параметров. Поведенческие диаграммы реализуются средствами Anylogic, базирующимися на языке UML. Продукции кодируются на языке Java с использованием ООП. Соответствующие классы-агенты: *Truck*, *Delivery*, *Catalog*, *Pallet*, *Cargo*, *Component*. Между классами-агентами, программно реализующими модель входного потока, установлено отношение агрегация рис. 3.1. Вид отношения между классами-агентами был выбран с учетом решения проблемы связанных с вычислительной сложностью агентных моделей. При отработке на своем абстрактно-логическом уровне экземпляр класса-агента уничтожается.

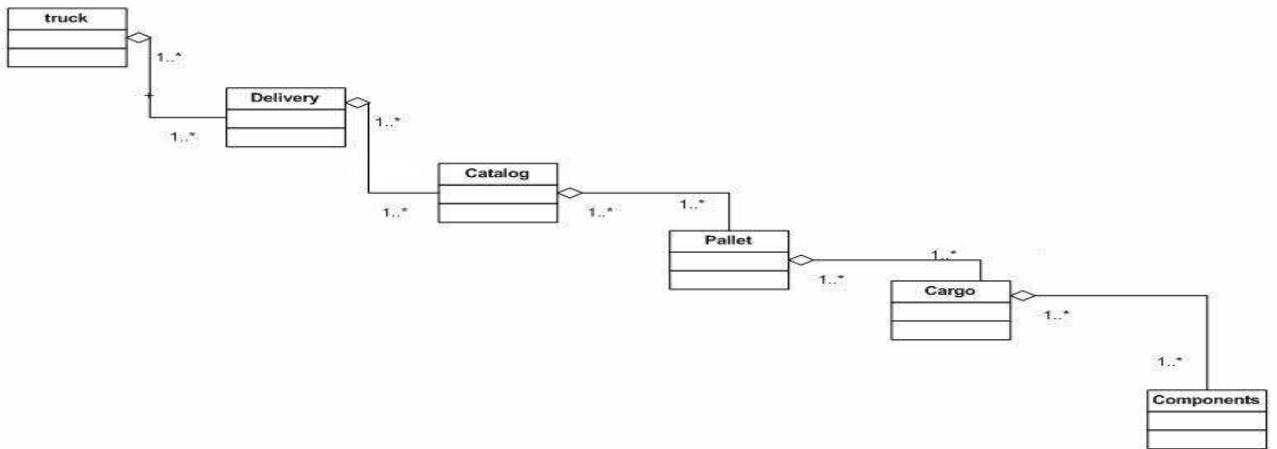


Рисунок 3.1. Диаграмма классов-агентов

Truck() — объект Грузовик, далее групповая заявка — это первичный вид единицы грузопотока, в который инкапсулирована вся имеющаяся информация о поставках и их содержимом, которое доставлено грузовиком. Загрузка информации о количестве поставок и их содержимом для каждого объекта Грузовик производится при инициализации объекта. Информация о поставках грузовика и их содержимом загружается, либо из хранилища информационной системы (моделируем детерминированных поток), либо из конфигурационного файла (моделируем стохастический поток).

Delivery() — объект Поставка. По событию, “поступление грузовика в разгрузочный лот” происходит преобразование объекта Truck() в множество объектов Delivery(). Порождение множества объектов Delivery() связано с фактом того, что грузовик привозит поставки от нескольких поставщиков. Отношение между сущностями Грузовик и Поставка 1:N.

Catalog() — объект Документ. Процессу разгрузки поставки и распределения АТИ по паллетам соответствует преобразование объекта Delivery() в множество объектов Catalog(). Объектом Catalog() моделируется электронный документ (инвойс), по которому производится количественная и качественная проверка груза, конкретного поставщика. Порождение множества объектов Catalog() связано с фактом того, что от поставщика может прийти несколько электронных документов, например, один документ соответствует

грузу, который тот должен был доставить, так как по прошлой поставке обнаружилась недостача, а второй документ на груз, который нужно доставить сегодняшним числом. Отношение между сущностями Поставка и Документ 1:N.

Pallet() – объект Паллет. Процесс разгрузки АТИ с перевозочных мест на паллеты отображается преобразованием объекта Catalog() в множество объектов Pallet(). Множество объектов Pallet() порождается ситуацией, когда товар одного поставщика, относящийся к одному документу (инвойсу), располагается на нескольких паллетах. Отношение между сущностями Документ и Паллет 1:N.

Cargo() – объект Перевозочное место. Процесс разборки содержимого паллеты отображается преобразованием объекта Pallet() в множество объектов Cargo(). Отношение между сущностями Паллет и Перевозочное место 1:N.

Components() – объект Товарная единица. Процесс учета поставленного АТИ отображается преобразованием объекта Cargo() в множество объектов Components(). Отношение между сущностями Перевозочное место и Товарная единица 1:N.

Объекты Truck() и Pallet() визуализируются при моделировании процесса приемки на разработанных анимационных модулях.

3.1.2 Реализация класса-агента Truck (Грузовик)

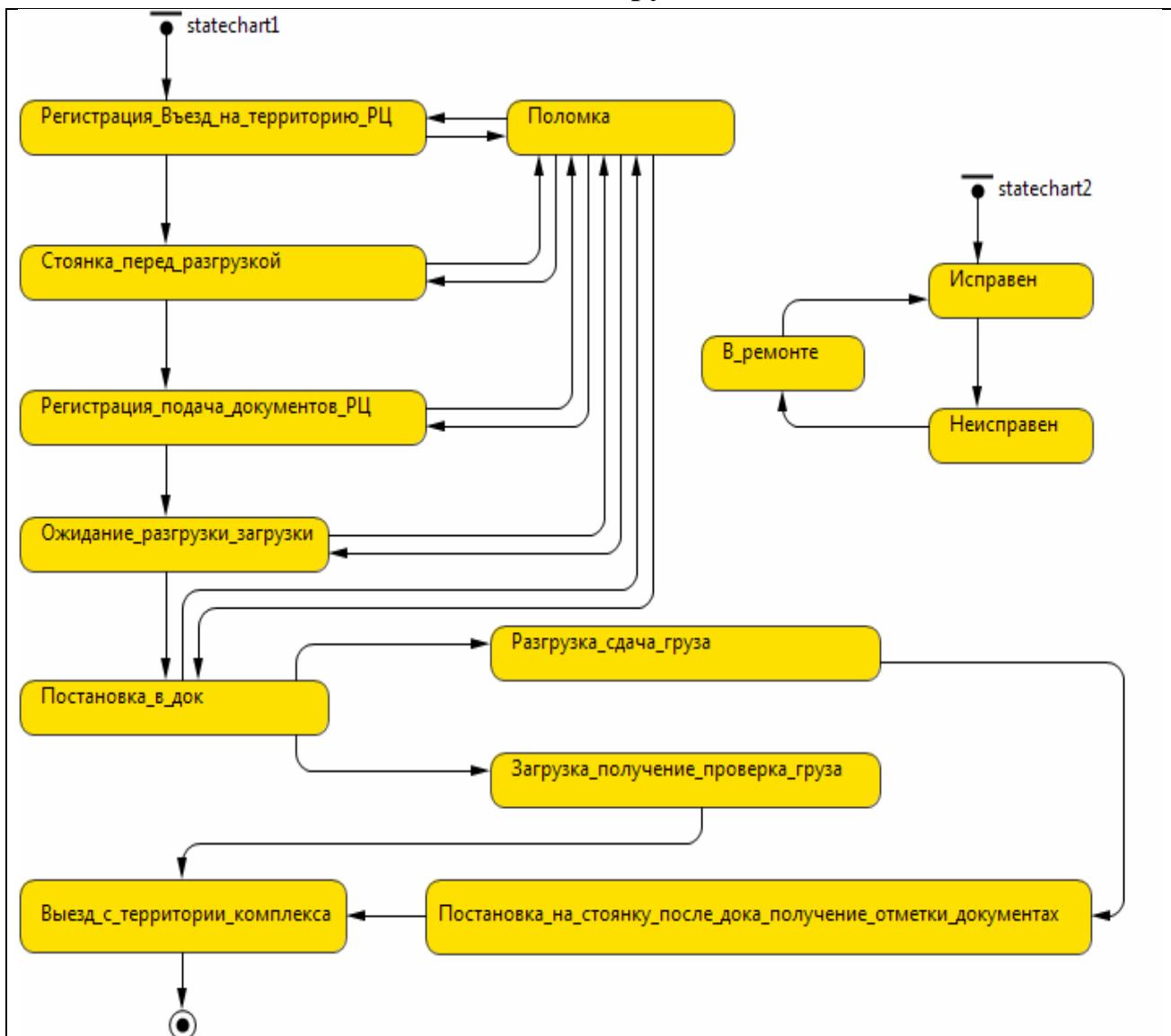


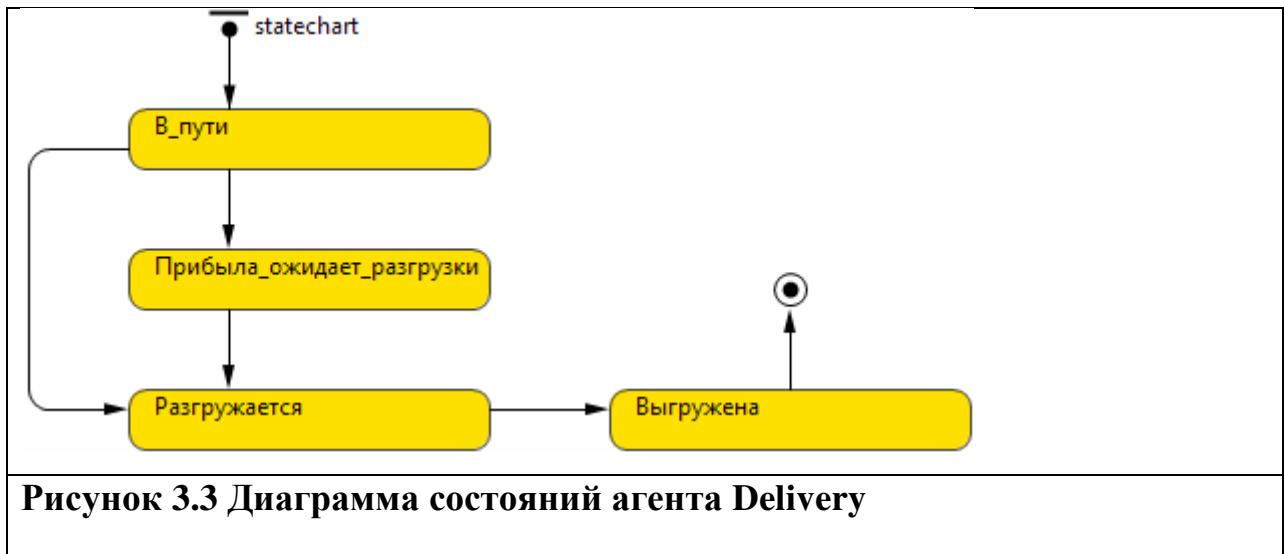
Рисунок 3.2 Диаграмма состояний агента Truck

Параметры класса-агента Truck (Грузовик):

- Идентификатор Грузовика;
- Количество поставок в Грузовике;
- Тип грузовика: Грузовик на разгрузку, Грузовик на погрузку;
- Габаритность Грузовика: Длинномер (120 кубов), Фура (80кубов), Грузовик (60 кубов), Газель (20 кубов), Малолитражка (8 кубов);
- Скорость движения от въезда на склад до парковки;
- Скорость движения от парковки до разгрузочного лота;
- Время пребывания на парковке по нормативу;

- Приоритетность Грузовика (приоритетный груз или неприоритетный);
- Признак маркировки груза (маркированный или немаркированный);
- Время на разгрузку по нормативу.

3.1.3 Реализация класса-агента Delivery (Поставка)



Параметры класса-агента Delivery(Поставка):

- Идентификатор Грузовика;
- Идентификатор Поставки;
- Количество Документов, соответствующих поставке;
- Приоритетность Поставки (приоритетная или неприоритетная) – значение параметра наследуется от объекта Грузовик;
- Маркировка Поставки (маркированная или немаркированная) - значение параметра наследуется от объекта Грузовик;
- Нормативное время выгрузки Поставки на пандус;
- Логотип поставщика;
- Логотип заказчика.

3.1.4 Реализация класса-агента Catalog (Документ)

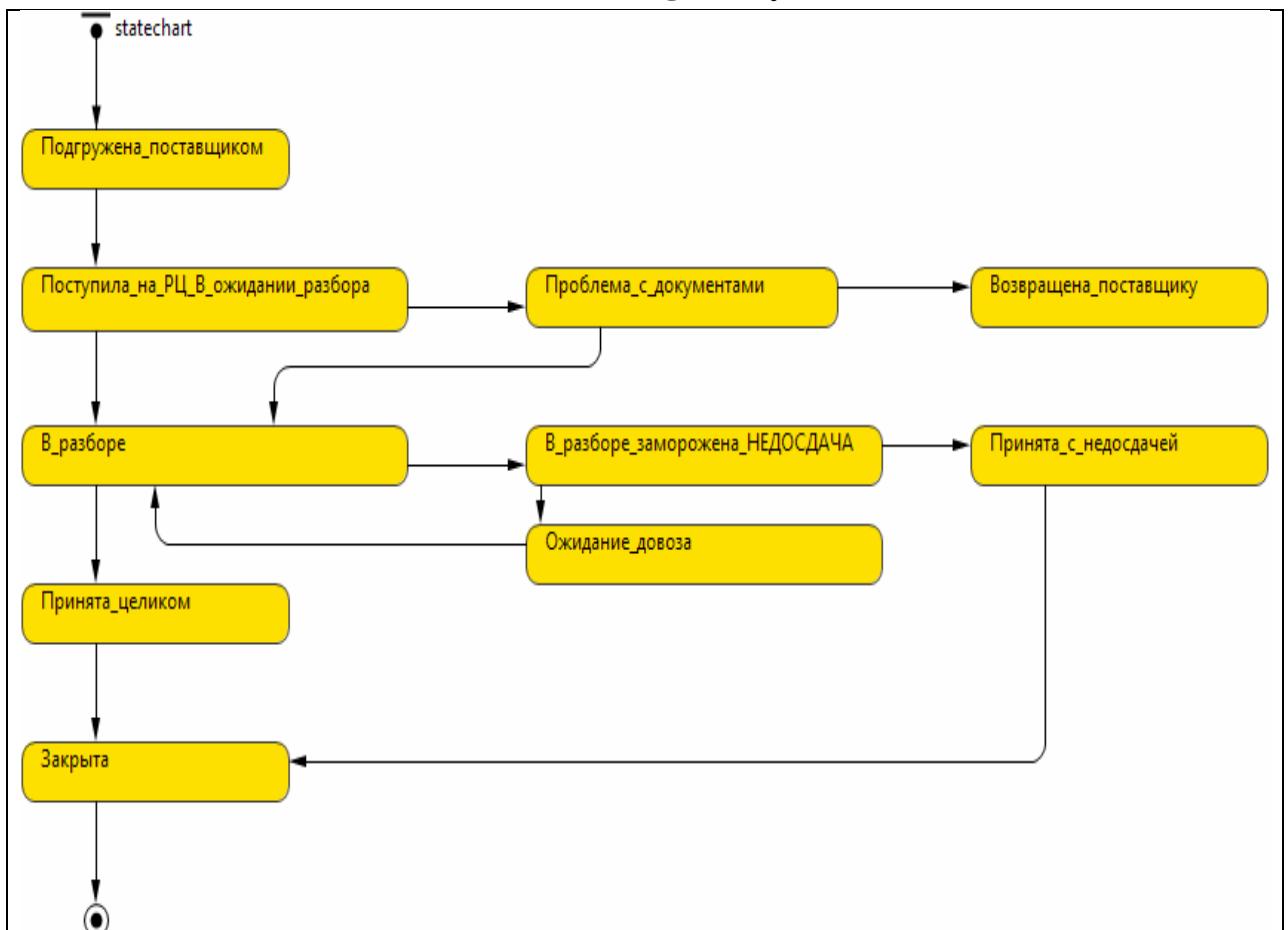


Рисунок 3.4 Диаграмма состояний агента Catalog

Параметры класса-агента Catalog(Документ):

- Идентификатор Документа;
- Идентификатор Поставки;
- Количество Паллет, которые соответствуют Документу;
- Приоритетность Документа (приоритетный или неприоритетный) – значение параметра наследуется от объекта Поставка;
- Маркировка Документа (маркированные или немаркированные детали отображаются в документе)- значение параметра наследуется от объекта Поставка;
- Нормативное время обработки Документа в отделе документооборота.

3.1.5 Реализация класса-агента Pallet (Паллет)

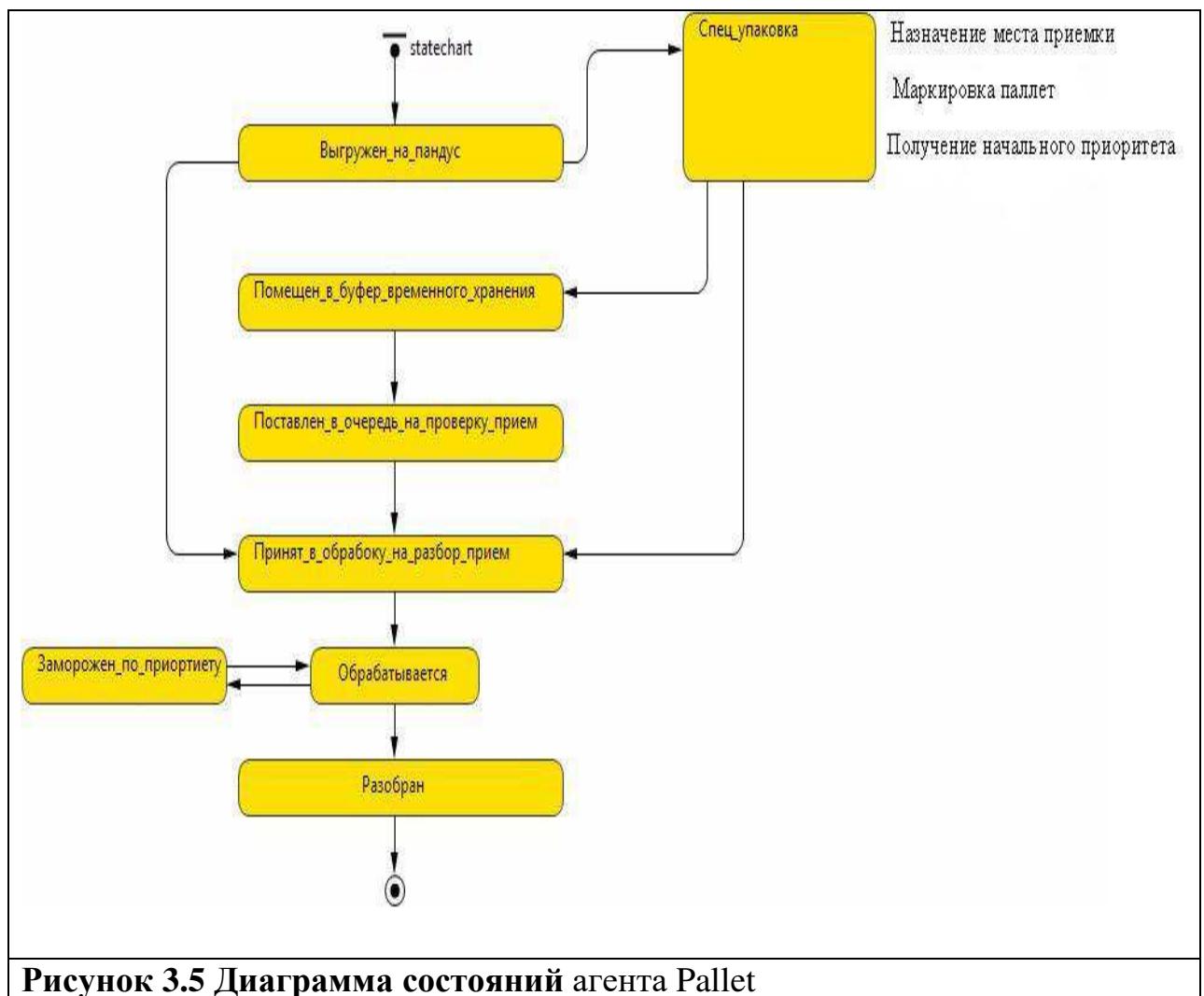


Рисунок 3.5 Диаграмма состояний агента Pallet

Параметры класса-агента Pallet(Паллет):

- Идентификатор Паллета;
- Идентификатор Документа;
- Количество Коробок на Паллете;
- Приоритетность Паллета (приоритетный или неприоритетный) – значение параметра наследуется от объекта Документ;
- Маркировка Паллета (маркированные или немаркированные АТИ отображаются в документе) – значение параметра наследуется от объекта Документ;
- Признак габаритности (габаритный или негабаритный).

3.1.6 Реализация класса-агента Cargo (Коробка)

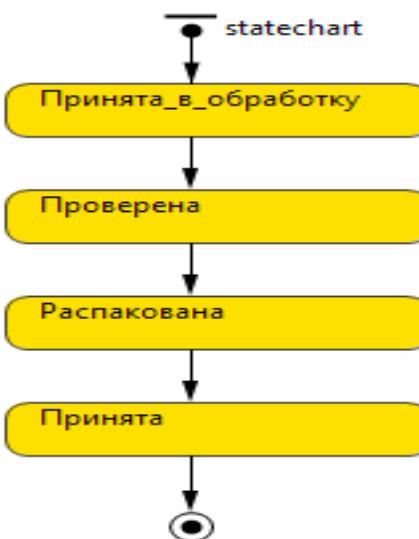


Рисунок 3.6 Диаграмма состояний агента Cargo

Параметры класса-агента Cargo(Коробка):

- Идентификатор Коробки;
- Идентификатор Паллета;
- Количество Деталей в Коробке;
- Типоразмер:
 - 10*20 см;
 - 20*40 см;
 - 40 *40 см;
 - 40*100 см;
 - 100*100 см;
- Нормативное время на сканирование штрих-кода Коробки;
- Нормативное время на распаковку Коробки;
- Объем мусора после разбора Коробки определенного типоразмера;
- Признак габаритности (габаритный или негабаритный)- значение параметра наследуется от объекта Паллет;
- Приоритетность Коробки (приоритетная или неприоритетная) – значение параметра наследуется от объекта Паллет;

- Маркировка Коробки (маркированные или немаркированные АТИ находятся в коробке) – значение параметра наследуется от объекта Паллет.

3.1. 7 Реализация класса-агента Components (Деталь)

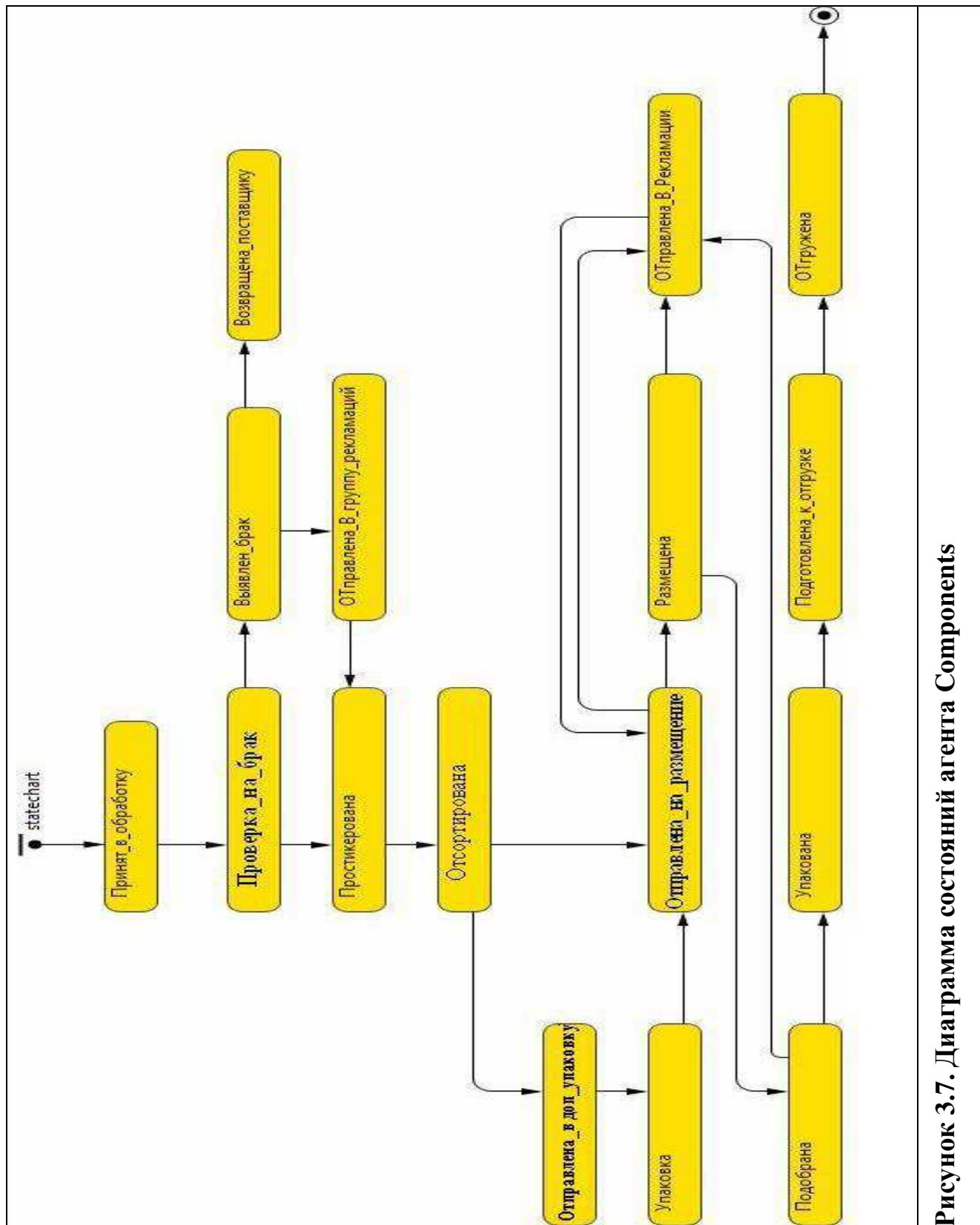


Рисунок 3.7. Диаграмма состояний агента Components

Параметры класса-агента Components(Деталь):

- Идентификатор Детали;
- Идентификатор Коробки;
- Признак габаритности (габаритная или негабаритная) - значение параметра наследуется от объекта Коробка;
- Направление хранения (Московские клиенты или Региональные клиенты);
- Нормативное время на обработку Детали в зависимости от типоразмера и маркировки;
- Типоразмер упаковок, в которых должна храниться и отгружаться Деталь (по технологии предусмотрено четыре вида упаковок);
- Признак брака (брюкованная или небрюкованная деталь)

3.2 Идентификация и генерация случайного неординарного входного потока

Разработанная модель входного потока АТИ совместима с базой данных (БД) WMS. Данные БД WMS являются первичными, полученными в результате наблюдений за работой объекта. Применение таких данных в модели позволяет максимально приблизить имитацию к наблюдаемому процессу. Однако при этом возникают следующие проблемы: не гарантируется типичность наблюдаемых данных; длительность моделируемого процесса ограничивается длительностью наблюдаемого периода; модель лишается прогностической силы, поскольку данные, необходимые для накопления статистики, могут отсутствовать[23,31,55]. Возникает проблема генерации исходных данных как случайных величин (СВ), задаваемых своими функциями распределения. Функция распределения должна: не противоречить статистическому аналогу плотности распределения наблюдаемой СВ; основана с использованием статистического критерия согласия. Задача генерации исходных данных, как случайных величин, решается в два этапа:

- на первом этапе обосновывается выбор законов распределения вида $F_1(x, \theta_1, \dots, \theta_s) \dots F_k(x, \theta_1, \dots, \theta_s)$ с s неизвестными параметрами распределения

наблюдаемых СВ X_1, \dots, X_k по имеющимся реализациям z_{1n}, \dots, z_{kn} выборок Z_1, \dots, Z_k , порожденных случайными величинами X_1, \dots, X_k . Для проверки гипотез о виде функций распределения СВ X_1, \dots, X_k используется статистический критерий хи-квадрат (критерий Пирсона). По реализациям z_{1n}, \dots, z_{kn} выборок Z_1, \dots, Z_k , методом максимального правдоподобия находятся оценки $\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_s$ неизвестных параметров $\theta_1, \dots, \theta_s$.

- на втором этапе воспроизводятся статистические аналоги СВ X_1, \dots, X_k с выбранными законами распределения и параметрами, характеризующими их. Формирование реализаций статистических аналогов осуществляется с использованием датчиков случайных величин из коллекции пакета AnyLogic[70].

В работе рассматриваются особенности применения этой схемы для моделирования случайного потока сложной структуры, заявки которого претерпевают многократное расщепление, соответствующее переходу от одного технологического процесса к другому. На предварительном этапе разработано внешнее представление данных на основе БД WMS и соответствующее принятым в имитационной системе ограничениям (рис.3.8).

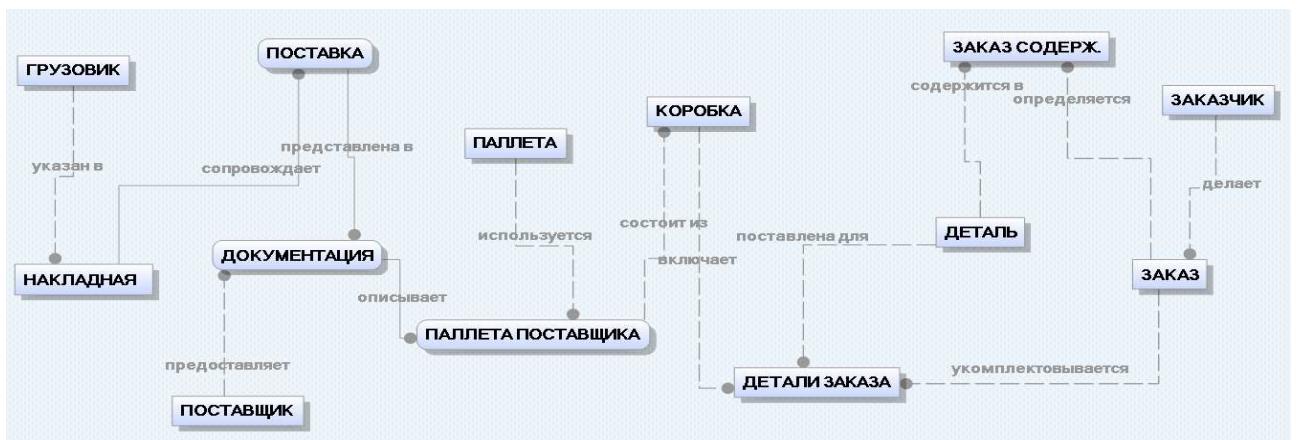


Рисунок 3.8. Представление БД на логическом уровне в пакете ERwin

Из анализа данных входного потока следует, что каждая заявка имеет иерархическую структуру фиксированной глубины (глубина дерева – 6 уровней). Входной поток данных представляет собой ординарный поток элементов 0-ого уровня иерархии (Грузовиков)(рис.3.9)

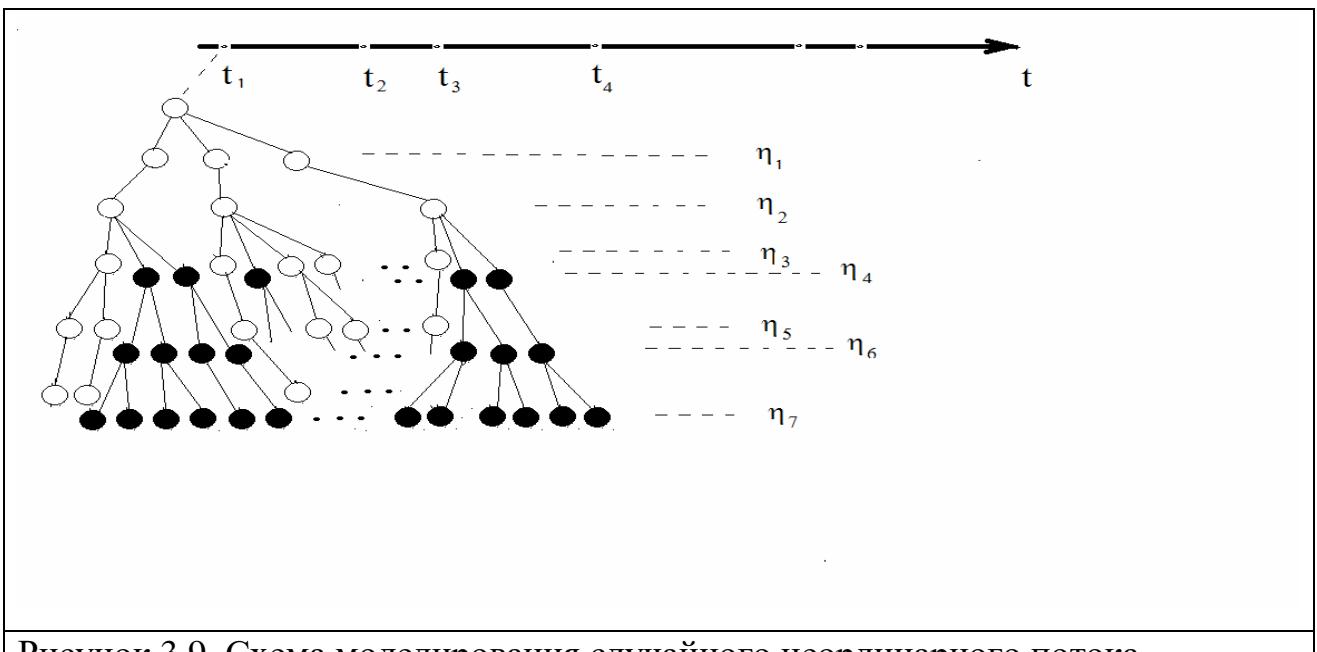


Рисунок 3.9. Схема моделирования случайного неординарного потока

Будем считать, что:

- Элементы 1-ого уровня являются реализациями неотрицательной целочисленной случайной величины η_1 (количество поставок) (СВ η_1).
 - Элементы 2-ого уровня являются реализациями неотрицательной целочисленной СВ η_2 (количество документов для каждой поставки).
 - Элементы 3-его уровня подразделяются на два подмножества элементов:
 - элементы первого подмножества являются реализациями неотрицательной целочисленной СВ η_3 (количество паллет габаритов в каждом документе),
 - элементами второго подмножества - реализации неотрицательной целочисленной СВ η_4 (количество паллет негабаритов в каждом документе).

целочисленной СВ η_6 (количество коробок с негабаритными деталями), если элементы принадлежат поддереву негабаритов.

- Элементами 5-ого уровня являются реализациями неотрицательной целочисленной СВ η_7 (количество элементов в коробке с негабаритами), если элементы принадлежат поддереву негабаритов. Элементы четвертого уровня, входящие в поддерево габаритов, порождают по одному элементу 5-ого уровня (количество габаритных деталей в коробке равно 1 штуке).

Поток заявок, начиная с первого уровня иерархии, является неординарным. Заявки поступают пачками случайного объема (объем пачек предполагается ограниченным, а входящий поток пачек – простейшим). Введем допущения касающиеся независимости СВ $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_7$ от времени t . Анализ данных показал, СВ η_3 и η_4 , характеризующие соответственно количество паллет необходимых для габаритного груза и негабаритного груза, зависят от СВ η_1 . Для моделирования реализаций СВ η_3 и η_4 был идентифицирован вид условных функций распределения $F_{\eta3,i}(\eta_3 | \eta_{1,i})$, $F_{\eta4,i}(\eta_4 | \eta_{1,i})$, где $i=1..m$. В ходе анализа данных выборки, порожденной СВ η_2 было определено, что практически во всех наблюдениях величина η_2 принимала значение один, поэтому значение этой величины считаем константой равной единице. Все остальные СВ считаем независимыми друг от друга. Таким образом, задача моделирования статистических данных сводится к получению:

- реализаций совокупности дискретных случайных величин $\{\eta_1, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6, \eta_7\}$, каждая из которых характеризует объемы групповых заявок определенного вида (поставки в каждом грузовике; документация для каждой поставки; паллеты габаритов/негабаритов для каждого экземпляра документов; коробки на каждой паллете; детали в каждой коробке), соответствующих своему этапу технологического процесса;
- реализаций непрерывной случайной величины T - интервалов между моментами поступления заявки или между моментами поступления элементов 0-ого уровня иерархии (Грузовиков).

По выборкам, порожденным СВ $\eta_1, \eta_2.., \eta_7$, Т выполнена процедура идентификации законов распределения СВ с использованием критерия согласия χ^2 (критерий Пирсона) с уровнем значимости $\alpha=0.05$. Методом максимального правдоподобия определены оценки параметров, характеризующие распределения см. Таблица 3.1. Процедура идентификации и оценка параметров распределения представлены в Приложении 2.

Таблица 3.1. Законы распределения СВ $\eta_1, \eta_2.., \eta_7$, Т

Случайная величина	Вид вероятностного распределения	Параметры распределения	
η_1	равномерное	$a=1$	$b=3$
$\eta_3 \eta_1=1$	равномерное	$a=0$	$b=5$
$\eta_3 \eta_1=2$	равномерное	$a=0$	$b=4$
$\eta_3 \eta_1=3$	равномерное	$a=0$	$b=3$
$\eta_4 \eta_1=1$	равномерное	$a=3$	$b=7$
$\eta_4 \eta_1=2$	равномерное	$a=2$	$b=5$
$\eta_4 \eta_1=3$	равномерное	$a=2$	$b=4$
η_5	нормальное	$m=4.49$	$d=1.17$
η_6	нормальное	$m=7.43$	$d=4.66$
η_7	нормальное	$m=10.5$	$d=1.18$
Т	показательное	$\lambda=2.07$	

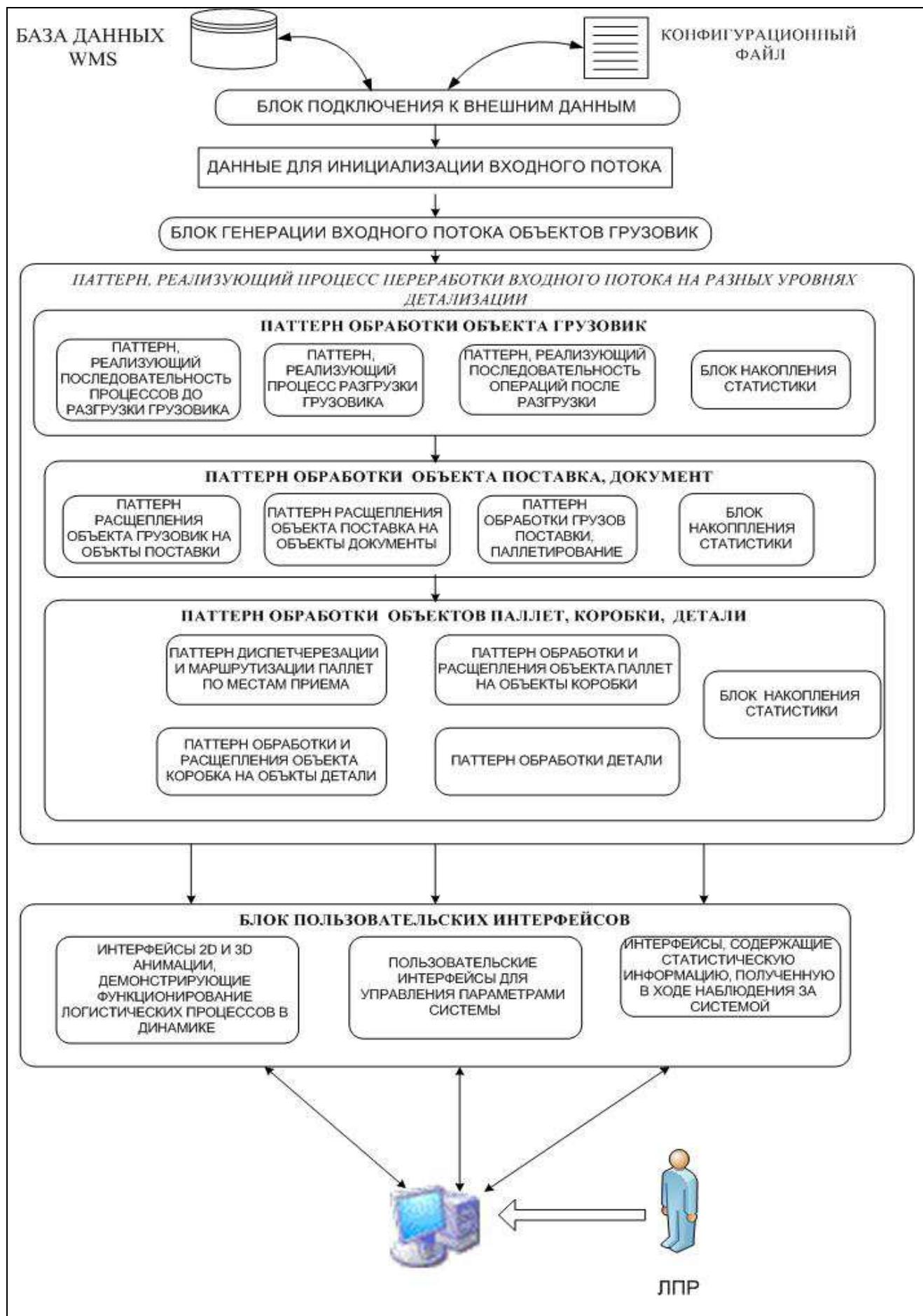
Таким образом, предложен подход к генерации случайного неординарного входного потока, структура которого инвариантна к его интенсивности, что позволяет изменять интенсивность случайного входного потока путем изменения только λ_{truck} -интенсивности потока грузовиков.

3.3 Моделирование операционных процессов объекта складской логистики

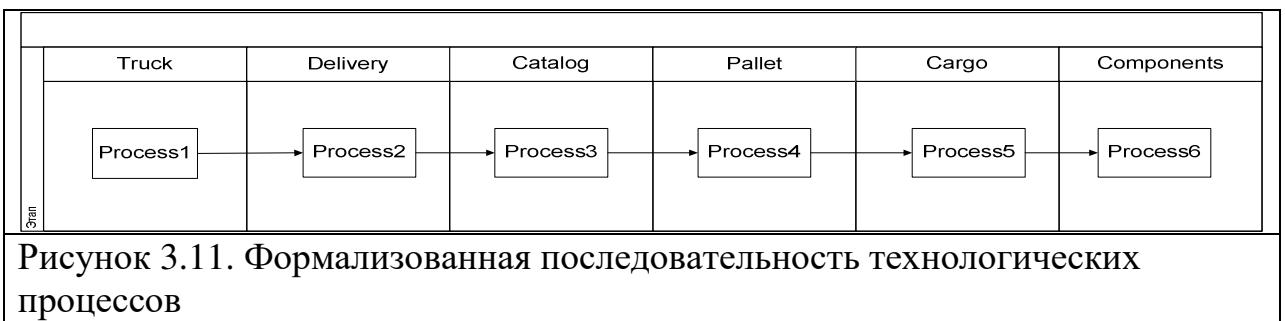
3.3.1 Концептуальное представление архитектуры ИМ-модели

ИМ-модель моделирует процессы этапа приемки и зоны парковки, предварительно формализованные на структурно-функциональном уровне и представленные в виде кросс-функциональных диаграмм[22,41] в Приложении 1.

С каждым типом заявки входного потока связана последовательность технологических действий, которые сгруппированы в процессы и промоделированы с использованием дискретно-событийного и объектно-ориентированного подходов. Концептуальная схема прототипа **ИМ-модели** представлена на рис. 3.10.

Рисунок 3.10. Концептуальная схема прототипа *ИМ-модели*

Переход от одного типа заявки к другому приводит к переходу на следующий этап технологической обработки входного потока (рис. 3.11).



3.3.1.1 Моделирование процессов, связанных с типом заявки Truck

В Process1(рис. 3.11) участвуют заявки типа Truck. Технологический процесс Process1 моделируется с помощью *паттерна "обработки объекта грузовик"* (рис. 3.10).

Паттерн "обработки объекта грузовик" включает:

- *Паттерн, реализующий последовательность процессов, предшествующих разгрузке грузовика.* Паттерн состоит из программных блоков, представленных на рис. 3.12.

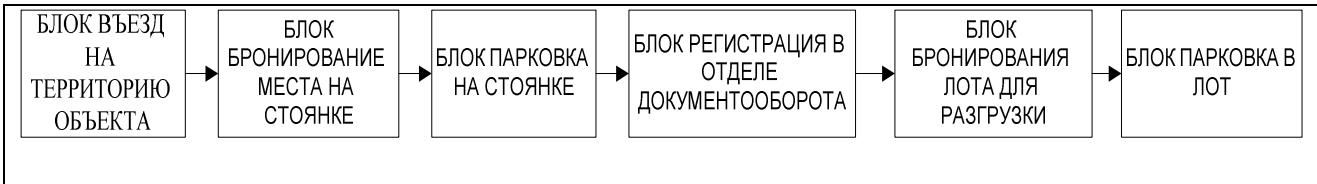


Рисунок 3.12. Состав паттерна, моделирующего последовательность процессов связанных с объектом грузовик до его разгрузки

Блок “Въезд на территорию объекта”. Блок моделирует движение грузовика по территории. В нем производится анализ образования очереди на въезде к ОСЛ.

Блок “Бронирование места на стоянке”. В блоке анализируется наличие свободного места для стоянки и реализуется алгоритм обслуживания очереди.

Блок “Парковка на стоянке”. Блок моделирует процесс размещения грузовика на парковке (алгоритм захвата статического ресурса динамической заявкой).

Блок “Регистрация в отделе документооборота”. Блок моделирует процесс регистрации документов и рассчитывает время ожидания грузовика.

Блок “Бронирование лота для разгрузки”. В блоке моделируется процесс перемещения грузовика на место разгрузки (анализируется наличие свободного статического ресурса и реализуется алгоритм его бронирования).

Блок “Парковка в лот”. В блоке описывается алгоритм привязки анимации к моделируемому процессу.

- *Паттерн, реализующий процесс разгрузки грузовика.* Паттерн состоит из двух блоков: блок “Обработка грузовика”, блок “Ожидание разгрузки”.

Блок “Обработка грузовика” моделирует алгоритм разгрузки грузовиков в указанное место и формирования объектов Delivery().

В блоке “Ожидание разгрузки” собирается статистика о среднем времени нахождения грузовика в месте разгрузки.

- *Паттерн, реализующий последовательность операций после разгрузки грузовика.* В зависимости от типа грузовика (приоритетный или не приоритетный) и результатов приемки груза, в паттерне моделируются два сценария поведения грузовика после разгрузки:

Сценарий 1. Освобождает разгрузочное место → Выезжает с территории ОСЛ.

Сценарий 2. Освобождает разгрузочное место → Возвращается на стоянку → Ожидает учет груза в накладной → Возвращается в разгрузочное место и забирает брак → Выезжает с территории ОСЛ.

3.3.1.2 Моделирование процессов, связанных с типом заявки Delivery, Catalog

В Process2, Process3 (рис. 3.11) участвуют заявки типа Delivery, Catalog. Технологические процессы Process2, Process3 моделируются с помощью *паттерна обработки объектов поставка, документ* (рис. 3.10), паттерн включает:

- *Паттерн расщепления объекта грузовик на объекты поставки.* В этом паттерне моделируется процесс разгрузки грузовиков, в нем реализован алгоритм инициализации заявок типа Delivery.

- **Паттерн расщепления объекта поставки на объекты документы.** Паттерн используется для инициализации заявок типа Catalog, которые пришли с поставкой.
- **Паттерн обработки грузов поставки, палленирование.** В паттерне моделируется процесс перераспределения грузов поставки по паллетам (инициализация заявок типа Pallet), в соответствии с документами на поставку.

3.3.1.3 Моделирование процессов, связанных с типом заявки Pallet, Cargo, Components

В Process4, Process5, Process6 (рис. 3.11) участвуют заявки типа Pallet, Cargo, Components. Технологические процессы Process4, Process5, Process6 моделируются с помощью *паттерна* “*обработки объектов паллет, коробки детали*” (рис. 3.10), паттерн включает:

- **Паттерн диспетчеризации и маршрутизации паллет по местам разбора** состоит двух блоков: блока “*Маршрутизации паллет в зоне пандуса*” и блока “*Диспетчеризация паллет*”.

В блоке “*Маршрутизации паллет в зоне пандуса*” моделируется процесс размещения паллет на пандусе (место, где паллеты ожидают своей очереди на прием) с учетом их принадлежности определенной поставке, а также маршруты передвижения паллет из зоны пандуса к месту приемки (сортировки, отбраковки, учета). Задается геометрическая карта рабочих мест, которая не меняется в ходе имитационных экспериментов.

Блок “*Диспетчеризация паллет*”. В блоке моделируется процесс перераспределения паллет по местам приемки.

- **Паттерн “*обработки и расщепления объекта паллет на объекты коробки*”** моделирует процесс расщепления заявки типа паллет на заявки типа коробки.
- **Паттерн “*обработки и расщепления объекта коробка на объекты детали*”** моделирует процесс расщепления заявки типа коробка на заявки типа компоненты.

- Паттерн “обработки детали” моделирует процесс приемки детали, который включает следующие операционные действия: идентификация и стикеровка детали; проверка по качеству (отбраковка); сортировка по направлениям (Клиент Регион или Москва).

3.4. Программная реализация имитационной модели

Программная реализация блоков и паттернов **ИМ-модели** представляет собой дерево классов активных объектов (рис.3.13)[23, 29]. Каждый класс активного объекта описывается своей структурной диаграммой. Функции, используемые в классах, представлены программным кодом на языке Java.

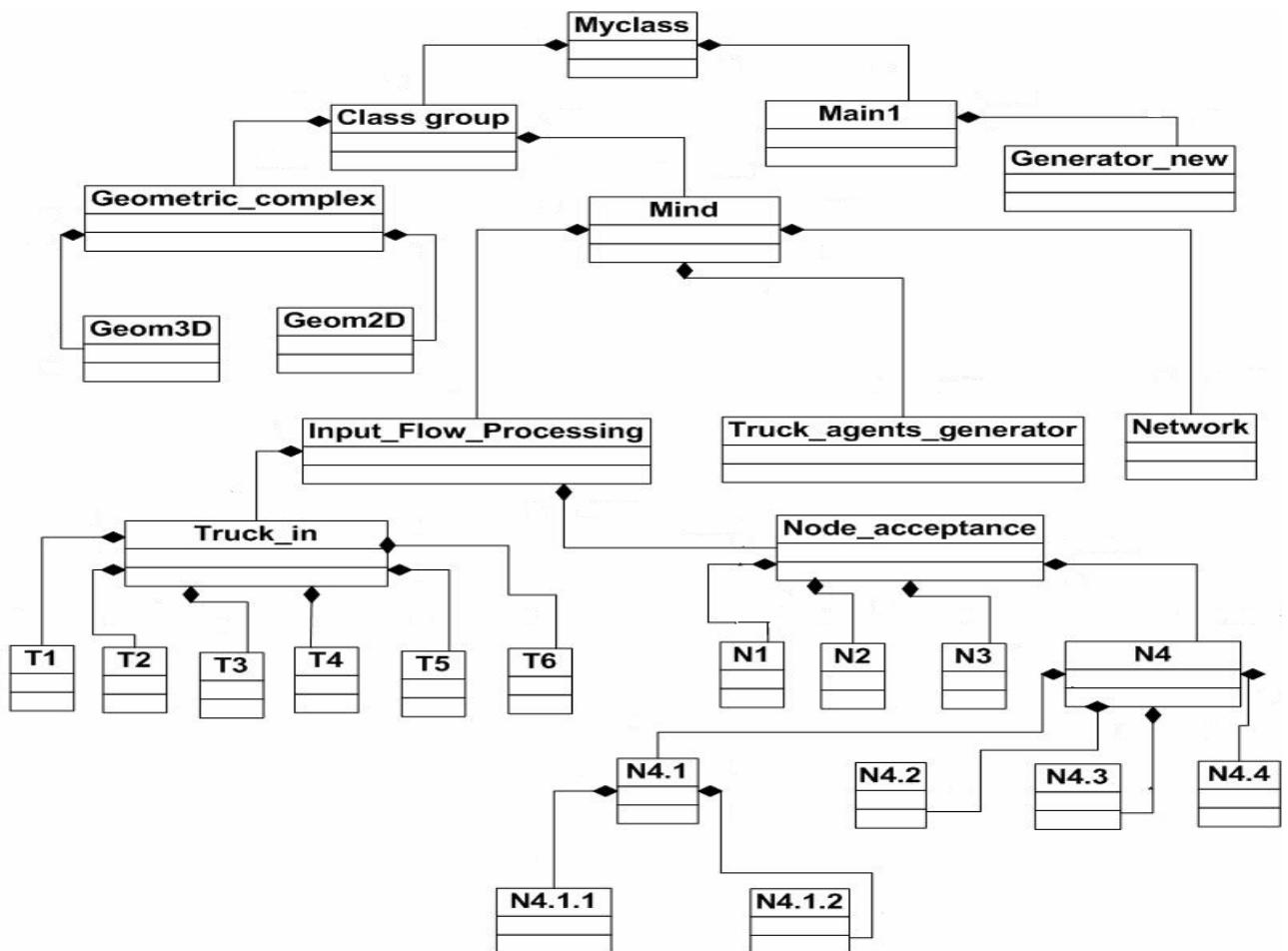


Рисунок 3.13. Дерево классов активных объектов в нотации UML

Myclass:

- Класс является корневым, он инициализирует все входящие в него объектные модули при запуске модели.

- В классе производится настройка модельного времени и начальных значений параметров процесса.
- В классе осуществляется привязка визуализации процесса к запрограммированной технологии приемки грузов.

Myclass включает в себя классы **Class_group** и **Main1**.

Class_group реализуется механизм имитации операционных процессов ОСЛ и привязки этих процессов к геометрическим маршрутам обработки входного потока, содержит классы **Geometric_complex** и **Mind**.

Класс **Geometric_complex** используется для создания 2D и 3D анимационных интерфейсов ОСЛ и включает классы **Geom3D** и **Geom2D**, моделирующие 3D и 2D представления ОСЛ.

Класс **Mind** включает в себя:

- Класс **Network** реализует множество ресурсов для переработки входного потока АТИ. Ресурсы делятся на три вида:
 - Статические, такие как рабочие места для приема габаритных и негабаритных деталей, разгрузочные места, места на стоянке, места промежуточного хранения;
 - Переносные, такие как складское оборудование в виде телег и ричтраков;
 - Динамические, такие как сотрудники по приему негабаритных и габаритов грузов, разнорабочие;
- Класс **Truck_agents_generator** реализует механизм генерации входного потока грузовиков – заявок иерархической структуры;
- Класс **Input_Flow_Processing** реализует процесс переработки входного потока на разных уровнях абстракции и включает классы:
 - Класс **Truck_in** реализует механизм обработки грузовиков и включает классы, осуществляющие:
 - **Parking_revisor** (рис. 3.13, класс T1) – управление парковочными местами на территории склада;

- **Receiv_Doc_Unload** (рис. 3.13, класс T2) – проверку документов на груз и получение документов на разгрузку;
- **Parking_revisor_Dock** (рис. 3.13, класс T3) – управление местами для разгрузки ;
- **Parking_in_Dock** (рис. 3.13, класс T4) – механизм парковки;
- **Loading_trucks** - механизм разгрузки грузовиков;
- **Statist_Unload_Truck** (рис. 3.13, класс T5) – механизм получения статистических данных о времени выгрузки поставок из грузовика.
- **Behavior_After_Unload** (рис. 3.13, класс T6) – процесс освобождения грузовиком разгрузочного места и выезд с ОСЛ;
- Класс **Node_acceptance** реализует механизм приема поставок и включает классы, осуществляющие:
 - **Get_delivery** (рис. 3.13, класс N1) – механизм перехода от объекта Truck() к объекту Delivery() с учетом логической связи объектов;
 - **Delivery_Process** (рис. 3.13, класс N2) – механизм перехода от работы с объектами Delivery() к работе с объектами Catalog();
 - **Process_Catalog** (рис. 3.13, класс N3) – механизм перераспределения грузов поставки по паллетам (разбиение поставки на габаритные и негабаритные грузы, а также по принадлежности заказу);
 - **Reception_pallet** (рис. 3.13, класс N4) – механизм приемки паллет, который включает классы:
 - **Pallet_Check** (рис. 3.13, класс N4.1) реализует механизм обработки паллет разного приоритета и включает классы:

- **Modeling_route_Pallet** (рис. 3.13, класс N4.1.1) – назначения мест ожидания на пандусе и инициализации карты маршрутов перемещения к местам приемки;
 - **Pandus_revisor** (рис. 3.13, класс N4.1.2) – диспетчеризации поставок;
- **Decomp_Pallet_Cargo** (рис. 3.13, класс N4.2) реализует процедуру декомпозиции паллет на коробки;
- **Decomp_Cargo_Components** (рис. 3.13, класс N4.3) реализует разбиение коробок на детали;
- **Components_Cheat** (рис. 3.13, класс N4.4) реализует учет детали в накладной, отбраковку и стикеровку.

Класс **Main1** посредствам класса **Generator_new** реализует механизм подключения к внешнему хранилищу данных, а также содержит:

- Интерфейсы 2D и 3D анимации, демонстрирующие динамическое поведение системы;
- Пользовательские интерфейсы для управления параметрами системы;
- Интерфейсы, иллюстрирующие в виде графиков и гистограмм статистическую информацию, полученную в ходе вычислительных экспериментов.

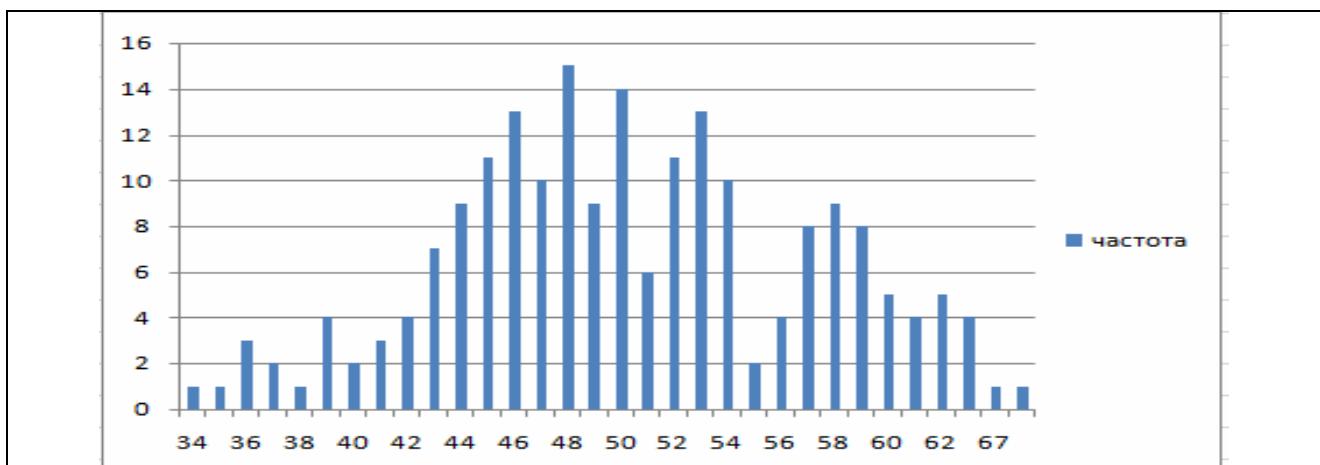
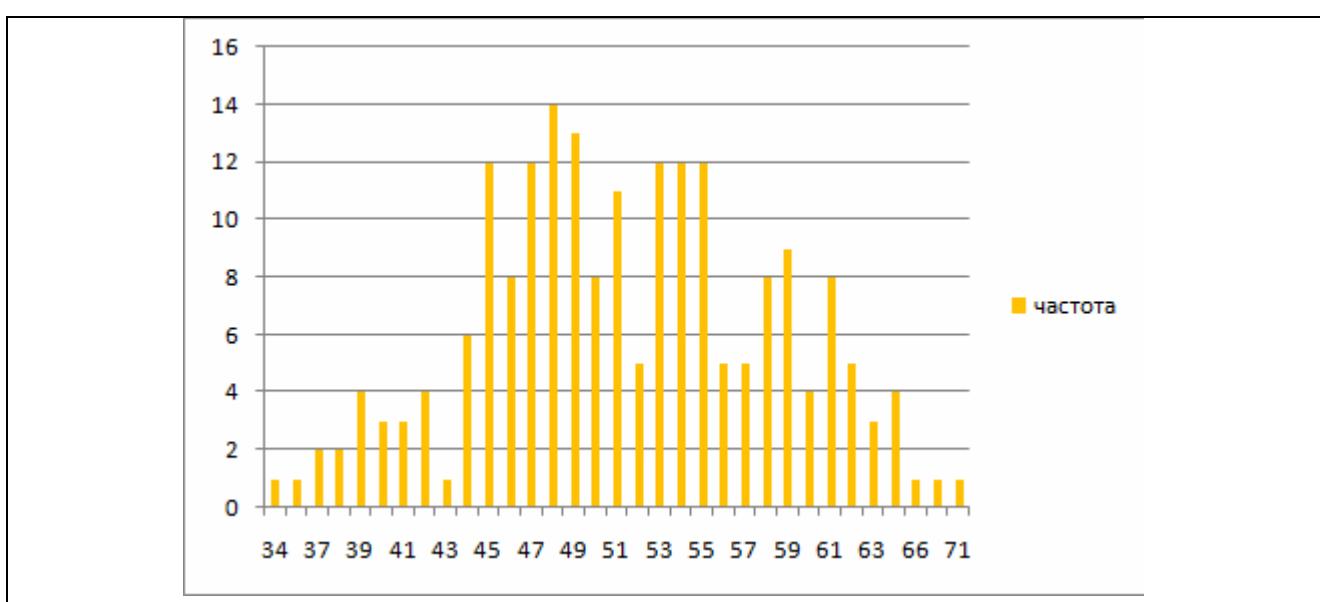
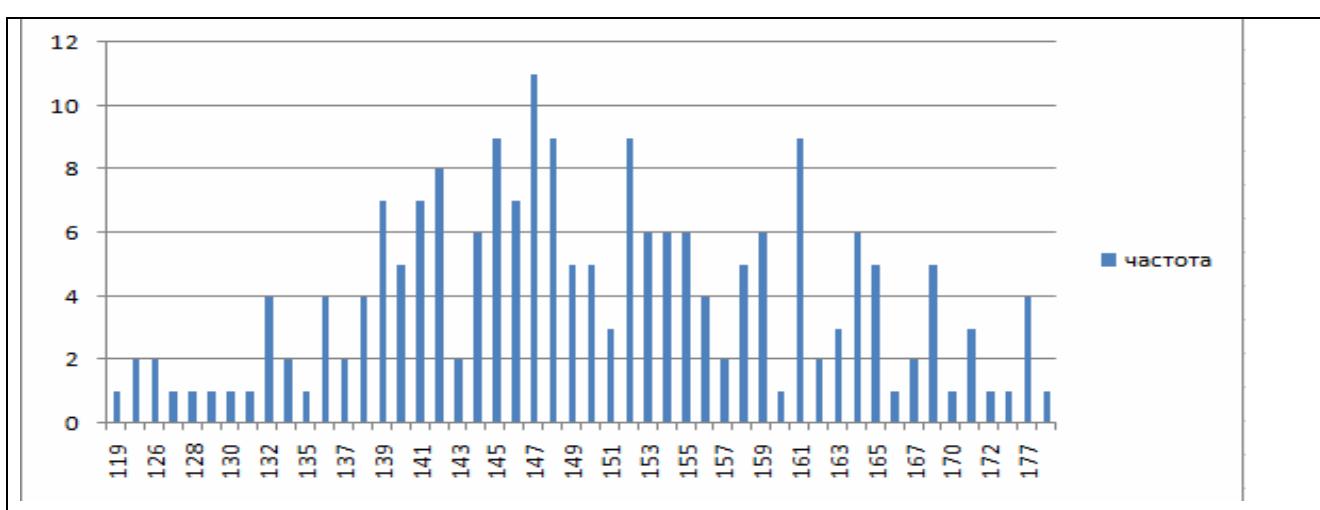
Программная реализация классов с использованием графических нотаций имитационного моделирования и программного кода на Java представлена в Приложении 3.

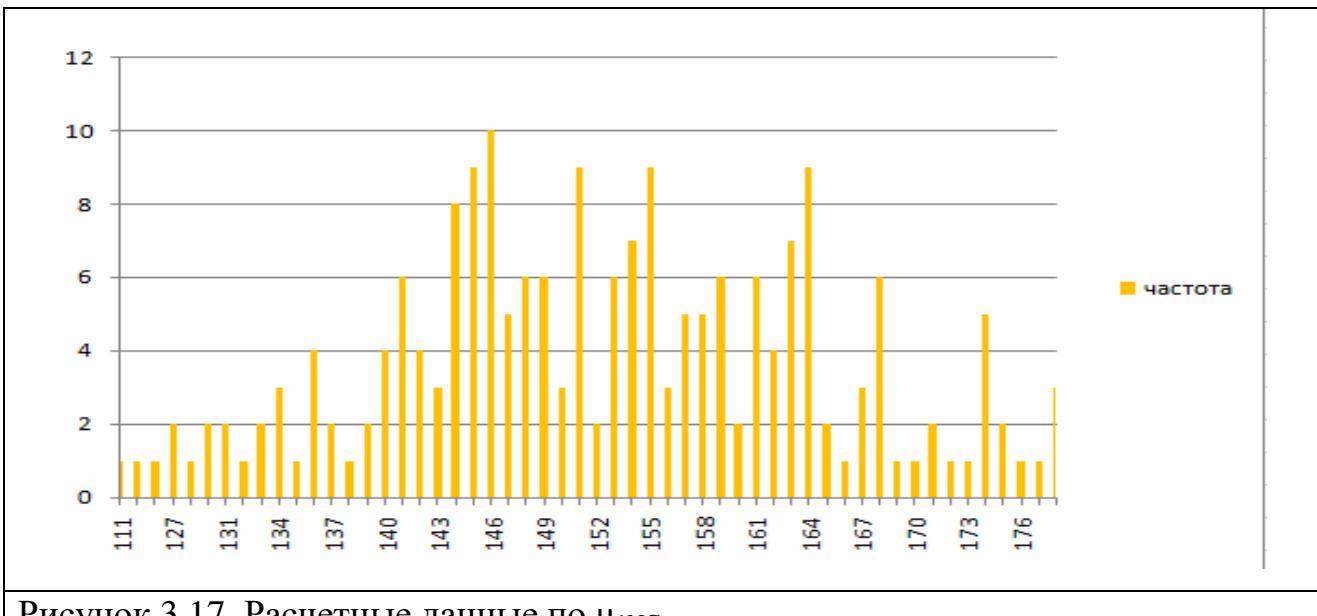
Разработанная программная архитектура **ИМ-модели** на основе объектно-ориентированного подхода позволяет проводить безболезненную реконфигурацию **ИМ-модели**, вызванную необходимостью учитывать изменения структуры и динамики моделируемых операционных процессов.

3.5 Проверка адекватности имитационной модели

Для проверки адекватности **ИМ-модели** исследуются эмпирические данные по интенсивности обработки габаритных/негабаритных деталей на этапе I, использованные при построении **АН-модели**. При проверке адекватности проверяется гипотеза о принадлежности одной выборке имеющихся эмпирических данных и соответствующих данных, рассчитанных на **ИМ-модели**. Расчеты на **ИМ-модели** производились для того же входного потока и производительности, которые использовались при построении **АН-модели**. Другими словами, для детерминированного входного потока интенсивность потока грузовиков **ИМ-модели** λ_{truck} по БД WMS однозначно определяет интенсивность входного потока деталей λ_G и λ_{NG} **АН-модели**. Параметры производительности этапа I **АН-модели** μ_{1G} и μ_{1NG} , полученные эмпирически, соответствуют интегрированным показателям производительности операционных действий этапа I **ИМ-модели**.

$XG=(xg_1, \dots, xg_m)/XNG=(xng_1, \dots, xng_m)$ - эмпирические выборки данных по интенсивности обработки габаритных/негабаритных деталей этапа I, полученный из системы мониторинга. $YG=(yg_1, \dots, yg_n)/YNG=(yng_1, \dots, yng_n)$ – расчетные выборки по интенсивности обработки габаритных/негабаритных деталей этапа I, полученные на основе вычислительных экспериментов на **ИМ-модели**. Эмпирические и расчетные данные по интенсивности обработки габаритных деталей(μ_{1G}) представлены на рисунках 3.14, 3.15. Эмпирические и расчетные данные по интенсивности обработки негабаритных деталей(μ_{1NG}) представлены на рисунках 3.16, 3.17. Размерность выборок $m=n=200$.

Рисунок 3.14. Эмпирические данные по μ_{1G} Рисунок 3.15. Расчетные данные по μ_{1G} Рисунок 3.16. Эмпирические данные по μ_{1NG}

Рисунок 3.17. Расчетные данные по μ_{1NG}

Проверка однородности выборок производилась с помощью критерия Крамера-Уэлча, основанного на статистике T , которая вычисляется по формуле

$$T = \frac{\sqrt{mn}(\bar{x} - \bar{y})}{\sqrt{ns_x^2 + ms_y^2}} \quad (3.4), \text{ где}$$

\bar{x} , \bar{y} - средние арифметические выборок, s_x^2 , s_y^2 - выборочные дисперсии, m , n – размеры выборок.

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad (3.5)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.6)$$

$$s_x^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.7)$$

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.8)$$

Правило принятия решения для критерия Крамера-Уэлча следует из асимптотической нормальности статистики T и имеет вид:

- Если $|T| \leq \Phi(1 - \frac{\alpha}{2})$ ($\Phi(x)$ - функция Лапласа), то гипотеза равенства математических ожиданий верна с уровнем значимости α ;

- Если же $|T| > \Phi(1 - \frac{\alpha}{2})$, то гипотеза равенства математических ожиданий неверна с уровнем значимости α .

Установим уровень значимости $\alpha=0,05$, тогда $\Phi(1 - \frac{\alpha}{2}) = 1,96$.

Проверка однородности выборок $XG=(xg_1, \dots, xg_m)$ и $YG=(yg_1, \dots, yg_n)$.

Рассчитаем средние арифметические выборок по формулам 3.5, 3.6: $\bar{X}G=50.35$; $\bar{Y}G=51.43$. Рассчитаем выборочные дисперсии по формулам 3.7, 3.8: $s_{XG}^2=46.35$; $s_{YG}^2=47.64$. Тогда определим значение статистики T по формуле 3.4: $T=1.57$. $|T| \leq 1.96$, следовательно, выборки однородны.

Проверка однородности $XNG=(xng_1, \dots, xng_m)$ и $YNG=(yng_1, \dots, yng_n)$.

Рассчитаем средние арифметические выборок по формулам 3.5, 3.6: $\bar{X}NG=150.45$; $\bar{Y}NG=152.32$. Рассчитаем выборочные дисперсии по формулам 3.7, 3.8: $s_{XNG}^2=138.40$; $s_{YNG}^2=155.86$. Тогда определим значение статистики T по формуле 3.4 : $T=1.71$. $|T| \leq 1.96$, следовательно, выборки однородны.

Решающее правило - принятый уровень значимости α . С уровнем значимости $\alpha=0.05$ показано, что эмпирические и расчетные выборки однородны. Доказательство адекватности **ИМ-модели** повышает убедительность результатов вычислительных экспериментов.

3.6 Выводы

Имитационная модель разработана по модульному принципу с использованием ООП, что позволяет интегрировать в рамках одной модели элементы, описываемые разнородными математическими схемами[5,23,28,33], а также обеспечивает возможность безболезненной реконфигурации программной архитектуры, связанной с изменениями в логистических процессах объекта складской логистики.

Построение имитационных моделей с использованием ООП позволяет решить одну из основных проблем имитационного моделирования, обусловленную жесткой привязкой к структуре и параметрам моделируемого

процесса. Жесткая привязка приводит к необходимости полного перепрограммирования имитационной модели при внесении изменений в технологию процессов. В свою очередь ООП позволяет многократно использовать компоненты имитационной модели.

Разработанная модель входного потока позволяет моделировать как детерминированный, так и случайный поток с групповыми неоднородными заявками. Имитационное моделирование является наиболее подходящим инструментарием, позволяющим исследовать динамику обработки неординарного входного потока сложной структуры при многоканальной обработке[56]. Применение предложенного подхода к генерации случайного потока с групповыми неоднородными заявками позволяет накапливать статистику при выполнении вычислительных экспериментов по исследованию функционирования этапа приемки для различных сценариев технологии обработки.

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

4. 1 Задачи, решенные на аналитической модели

4.1.1 Вычислить показатели функционирования этапов I и II при плановом режиме

Из построения *AN-модели* следует, что составляющие ее СМО_{G1}, СМО_{NG1}, СМО_{G2} и СМО_{NG2} имеют тип <M|M|n>(с неограниченной очередью). По эмпирическим данным в главе 2 рассчитаны параметры, характеризующие входные потоки и потоки обработки для указанных СМО.

Теоретическая справка. Имеется n-канальная СМО типа <M|M|n> (с неограниченной очередью)[14,41]. Поток заявок, поступающих в СМО, имеет интенсивность λ , а потока обслуживания — интенсивность μ . Система может находиться в одном из состояний S₀, S₁, S₂, ..., S_k, ..., S_n, ..., нумеруемых по числу заявок, находящихся в СМО: S₀ — в системе нет заявок (все каналы свободны); S₁ — занят один канал, остальные свободны; S₂ — заняты два канала, остальные свободны; S_k — занято k каналов, остальные свободны; S_n — заняты все n каналов (очереди нет); S_{n+1} — заняты все n каналов, т. заявок стоит в очереди, и т.д. [11].

Показатели функционирования определяются отображением

$$\Phi: \{z(t)\} \rightarrow R \quad (4.1),$$

где R- множество действительных чисел, {z(t)}- множество состояний системы.

{ Φ_i } — множество рассчитываемых показателей эффективности, где i= 1..11:

$\Phi_1 = \rho$ — интенсивность нагрузки на систему;

$\Phi_2 = Nz$ — среднее количество занятых сотрудников;

$\Phi_3 = N_{\text{пр}}$ — среднее количество простояющих каналов;

$\Phi_4 = Kz$ — коэффициент средней загруженности сотрудников;

$\Phi_5 = L_{\text{оч}}$ — среднее количество деталей в очереди на обработку;

$\Phi_6 = L_{\text{смо}}$ — среднее кол-во деталей в обработке;

$\Phi_7 = \text{Toch}$ — среднее время ожидания детали в очереди;

$\Phi_8 = \text{Tсмо}$ — среднее время пребывания детали в обработке;

$\Phi_9 = \text{Tsvo}$ — среднее время обслуживания детали;

$\Phi_{10} = A$ — абсолютная пропускная способность;

$\Phi_{11} = A_{\text{ном}}$ — номинальная пропускная способность.

Из ТМО известно[11,14, 42], что функционирование СМО типа $\langle M|M|n \rangle$ (с неограниченной очередью), описывается системой уравнений Колмогорова-Чепмена. Известно условие стационарности или условие существования предельных вероятностей[11,14, 42]:

$$\frac{\rho}{n} < 1 \quad (4.2)$$

В этом случае известны аналитические выражения для вычисления предельных вероятностей таблица 4.1 [11,14,42].

Таблица 4.1. Формулы для вычисления предельных вероятностей

обозначение	формула	название
ρ	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	Интенсивность нагрузки
p_0	$p_0 = \left(1 + \frac{\rho^1}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n(n-\rho)!}\right)^{-1}$	вероятность состояния S_0
p_1	$p_1 = \frac{\rho^1}{1!} \cdot p_0$	вероятность состояния S_1
p_n	$p_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot p_0$	вероятность состояния S_n
p_{n+1}	$p_{n+1} = \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot p_0$	вероятность состояния S_{n+1}
p_{n+m}	$p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} \cdot p_0$	вероятность состояния S_{n+m}

Известны формулы для расчета показателей функционирования[11,14,42]

таблица 4.2.

Таблица 4.2. Формулы для расчета показателей функционирования

обозначение	формула	название
Nz	$Nz = \rho = \frac{\lambda}{\mu}$	Среднее число занятых каналов

Nпр	Nпр = n - Nz	Среднее число простояющих каналов
Kz	$Kz = \frac{Nz}{n}$	Коэффициент загруженности сотрудников
Loch	$Loch = \frac{\rho^{n+1} \cdot p_0}{n \cdot n!} \cdot \left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^{-2}$	Среднее число заявок в очереди
Toch(n)	$Toch(n) = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\rho^{n+1} \cdot p_0}{n \cdot n!} \cdot \left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^{-2}$	Среднее время пребывания заявки в очереди
Lсмо	$L_{смо} = L_{och} + \rho$	Среднее число заявок в системе
Tсмо	$T_{смо} = \frac{1}{\lambda} \cdot L_{смо}$	Среднее время пребывания заявки в системе
Tsvo	$Tsvo = \frac{1}{\mu}$	Среднее время обслуживания в расчете на одну заявку
A	$A = \lambda$	Абсолютная пропускная способность
A _{ном}	$A_{ном} = n \cdot \mu$	Номинальная пропускная способность

Для расчета показателей функционирования CMO_{G1} , CMO_{NG1} , CMO_{G2} и CMO_{NG2} применимы формулы из таблиц 4.5. Рассчитаны показатели функционирования CMO_{G1} и CMO_{NG1} , при $\lambda_G=196$ дет/час, $\mu_{1G}=50$ дет/час $n_{G1}=4$ – количество сотрудников габаритных деталей; $\lambda_{NG}=904$ дет/час, $\mu_{1NG}=150$ (дет/час) $n_{NG1}=8$ таблица 4.3. Рассчитаны показатели функционирования CMO_{G2} и CMO_{NG2} , при $\lambda_G=196$ дет/час, $\lambda_{NG}=904$ дет/час, $n_{G2}=7$, $n_{NG2}=8$, $\mu_{2G}=30$ дет/час, $\mu_{2NG}=120$ (дет/час) таблица 4.4.

Таблица 4.3. Вычисленные показатели функционирования CMO_{G1} и CMO_{NG1}

$n_{G1}=4$, $\lambda_G=196$ $\mu_{1G}=50$	$n_{NG1}=8$, $\lambda_{NG}=904$, $\mu_{1NG}=150$	Параметры СМО
$P_0=0.00194$	$P_0=0.00208$	Вероятность, что канал свободен
$Nz=3.92$	$Nz=6.02$	Среднее число занятых каналов
$Nпр=0.1$	$Nпр=2$	Среднее число простояющих каналов
$Kz=0.98$	$Kz=0.76$	Коэффициент занятости каналов
$Loch=46.84$ дет	$Loch=1.109$ дет	Среднее число заявок, находящихся в очереди
$L_{смо}=50.75$ дет	$L_{смо}=7.13$ дет	Среднее число заявок в системе
$Tsvo=0,02$ час	$Tsvo=0,007$ час	Среднее время обслуживания одной заявки
$Toch=0.239$ час	$Toch=0.001$ час	Среднее время ожидания заявки в очереди
$T_{смо}=0.259$ час	$T_{смо}=0.008$ час	Среднее время пребывания заявки в СМО

A=196 дет/час	A=904 дет/час	Абсолютная пропускная способность
A _{ном} =200 дет/час	A _{ном} =1200 дет/час	Номинальная пропускная способность

Таблица 4.4. Вычисленные показатели функционирования СМО_{G2} и СМО_{NG2}

n_{G2}=7, λ_G=196, μ_{2G}=30	n_{NG2}=8, λ_{NG}=904, μ_{2NG}=120	Параметры СМО
P ₀ =0.0005	P ₀ =0.00018	Вероятность, что канал свободен
Nz=6.53	Nz=7.53	Среднее число занятых каналов
N _{пр} =0.47	N _{пр} =0.47	Среднее число простояющих каналов
Kz=0.93	Kz=0.94	Коэффициент занятости каналов
Loch=11.31 дет	Loch=13.22 дет	Среднее число заявок, находящихся в очереди
L _{СМО} =17.84 дет	L _{СМО} =20.75 дет	Среднее число заявок в системе
T _{svо} =0,03 час	T _{svо} =0,008 час	Среднее время обслуживания одной заявки
Toch=0.057 час	Toch=0.01 час	Среднее время ожидания заявки в очереди
T _{СМО} =0.091 час	T _{СМО} =0.023 час	Среднее время пребывания заявки в СМО
A=196 дет/час	A=904 дет/час	Абсолютная пропускная способность
A _{ном} =210 дет/час	A _{ном} =960 дет/час	Номинальная пропускная способность

4.1.2 Вычислить требуемое количество сотрудников на этапах I и II для зон габаритов/негабаритов. Рассчитать соответствующие показатели функционирования АН-модели.

Рассматривается СМО типа $<M|M|n>$ (с неограниченной очередью), λ и μ фиксированы, где λ - интенсивность входного потока, μ - интенсивность обработки, n – количество каналов (целочисленное, положительное). Функция затрат $F(n) = C1 * Tsvо * n + C2 * Toch(n)$, где $C1$ – отнесенные к единице времени затраты на обеспечение функционирования одного обслуживающего канала; $C2$ – затраты, обусловленные вынужденным ожиданием в единицу времени в расчете на одну заявку; $Tsvо$ – среднее время обслуживания одного канала в расчете на одну заявку; $Toch(n)$ – среднее время ожидания начала обслуживания заявки. Определить n , при котором достигается минимум функции затрат F , при заданных положительных $C1$ и $C2$:

$$F(n) = C1 \cdot T_{sv} \cdot n + C2 \cdot T_{och}(n) \rightarrow \min_n \quad (4.3)$$

Из условия стационарности (формула 4.2) для заданных λ и μ определяется n_{min} - минимально возможное количество сотрудников:

$$n_{min} = \left[\frac{\lambda}{\mu} \right] + 1 \quad (4.4)$$

Для систем *АН-модели* на основе экспертной оценки определены значения коэффициентов $C1=1$ и $C2=3$. Функциональная зависимость $C1 \cdot T_{sv} \cdot n$ - затраты на содержание каналов обслуживания, имеет вид линейно возрастающей функции от n . Функциональная зависимость $C2 \cdot T_{och}(n)$, относящаяся к затратам на нахождения заявок в очереди на обслуживание, представляет собой нелинейную убывающую функцию от n .

Поиск n_{opt} осуществляется перебором на ограниченном множестве $n \in [n_{min}, n_{max}]$, где n_{max} определяется из условий существующих физических ограничений на количество каналов.

Для зоны габаритов этапа I: $n_{min_{G1}} = \left[\frac{\lambda_{G1}}{\mu_{G1}} \right] + 1 = \left[\frac{196}{50} \right] + 1 = [3.92] + 1 = 4$. Ниже в

таблице 4.5 приведены расчеты показателей функционирования СМО_{G1} и значения целевой функции затрат F , в зависимости от количества сотрудников n_{G1} .

Таблица 4.5. Характеристики функционирования СМО_{G1} и значение функции затрат $F(n_{G1})$

$n_{G1}=4$	$n_{G1}=5$	Кол-во операторов для обработки габаритов
$P_0=0.00194$	$P_0=0.0147$	Вероятность, что канал свободен
$Nz=3.92$	$Nz=3.92$	Среднее число занятых каналов
$N_{пр}=0.1$	$N_{пр}=1.1$	Среднее число простояющих каналов
$Kz=0.98$	$Kz=0.78$	Коэффициент занятости каналов
$P_{oh}=0.937$	$P_{oh}=0.411$	Вероятность образования очереди
$A=196$ дет./час	$A=196$ дет./час	Абсолютная пропускная способность
$A_{ном}=200$ дет./час	$A_{ном}=250$ дет./час	Номинальная пропускная способность
$Loch=46.84$ дет	$Loch=1.901$ дет	Среднее число заявок, находящихся в очереди

Lсмо=50.75 дет	Lсмо=5.82 дет	Среднее число заявок в системе
Tsvo=0,02 час	Tsvo=0,02 час	Среднее время обслуживания одной заявки
Toch=0.239 час	Toch=0.009 час	Среднее время ожидания заявки в очереди
Tсмо=0.259 час	Tсмо=0.029 час	Среднее время пребывания заявки в СМО
F=0.73	F=0.027	Значение целевой функции затрат F(n _{Г1})

При дальнейшем росте n_{Г1}>5 значение F будет возрастать, поскольку с ростом числа n_{Г1} величина Tsvo * n_{Г1} будет возрастать, а Toch(n_{Г1})→0. Поэтому функция затрат F достигает минимума при n_{Г1}=5, т.е. n_{optГ1}=5.

Для зоны негабаритов этапа I: $n_{\min NG1} = \left[\frac{\lambda_{NG}}{\mu_{NG}} \right] + 1 = \left[\frac{904}{150} \right] + 1 = [6.02] + 1 = 7$.

Ниже в таблице 4.6 приведены расчеты показателей функционирования СМО_{NG1} и значения целевой функции затрат F, в зависимости от количества сотрудников n_{NG1}.

Таблица 4.6. Характеристики функционирования СМО_{NG1} и значение функции затрат F(n_{NG1})

n _{NG1} =7	n _{NG1} =8	Кол-во операторов для обработки габаритов
P ₀ = 0.00151	P ₀ = 0.00208	Вероятность, что канал свободен
Nz=6.02	Nz=6.02	Среднее число занятых каналов
Nпр=1	Nпр=2	Среднее число простояющих каналов.
Kz=0.86	Kz=0.76	Коэффициент занятости каналов
P _{oh} =0.536	P _{oh} =0.274	Вероятность образования очереди
A=904 дет./час	A=904 дет./час	Абсолютная пропускная способность
A _{ном} =1050дет./час	A _{ном} =1200дет./час	Номинальная пропускная способность
Loh=3.85 дет	Loh=1.109 дет	Среднее число заявок, находящихся в очереди
Lсмо=9.88 дет	Lсмо=7.13 дет	Среднее число заявок в системе.
Toch=0.004 час	Toch=0.001 час	Среднее время ожидания заявки в очереди
Tsvo=0,007 час	Tsvo=0,007 час	Среднее время обслуживания одной заявки
Tсмо=0.01 час	Tсмо=0.008 час	Среднее время пребывания заявки в СМО
F=0.012	F=0.003	Значение целевой функции F(n _{NG1})

При дальнейшем росте n_{NG1}>8 значение F будет возрастать, поскольку с ростом числа n_{NG1} величина Tsvo * n_{NG1} будет возрастать, а Toch(n_{NG1})→0.

Поэтому функция затрат F достигает минимума при n_{NG1}=8, т.е. n_{optNG1}=8.

Для зоны габаритов этапа II: $n_{\min G2} = \left[\frac{\lambda_G}{\mu_{G2}} \right] + 1 = \left[\frac{196}{30} \right] + 1 = [6.53] + 1 = 7$. Ниже

в таблице 4.7 приведены расчеты показателей функционирования СМО_{G2} и значения целевой функции затрат F, в зависимости от количества сотрудников n_{G2}.

Таблица 4.7. Характеристики функционирования СМО_{G2} и значение функции затрат F(n_{G2})

n _{G2} =7	n _{G2} =8	Кол-во операторов для обработки габаритов
P ₀ = 0.0005	P ₀ = 0.001	Вероятность, что канал свободен
Nz=6.53	Nz=6.53	Среднее число занятых каналов
Nпр=0.47	Nпр=1.47	Среднее число простояющих каналов
Kz=0.93	Kz=0.81	Коэффициент занятости каналов
A=196 дет./час	A=196 дет./час	Абсолютная пропускная способность
A _{ном} =210 дет./час	A _{ном} =240 дет./час	Номинальная пропускная способность
Loch=11.31 дет	Loch=2.201 дет	Среднее число заявок, находящихся в очереди
L _{смо} =17.84 дет	L _{смо} =8.73 дет	Среднее число заявок в системе
Tsvo=0,03 час	Tsvo=0,03 час	Среднее время обслуживания одной заявки
Toch=0.057 час	Toch=0.01 час	Среднее время ожидания заявки в очереди
T _{смо} =0.091 час	T _{смо} =0.044 час	Среднее время пребывания заявки в СМО
F=0.18	F=0.0324	Значение целевой функции затрат F(n _{G2})

При дальнейшем росте n_{G2}>8 значение F будет возрастать, поскольку с ростом числа n_{G2} величина Tsvo * n_{G2} будет возрастать, а Toch(n_{G2})→0. Поэтому функция затрат F достигает минимума при n_{G2}=8, т.е. n_{optG2}=8.

Для зоны негабаритов этапа II: $n_{\min NG2} = \left[\frac{\lambda_{NG}}{\mu_{NG2}} \right] + 1 = \left[\frac{904}{120} \right] + 1 = [7.53] + 1 = 8$.

Ниже в таблице 4.8 приведены расчеты показателей функционирования СМО_{NG2} и значения целевой функции затрат F(n_{NG2}).

Таблица 4.8. Характеристики функционирования СМО_{NG2} и значение функции затрат F(n_{NG2})

n _{NG2} =8	n _{NG2} =9	Кол-во операторов для обработки габаритов
P ₀ = 0.00018	P ₀ = 0.0003	Вероятность, что канал свободен
Nz=7.53	Nz=7.53	Среднее число занятых каналов
Nпр=0.47	Nпр=1.47	Среднее число простояющих каналов.

Kz=0.94	Kz=0.83	Коэффициент занятости каналов
A=904 дет./час	A=904 дет./час	Абсолютная пропускная способность
A _{ном} =960дет./час	A _{ном} =1080дет./час	Номинальная пропускная способность
Loch=13.22 дет	Loch=2.66 дет	Среднее число заявок, находящихся в очереди
Lсмо=20.75 дет	Lсмо=10.19 дет	Среднее число заявок в системе.
Toch=0.01час	Toch=0.002 час	Среднее время ожидания заявки в очереди
Tsvo=0,008	Tsvo=0,008	Среднее время обслуживания одной заявки
Tсмо=0.023 час	Tсмо=0.011 час	Среднее время пребывания заявки в СМО
F=0.03	F=0.006	Значение целевой функции F(n _{NG2})

При дальнейшем росте $n_{NG2} > 9$ значение F будет возрастать, поскольку с ростом числа n_{NG2} величина $Tsvo * n_{NG2}$ будет возрастать, а $Toch(n_{NG2}) \rightarrow 0$. Поэтому функция затрат F достигает минимума при $n_{NG2} = 9$, т.е. $n_{optNG2} = 9$.

4.1.3 Рассчитать предельную пропускную способность этапа I

Предельная пропускная способность этапа I - это максимальная интенсивность входного потока деталей, при обработке которого не возникает коллизий на этапах I и II.

Утверждение 3. Предельная пропускная способность λ этапа I, где $\lambda = \lambda_G + \lambda_{NG}$ должна быть не больше, чем минимальная из номинальных пропускных способностей этапа I и этапа II. $\lambda < \min(A_{ном}^I, A_{ном}^{II})$:

$A_{ном}^I = A_{номG}^I + A_{номNG}^I$, $A_{ном}^{II} = A_{номG}^{II} + A_{номNG}^{II}$, где $A_{номG}^I$, $A_{номNG}^I$ - номинальная пропускная способность подобласти габаритов/негабаритов этапа I, $A_{номG}^{II}$, $A_{номNG}^{II}$ - номинальная пропускная способность подобласти габаритов/негабаритов этапа II.

Доказательство.

Из условия стационарности СМО $\lambda < n \cdot \mu$. **АН-модель** состоит из четырех СМО типа $\langle M|M|n \rangle$ (с неограниченной очередью): CMO_{G1} , CMO_{G2} , CMO_{NG1} , CMO_{NG2} . Тогда, чтобы для каждой из четырех СМО существовал установившийся режим функционирования, необходимо чтобы

$$\begin{cases} \lambda_{G1} < n_{G1} \cdot \mu_{1G} \\ \lambda_{G2} < n_{G2} \cdot \mu_{2G} \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\begin{cases} \lambda_{NG1} < n_{NG1} \cdot \mu_{1NG} \\ \lambda_{NG2} < n_{NG2} \cdot \mu_{2NG} \end{cases} \quad (4.6)$$

По теореме *Бёрке* $\lambda_{G1} = \lambda_{G2} = \lambda_G$ и $\lambda_{NG1} = \lambda_{NG2} = \lambda_{NG}$, $n_{G1} \cdot \mu_{1G} = A_{homG}^I$, $n_{NG1} \cdot \mu_{1NG} = A_{homNG}^I$, $n_{G2} \cdot \mu_{2G} = A_{homG}^{II}$, $n_{NG2} \cdot \mu_{2NG} = A_{homNG}^{II}$. Следовательно, системы 4.5 и 4.6 примут вид:

$$\begin{cases} \lambda_G < A_{homG}^I \\ \lambda_G < A_{homG}^{II} \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\begin{cases} \lambda_{NG} < A_{homNG}^I \\ \lambda_{NG} < A_{homNG}^{II} \end{cases} \quad (4.8)$$

$$\begin{cases} \lambda_G < \min(A_{homG}^I, A_{homG}^{II}) \\ \lambda_{NG} < \min(A_{homNG}^I, A_{homNG}^{II}) \end{cases} \quad (4.9)$$

$\lambda_G + \lambda_{NG} = \lambda$, следовательно:

$$\lambda < \min(A_{homG}^I + A_{homNG}^I, A_{homG}^{II} + A_{homNG}^{II}) \quad (4.10)$$

$$\lambda < \min(A_{hom}^I, A_{hom}^{II}) \quad \text{ч.т.д.} \quad (4.11)$$

Для этапа I: $n_{G1} = 5$; $n_{NG1} = 8$; $\mu_{1G} = 50$; $\mu_{1NG} = 150$; $A_{hom}^I = A_{homG}^I + A_{homNG}^I = 1450$.

Для этапа II: $n_{G2} = 8$, $n_{NG2} = 9$, $\mu_{2G} = 30$; $\mu_{2NG} = 120$; $A_{hom}^{II} = A_{homG}^{II} + A_{homNG}^{II} = 1320$.

Из утверждения 3 следует, что $\lambda < \min(A_{hom}^I, A_{hom}^{II})$, $\lambda < 1320$.

4.2 Задачи, решенные на имитационной модели

4.2.1 Рассчитать площади, необходимые для поставок, ожидающих разбора

На *ИМ-модели* при заданной интенсивности потока грузовиков λ_{truck} и заданной производительности составляющих операционных процессов рассчитывается L_{pochG} / L_{pochNG} - средняя длина очереди в паллетах для габаритных/негабаритных деталей на пандусе. При средней площади паллеты $S_{паллет} = 1.2$ размер области ожидания на пандусе $S_{обл}$ вычисляется:

$$S_{\text{обл}} = L_{\text{пoch}} * S_{\text{паллет}} \quad (4.12)$$

$$L_{\text{пoch}} = L_{\text{пochG}} + L_{\text{пochNG}} \quad (4.13),$$

где $L_{\text{пoch}}$ - средняя длина очереди в паллетах.

С помощью **ИМ-модели** получены оценки СВ $L_{\text{пochG}}$ и $L_{\text{пochNG}}$, результаты вычислений представлены на рис. 4.9.

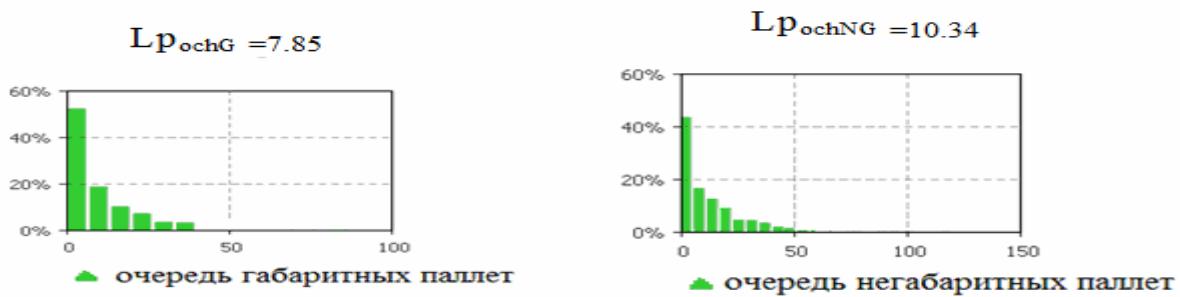


Рисунок 4.9. Оценки случайных величин $L_{\text{пoch}}$ и $L_{\text{пochG}}$

По результатам экспериментов на **ИМ-модели** в плановом режиме функционирования вычислена $S_{\text{обл}}=22.8$.

4.2.2 При изменении алгоритма процедуры обработки детали исследовать изменение производительности каналов обработки этапа приемки

Примеры возможных изменений в процессах обработки детали:

- Для увеличения скорости прохождения товара на этапе I предлагается ввести обязательные требования к поставщику маркировать негабаритные детали внутренними этикетками (стикерами) склада. В этом случае алгоритм обработки маркированной детали исключает операционные действия: распознавание оригинального штрих-кода детали, печать и наклеивание внутреннего стикера склада.
- При обработке бракованных деталей алгоритм обработки детали включает дополнительные операционные действия: наклеивание этикетки с логотипом поставщика, размещение комментария по браку в сопроводительных документах и перенаправление детали в накопитель «брата» для возврата поставщику. Пусть доля бракованных деталей возросла с 1% до 3% во входном потоке деталей.

Для случаев а) и б) требуется исследовать, как изменится производительность каналов обслуживания негабаритных деталей на этапе I.

Результаты экспериментов на ИМ-модели для случая а).

Эксперименты показали, что маркированные детали разбираются в 1,5 раза быстрее, чем немаркированные. Таким образом, маркировка деталей на стороне поставщика способствует увеличению пропускной способности этапа приемки за счет роста производительности сотрудников.

Статистика по среднему времени обработки немаркированных деталей представлена в таблице 4.9 и на рисунке 4.10(время указано в секундах). Среднее время обработки негабаритных немаркированных деталей $T_{notlabl} = 34.4$ сек. Статистика по среднему времени обработки маркированных деталей представлена в таблице 4.10 и на рисунке 4.11. Среднее время обработки негабаритных маркированных деталей $T_{labl} = 22.5$ сек.

Таблица 4.9. Статистика по среднему времени обработки немаркированных негабаритных деталей

Дни/часы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Среднее время
1	15,43	44,40	62,91	18,34	16,80	0,34	15,09	24,34	34,97	49,03	58,11	62,06	33,49
2	64,80	34,11	33,94	18,86	13,37	16,29	29,31	23,31	11,31	50,74	58,11	87,60	36,81
3	64,29	44,91	32,23	16,80	30,00	24,51	16,97	16,63	12,34	34,80	60,51	36,69	32,56
4	95,66	47,31	65,66	9,77	24,51	6,51	26,74	12,00	21,43	34,29	142,80	35,83	43,54
5	57,26	24,34	90,34	6,34	4,63	7,89	10,63	45,26	20,23	28,29	436,29	48,34	64,99
6	56,91	56,23	64,63	3,60	40,63	8,23	7,03	12,69	17,49	41,14	50,57	61,89	35,09
7	72,86	45,09	37,54	4,29	16,46	1,20	25,20	8,06	15,60	66,51	44,23	69,94	33,91
8	38,57	34,97	35,14	38,74	27,94	4,11	17,49	2,40	19,20	154,11	55,03	101,14	44,07
9	41,83	31,03	10,11	35,31	19,71	17,51	20,74	24,86	16,63	106,11	19,89	191,66	43,20
10	42,51	45,26	9,43	23,83	22,80	5,31	25,89	31,03	19,71	36,51	31,03	156,17	37,46
11	55,03	47,31	33,77	15,94	10,46	20,91	29,14	31,71	27,60	43,20	35,66	42,17	32,74
12	45,09	20,74	36,69	25,89	7,20	30,51	14,40	16,80	23,83	33,43	10,80	64,29	27,47
13	86,06	40,29	33,94	45,09	34,80	33,94	5,31	18,86	24,51	40,11	7,89	57,26	35,67
14	77,14	39,26	29,31	13,54	37,03	41,31	25,37	31,71	19,54	69,43	34,11	61,03	39,90
15	19,71	40,46	29,66	18,69	32,91	19,20	17,14	27,09	22,11	164,06	44,74	66,17	41,83
16	60,34	49,71	16,97	10,80	27,26	6,86	20,74	26,40	12,51	34,46	46,29	120,86	36,10
17	49,20	65,14	7,71	10,97	25,03	11,83	10,11	13,54	7,20	45,26	37,71	7,37	24,26
18	50,23	32,06	36,86	22,97	20,40	12,34	26,57	34,97	25,89	59,83	71,31	19,71	34,43
19	31,20	21,94	47,14	18,69	13,20	14,40	15,77	14,91	45,60	48,86	42,51	23,14	28,11
20	34,63	47,14	34,29	12,17	23,14	10,29	17,14	7,03	15,43	49,03	24,86	33,09	25,69
21	23,66	38,57	25,37	4,11	19,03	18,00	25,03	36,51	30,00	87,26	40,63	31,03	31,60
22	32,06	58,46	32,23	14,57	13,71	6,51	25,71	31,89	35,83	107,31	54,69	60,17	39,43
23	50,74	25,37	17,66	16,80	8,23	9,26	5,14	28,80	37,37	45,60	58,11	38,57	28,47

24	50,57	56,06	9,09	13,20	0,00	9,77	24,34	19,20	25,71	46,80	61,54	9,60	27,16
25	62,74	33,77	48,17	15,60	14,91	14,74	12,34	24,69	42,17	54,17	62,57	25,54	34,29
26	46,11	18,17	46,80	11,83	9,43	18,51	11,83	12,34	35,31	48,86	10,63	36,69	25,54
27	29,83	73,89	23,31	13,71	15,60	14,74	3,43	3,26	34,29	50,40	46,11	33,77	28,53
28	18,34	65,66	16,97	7,37	10,97	15,09	17,14	29,14	22,11	97,71	66,69	43,03	34,19
29	37,00	72,34	14,74	10,46	7,54	6,86	9,00	32,40	42,34	141,60	49,03	55,20	36,04
30	60,51	71,49	7,89	13,37	8,40	3,77	18,00	33,77	68,23	49,37	48,17	47,14	34,34
31	49,54	40,00	10,46	29,00	10,11	16,46	11,00	20,91	38,00	51,77	8,00	27,77	15,59

$T_{notabl} = 34.4$ сек.

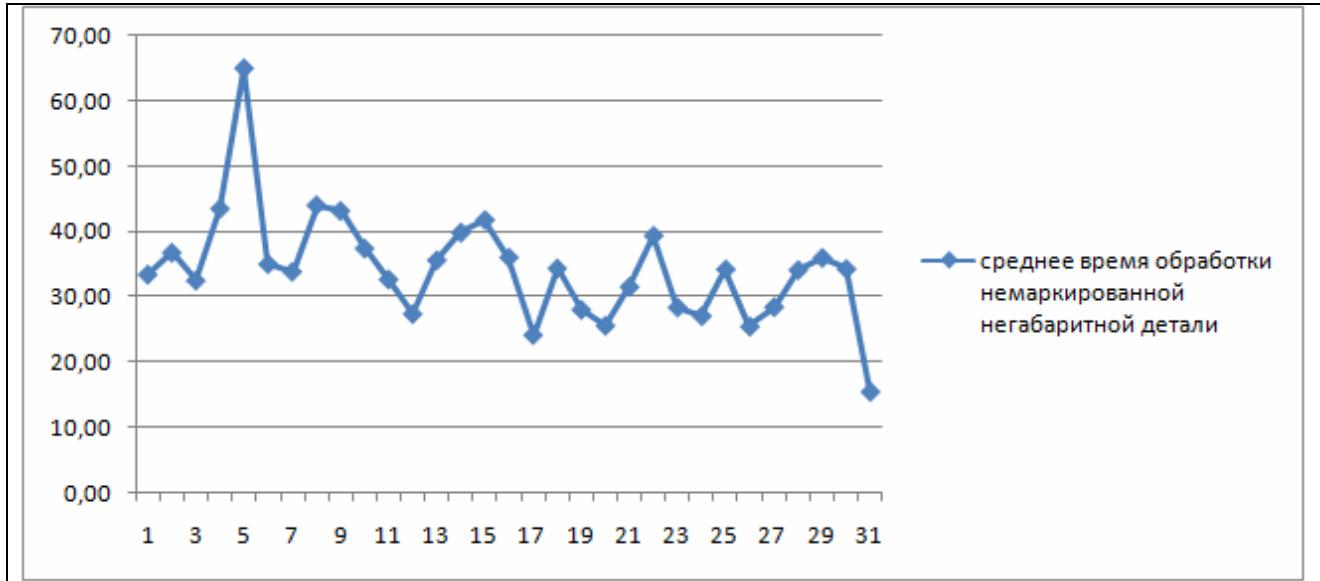


Рисунок 4.10. Среднее время обработки немаркированных негабаритных деталей по дням

Таблица 4.10 . Статистика по среднему времени обработки маркированных негабаритных деталей

Дни/часы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Среднее время
1	56,6	12,0	11,5	9,4	10,1	12,0	12,2	6,0	7,7	17,5	25,9	71,7	21,0
2	70,1	31,7	11,3	9,8	18,7	8,0	29,0	5,3	17,5	23,7	75,8	39,8	28,4
3	49,9	13,0	36,0	4,5	5,0	7,0	77,8	10,5	9,9	24,5	30,7	64,6	27,8
4	10,3	15,4	10,3	9,9	8,4	11,0	6,9	5,3	5,3	40,6	26,2	41,1	15,9
5	68,2	11,8	6,2	5,3	10,6	30,7	37,4	25,7	6,0	15,4	23,3	92,1	27,7
6	84,7	14,6	5,8	5,7	14,7	8,0	27,9	13,9	6,0	16,1	15,0	83,1	24,6
7	69,1	8,6	7,4	12,2	8,7	11,0	7,9	8,2	13,4	20,1	32,0	34,6	19,4
8	21,6	9,4	9,1	11,0	15,6	21,8	21,4	13,5	8,7	31,9	37,5	37,9	20,0
9	21,6	21,4	13,5	23,0	15,3	26,0	7,2	8,6	15,9	15,6	61,9	89,8	26,7
10	119,5	36,7	99,9	9,9	5,0	16,0	11,0	9,9	12,0	11,3	90,0	40,1	38,5
11	102,2	15,1	14,2	5,8	9,1	5,0	8,6	7,4	0,0	13,9	31,7	12,9	18,8
12	66,7	12,3	19,5	7,0	0,0	9,1	13,9	9,6	11,0	12,2	30,9	54,0	20,5
13	94,6	33,0	8,0	8,4	6,5	13,5	9,4	0,0	8,4	19,5	12,0	96,0	25,8
14	19,0	24,0	18,9	11,0	10,8	13,2	7,7	10,1	7,0	6,3	40,1	39,1	17,3
15	65,5	15,1	15,6	9,8	6,9	62,1	15,6	3,9	15,6	11,8	58,6	73,7	29,5

16	14,4	27,4	4,3	10,1	8,2	55,5	20,2	5,3	26,9	5,0	24,5	90,0	24,3
17	18,9	14,7	18,9	13,0	9,3	6,0	8,7	5,7	13,4	34,6	46,5	13,0	16,9
18	7,7	16,1	10,6	8,0	15,9	4,5	16,3	8,7	13,5	28,8	90,0	37,2	21,5
19	23,0	22,3	5,5	5,3	18,5	9,8	20,2	12,9	0,0	52,3	17,0	13,0	16,6
20	20,4	21,3	4,8	12,5	9,0	10,5	10,8	11,3	14,2	105,4	17,1	24,0	21,8
21	30,9	6,0	9,4	10,1	19,9	15,8	12,0	7,0	7,0	11,3	8,0	28,8	13,9
22	9,6	21,9	8,2	11,1	5,3	17,0	9,8	6,7	17,1	12,5	32,6	28,6	15,0
23	13,7	74,7	12,2	14,6	7,9	6,5	3,4	8,2	12,5	20,6	53,5	39,1	22,2
24	14,6	85,7	19,5	8,7	8,0	7,5	7,4	9,1	11,7	39,9	70,8	41,0	27,0
25	9,1	12,2	7,9	7,0	9,1	12,7	7,4	6,2	0,0	35,7	31,5	11,0	12,5
26	22,5	9,0	18,9	14,1	10,0	12,7	11,5	7,0	15,9	72,5	41,1	22,6	21,5
27	0,0	16,3	34,0	11,5	6,0	48,9	4,8	6,0	5,5	27,1	44,6	31,9	19,7
28	8,9	6,5	9,8	11,0	16,3	93,6	12,7	20,2	7,4	43,2	50,0	23,0	25,2
29	32,0	24,2	9,9	7,7	25,7	8,7	13,0	8,6	33,9	59,1	32,9	44,4	25,0
30	119,8	43,5	8,1	5,0	7,0	6,7	12,0	9,8	48,5	33,3	47,3	28,5	30,8
31	117,6	28,0	8,4	9,0	7,0	7,2	11,0	7,4	0,0	37,4	6,0	12,9	21,0

Tlabel =22.5 сек.

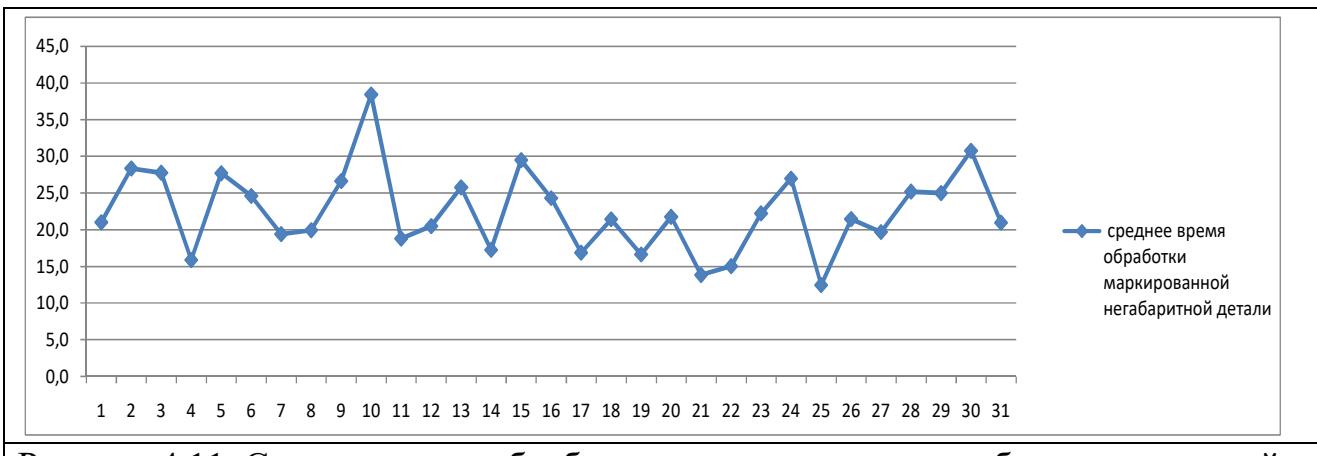


Рисунок 4.11. Среднее время обработки маркированных негабаритных деталей по дням

Результаты экспериментов на ИМ-модели для случая b).

Эксперименты показали, что при увеличении брака на два процента обработка детали в среднем увеличивается на 0,5 секунды.

Статистика по среднему времени обработки негабаритных деталей при 1 % брака представлена в таблице 4.11 и на рисунке 4.12(время указано в секундах). Среднее время обработки негабаритных деталей при 1 % брака $T_{1\%}=35.2$ сек. Статистика по среднему времени обработки негабаритных деталей при 3 % брака представлена в таблице 4.12 и на рисунке 4.13. Среднее время обработки негабаритных деталей при 3 % брака $T_{3\%}=35.7$ сек.

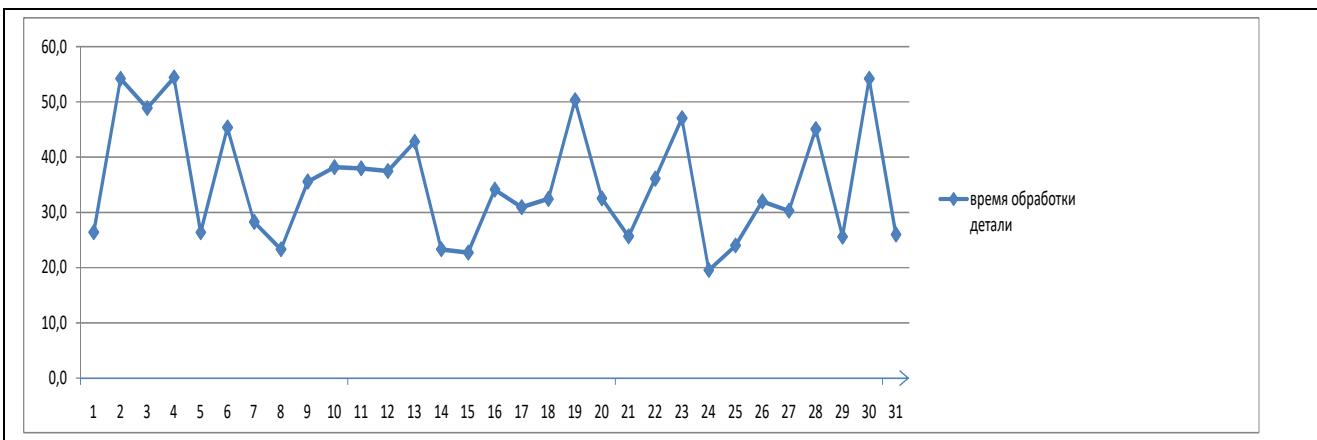


Рисунок 4.12. Среднее время обработки негабаритных деталей при 1% брака по дням

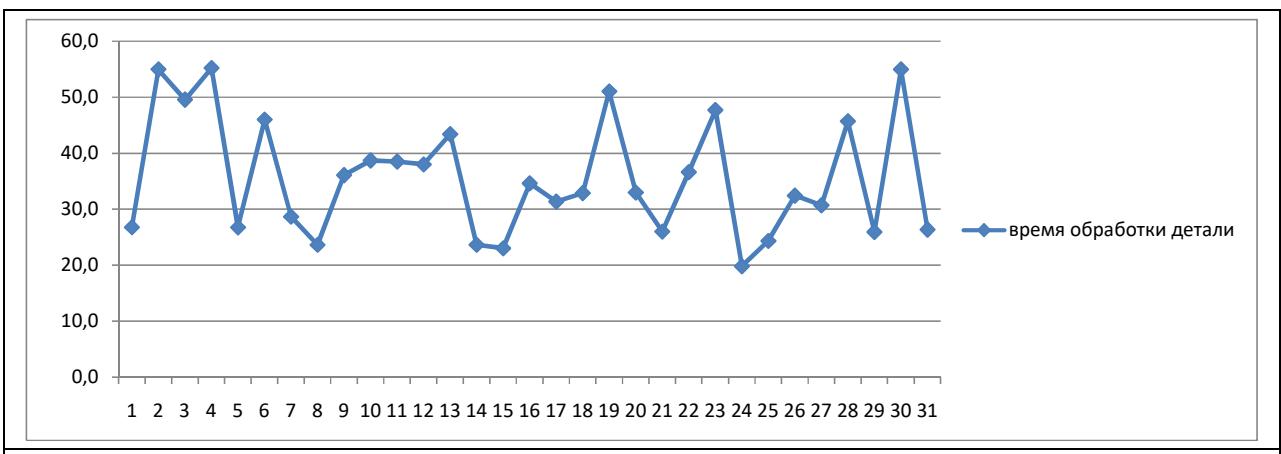


Рисунок 4.13. Среднее время обработки негабаритных деталей при 3% брака по дням

Таблица 4.11. Статистика по среднему времени обработки деталей при 1% брака

Дни/часы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Среднее время
1	10,9	58,7	11,5	25,4	19,7	8,3	20,4	12,8	71,0	7,7	27,5	43,0	26,4
2	31,0	157,7	1,3	80,1	14,3	11,8	48,1	36,6	130,2	26,9	25,4	87,1	54,2
3	54,6	63,5	54,3	16,8	3,4	76,6	2,9	51,4	85,8	73,8	94,6	9,0	48,9
4	38,2	60,0	61,0	124,1	48,7	9,4	11,2	62,1	102,5	23,4	77,1	35,6	54,4
5	1,1	21,4	20,8	18,3	48,4	121,8	8,8	18,1	26,2	10,3	3,9	17,6	26,4
6	177,1	0,9	20,4	90,9	12,1	40,0	49,3	7,3	6,9	99,6	5,1	34,8	45,4
7	1,3	48,8	18,5	90,5	37,7	14,1	60,4	23,1	1,1	20,2	7,8	16,0	28,3
8	2,2	32,3	8,2	13,4	17,3	29,6	28,2	36,6	36,5	34,7	36,5	4,3	23,3
9	1,9	53,0	12,4	44,2	40,1	31,8	6,5	102,0	45,1	4,4	70,9	14,6	35,6
10	2,3	29,2	55,1	17,5	128,9	10,3	17,6	17,4	156,0	4,4	4,0	15,3	38,2
11	32,1	50,6	47,5	5,7	27,7	35,0	15,6	13,3	8,0	97,5	29,2	93,5	38,0
12	36,7	4,1	8,7	36,1	34,6	9,4	41,5	18,7	79,9	91,5	70,9	17,6	37,5
13	42,5	113,3	51,8	17,8	26,7	39,3	94,8	34,6	6,9	51,2	13,9	20,6	42,8
14	23,6	18,2	0,6	42,8	60,1	23,2	2,2	1,9	10,1	52,2	22,9	22,0	23,3
15	74,9	14,7	7,6	4,6	13,6	25,6	46,0	13,1	33,6	15,2	20,5	3,2	22,7

16	9,1	73,7	6,2	10,3	11,6	70,6	51,2	51,9	77,4	42,7	3,0	2,0	34,1
17	14,4	14,8	63,0	29,9	10,3	119,8	41,4	28,2	9,3	4,2	33,6	2,4	30,9
18	64,4	0,5	15,6	34,0	2,6	28,2	34,4	12,0	54,4	21,1	61,1	60,9	32,4
19	33,8	54,8	164,6	45,3	18,3	12,8	5,4	122,1	2,0	12,3	70,0	62,5	50,3
20	68,4	34,1	16,0	10,9	15,3	11,5	7,4	14,5	124,8	59,0	25,6	2,8	32,5
21	12,6	26,7	54,6	4,2	76,5	8,7	32,8	40,0	10,1	36,7	4,6	0,1	25,7
22	7,5	38,1	4,4	108,8	8,9	43,2	46,1	7,1	15,7	112,0	30,8	10,6	36,1
23	183,9	28,3	12,0	27,2	41,1	8,6	119,2	64,7	2,2	48,3	22,1	6,9	47,0
24	22,5	23,8	11,3	5,1	4,4	1,2	13,9	27,5	82,2	7,9	15,9	18,8	19,5
25	10,3	0,0	23,4	3,6	16,0	0,1	90,3	39,6	1,4	12,0	63,5	27,9	24,0
26	67,8	16,0	0,5	96,4	2,6	49,7	17,2	20,8	6,9	26,5	48,7	30,7	32,0
27	25,4	3,3	65,2	9,4	56,5	28,1	59,8	22,6	53,4	7,6	5,6	26,6	30,3
28	21,1	23,6	11,9	29,5	9,8	70,8	122,3	40,1	6,3	86,9	104,7	14,0	45,1
29	19,1	24,7	6,7	0,0	64,2	50,4	12,0	12,6	47,4	25,5	4,1	40,4	25,6
30	55,1	29,4	72,6	96,7	110,0	14,6	44,5	81,8	15,5	1,4	124,7	4,1	54,2
31	16,4	40,9	16,8	18,6	33,7	19,4	74,9	1,5	11,6	49,9	17,1	11,3	26,0
$T_{1\%}=35,2$ сек													

Таблица 4.12. Статистика по среднему времени обработки деталей при 3% брака

Дни/часы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Среднее время
1	11,0	59,5	11,7	25,7	20,0	8,5	20,7	13,0	72,0	7,8	27,9	43,6	26,8
2	31,4	160,0	1,4	81,2	14,5	11,9	48,8	37,1	132,0	27,3	25,8	88,3	55,0
3	55,4	64,4	55,1	17,0	3,4	77,7	2,9	52,1	87,0	74,8	95,9	9,1	49,6
4	38,8	60,8	61,9	125,9	49,4	9,6	11,4	62,9	104,0	23,7	78,2	36,1	55,2
5	1,2	21,7	21,1	18,5	49,1	123,5	8,9	18,3	26,6	10,5	4,0	17,8	26,8
6	179,6	0,9	20,7	92,2	12,2	40,5	50,0	7,4	7,0	101,0	5,1	35,3	46,0
7	1,3	49,5	18,7	91,7	38,3	14,3	61,3	23,4	1,1	20,4	7,9	16,2	28,7
8	2,2	32,8	8,3	13,6	17,6	30,0	28,5	37,1	37,0	35,2	37,0	4,3	23,6
9	1,9	53,7	12,6	44,9	40,7	32,2	6,6	103,5	45,8	4,4	71,9	14,8	36,1
10	2,3	29,6	55,9	17,8	130,7	10,4	17,9	17,6	158,2	4,5	4,0	15,5	38,7
11	32,5	51,3	48,2	5,7	28,1	35,5	15,8	13,5	8,1	98,9	29,6	94,8	38,5
12	37,2	4,1	8,9	36,6	35,1	9,5	42,0	19,0	81,0	92,8	71,9	17,8	38,0
13	43,1	114,9	52,6	18,1	27,1	39,9	96,1	35,1	7,0	51,9	14,1	20,9	43,4
14	24,0	18,5	0,6	43,4	61,0	23,5	2,3	2,0	10,2	52,9	23,2	22,3	23,7
15	75,9	14,9	7,7	4,6	13,8	26,0	46,6	13,3	34,1	15,4	20,8	3,2	23,0
16	9,2	74,8	6,3	10,4	11,8	71,6	51,9	52,6	78,5	43,3	3,1	2,0	34,6
17	14,6	15,0	63,9	30,3	10,5	121,5	42,0	28,6	9,4	4,3	34,1	2,4	31,4
18	65,3	0,6	15,9	34,5	2,6	28,6	34,9	12,2	55,2	21,4	61,9	61,7	32,9
19	34,3	55,5	166,9	46,0	18,6	13,0	5,4	123,8	2,0	12,5	71,0	63,4	51,0
20	69,3	34,6	16,2	11,1	15,5	11,6	7,6	14,7	126,5	59,8	26,0	2,9	33,0
21	12,8	27,1	55,3	4,2	77,6	8,8	33,3	40,6	10,3	37,3	4,7	0,1	26,0
22	7,6	38,7	4,5	110,3	9,0	43,9	46,8	7,2	15,9	113,6	31,2	10,8	36,6
23	186,5	28,7	12,2	27,5	41,7	8,7	120,9	65,6	2,2	49,0	22,4	7,0	47,7
24	22,8	24,1	11,4	5,2	4,5	1,2	14,1	27,9	83,4	8,0	16,1	19,1	19,8

25	10,4	0,0	23,8	3,6	16,3	0,1	91,6	40,2	1,5	12,2	64,4	28,3	24,4
26	68,8	16,3	0,5	97,7	2,6	50,4	17,5	21,1	7,0	26,9	49,4	31,1	32,4
27	25,7	3,3	66,1	9,5	57,3	28,5	60,7	22,9	54,2	7,7	5,6	26,9	30,7
28	21,4	23,9	12,0	29,9	9,9	71,8	124,0	40,7	6,4	88,1	106,2	14,2	45,7
29	19,4	25,0	6,8	0,0	65,1	51,1	12,2	12,8	48,1	25,9	4,1	41,0	26,0
30	55,9	29,8	73,7	98,0	111,6	14,9	45,1	83,0	15,7	1,4	126,4	4,2	55,0
31	16,7	41,5	17,0	18,8	34,2	19,7	76,0	1,5	11,7	50,6	17,3	11,5	26,4
													T _{3%} =35,7 сек

4.2.3 Выбрать более предпочтительную технологию приемки поставок

Определим интегрированный показатель AddKr функционирования ОСЛ как функционал:

$$\text{AddKr}(\{\Phi_i\}, W) = \sum_{i=1}^k \Phi_i \cdot w_i \quad (4.14),$$

где $\sum_{i=1}^k w_i = 1$, k — количество частных показателей, учитываемых в

интегрированном показателе функционирования, $1 \leq k \leq n$, $n=11$; Φ_i — значение i -ого показателя эффективности; $W = \{w_i\}$ — множество коэффициентов приоритета по показателями эффективности.

Определим **альтернативу** alt как возможную организацию процесса для достижения выбранной цели альтернативным способом. Пусть Alt — множество возможных альтернатив, $Alt = \{alt_n\}$, $n=1, \dots, n_{Alt}$. Будем считать, что для всех $alt_n \in A$ и определенного интегрированного показателя AddKr, на выделенном множестве показателей $\{\Phi_i(alt_n)\}$, выполняется свойство, что если alt_1 предпочтительнее alt_2 ($alt_1 > alt_2$), то значение $\text{AddKr}(\{\Phi_i(alt_1)\}, W) > \text{AddKr}(\{\Phi_i(alt_2)\}, W)$ и наоборот. В случае $\text{AddKr}(\{\Phi_i(alt_1)\}, W) = \text{AddKr}(\{\Phi_i(alt_2)\}, W)$ альтернативы не различимы, равнозначны по показателю AddKr.

На ОСЛ возможно применение одной из двух технологий параллельной разгрузки нескольких поставок, каждая из которых содержит по нескольку паллет. В соответствии с технологией I сотрудники распределяются на группы, одна группа одна поставка, в каждой группе количество человек равно количеству паллет в поставке. Разбирается параллельно столько поставок,

сколько получилось групп. В соответствии с технологией II предполагается, что каждая поставка разгружается одним сотрудником паллета за паллетой. Разбирается параллельно столько поставок, сколько имеется сотрудников на этапе приемки. Требуется из двух возможных альтернатив организации процесса приемки поставок выбрать наиболее предпочтительную с точки зрения времени ожидания обработки.

Для выбора более предпочтительной технологии приемки в *ИМ-модели* рассматриваются оба варианта: технология II - большим количеством групп малой численности, технология I - меньшим количеством групп большей численности. С помощью панели управления *Интерфейса по выбору технологии приемки* устанавливается режим работы модели, соответствующий технологии I или технологии II. На рис. 4.14 слева демонстрируется применение технологии I, справа — применение технологии II.

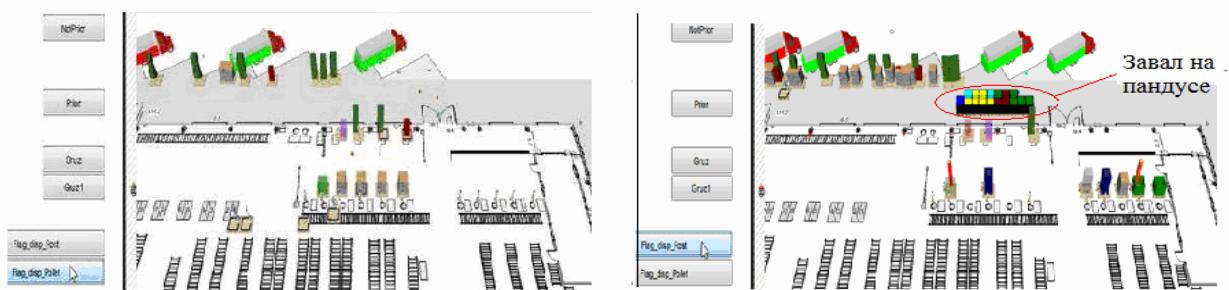


Рисунок 4.14. Моделирование технологии I и технологии II приемки поставок

Визуальные результаты (рис. 4.14) подтверждены расчетами средних значений СВ А и В, где А- длина очереди на пандусе , В- длина очереди к обработчикам. Оценки математических ожиданий СВ А и В получены для периода функционирования ОСЛ, равного двум дням.

Представлены интерфейсы, содержащие статистическую информацию, отражающие результаты моделирования в виде гистограмм (рис. 4.15, 4.16).

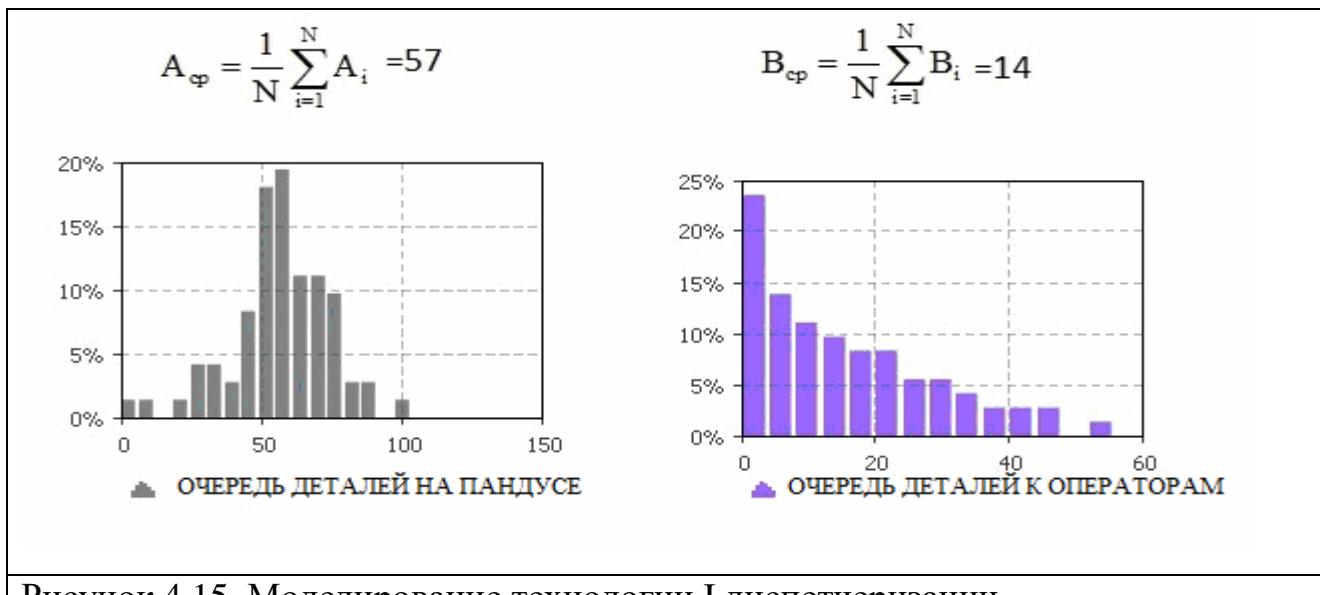


Рисунок 4.15. Моделирование технологии I диспетчеризации

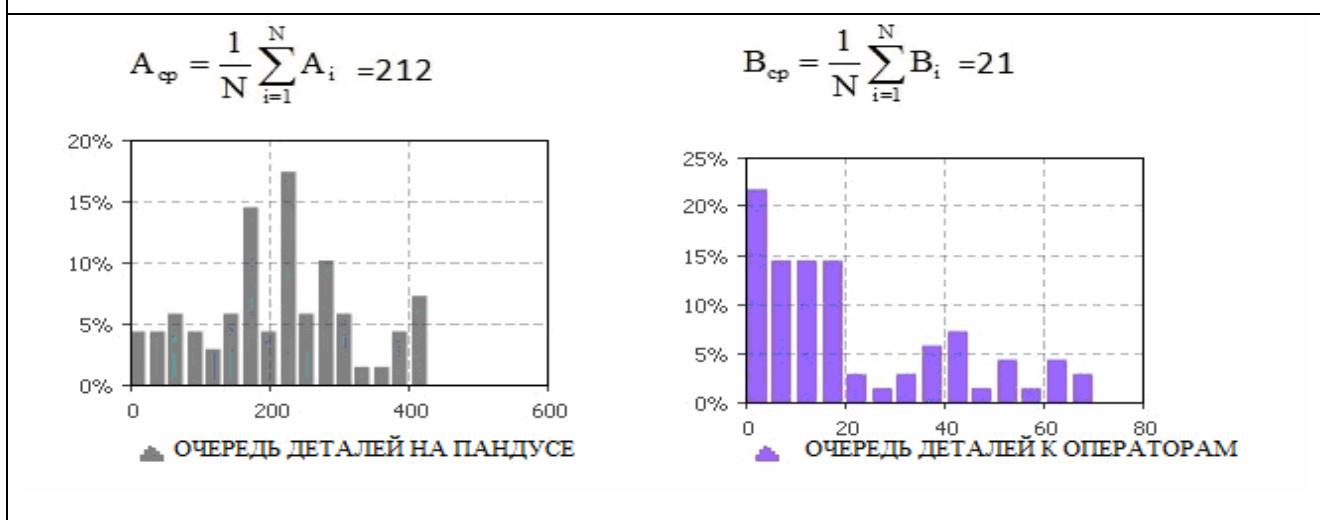


Рисунок 4.16. Моделирование технологии II диспетчеризации

Вычислительный эксперимент продемонстрировал, что при прочих равных условиях при выборе **технологии II** на пандусе образуются «завалы» (соответствует увеличению среднего времени обработки детали, образованию и росту очереди). Таким образом, **технология I** предпочтительнее.

4.3 Примеры управлеченческих алгоритмов

В рамках предложенного принципа взаимодействия моделей **КИМ-система** позволяет реализовывать, в частности, следующие алгоритмы управления ОСЛ:

1. Управление при сокращении интенсивности входного потока деталей относительно планового:

1.1. При интенсивности сокращенного входного потока габаритных/негабаритных деталей λ_{newG} , λ_{newNG} и исходной производительности μ_{1G} , μ_{1NG} , μ_{2G} , μ_{2NG} рассчитать распределение требуемых людских ресурсов – n_{optG1} , n_{optNG1} , n_{optG2} , n_{optNG2} на этапах I и II (задача раздел 4.1.2);

1.2. Использовать найденные значения для калибровки **ИМ-модели**. Произвести перерасчет размера области ожидания на пандусе $S\text{NEW}_{\text{обл}}$ (задача раздел 4.2.1). Рассчитать размер освобождающихся площадей на пандусе (например, для проведения оперативного ремонта напольного покрытия или при передаче части площадей ОСЛ в субаренду).

2. Управление при изменении алгоритма процедур обработки деталей или паллет:

2.1. Рассчитать среднее время обработки t_{1G} , t_{1NG} и интенсивность потоков обработки μ_{1G} , μ_{1NG} деталей при изменении алгоритма процедур обработки деталей и/или паллет (задача раздел 4.2.2, задача раздел 4.2.3);

2.2. Произвести перерасчет требуемого количества людских ресурсов для этапа приемки (задача раздел 4.1.2);

2.3. Использовать найденные значения для калибровки **ИМ-модели**. Произвести перерасчет размера области ожидания на пандусе $S\text{NEW}_{\text{обл}}$ (задача раздел 4.2.1).

4.4 Выводы

Разработан модельный программно-аналитический комплекс в виде **КИМ-системы**, включающий **АН-модель** и **ИМ-модель**.

В соответствии с принципом взаимодействия **АН-модель** и **ИМ-модель** описывают процессы I этапа на разных уровнях абстракции[28]. **АН-модель** позволяет быстро найти грубые оценки характеристик процессов I этапа, которые затем используются для настройки **ИМ-модели**. **ИМ-модель** позволяет

скорректировать характеристики *АН-модели* и решить задачи, недоступные для *АН-модели*. В частности, *АН-модель* применяется для управления персоналом при изменении интенсивности потока поставок вследствие, например, падения спроса (задача определения области допустимых значений параметра «количество людских ресурсов» и задача определения оптимального распределения людских ресурсов[32]). Полученное оптимальное решение используется для калибровки *ИМ-модели*. *ИМ-модель* применяется, например, для оценки требуемой площади ожидания на пандусе для заданного входного потока, позволяет выбрать более эффективную технологию диспетчеризации паллет, позволяет оценить результаты возможного реинжиниринга процессов, связанных с обработкой деталей, коробок, паллет, поставок, документов, грузовиков, поскольку эти задачи не могут быть решены на уровне *АН-модели*[22, 23].

Таким образом, принцип взаимодействия моделей позволяет для решения каждой возникающей задачи применять наиболее адекватную модель и полученное решение использовать для корректировки параметров других моделей.

Практическая эффективность использования КИМ-системы подтверждает обоснованность научных результатов диссертации, заключающихся в разработке новых моделей, алгоритмов и программ для имитации, анализа и реинжиниринга логистических процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы разработаны модели, алгоритмы и программы для имитации, анализа и реинжиниринга операционных процессов объекта складской логистики на примере склада авиазапчастей для повышения эффективности его функционирования. Повышение эффективности функционирования ОСЛ было достигнуто за счет рационального распределения людских ресурсов ОСЛ и совершенствования алгоритмов логистических процессов. Решение перечисленных задач было обусловлено применением разработанной комплексной имитационной моделирующей системы, включающей аналитическую и имитационную модели, а также применением разработанных сценариев управлеченческих алгоритмов и принципа взаимодействия моделей.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. В рамках концепции системного анализа разработана абстрактная схема функционирования объекта складской логистики (ОСЛ) по хранению авиационно-технического имущества (АТИ).
2. Разработано концептуальное представление моделей комплексной имитационной моделирующей системы (**КИМ-системы**) на основе агрегативного подхода. Предложен и применен принцип взаимодействия моделей в рамках **КИМ-системы**.
3. Разработана имитационная модель неординарного, неоднородного входного потока на основе агентного подхода. Предложен и реализован подход к генерации случайного входного потока.
4. Разработана оригинальная имитационная модель низкоуровневых процессов обработки этапа приемки ОСЛ. Выполнена проверка адекватности имитационной модели, что повышает убедительность результатов вычислительных экспериментов.
5. Реализована **КИМ-система** ОСЛ АТИ на основе структурно-функционального, аналитического и имитационного моделирования в рамках концепции комплексного моделирования.

6. С использованием ***КИМ-системы*** решены практические задачи, результаты которых свидетельствуют об эффективности применения ***КИМ-системы*** в качестве СППР.

Полученные результаты работы позволяют перейти к решению следующих задач:

- Анализа и управления операционными процессами других этапов обработки.
- Внедрения ***КИМ-системы*** в систему интегрированной логистической поддержки.
- Минимизации времени исполнения пользовательского заказа и повышения эффективности использования объемов хранения в рамках системы интегрированной логистической поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аникин Б.А. - Логистика. Учебник.- М: ИНФРА-М, 1999. - 327 с.
2. Бауэрсокс Д., Клосс Д. Логистика. Интегрированная цепь поставок. — М: Олимп-Бизнес, 2006.- 640 с.
3. Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование. Пособие для курсового и дипломного проектирования. – СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
4. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1977,- 240 с.
5. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов на цифровых вычислительных машинах. – М.: Наука, 1964, -361 с.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968,-356 с.
7. Бусленко Н.П., Калашников В.В. и др. Лекции по теории сложных систем.– М.: Сов. радио, 1973.- 440 с.
8. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. 2-е изд.:– СПб: ДМК Пресс, 2007.- 496 с.
9. Вендрев А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем [Электронный ресурс].-Режим доступа : <http://CASE-tech.h1.ru/library/vendrov/index.htm> (29.06.1999)
10. Вендрев А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. Учебник. – М : Финансы и статистика , 2002, - 352с.
11. Венцель Е.С. Исследование операций. – М : “Советское радио”, 1972, 552 с.
12. Гаджинский А.М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика: учебно-практическое пособие.- М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005,- 176с.
13. Джонсон Д., Вуд Д., Вордлоу Д., Мерфи П. Современная логистика. - М: Издательский дом «Вильяме», 2002. - 624 с.
14. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. – М.: Высшая школа, 1982. - 256 с.

15. Казаков С.А., Шебеко Ю.А. Практикум по основам моделирования бизнес-процессов: Учебное пособие/Под ред. Ю.А. Шебеко .- М.: Изд-во МАИ , 2002.- 108 с.
16. Калянов Г.Н. CASE: структурный системный анализ (автоматизация и применение). – М.: ЛОРИ. 1996. – 242 с.
17. Канбан и “точно вовремя” на Toyota: Менеджмент начинается на рабочем месте/ Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. - 218 с.
18. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 400 с.
19. Кибзун А.И., Горянинова Е.Р., Наумов А.В., Сиротин А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами. /Учебное пособие. -М.: ФИЗМАЛИТ,2002.- 224с.
- 20.Киндинова В.В. Имитационная модель операционных процессов склада торгово-посреднического предприятия // "Новые информационные технологии". Тезисы докладов XVI Международной студенческой школы-семинара – М.: МИЭМ, 2008, с.185-186
- 21.Киндинова В.В. Имитационная модель складского комплекса// Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Тр. V Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Центральный регион. Москва,–М. : Вузовская книга, 2008, с.199-201
- 22.Киндинова В.В. Имитация, анализ и реинжиниринг операционных процессов складского комплекса авиазапчастей// Вестник Московского Авиационного Института 2012, т. 19, № 3, с. 212-220
- 23.Киндинова В.В. Модель анализа проблем объекта складской логистики в авиации./Труды МАИ, 2017, № 94:http://trudy.mai.ru/upload/iblock/d01/kindinova_rus.pdf (31.05.2017).
24. Киндинова В.В., Имитационная модель для принятия управленческих решений на рынке дуополии. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20116108800. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 14 января 2011г.

25. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О. Имитационная модель анализа процессов складской логистики. Материалы XVII Всероссийской конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям, г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016 г. — Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2016, стр. 90
26. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О. Моделирование процесса дистрибуции производственно-сбытовой системы.// Материалы VIII Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2010). – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010, с. 573-576
27. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О. Мультиагентная имитационная модель самоорганизации торговых сетей // "Новые информационные технологии". Тезисы докладов XVIII Международной студенческой школы-семинара - М.: МИЭМ, 2010, с. 366-368
28. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В. Модели комплексного исследования объекта складской логистики. Концептуальное представление. Восьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017): Труды конф., 18-21 окт. 2017 г., Санкт-Петербург, – с. 405-410
29. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В. Имитационная модель анализа проблем функционирования логистической системы. Перспективы развития логистики и управления цепями поставок: сб. науч. трудов VII Международной научной конференции (18 апреля 2017, Москва): в 2 частях. –М: Изд. “Эс-Си-Эм Консалтинг”, 2017. – с. 657-669
30. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В. Компьютерное моделирование в задачах имитации комплексных логистических активностей. Материалы IX Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2012), –М.: Изд-во МАИ, с. 601-603

31. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В. Обработка и аппроксимация исходных данных имитационной модели анализа логистических процессов. Материалы XX Юбилейной Международной конференции по Вычислительной Механике и Современным Прикладным Программным Системам (ВМСППС'2017), –М.: Изд-во МАИ, 2017, с. 780-782
32. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В. Сопоставление аналитического и имитационного моделирования процессов складской логистики. Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2015: Труды конф., 21-23 окт. 2015 г., Москва. – Т. 2. – М.: ИПУ РАН, 2015. –С.145-150.
33. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В. Формализация имитационной модели. Материалы XI Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2016), –М.: Изд-во МАИ, 2016, стр. 556-558
34. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В., Технология управления складскими процессами с помощью комплекса имитационных моделей. Материалы XVIII Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2013), –М.: Изд-во МАИ, 2013, с. 201-204.
35. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В., Шебеко Ю.А. О преподавании имитационного моделирования студентам факультета прикладной математики и физики МАИ. Материалы XIX Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015), –М.: Изд-во МАИ, 2015, с. 719-721
36. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В., Шебеко Ю.А. От математического моделирования работы склада как системы массового обслуживания к имитационной модели. Материалы XIX Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015), –М.: Изд-во МАИ, 2015, с. 142-143

37. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В., Шебеко Ю.А. Имитация сложных систем и логистический реинжиниринг // Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Том 1. Издательство «ФЭН» Академии наук РТ, Казань, 2013, с. 170-173.
38. Киндинова В.В., Кузнецова Е.В. Вопросы анализа имитационной модели и планирования имитационного эксперимента. Материалы XVII Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2011), –М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011, с. 92-94
39. Киндинова В.В., Кузнецова Е.В. О методе построения имитационной модели на примере задачи исследования конкуренции двух фирм // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов пятой юбилейной всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2011. Том 1. СПб.: ОАО «ЦТСС». 2011. – с.162-167.
40. Киндинова В.В., Кузнецова Е.В. Системная динамика в задачах имитационного моделирования рынка дуополии.// Вестник Московского Авиационного Института 2009, т. 16, № 7, с. 96-103
41. Киндинова В.В., Шебеко Ю.А. Имитационное моделирование бизнес-процессов управления товарными потоками многономенклатурного склада авиазапчастей.// Вестник Московского Авиационного Института 2013, т.20, №1, с.170-178
42. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
43. Лайкер Д. DAO TOYOTA 14 принципов менеджмента ведущей компании мира.-М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.- 402 с.
44. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. - СПб.: Питер, 2004. - 847 с.
45. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов // Учебное пособие Издательство: Инфра-М.– 254 с.

46. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process ModelER (BPWin 4.1). –М.:ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 240 с.
47. Месарович М., Мако Д., Такахара Я.. Теория иерархических многоуровневых систем – М.: Мир, 1973. – 344 с.
- 48.Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 308 с.
- 49.Неруш Ю.М. Логистика: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. И доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 495 с.
50. Охтилев М.Ю., Павлов А.Н., Плотников А.М., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Комплексное моделирование сложных объектов: основные особенности и примеры практической реализации // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015): Труды конф., 21-23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. Акад. наук ; под общ. ред. С.Н. Васильева, Р.М. Юсупова. – Т. 1. Пленарные доклады – М.: ИПУ РАН, 2015. ISBN 978-5-91450-172-0. С.58-81.
- 51.Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы - М.:ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000,-134 с.
- 52.Питеркин С., Оладов Н., Исаев Д. «ТОЧНО ВОВРЕМЯ» ДЛЯ РОССИИ Практика применения ERP-систем . 2-е издание – М.: Альпина Паблишер, 2003.-368 с .
- 53.Поташев А.И. Аналитический метод оценки требуемых ресурсов складского комплекса.// Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов: Сб.ст. /Вычислительный центр РАН -М., 2005.с. 32-61.
- 54.Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000.- 528 с.
- 55.Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. - М.: Альтекс-А, 2004, - 384 с.

- 56.Рыжиков Ю.И. Расчет систем обслуживания с групповым поступлением заявок. // Журнал Информационные каналы и среды, 2007, № 2, с. 39-49
- 57.Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами,- СПб.: Питер, 2001.-384 с.
- 58.Сергеев В.И. Логистика в бизнесе: Учебник. - М. : ИНФРА-М, 2001.-608 с.
- 59.Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Полимодельное описание и анализ структурной динамики систем управления космическими средствами. Труды СПИИРАН. 2010. Вып. 4(15). – с. 7- 52
- 60.Соколов Б.В., Юсупов Р.М.. Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами. // Проблемы управления и информатики– 2002.-№5
- 61.Статья: Классификация_WMS_систем.[Электронный ресурс].Режим доступа : http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Классификация_WMS_систем (2011.11.05)
62. Суслов С.А, XJ TECHNOLOGIES COMPANY. Имитационная модель – уже вполне обычная составная часть логистических проектов: Журнал Логистика , №2(63) 2012, - с. 22.
- 63.Толуев Ю.И. Применение имитационного моделирования для исследования логистических процессов // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов второй всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2005. Том 1. СПб.: ЦНИИТС. 2005. – с. 71-76.
64. Толуев Ю.И., Планковский С.И. Моделирование и симуляция логистических систем / – Курс лекций для высших технических учебных заведений. – Киев: «Миллениум», 2009. – 85 с.
65. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере . Изд. 3-е, переработанное и дополненное. /Под ред. В.Э. Фигурнова. – М: ИНФА-М, 2002,-528 с.
66. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика).– М: Прогресс, 1971. - 340 с.

67. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. (Библиотека технической кибернетики) – М.: «Советское Радио», 1975.-200с.
68. Шенон Р.Е. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. - М.: Мир, 1978. - 418 с.
69. Шишигин Е.З. От практики математического моделирования работы склада как СМО к бизнес-моделированию его процессов [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.finexpert-training.ru> (06.11.2010)
70. www.anylogic.com

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ ОБ ОБЪЕКТЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ (дополнение к главе 2)

Идентификация потоков обработки габаритных/негабаритных деталей этапа II.

Из системы мониторинга получены выборки: $V5=(l_1, \dots, l_n)$, порожденная СВ L , характеризующей интенсивность потока обработки габаритных деталей этапа II; $V6=(y_1, \dots, y_n)$, порожденная СВ Y , характеризующей интенсивность потока обработки негабаритных деталей этапа II. Размер выборок $V5, V6 n=240$.

По выборкам $V5, V6$ выполнена идентификация потока обработки габаритных/негабаритных деталей этапа II с использованием критерия хи-квадрат (критерий Пирсона) с уровнем значимости $\alpha=0.05$, показано, что все потоки пуассоновские с параметром λ . Методом максимального правдоподобия получены оценки параметров, характеризующие распределения.

Оценка максимального правдоподобия (МП-оценка) параметра λ вычисляется по формуле:

$$\hat{\lambda}(V_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i (F1.1),$$

где n размер выборки, k_i - элемент выборки.

После группировки данных в m групп по значениям k_i , $i=1, m$ и вычисления эмпирических частот r_i , формула F.1 принимает вид:

$$\hat{\lambda}(V_n) = \frac{\sum_{i=1}^m k_i * r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} (F1.2),$$

Вычисление теоретических частот r_i^T и наблюдаемого значения Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$ производится по формулам:

$$r_i^T = n * p_i = n * \frac{\lambda^{k_i}}{k_i!} * e^{-\lambda} (F1.3)$$

$$\chi^2_{\text{наблюд}} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_i - r_i^T)^2}{r_i^T} (F1.4)$$

Идентификация потока обработки габаритных деталей этап II

Данные выборки V5 систематизированы и представлены в виде гистограммы рис. П1.1.

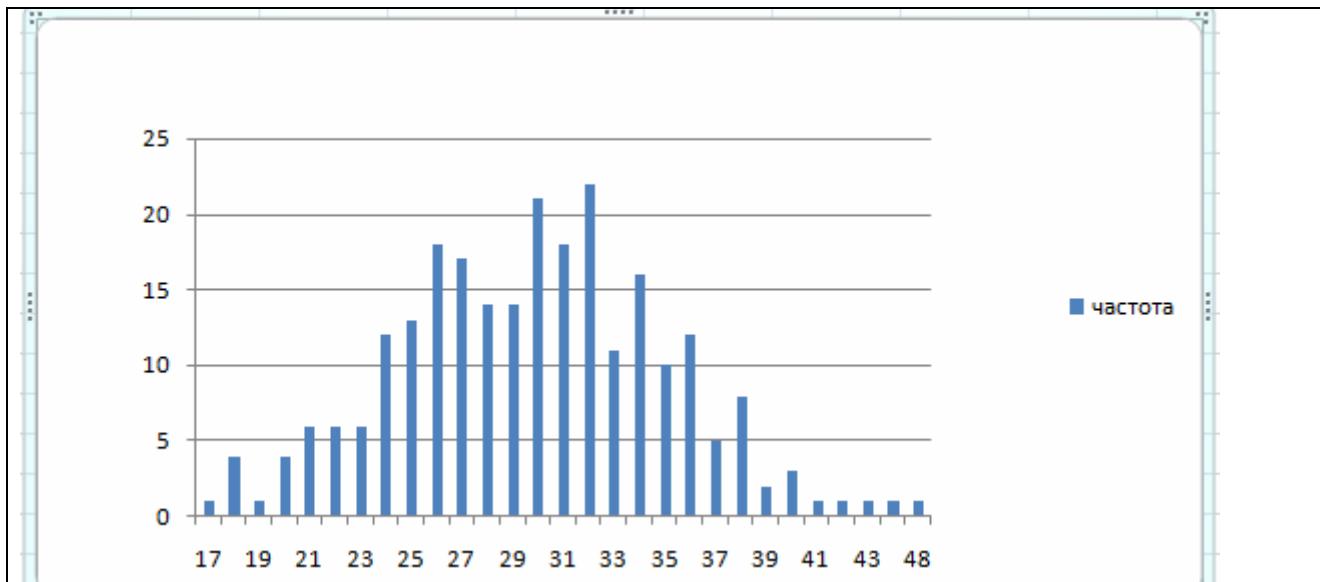


Рисунок П1.1. Гистограмма частот для величины интенсивность обработки габаритных деталей μ_{2G} этапа II.

Гипотеза H_0 : СВ L имеет распределение Пуассона $\Pi(\lambda)$ с неизвестным параметром $\mu_{2G} = \lambda$ с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

По формуле F1.1 получена МП-оценка значения $\mu_{2G}=30$ дет.час.

Определено наблюдаемое значение Пирсона по формуле F1.4 $\chi^2_{\text{наблюд}} = 26.44$.

Определено $\chi^2_{\text{критич}}(0.05; 18) = 28.86$. Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Таким образом, справедливо предположение о том, что СВ L имеет распределение Пуассона с параметром $\mu_{2G} = 30$ дет.час с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

Идентификация потока обработки негабаритных деталей этап II

Данные выборки V6 систематизированы и представлены в виде гистограммы рис. П1.2.

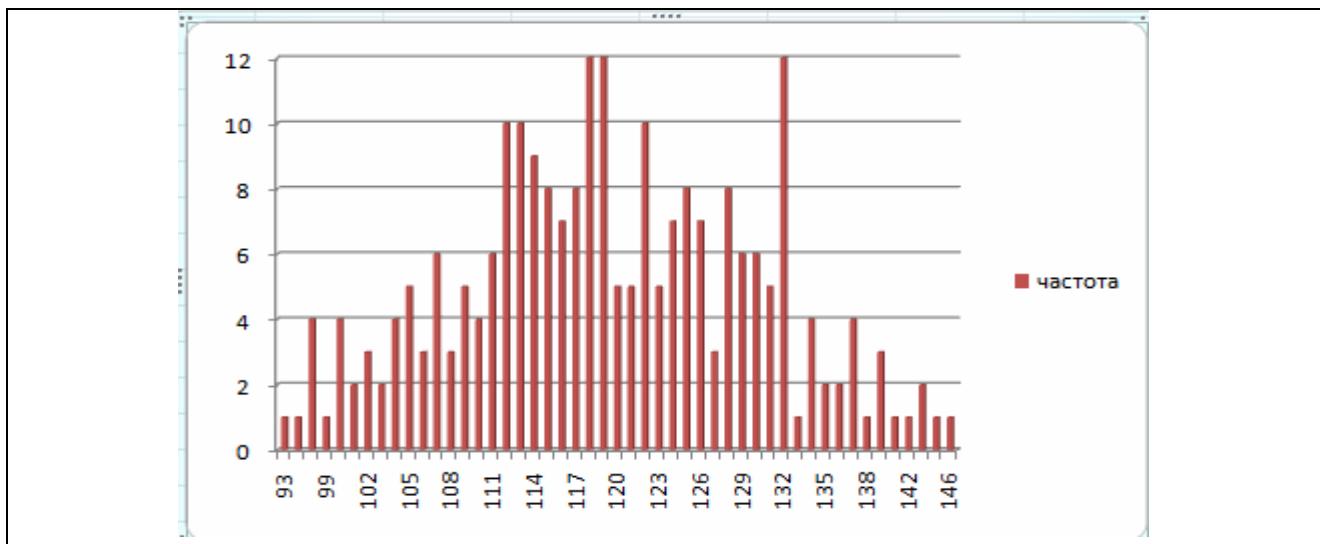


Рисунок П1.2. Гистограмма частот для величины интенсивность обработки негабаритных деталей μ_{2NG} этапа II.

Гипотеза H_0 : СВ Y имеет распределение Пуассона $\Pi(\lambda)$ с неизвестным параметром $\mu_{2NG} = \lambda$ с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

По формуле F1.1 получена МП-оценка значения $\mu_{2NG}=120$ дет.час. Определено наблюдаемое значение Пирсона по формуле F1.4 $\chi^2_{\text{наблюд}} = 0$. Определено $\chi^2_{\text{критич}}(0.05; 28) = 41.33$. Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Таким образом, справедливо предположение о том, что СВ Y имеет распределение Пуассона с параметром $\mu_{2NG} = 120$ дет.час с уровнем значимости $\alpha=0.05$.

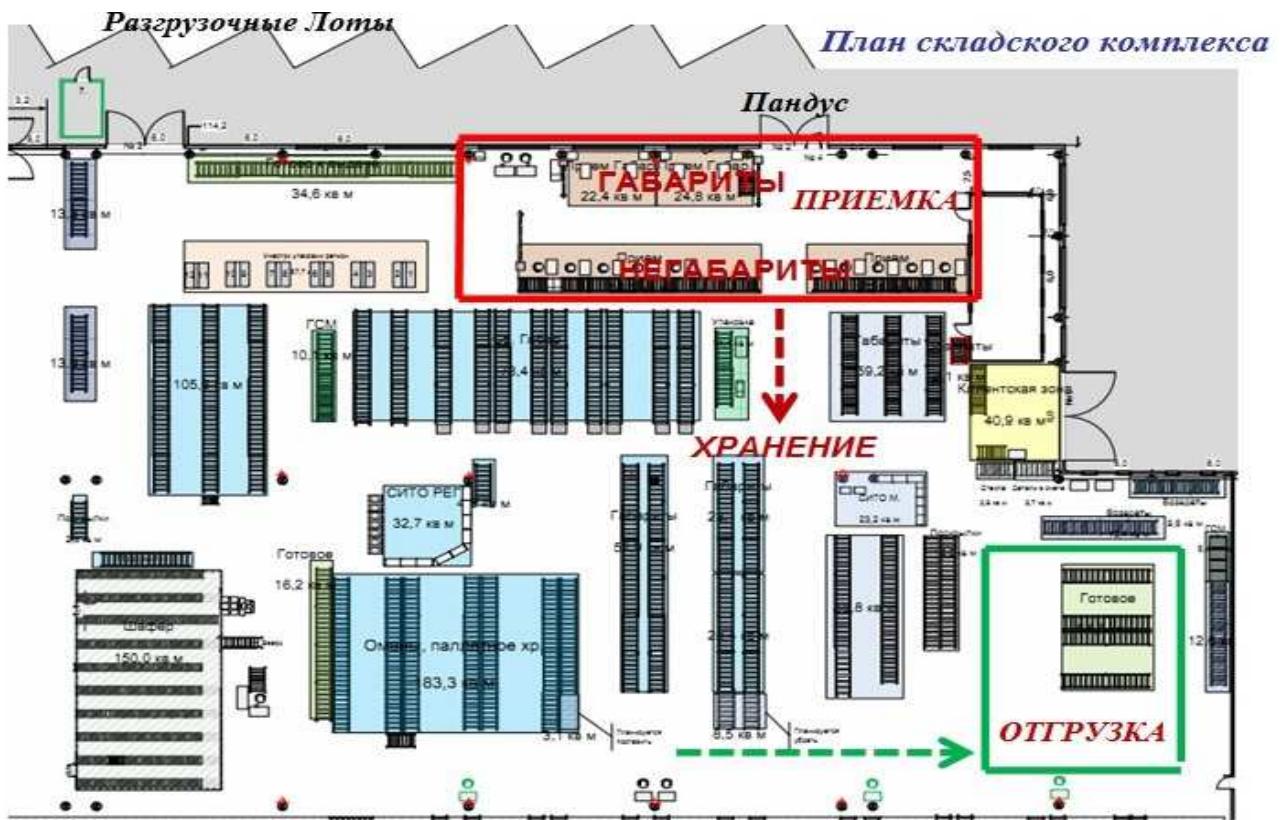


Рисунок П1.3. Схема объекта складской логистики

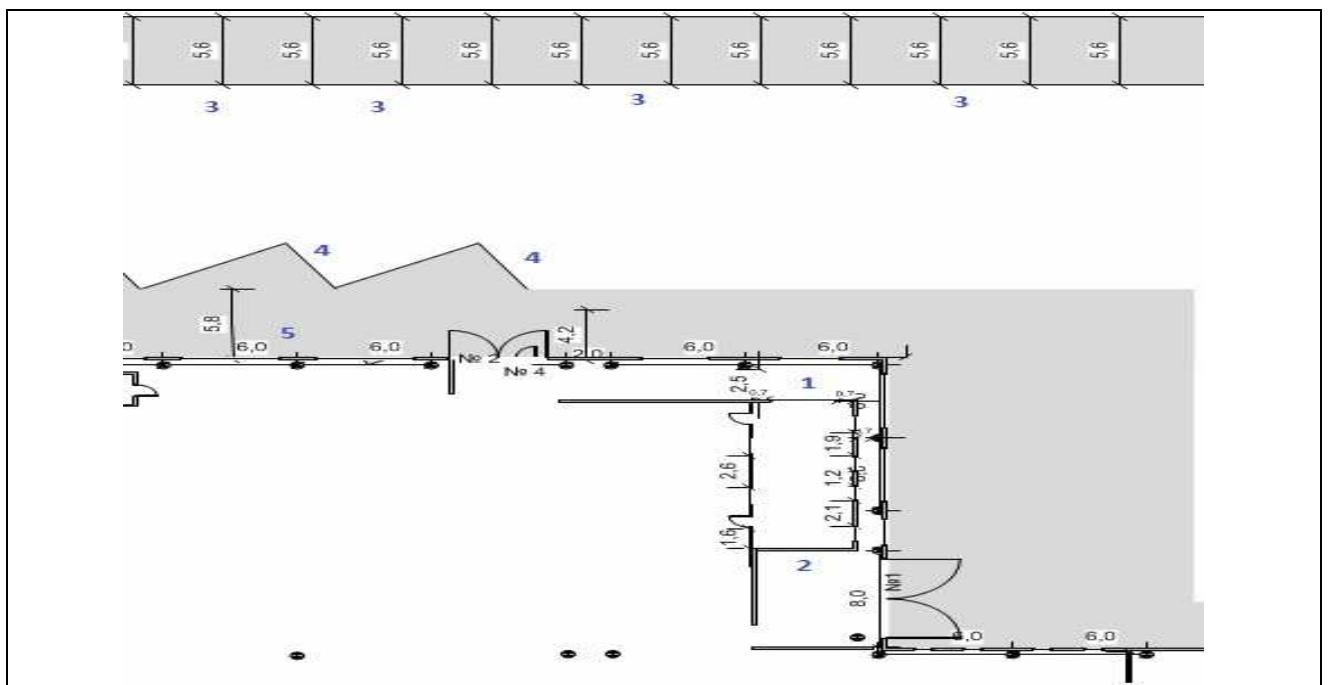


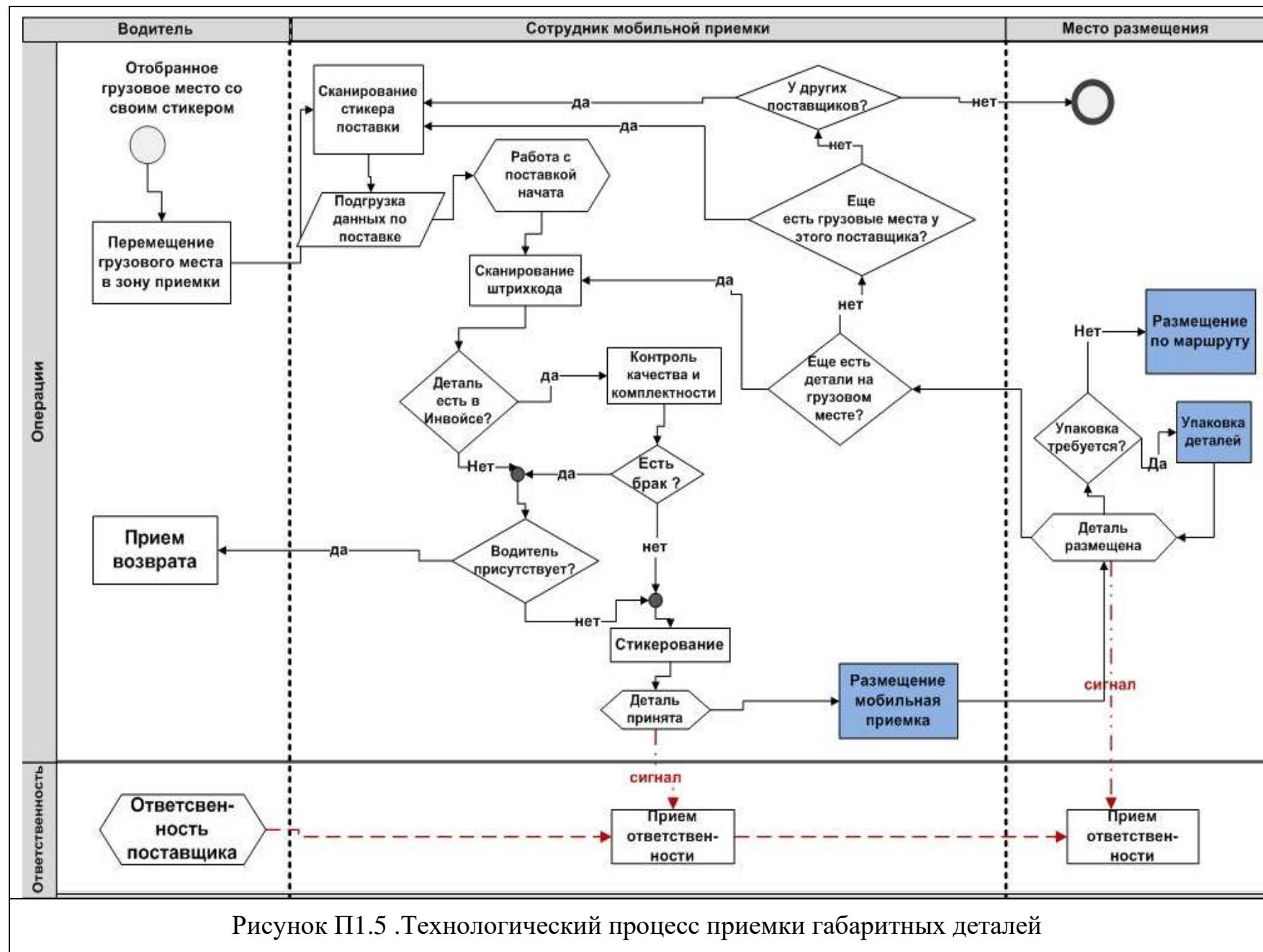
Рисунок П1.4. Схема парковочных мест для поставщиков и геометрическое расположение отдела документооборота

- 1 – окно приема документов входного потока товаров;
- 2- окно выдачи документов выходного потока товаров;
- 3-парковка для поставщиков и клиентов;
- 4-разгрузочные лоты;
- 5-зона ожидания для непринятого товара.

Таблица П1.1. Операционная карта процессов

<u>№ п/п</u>	Наименование операции	Время на выполнение в сек.
1.	Стационарная приемка (приемка коробки с негабаритными деталями при количестве деталей в коробке 10 штук)	
	Запустить программу работы с поставщиками	3,00
	Ввести логин и пароль пользователя	5,00
	Выбрать меню "Приемка грузов московских поставщиков"	1,00
	Получить от водителя внутренний стикер поставки	5,00
	Печать стикера поставки (если необходимо)	15,00
	Сканировать штрих код поставщика	1,00
	Вскрыть упаковку транспортного места	5,00
	Взять деталь из короба	2,00
	Вскрыть упаковку детали (если необходимо)	15,00
	Проверка детали по качеству	60,00
	Закрыть упаковку детали	10,00
	Если деталь дефектная и водитель присутствует, демонстрация и передача детали водителю	1,00
	Сканировать штрих код детали	1,00
	Ручной ввод кода детали с клавиатуры (если не ввелся по штрих-коду)	10,00
	Идентификация и регистрация детали.	1,00
	Сверка количества деталей с данными по инвойсу	10,00
	Объединение найденного кол-ва в единую тару	10,00
	При отсутствии нужного кол-ва деталей, ручной ввод фактического кол-ва деталей	2,00
	Печать складского стикера детали	2,00
	Наклеивание складского стикера на деталь/упаковку	2,00
	Укладка детали в тележку для отправки на сортировку	2,00
	Закрытие инвойса, без отклонений (автоматическое закрытие)	4,00
	Закрытие инвойса с отклонением	120,00
	Итого:	287 сек.
2.	Мобильная приемка (приемка габаритных деталей)	
	Запустить программу работы с поставщиками	3,00
	Ввести логин и пароль пользователя	5,00
	Получение от водителя внутреннего стикера поставки	5,00

	Печать стикера поставки (если необходимо)	15,00
	Сканирование штрих кода поставки	3,00
	Выбор крупногабаритной детали и ее перемещение на стол приемки	3,00
	Вскрыть упаковку детали	20,00
	Визуальный осмотр детали на выявления брака	30,00
	Если деталь дефектная и водитель присутствует, демонстрация и передача детали водителю	1,00
	Упаковать в первичную упаковку в случае выявления брака	30,00
	Сканировать стикер детали	4,00
	Ручной ввод кода детали с клавиатуры (если не ввелся по штрих-коду)	15,00
	Идентификация и регистрация детали.	1,00
	Печать внутреннего стикера детали	2,00
	Наклеивание внутреннего стикера на деталь/упаковку	2,00
	Размещение детали на стеллаже	15,00
	Закрытие инвойса, без отклонений (автоматическое закрытие)	4,00
		Итого: 158сек.



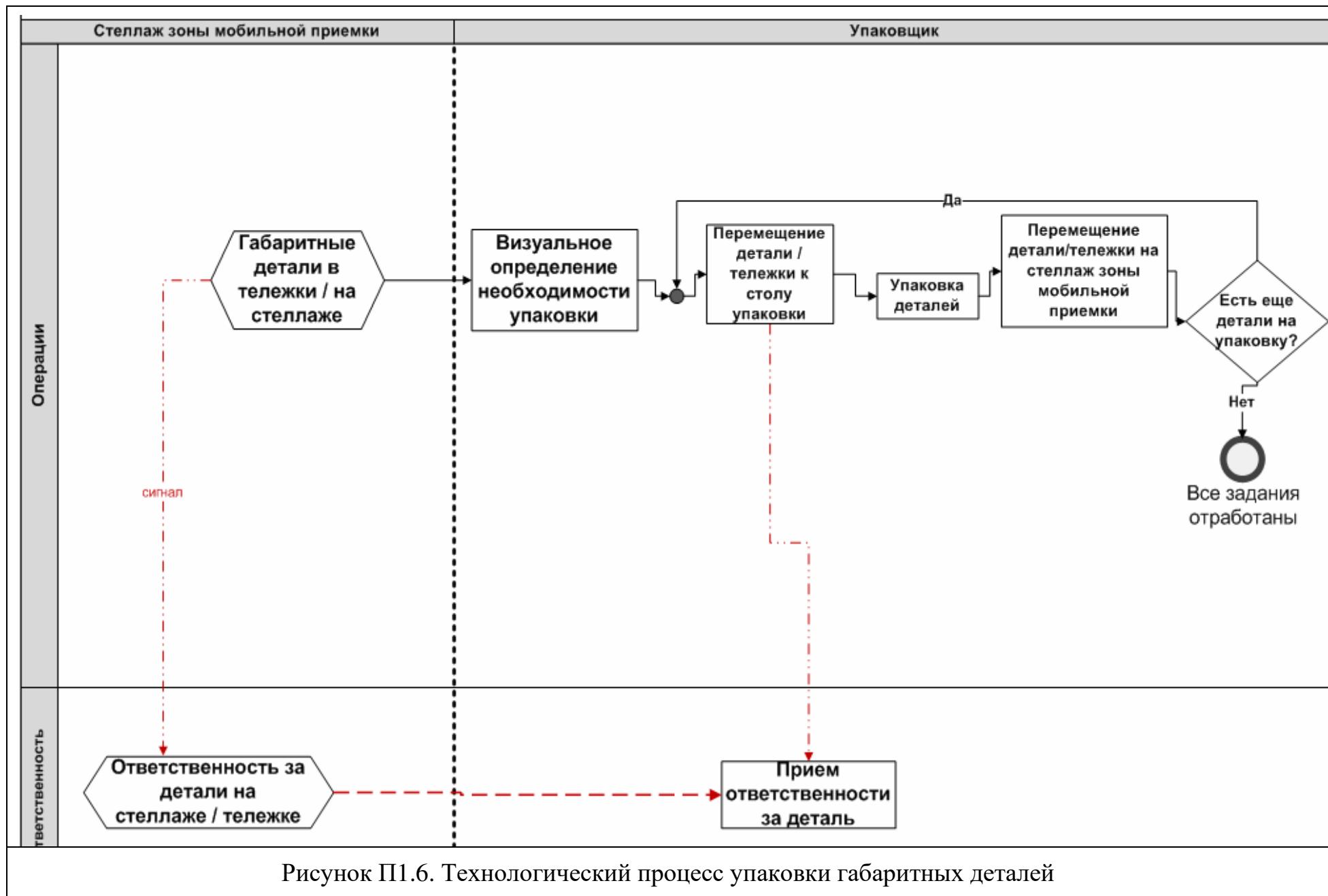
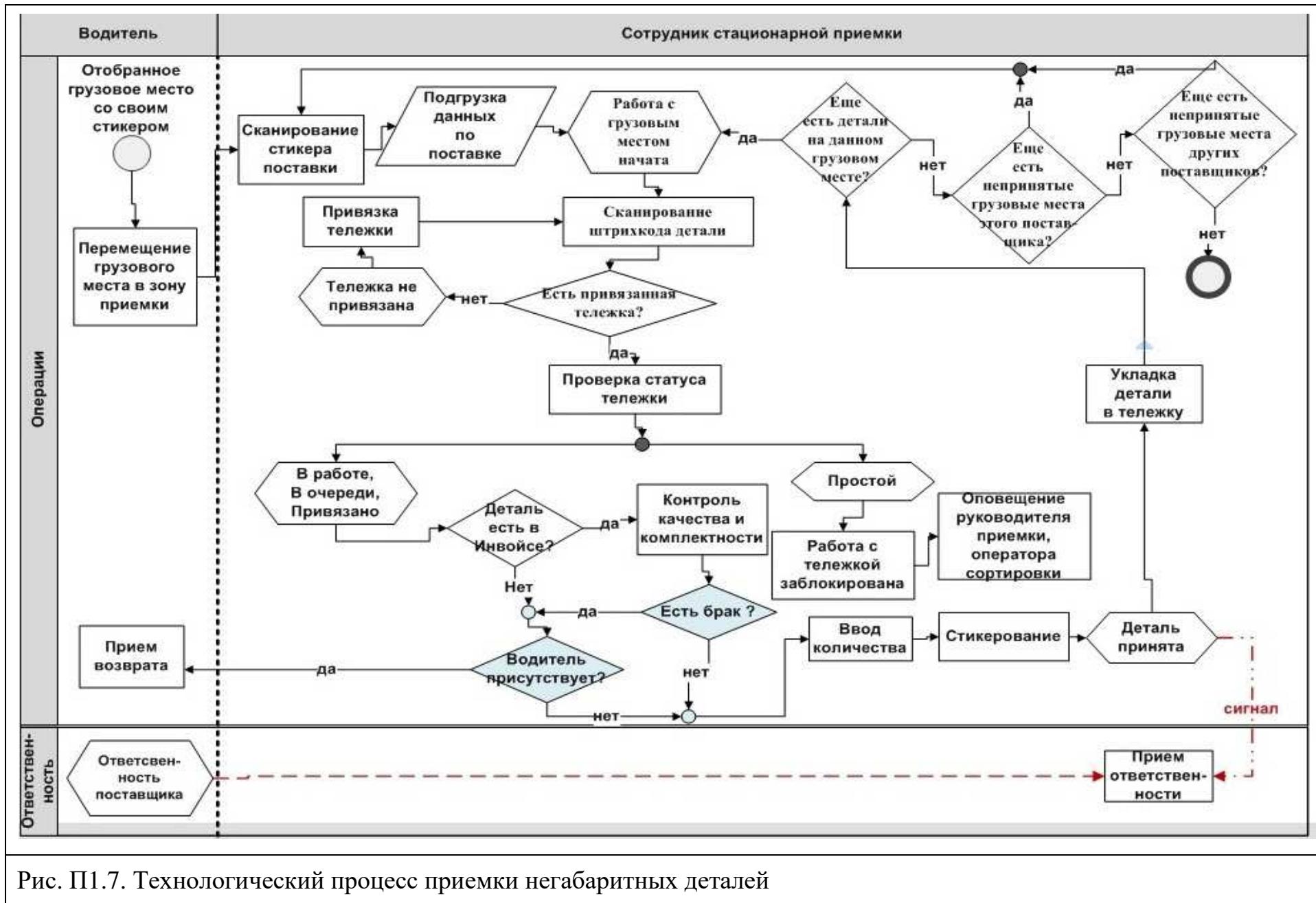


Рисунок П1.6. Технологический процесс упаковки габаритных деталей



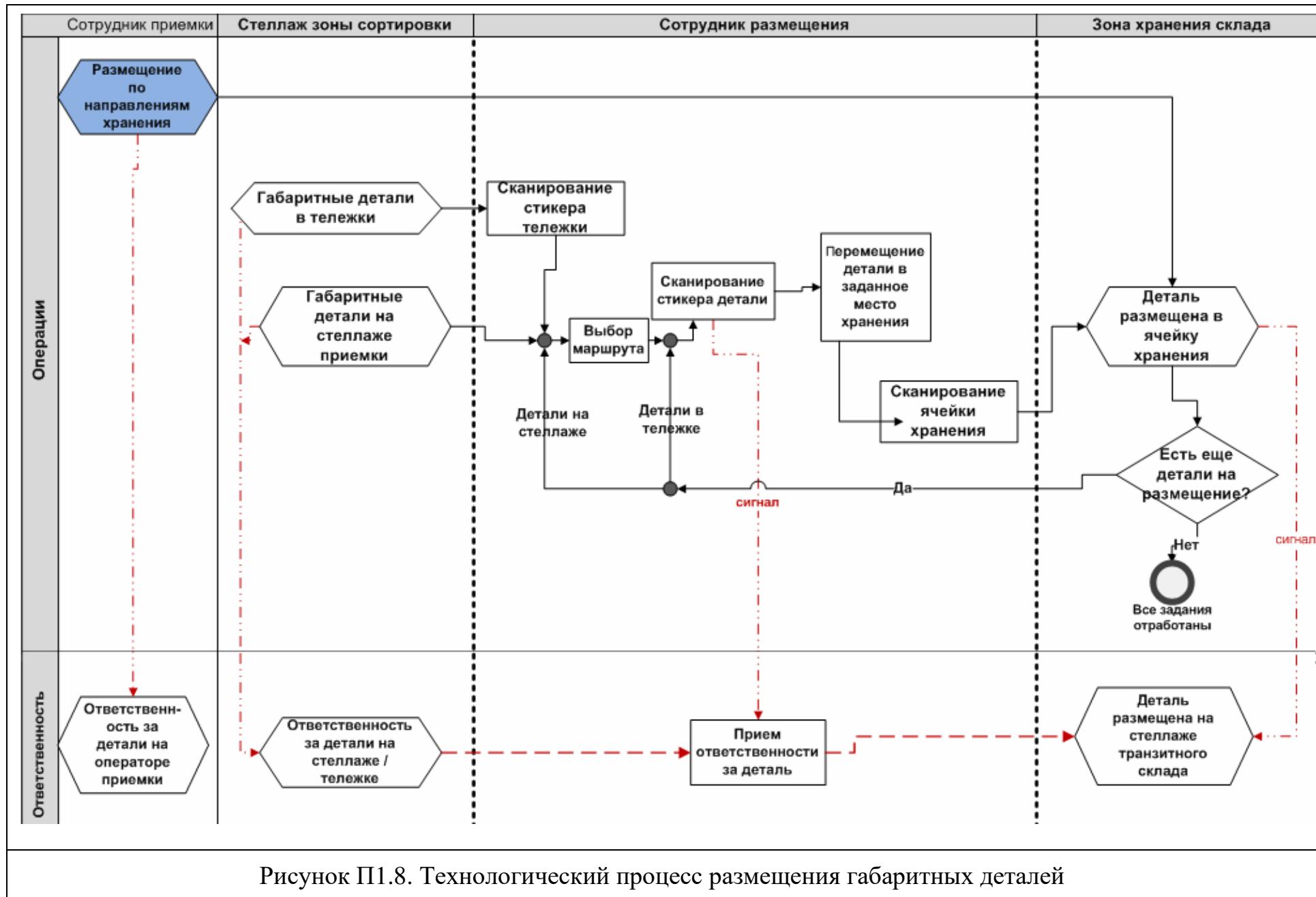


Рисунок П1.8. Технологический процесс размещения габаритных деталей

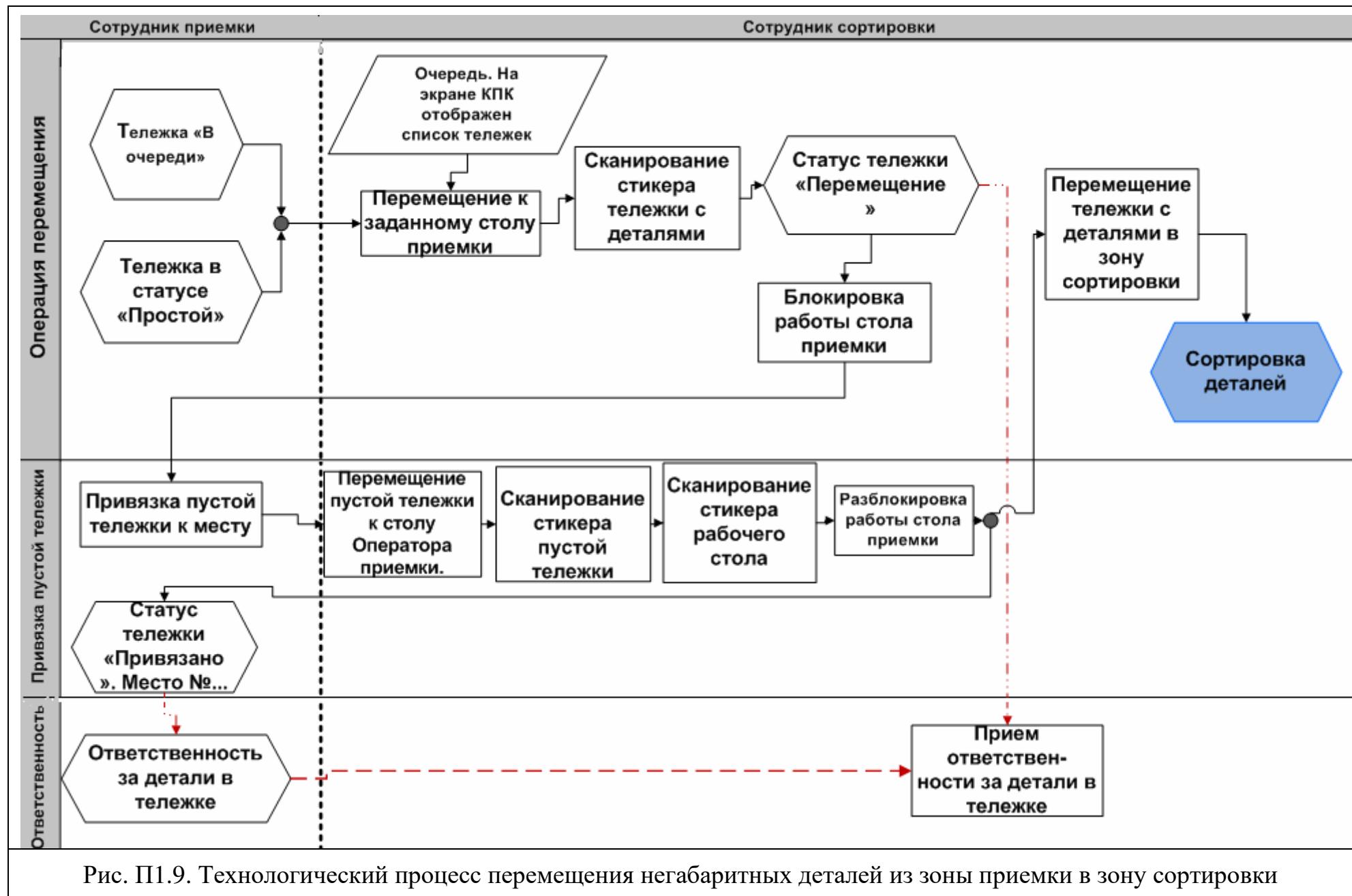
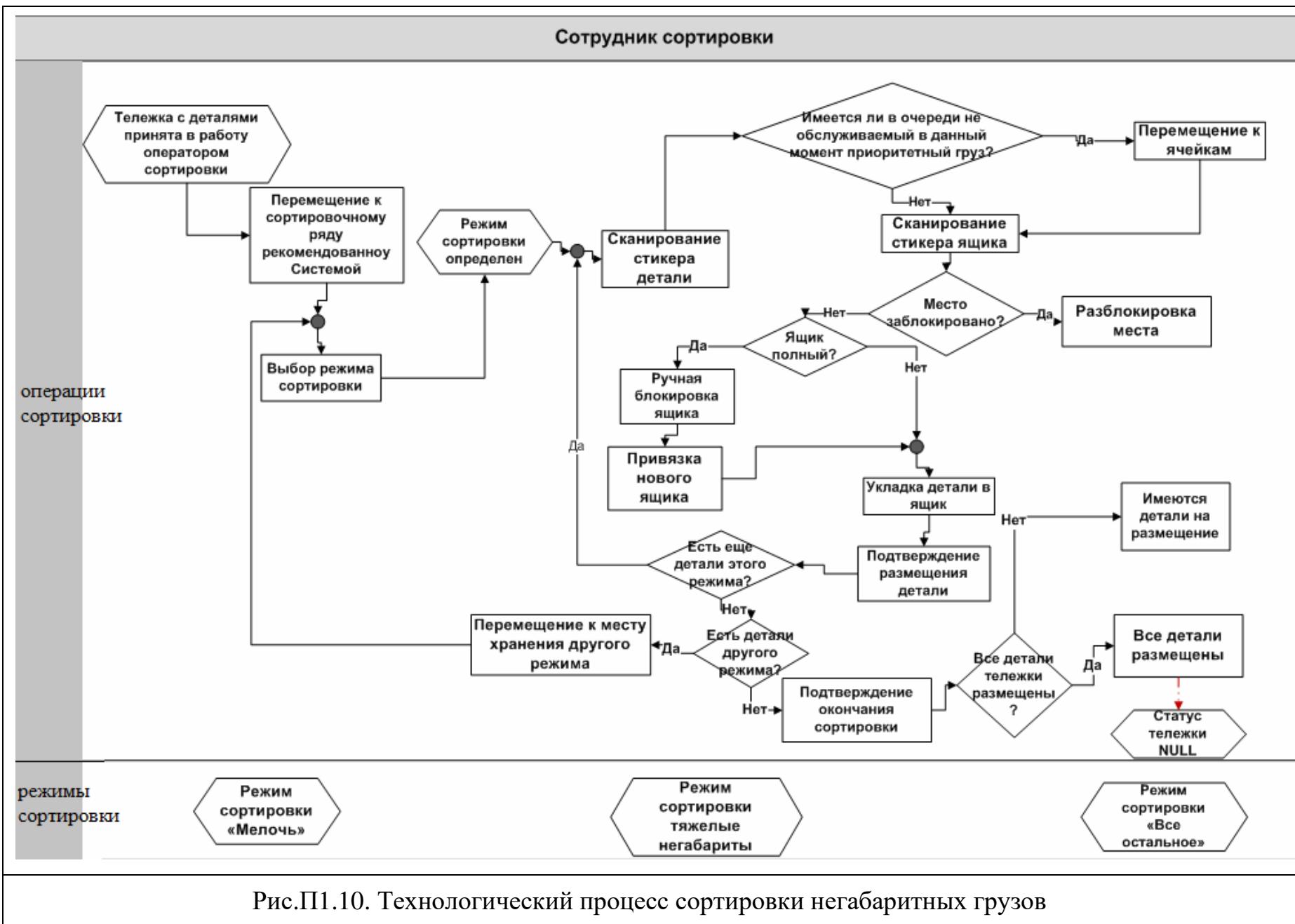
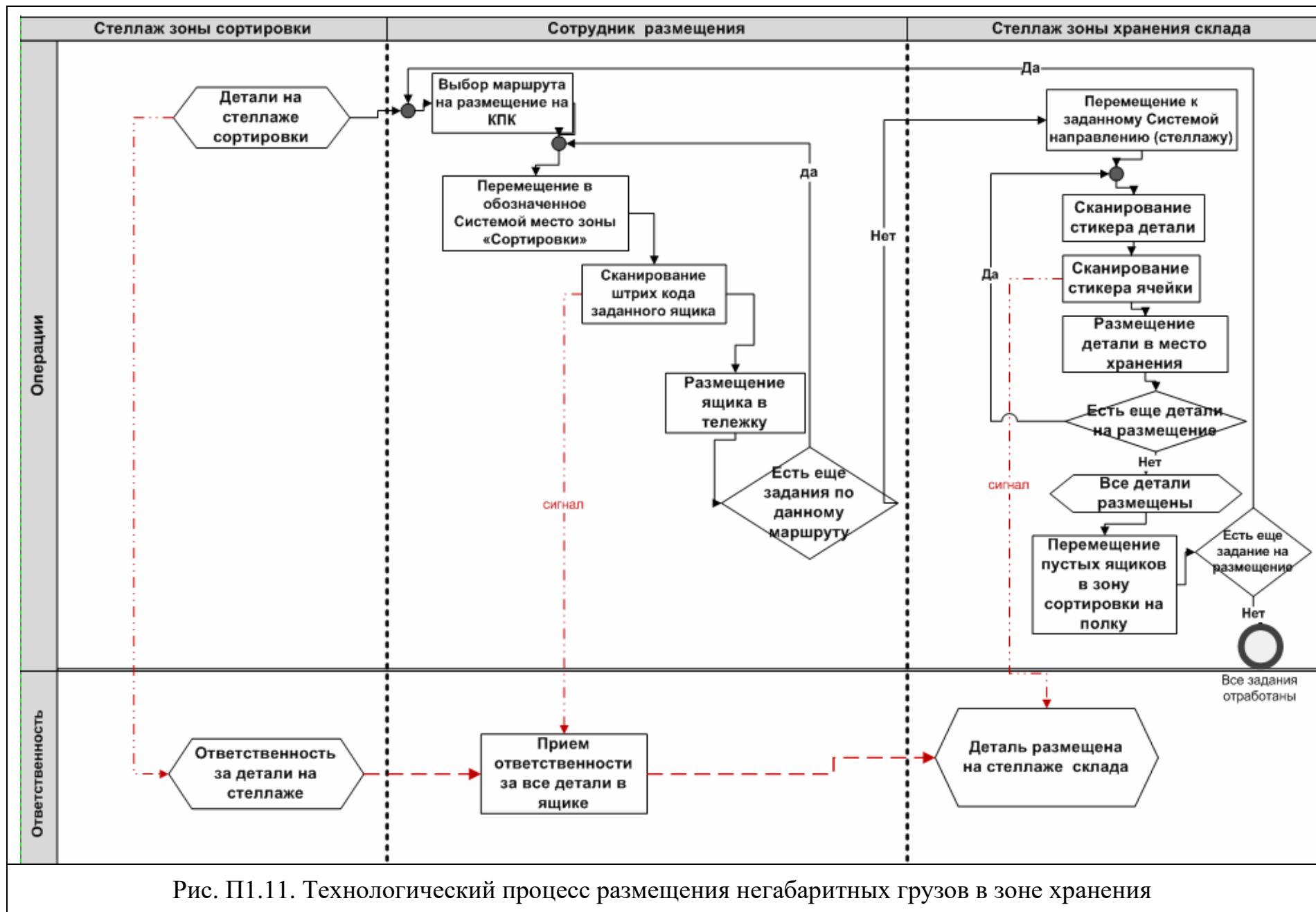


Рис. П1.9. Технологический процесс перемещения негабаритных деталей из зоны приемки в зону сортировки





ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ СЛУЧАЙНОГО ВХОДНОГО ПОТОКА

СВ Т – промежутки времени между приездами грузовиков.

СВ η_1 – количество поставок в грузовике.

СВ η_2 – количество сопроводительной документации в поставке, считаем постоянной величиной равной единице.

СВ η_3 – количество паллет необходимых для габаритного груза, входящего в перечень сопроводительной документации.

СВ η_4 – количество паллет необходимых для негабаритного груза, входящего в перечень сопроводительной документации.

СВ η_5 – количество коробок с габаритными деталями на паллете.

СВ η_6 – количество коробок с негабаритными деталями на паллете.

СВ η_7 – количество негабаритных деталей в коробке.

Идентификация входного потока первичных групповых заявок(Грузовиков)

Из системы мониторинга получена выборка $V_n = (k_1, \dots, k_n)$, порожденная СВ К, характеризующая интенсивность входного потока групповых заявок. Размер выборки $n=254$. В качестве теоретического распределения полагаем, что поток групповых заявок является пуассоновским с параметром $\lambda > 0$, то есть необходимо проверить гипотезу H_0 , состоящую в том, что СВ К имеет распределение Пуассона $\Pi(\lambda)$ с неизвестным параметром $\theta = \lambda$. Тогда СВ Т, характеризующая промежутки времени между моментами поступления групповых заявок в систему распределена по показательному закону, среднее значение и среднее квадратическое отклонение которой равны $1/\lambda$, λ – интенсивность потока групповых заявок. Тогда $t_1 < t_2 < \dots < t_n \dots$ – моменты поступления групповых заявок простейшего потока с параметром $\lambda > 0$.

Построим оценку максимального правдоподобия (МП-оценку) параметра λ .

$$\hat{\lambda}(V_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (F2.1), \text{ следовательно,}$$

$$\hat{\lambda}(V_n) = \frac{\sum_{i=1}^m k_i * r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} \quad (F2.2) ,$$

где n - размер выборки, m - количество групп в ряду, r_i —эмпирические частоты.

$$r_i^T = n * p_i = n * \frac{\lambda^{k_i}}{k_i!} * e^{-\lambda} \quad (F2.3) ,$$

где r_i^T —теоретические частоты, $n = \sum_{i=1}^m r_i = 254$.

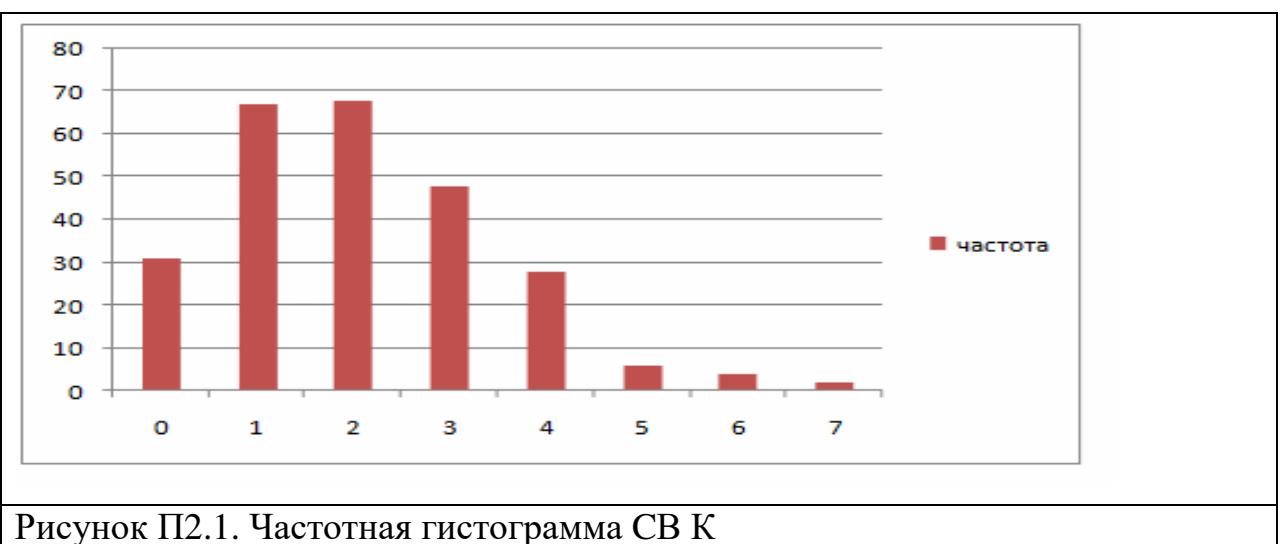
$$\chi^2_{\text{наблюд}} = \sum_{i=1}^m \frac{(r_i - r_i^T)^2}{r_i^T} \quad (F2.4) , \text{ где } \chi^2_{\text{наблюд}} \text{ — наблюдаемое значение Пирсона.}$$

Для заданного уровня значимости $\alpha=0,05$ и числу степеней свободы $v=m-2$, (где m – число групп в ряду) по таблице значений критических точек χ^2 -распределения находим $\chi^2_{\text{критич}}(\alpha; v)$. Эмпирические данные систематизированы и представлены в Таблице П2.1.

Таблица П2.1

k_i	0	1	2	3	4	5	6	7	итого
r_i	31	67	68	48	28	6	4	2	254
$k_i * r_i$	0	67	136	144	112	30	24	14	527

По данным из таблицы П2.1 построена частотная гистограмма для СВ К рис. П2.1 (интенсивность прибытия первичной заявки- Грузовик) .



$$\hat{\lambda}(V_n) = \frac{\sum_{i=1}^m k_i * r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} = \frac{527}{254} = 2.07, m=8$$

Таблица П2.2 . Вычисление статистики Пирсона

k_i	Эмпирическая частота r_i	p_i	Теоретическая частота r_i^T	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
0	31	0.1256	31.8976	0.0252
1	67	0.2606	66.1813	0.0101
2	68	0.2703	68.6565	0.0062
3	48	0.1869	47.4829	0.0056
4	28	0.09697	24.6294	0.461
5	6	0.04024	10.2202	1.743
6	4	0.0139	3.53	0.062
7	2	0.00412	1.05	0.85
Σ	254			$\chi^2_{\text{наблюд}} = 2.522$

Граница критической области равна $\chi^2_{\text{критич}}(\alpha; v) = \chi^2_{\text{критич}}(0.05; 6) = 12.59$. Так как

$\chi^2_{\text{наблюд}} = 2.522$, $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 .

Верно предположение о том, что данные выборки $V_n = (k_1, \dots, k_n)$ имеют распределение Пуассона с параметром $\lambda = 2.07$.

Процедура идентификация законов распределения СВ $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_7$, характеризующих размеры групповых заявок.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_1 = (\eta_{11}, \dots, \eta_{1n})$, порожденная СВ η_1 , характеризующая количество поставок в грузовике. Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу H_0 : данная случайная величина имеет равномерное дискретное распределение $R[\theta_1, \theta_2]$. МП-оценки неизвестных параметров определяются как:

$$\hat{\theta}_1(Z_1) = \min_{k=1..n} \eta_{1k} \quad (F2.5)$$

$$\hat{\theta}_2(Z_1) = \max_{k=1..n} \eta_{1k} \quad (F2.6)$$

Для статистического анализа СВ η_1 был построен вариационный ряд таблица П2.3:

Таблица П2.3

η_{1i}	1	2	3
r_i	47	54	48

$$\hat{\theta}_1(Z_1) = 1 \text{ и } \hat{\theta}_2(Z_1) = 3.$$

По данным из таблицы П2.3 построена частотная гистограмма для СВ η_1 рис. П2.2.

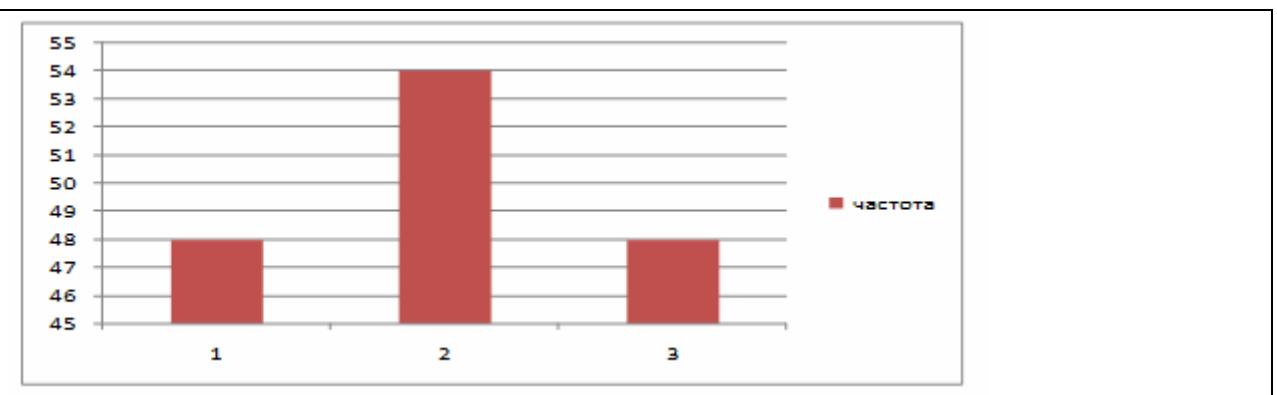


Рисунок П2.2. Частотная гистограмма СВ η_1

Теоретические вероятности вычисляются по формуле $p_i = \frac{1}{m}$, где m количество групп в ряду, $i=1..m$.

Таблица П2.4. Вычисление статистики Пирсона

η_{1i}	r_i	p_i	r_i^T	$r_i - r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
1	48	0,333333350		-2	0,08
2	54	0,333333350		4	0,32
3	48	0,333333350		-2	0,08
	150				$\chi^2_{\text{наблюд}} = 0,48$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}}(\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}}(0.05; 2) = 5.99$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_1 имеет равномерное дискретное распределение

$R[1,3]$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_2 = (\eta_{21}, \dots, \eta_{2n})$, порожденная СВ η_2 , характеризующая количество сопроводительной документации.

Размер выборки $n=150$. В ходе анализа данных выборки было определено, что практически во всех наблюдениях величина η_2 принимала значение один, поэтому значение этой величины считаем константой равной единице.

СВ η_3 и η_4 , характеризующие соответственно количество паллет необходимых для габаритного груза и негабаритного груза, входящего в перечень сопроводительной документации. СВ η_3 и η_4 зависимыми от СВ η_1 , имеющей равномерное дискретное распределение $R[1,3]$. Для моделирования реализаций СВ η_3 и η_4 необходимо идентифицировать вид условных функций распределения: $F_{\eta_3}(\eta_3 | \eta_1 = 1)$, $F_{\eta_3}(\eta_3 | \eta_1 = 2)$, $F_{\eta_3}(\eta_3 | \eta_1 = 3)$, $F_{\eta_4}(\eta_4 | \eta_1 = 1)$, $F_{\eta_4}(\eta_4 | \eta_1 = 2)$, $F_{\eta_4}(\eta_4 | \eta_1 = 3)$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_3(\eta_1=1) = (\eta_{31}, \dots, \eta_{3n})$, порожденная СВ η_3 , при условии, что СВ η_1 принимает значение один.

Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу H_0 : данная случайная величина имеет равномерное дискретное распределение $R[\theta_1, \theta_2]$. МП-оценки неизвестных параметров определяются как:

$$\hat{\theta}_1(Z_3(\eta_1=1)) = \min_{k=1..n} \eta_{3k} \quad (F2.7)$$

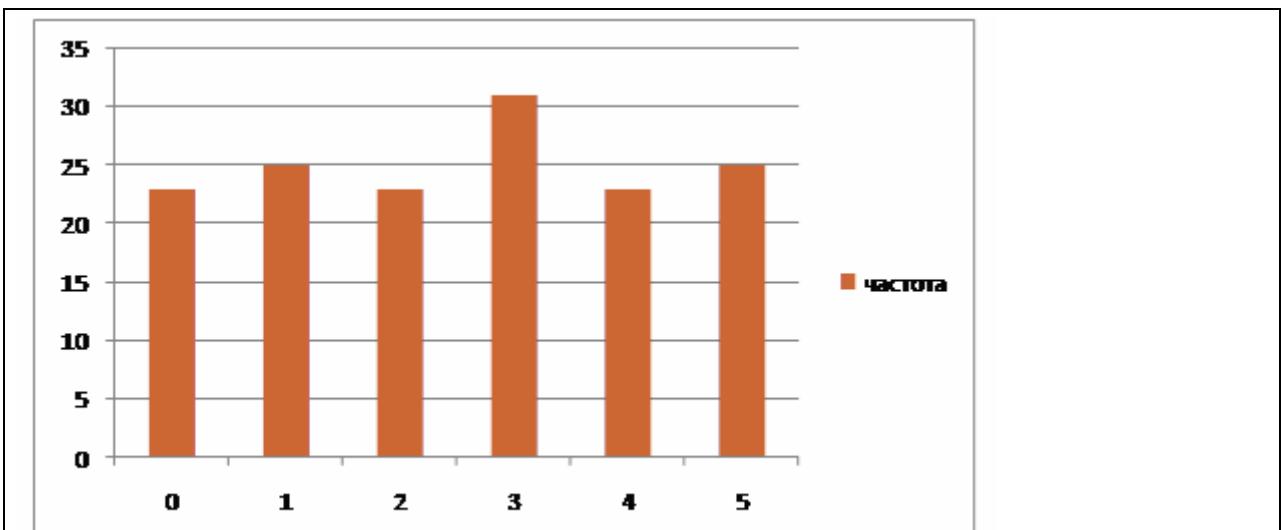
$$\hat{\theta}_2(Z_3(\eta_1=1)) = \max_{k=1..n} \eta_{3k} \quad (F2.8)$$

Для статистического анализа СВ η_3 был построен вариационный ряд таблица П2.5:

Таблица П2.5

η_{3i} $\eta_1=1$	0	1	2	3	4	5
r_i	23	25	23	31	23	25

По данным из таблицы П2.5 построена частотная гистограмма для СВ η_3 рис. П2.3.

Рисунок П2.3. Частотная гистограмма СВ η_3 при условии, что $\eta_1 = 1$

$$\hat{\theta}_1(Z_3(\eta_1 = 1)) = 0 ; \hat{\theta}_2(Z_3(\eta_1 = 1)) = 5 .$$

Таблица П2.6. Вычисление статистики Пирсона

η_{3i}	r_i	p_i	r_i^T	$r_i - r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона
$\eta_1 = 1$					$\chi^2_{\text{наблюд}}$
0	23	0,166667	25	-2	0,16
1	25	0,166667	25	0	0
2	23	0,166667	25	-2	0,16
3	31	0,166667	25	6	1,44
4	23	0,166667	25	-2	0,16
5	25	0,166667	25	0	0
					$\chi^2_{\text{наблюд}} = 1,92$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}}(\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}}(0.05; 5) = 11.07$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_3 , при условии, что СВ $\eta_1 = 1$ имеет равномерное дискретное распределение $R[0,5]$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_3(\eta_1=2) = (\eta_{31}, \dots, \eta_{3n})$, порожденная СВ η_3 , при условии, что СВ η_1 принимает значение два.

Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу H_0 : данная случайная величина имеет равномерное дискретное распределение $R[\theta_1, \theta_2]$. МП-оценки неизвестных параметров определяются как:

$$\hat{\theta}_1(Z_3(\eta_1 = 2)) = \min_{k=1..n} \eta_{3k} \quad (F2.9)$$

$$\hat{\theta}_2(Z_3(\eta_1 = 2)) = \max_{k=1..n} \eta_{3k} \quad (F2.10)$$

Для статистического анализа **СВ** η_3 был построен вариационный ряд Таблица П2.7:

Таблица П2.7

η_{3i}	0	1	2	3	4
$\eta_1=2$					
r_i	27	31	30	34	28

$$\hat{\theta}_1(Z_3(\eta_1 = 2)) = 0 ; \hat{\theta}_2(Z_3(\eta_1 = 2)) = 4$$

По данным из Таблица П2.7 построена частотная гистограмма для СВ η_3

Рисунок П2.4.

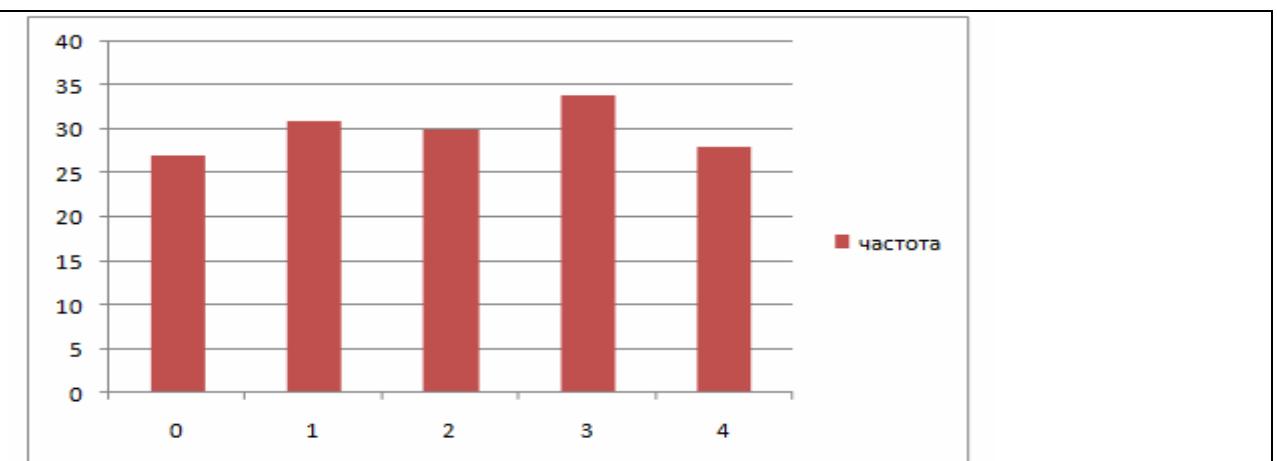


Рисунок П2.4. Частотная гистограмма СВ η_3 при условии, что $\eta_1 = 2$

Таблица П2.8. Вычисление статистики Пирсона

$\eta_{3i} \eta_1=2$	r_i	p_i	r_i^T	$r_i - r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
0	27	0,230	0,3	-3	0,3
1	31	0,230	1	0,033333	
2	30	0,230	0	0	
3	34	0,230	4	0,533333	
4	28	0,230	-2	0,133333	
	150				$\chi^2_{\text{наблюд}} = 1$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}} (\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}} (0.05; 4) = 9.48$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_3 , при условии, что СВ $\eta_1 = 2$ имеет равномерное дискретное распределение $R[0,4]$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_3(\eta_1=3) = (\eta_{31}, \dots, \eta_{3n})$, порожденная СВ η_3 , при условии, что СВ η_1 принимает значение три.

Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу H_0 : данная случайная величина имеет равномерное дискретное распределение $R[\theta_1, \theta_2]$. МП-оценки неизвестных параметров определяются как:

$$\hat{\theta}_1(Z_3(\eta_1 = 3)) = \min_{k=1..n} \eta_{3k} \quad (F2.11)$$

$$\hat{\theta}_2(Z_3(\eta_1 = 3)) = \max_{k=1..n} \eta_{3k} \quad (F2.12)$$

Для статистического анализа СВ η_3 был построен вариационный ряд Таблица П2.9 :

Таблица П2.9

η_{3i}	0	1	2	3
$\eta_1=3$				
r_i	27	31	30	34

$$\hat{\theta}_1(Z_3(\eta_1 = 3)) = 0 ; \hat{\theta}_2(Z_3(\eta_1 = 3)) = 3.$$

По данным из Таблица П2.9 построена частотная гистограмма для СВ η_3

Рисунок П2.5.

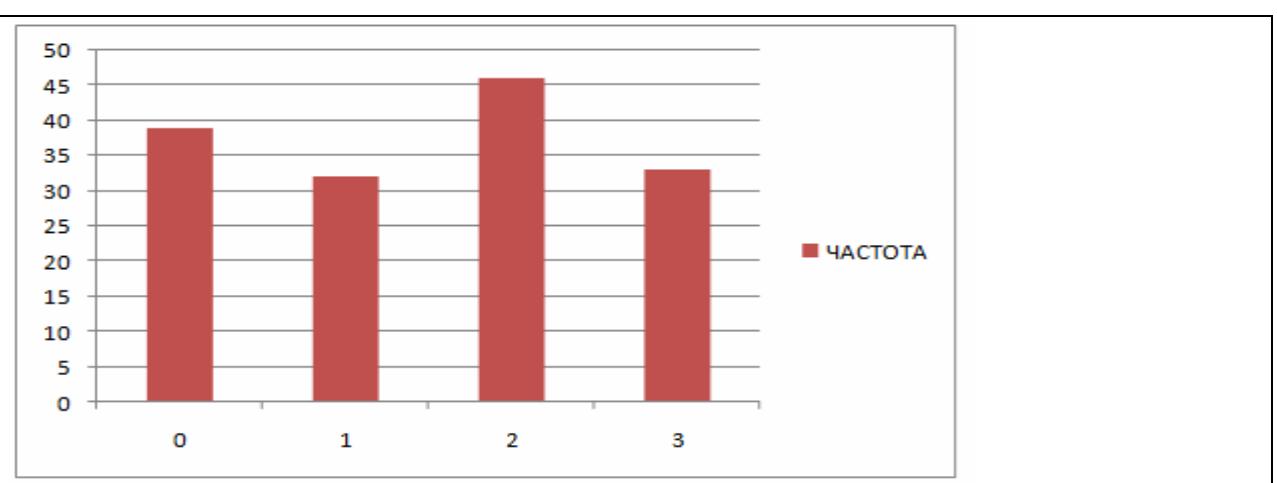


Рисунок П2.5. Частотная гистограмма СВ η_3 при условии, что $\eta_1 = 3$

Таблица П2.10. Вычисление статистики Пирсона

η_{3i} $\eta_1=2$	r_i	p_i	r_i^T	$r_i r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
0	39	0,25	37,5	1,5	0,06
1	32	0,25	37,5	-5,5	0,806667
2	46	0,25	37,5	8,5	1,926667
3	33	0,25	37,5	-4,5	0,54
	150				$\chi^2_{\text{наблюд}} = 3,333333$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}}(\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}}(0.05; 3) = 7.81$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_3 , при условии, что СВ $\eta_1 = 3$ имеет равномерное дискретное распределение $R[0,4]$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_4(\eta_1=1) = (\eta_{41}, \dots, \eta_{4n})$, порожденная СВ η_4 , при условии, что СВ η_1 принимает значение один. Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу H_0 : данная случайная величина имеет равномерное дискретное распределение $R[\theta_1, \theta_2]$. МП-оценки неизвестных параметров определяются как:

$$\hat{\theta}_1(Z_4(\eta_1=1)) = \min_{k=1..n} \eta_{4k} \quad (F2.12)$$

$$\hat{\theta}_2(Z_4(\eta_1=1)) = \max_{k=1..n} \eta_{4k} \quad (F2.13)$$

Для статистического анализа СВ η_4 был построен вариационный ряд таблица

Таблица П2.11:

Таблица П2.11

η_{4i}	3	4	5	6	7
$\eta_1=1$					
r_i	27	31	30	34	28

По данным из **Таблица П2.11** построена частотная гистограмма для СВ η_4

Рисунок П2 .6

$$\hat{\theta}_1(Z_4(\eta_1=1)) = 3 ; \hat{\theta}_2(Z_4(\eta_1=1)) = 7 .$$

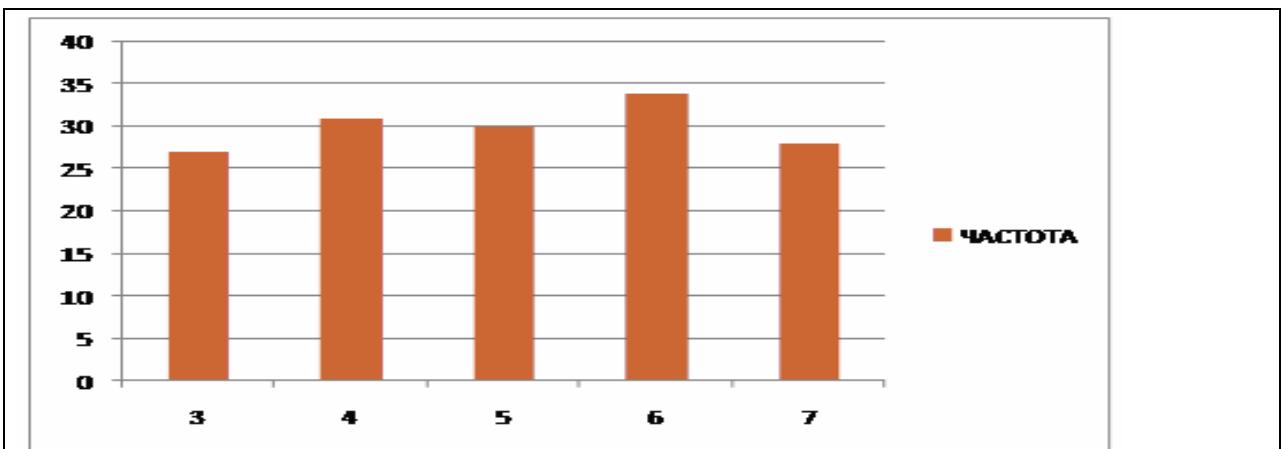


Рисунок П2.6. Частотная гистограмма СВ η_4 при условии, что $\eta_1 = 1$

Таблица П2.12. Вычисление статистики Пирсона

η_{4i} $\eta_1=1$	r_i	p_i	r_i^T	$r_i - r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
3	27	0,2	30	-3	0,3
4	31	0,2	30	1	0,033333
5	30	0,2	30	0	0
6	34	0,2	30	4	0,533333
7	28	0,2	30	-2	0,133333
	150				$\chi^2_{\text{наблюд}} = 1$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}} (\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}} (0.05; 4) = 9.48$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_4 , при условии, что СВ $\eta_1 = 1$ имеет равномерное дискретное распределение $R[3,7]$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_4(\eta_1=2) = (\eta_{41}, \dots, \eta_{4n})$, порожденная СВ η_4 , при условии, что СВ η_1 принимает значение два.

Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу H_0 : данная случайная величина имеет равномерное дискретное распределение $R[\theta_1, \theta_2]$. МП-оценки неизвестных параметров определяются как:

$$\hat{\theta}_1(Z_4(\eta_1=2)) = \min_{k=1..n} \eta_{4k} \quad (F2.14)$$

$$\hat{\theta}_2(Z_4(\eta_1=2)) = \max_{k=1..n} \eta_{4k} \quad (F2.15)$$

Для статистического анализа $CB \eta_4$ был построен вариационный ряд Таблица П2.13:

Таблица П2.13

$\eta_{4i} \eta_1=2$	2	3	4	5
r_i	39	33	46	32

$$\hat{\theta}_1(Z_4(\eta_1=2)) = 2; \hat{\theta}_2(Z_4(\eta_1=2)) = 5.$$

По данным из Таблица П2.13 построена частотная гистограмма для $CB \eta_4$

Рисунок П2.7.

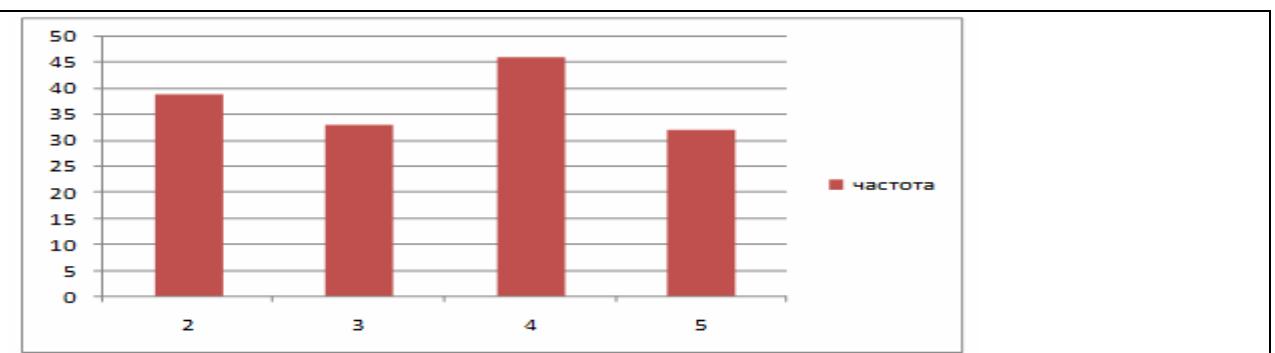


Рисунок П2.7. Частотная гистограмма $CB \eta_4$ при условии, что $\eta_1 = 2$

Таблица П2.14. Вычисление статистики Пирсона

$\eta_{4i} \eta_1=2$	r_i	p_i	r_i^T	$r_i - r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
2	39	0,25	37,5	1,5	0,06
3	33	0,25	37,5	-4,5	0,54
4	46	0,25	37,5	8,5	1,926667
5	32	0,25	37,5	-5,5	0,806667
	150				$\chi^2_{\text{наблюд}} = 3,333333$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}}(\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}}(0.05; 3) = 7.814$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что $CB \eta_4$, при условии, что $CB \eta_1 = 2$ имеет равномерное дискретное распределение $R[2,5]$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_4(\eta_1=3) = (\eta_{41}, \dots, \eta_{4n})$, порожденная $CB \eta_4$, при условии, что $CB \eta_1$ принимает значение три. Размер выборки $n=253$. Выдвигаем основную гипотезу H_0 : данная случайная

величина имеет равномерное дискретное распределение $R[\theta_1, \theta_2]$. МП- оценки неизвестных параметров определяются как:

$$\hat{\theta}_1(Z_4(\eta_1 = 3)) = \min_{k=1..n} \eta_{4k} \quad (F2.16)$$

$$\hat{\theta}_2(Z_4(\eta_1 = 3)) = \max_{k=1..n} \eta_{4k} \quad (F2.17)$$

Для статистического анализа $CB \eta_4$ был построен вариационный ряд Таблица П2.15:

Таблица П2.15

$\eta_{4i} \eta_1 = 3$	2	3	4
r_i	90	84	79

$$\hat{\theta}_1(Z_4(\eta_1 = 3)) = 2 ; \hat{\theta}_2(Z_4(\eta_1 = 3)) = 3 .$$

По данным из таблицы П2.15 построена частотная гистограмма для СВ η_4

Рисунок П2.8.

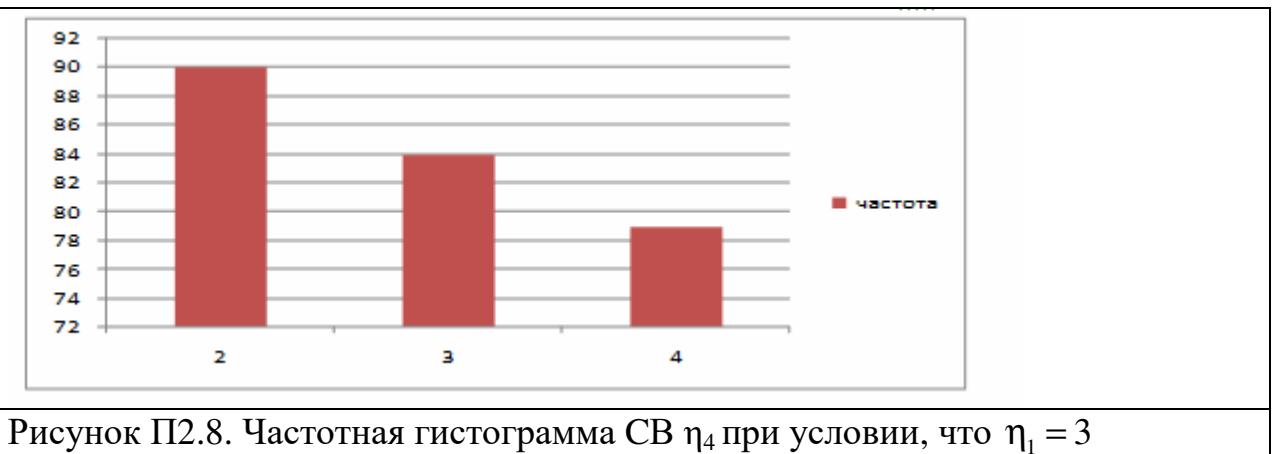


Рисунок П2.8. Частотная гистограмма СВ η_4 при условии, что $\eta_1 = 3$

Таблица П2.16. Вычисление статистики Пирсона

$\eta_{4i} \eta_1 = 3$	r_i	p_i	r_i^T	$r_i - r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
2	90	0,333333	84,333333	5,666667	0,380764
3	84	0,333333	84,333333	-0,333333	0,001318
4	79	0,333333	84,333333	-5,333333	0,337286
	253				$\chi^2_{\text{наблюд}} = 0,719368$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}} (\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}} (0.05; 2) = 5.99$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_4 , при условии, что СВ $\eta_1 = 3$ имеет равномерное дискретное распределение $R[2,4]$

Из системы мониторинга получена выборка $Z_5 = (\eta_{51}, \dots, \eta_{5n})$, порожденная СВ η_5 , характеризующая количество коробок с габаритными деталями на паллете. Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу: H_0 : данная случайная величина имеет нормальное распределение. Эта гипотеза правомерна, так как сумма большого числа разнотипных элементов имеет распределение близкое к нормальному закону. Нормальное распределение имеет два независимых параметра $N(\theta_1, \theta_2)$. МП-оценкой параметра θ_1 является выборочное среднее, а параметром θ_2 – выборочная дисперсия. Так как количество наблюдений достаточно велико, то для оценки дисперсии нормального закона распределения можно использовать выборочную дисперсию, а не исправленную выборочную дисперсию.

$$\hat{\theta}_1(Z_5) = m^*_{\eta_5} \text{ (F2.18)}, \quad \hat{\theta}_2(Z_5) = d^*_{\eta_5} \text{ (F2.19)}, \quad m^*_{\eta_5} = M^*[\eta_5] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{5,i} \text{ (F2.20)},$$

$$d^*_{\eta_5} = D^*[\eta_5] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\eta_{5,i} - m^*_{\eta_5})^2 \text{ (F2.21)}$$

Для статистического анализа СВ η_5 был построен вариационный ряд таблица П2.17:

Таблица П2.17.

$\eta_{5,i}$	2	3	4	5	6	7
r_i	4	24	45	52	21	4

По данным из таблицы **П2.17** построена частотная гистограмма для СВ η_5 рис. П2.9.

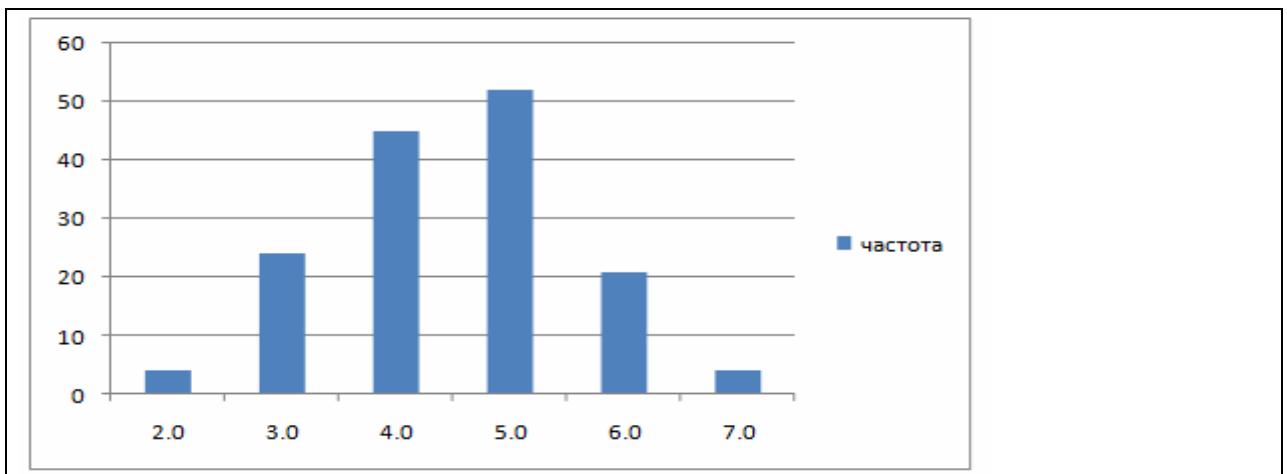


Рисунок П2.9. Частотная гистограмма СВ η_5
Проверка гипотез о виде распределения.

1. Проверим гипотезу H_0 с помощью критерия согласия Пирсона.

Наблюдаемое значение статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_i - r_i^T)^2}{r_i^T}$, r_i –

эмпирические частоты, r_i^T – теоретические частоты .

Теоретические вероятности p_i , $i=1..m$, m - количество значений случайной величины, $m=6$.

$$p_i = h \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{d_{\eta_5}^*}} \cdot \exp\left\{-\frac{(\eta_{5,i} - m_{\eta_5}^*)^2}{2d_{\eta_5}^*}\right\} \quad (F2.22)$$

$$r_i^T = \frac{n \cdot h}{\sqrt{d_{\eta_5}^*}} \Phi_i \quad (F2.23)$$

Вычислим теоретические частоты, учитывая, что:

$$n = 150, h=1 \text{ (ширина интервала)}, \hat{\theta}_2(Z_5) = 1.17, \hat{\theta}_1(Z_5) = m_{\eta_5}^* = 4.49$$

Таблица П2.18. Вычисление статистики Пирсона

$\eta_{5,i}$	r_i	Φ_i	r_i^T	$r_i - r_i^T$	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
2	4	0,0277	3.8414	-0.1586	0.00655
3	24	0,1518	21.0513	-2.9487	0.413
4	45	0,3589	49.7714	4.7714	0.457
5	52	0,3572	49.5357	-2.4643	0.123
6	21	0,1497	20.76	-0.24	0.00277

7	4	0,027	3.7443	-0.2557	0.0175	
\sum	150		150		$\chi^2_{\text{наблюд}} = 1.02$	

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}} (\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}} (0.05; 3) = 7.81$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_5 имеет нормальное распределение $N(4.49, 1.17)$

Из системы мониторинга получена выборка $Z_6 = (\eta_{61}, \dots, \eta_{6n})$, порожденная СВ η_6 , характеризующая количество коробок с негабаритными деталями на паллете. Размер выборки $n=150$. Выдвигаем основную гипотезу: H_0 : данная случайная величина имеет нормальное распределение. Эта гипотеза правомерна, так как сумма большого числа разнотипных элементов имеет распределение близкое к нормальному закону. Нормальное распределение имеет два независимых параметра $N(\theta_1, \theta_2)$. МП-оценкой параметра θ_1 является выборочное среднее, а параметром θ_2 – выборочная дисперсия. Так как количество наблюдений достаточно велико, то для оценки дисперсии нормального закона распределения можно использовать выборочную дисперсию, а не исправленную выборочную дисперсию.

$$\hat{\theta}_1(Z_6) = m^*_{\eta_6} \text{ (F2.24)}; \hat{\theta}_2(Z_6) = d^*_{\eta_6} \text{ (F2.25)}; m^*_{\eta_6} = M^*[\eta_6] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{6,i} \text{ (F2.26)};$$

$$d^*_{\eta_6} = D^*[\eta_6] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\eta_{6,i} - m^*_{\eta_6})^2 \text{ (F2.27)}$$

Для статистического анализа СВ η_6 был построен вариационный ряд таблица П2.19:

Таблица П2.19

$\eta_{6,i}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
r_i	2	2	9	15	25	20	33	19	12	9	2	2

По данным из таблицы П2.19 построена частотная гистограмма для СВ η_6

Рисунок П2.10.

Проверка гипотез о виде распределения.

1. Проверим гипотезу H_0 с помощью критерия согласия Пирсона.

$$\text{Наблюдаемое значение статистики Пирсона } \chi^2_{\text{наблюд}} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_i - r_i^T)^2}{r_i^T} , \quad r_i -$$

эмпирические частоты, r_i^T - теоретические частоты .

Теоретические вероятности p_i , $i=1..m$, m - количество значений случайной величины , $m=12$.

$$p_i = h \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{d_{\eta_6}^*}} \cdot \exp\left\{-\frac{(\eta_{6,i} - m_{\eta_6}^*)^2}{2d_{\eta_6}^*}\right\} \quad (\text{F2.28})$$

$$r_i^T = \frac{n \cdot h}{\sqrt{d_{\eta_6}^*}} \Phi_i \quad (\text{F2.29})$$

Вычислим теоретические частоты, учитывая, что:

$n = 150$, $h=1$ (ширина интервала), $\hat{\theta}_2(Z_6) = 4.66$, $\hat{\theta}_1(Z_6) = m_{\eta_6}^* = 7.43$

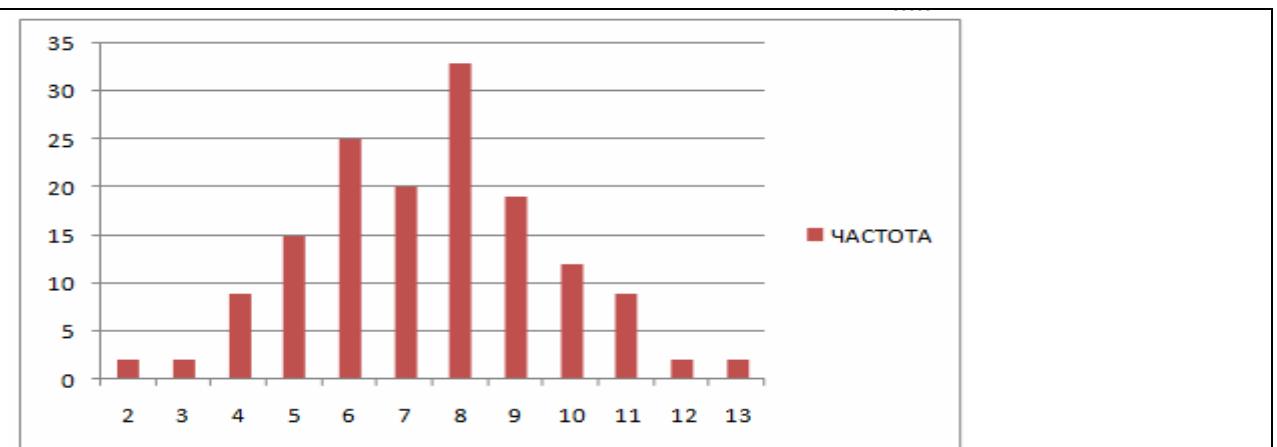


Рисунок П2 .10. Частотная гистограмма СВ η_6

Таблица П2.20. Вычисление статистики Пирсона

$\eta_{6,i}$	Φ_i	r_i^T	r_i	Слагаемые статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}}$
2	0.0167	1.157	2	0.614
3	0.0488	3.382	2	0.565
4	0.1127	7.81	9	0.181
5	0.2107	14.601	15	0.0109
6	0.3187	22.085	25	0.385
7	0.3902	27.039	20	1.833

8	0.3847	26.658	33	1.509
9	0.3056	21.177	19	0.224
10	0.1965	13.617	12	0.192
11	0.1023	7.089	9	0.515
12	0.0431	2.987	2	0.326
13	0.0143	0.991	2	1.028
Σ			150	$\chi^2_{\text{наблюд}} = 7.381$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}} (\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}} (0.05; 9) = 16.91, \chi^2_{\text{наблюд}} = 7.381$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_6 имеет нормальное распределение $N(7.43, 4.66)$.

Из системы мониторинга получена выборка $Z_7 = (\eta_{71}, \dots, \eta_{7n})$, порожденная СВ η_7 , характеризующая количество негабаритных деталей в коробке.

Размер выборки $n=148$. Выдвигаем основную гипотезу: H_0 : данная случайная величина имеет нормальное распределение. Эта гипотеза правомерна, так как сумма большого числа разнотипных элементов имеет распределение близкое к нормальному закону. Нормальное распределение имеет два независимых параметра $N(\theta_1, \theta_2)$. МП-оценкой параметра θ_1 является выборочное среднее, а параметром θ_2 – выборочная дисперсия. Так как количество наблюдений достаточно велико, то для оценки дисперсии нормального закона распределения можно использовать выборочную дисперсию, а не исправленную выборочную дисперсию.

$$\hat{\theta}_1(Z_7) = m^*_{\eta_7} \quad (F2.30); \quad \hat{\theta}_2(Z_7) = d^*_{\eta_7} \quad (F2.31); \quad m^*_{\eta_7} = M^*[\eta_7] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{7,i} \quad (F2.32);$$

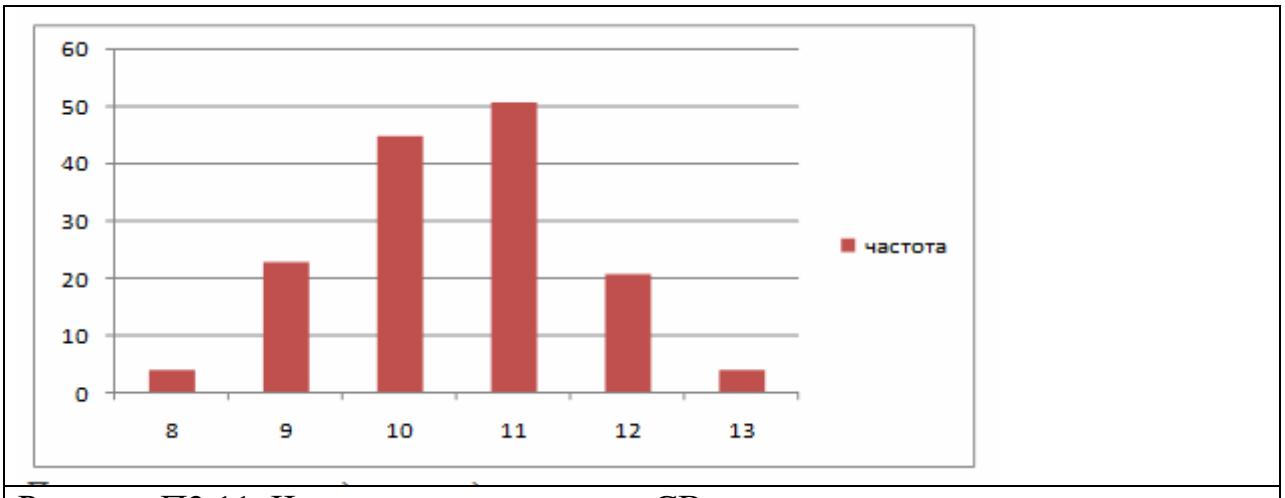
$$d^*_{\eta_7} = D^*[\eta_7] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\eta_{7,i} - m^*_{\eta_7})^2 \quad (F2.33)$$

Для статистического анализа СВ η_7 был построен вариационный ряд таблица **П2.21:**

Таблица П2.21

$\eta_{7,i}$	8	9	10	11	12	13
r_i	4	23	45	51	21	4

По данным из таблицы **П2.21** построена частотная гистограмма для СВ η_7 рис. П2.11.

Рисунок П2.11. Частотная гистограмма СВ η_7

Проверка гипотез о виде распределения.

1. Проверим гипотезу H_0 с помощью критерия согласия Пирсона.

Наблюдаемое значение статистики Пирсона $\chi^2_{\text{наблюд}} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_i - r_i^T)^2}{r_i^T}$, r_i –

эмпирические частоты, r_i^T – теоретические частоты.

Теоретические вероятности p_i , $i=1..m$, m – количество значений случайной величины, $m=6$.

$$p_i = h \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{d_{\eta_7}^*}} \cdot \exp\left\{-\frac{(\eta_{7,i} - m_{\eta_7}^*)^2}{2d_{\eta_7}^*}\right\} \quad (F2.34)$$

$$r_i^T = \frac{n \cdot h}{\sqrt{d_{\eta_7}^*}} \Phi_i \quad (F2.35)$$

Вычислим теоретические частоты, учитывая, что:

$$n = 148, h=1 \quad (\text{ширина интервала}), \quad \hat{\theta}_2(Z_7) = 1.17, \quad \hat{\theta}_1(Z_7) = m_{\eta_7}^* = 10.5$$

Таблица П2.21. Вычисление статистики Пирсона

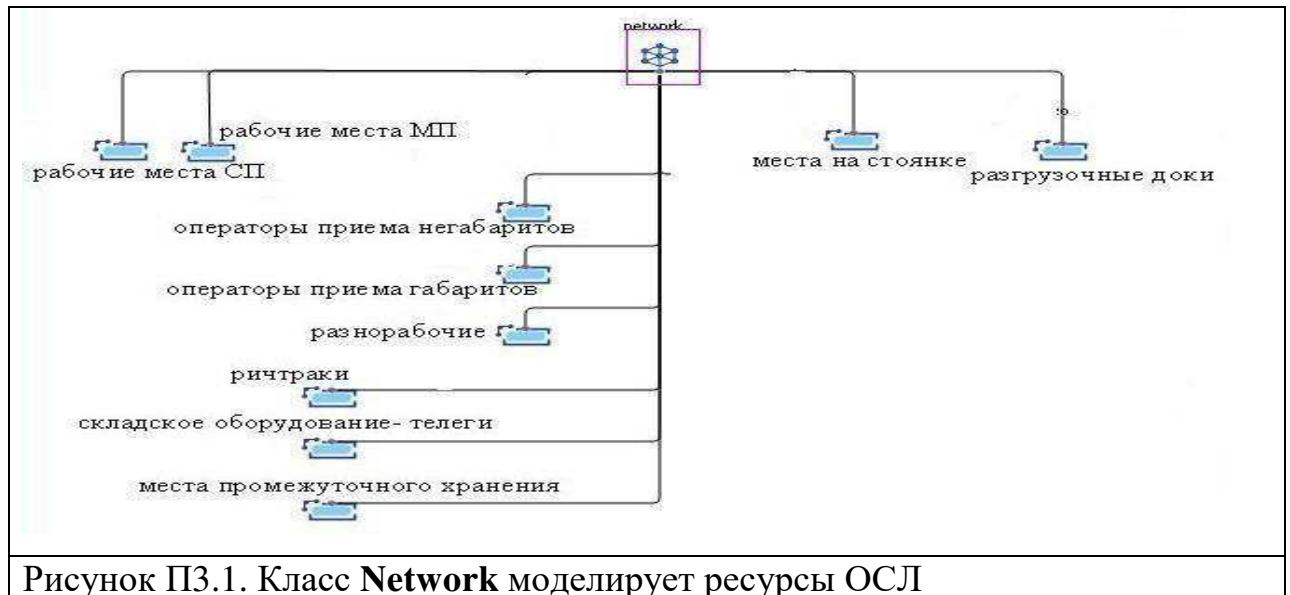
$\eta_{7,i}$	Φ_i	r_i^T	r_i	Слагаемые статистики $\chi^2_{\text{наблюд}}$
8	0.027	3.696	4	0.025
9	0.1518	20.78	23	0.237
10	0.3572	48.897	45	0.311
11	0.3572	48.897	51	0.0905
12	0.1518	20.78	21	0.00233
13	0.027	3.696	4	0.025
Σ			148	$\chi^2_{\text{наблюд}} = 0.691$

$$\chi^2_{\text{критич}} = \chi^2_{\text{критич}} (\alpha; v), \chi^2_{\text{критич}} (0.05; 3) = 7.81, \chi^2_{\text{наблюд}} = 0.69$$

Так как $\chi^2_{\text{наблюд}} < \chi^2_{\text{критич}}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу H_0 . Верно предположение о том, что СВ η_7 имеет нормальное распределение $N(10.5, 1.17)$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. РАЗРАБОТАННЫЕ КЛАССЫ, РАСШИРЯЮЩИЕ СТАНДАРТНУЮ БИБЛИОТЕКУ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Класс Network (рис. П3.1)



Класс Truck_agents_generator (рис. П3.2).

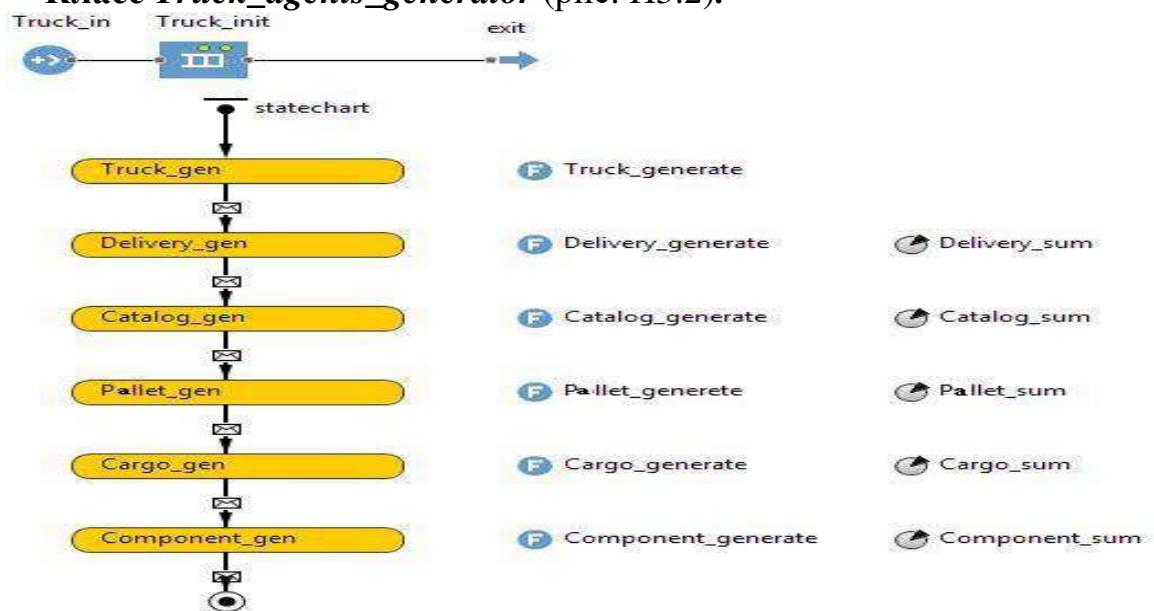


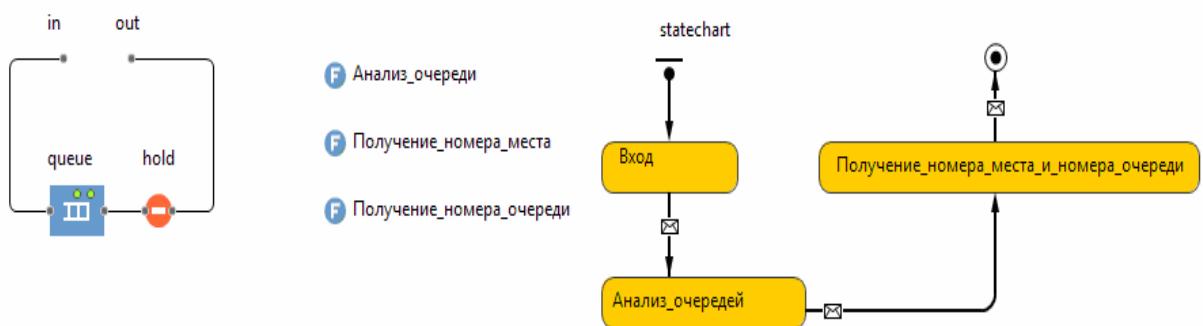
Рисунок П3.2. Реализация класса **Truck_agents_generator**
 Класс **Truck_agents_generator** реализует процесс генерации заявок иерархической структуры. При инициализации объекта **Truck()** параллельно создается множество объектов **Delivery()**, соответствующих грузовику, количество которых равно значению параметра “количество поставок в

грузовике”(Delivery_sum), множество объектов Catalog(), количество которых равно значению параметра “количество каталогов”(Catalog_sum), и по такому же принципу создаются множества объектов Pallet(), Cargo(), Components().

// Программный код для генерации случайного неординарного входного потока

```
void Init_Truck( Truck t )
{
Truck t1 = new Truck();
t1.componenG_sum = 1;
t1.componentNG_sum = floor(normal(10.5,1.18));
t1.cargoG_sum = floor(normal(4.49,1.17));
t1.cargoNG_sum = floor(normal(7.43, 4.66));
t1.palletG_sum = uniform_discr(0,3);
t1.palletNG_sum = uniform_discr(2,5);
t1.deliver_sum = uniform_discr(1,3)
t1.catalog_sum = 1;
t1.truck_id = source.out.count();
t1.Prioritet = Prioritet;
enter.take(t1);
}
```

Класс *Parking_revisor* (рис. П3. 3).



Анализ_очереди. Функция анализирует очереди к парковочным местам.

Получение_номера_очереди. Функция выбирает очередь с минимальной длиной, прибывающий грузовик помещается в эту очередь.

Получения_номера_места. Функция моделирует два сценария обслуживания очереди. I сценарий обслуживания FIFO “первый пришел, первый ушел”. II сценарий обслуживания в соответствии приоритетностью грузовика

Рисунок П3. 3. Реализация класса Parking_revisor

Класса Receiv_Doc_Unload (рис. П3.4).

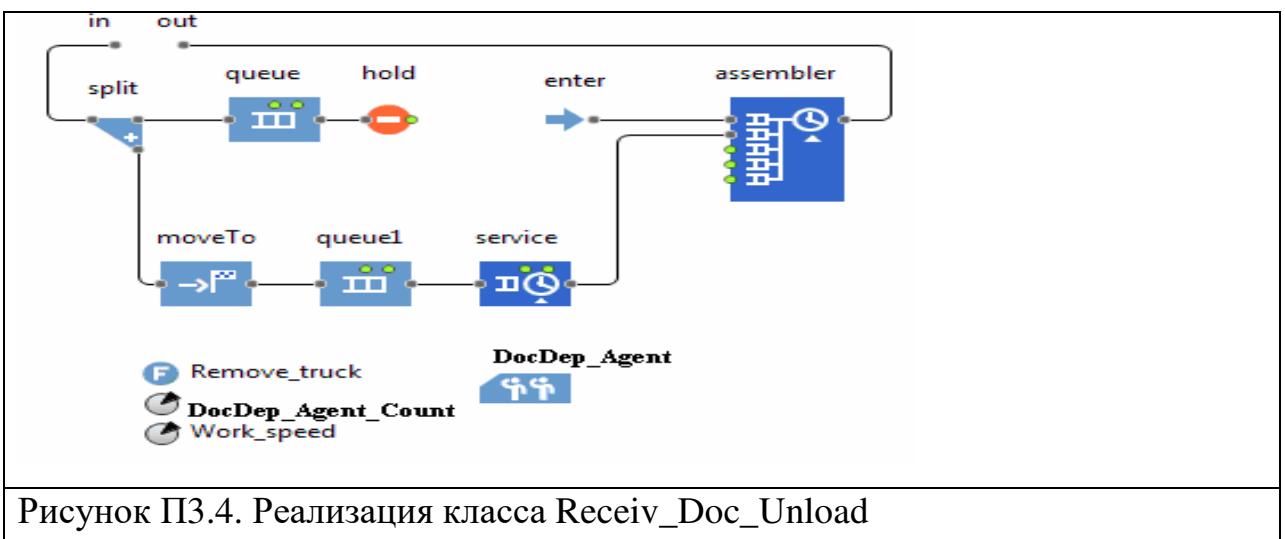


Рисунок П3.4. Реализация класса Receiv_Doc_Unload

Класс Parking_revisor_Dock (рис. П3.5). В классе анализируется наличие свободного статического ресурса (разгрузочного места) и реализован алгоритм бронирования. В классе использованы функции:

Функция *Check_Dock_Pool* анализирует очереди к разгрузочным лотам.

Функция *Set_number_dock_id* назначает номер места для разгрузки заявки типа Truck.

Функция *Set_number_dock_queue* назначает номер в очереди на разгрузку к указанному месту.

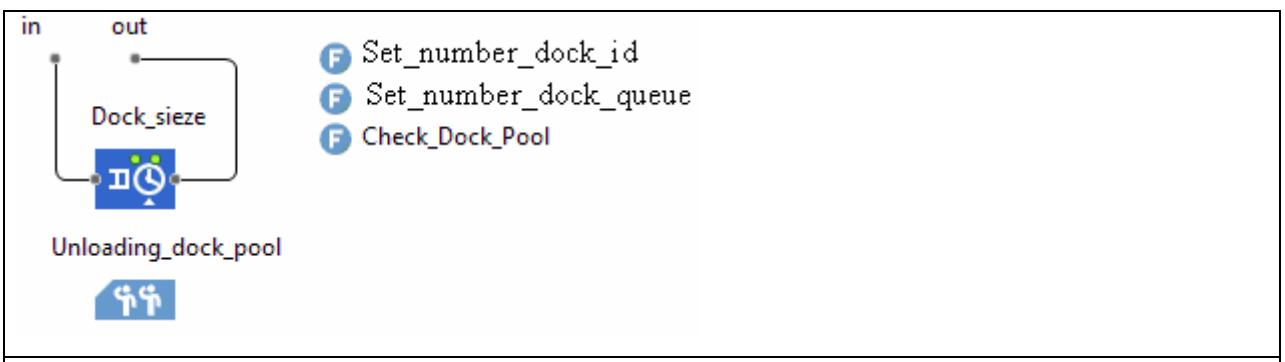


Рисунок П3.5. Реализация класса Parking_revisor_Dock

Класс Parking_in_Dock (рис. П3.6). Класс моделирует процесс “Парковка в лот”, в нем осуществляется привязка анимации к моделируемому процессу. В классе используется функция *Set_number_delivery_point* бронирования статического ресурса (место на пандусе) для объекта поставка.

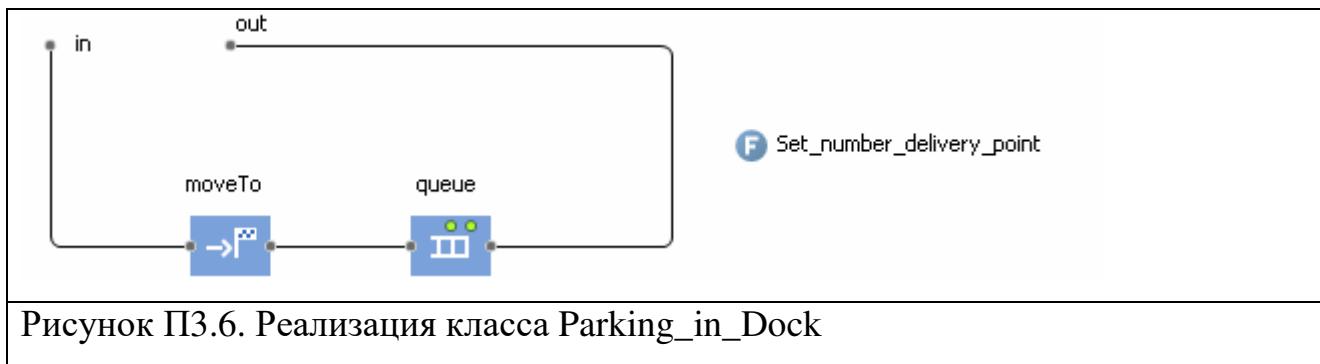


Рисунок П3.6. Реализация класса **Parking_in_Dock**

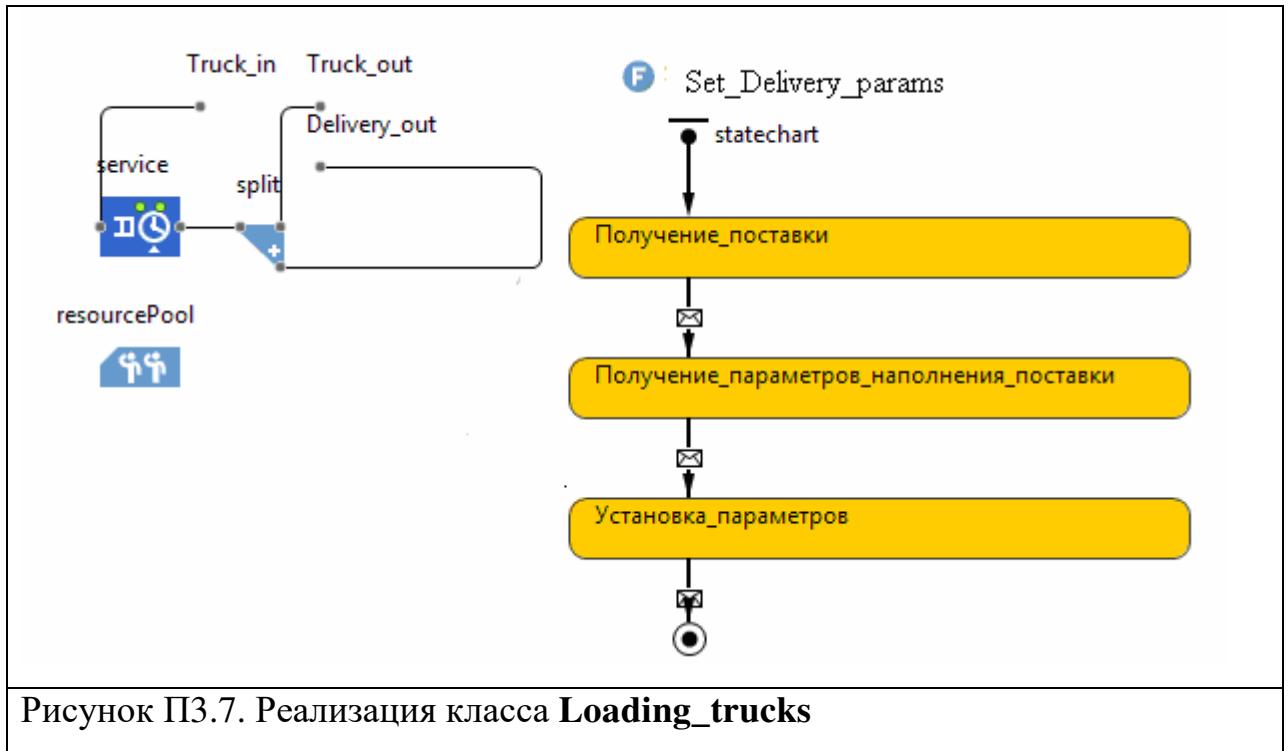


Рисунок П3.7. Реализация класса **Loading_trucks**

Функция *Set_Delivery_params*. Получает данные из объекта *Truck()* для инициализации заявок типа *Delivery*, далее отправляет информацию о количестве заявок типа *Delivery* в процессный блок *split*, который одному объекту *Truck()* ставит в соответствие объекты *Delivery()*. Функция *Set_Delivery_params* работает в соответствии с логикой, прописанной в statechart, функция реализует алгоритм инициализации параметров объекта *Delivery()*.

Класс Statist_Unload_Truck (рис. П3.8)

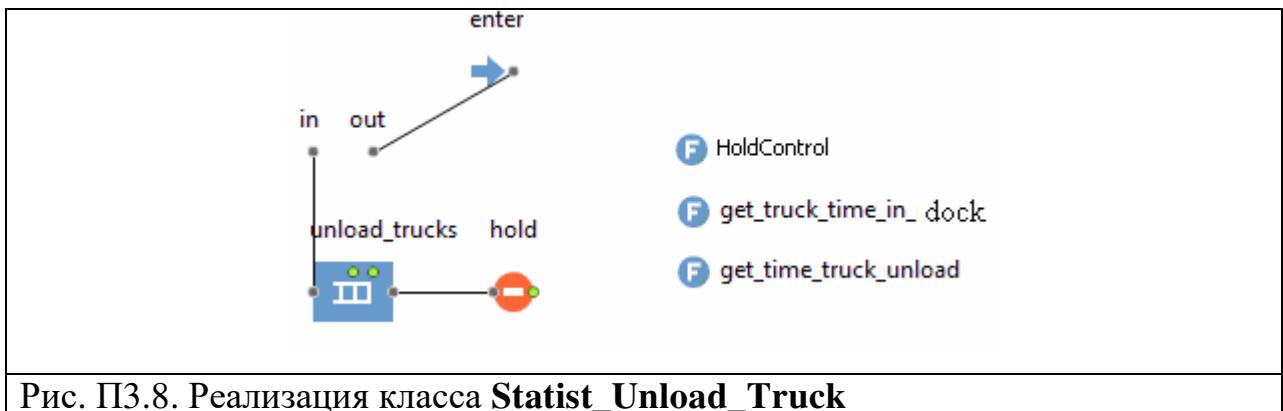


Рис. П3.8. Реализация класса **Statist_Unload_Truck**

Функция HoldControl. Управление блоком, пропускающим заявки типа Truck на выход. При поступлении в функцию сообщения о том, что последняя поставка, которую привез объект Truck() выгружена на пандус, функция дает разрешение заявки типа Truck покинуть разгрузочный док.

Функция get_truck_time_in_dock. Функция записывает во внешнюю базу данных информацию об объекте Truck(): идентификатор грузовика и время заезда в разгрузочное место.

Функция get_truck_unload. Функция записывает во внешнюю базу данных момент времени выгрузки последней поставки (выгрузка на пандус), которую привез объект Truck(), с соответствующим идентификатором.

// фрагмент программного кода, соответствующий классу Statist_Unload_Truck

```
Public SetLot_toMyTruck(Truck My_Truck, MyUnit_Lot My_Lot)
{
    Truck tempTruck = new Truck(My_truck.id, My_Lot );
    for (int i=0; i<PlaceSbor1.capacity;i++)
    {
        PlaceSbor1.getUnit(i).truck_ind= My_truck.id K;
    }
    for (int i=0;i<parameter.Parking.queue.size();i++)
    if (parameter.Parking.queue.get(i).truck_id==entity.truck_id )
    {
        parameter.Parking.queue.get(i).pollet_col--;

        if (parameter.Parking.queue.get(i).pollet_col==0)
        {
            parameter.Parking.enter4.take(parameter.Parking.queue.remove(parameter.Parking.queue.get(i)));
        }
    }
}
```

Класс Behavior_After_Unload

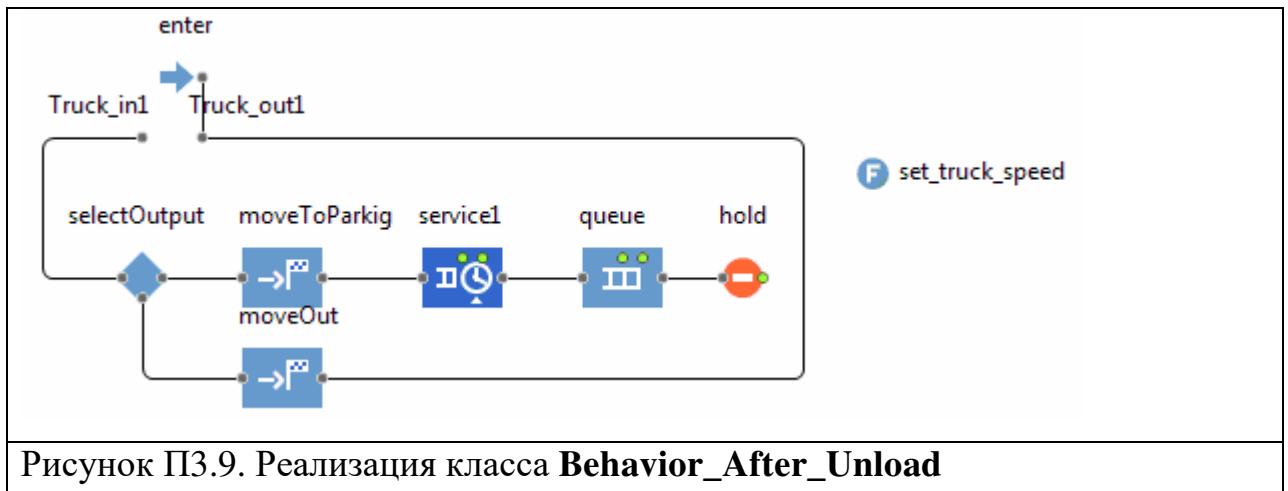


Рисунок П3.9. Реализация класса **Behavior_After_Unload**

Функция *set_truck_speed*. Функция в зависимости от весогабаритных характеристик назначает скорость движения по комплексу.

Класс Get_delivery (рис. П3.10)

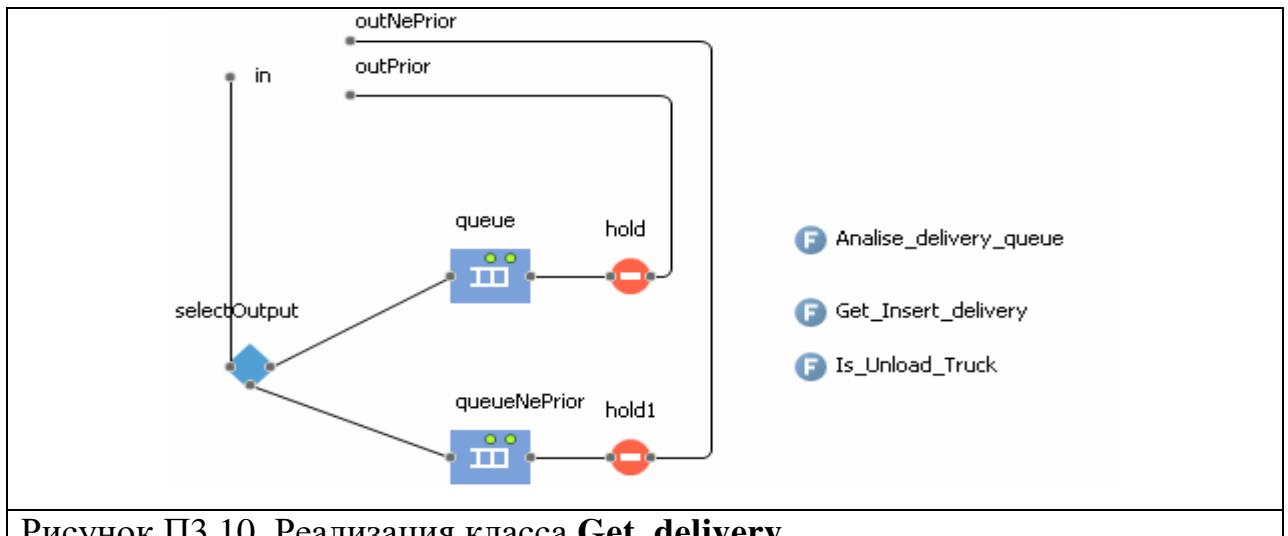


Рисунок П3.10. Реализация класса **Get_delivery**

Функция *Analise_delivery_queue*. Функция необходима для анализа неприоритетной очереди поставок, в случае если заявка типа Delivery находится в очереди больше пяти часов, поставка перенаправляется в очередь приоритетных товаров.

Функция *Get_Insert_delivery*. Удаляет заявку из неприоритетной очереди и добавляет в приоритетную очередь.

Функция *Is_Unload_Truck*. Проверяет выполнен ли процесс выгрузки поставок из грузовика.

Класс Delivery_Process (рис. П3.11)

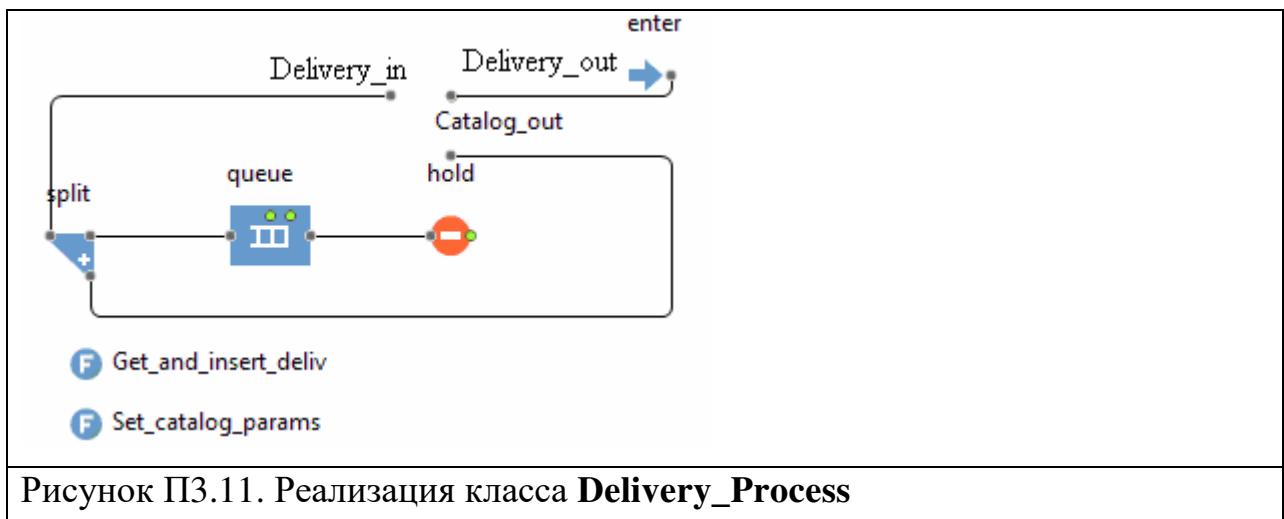


Рисунок П3.11. Реализация класса Delivery_Process

Функция Set_catalog_params. Получает данные из объекта Delivery() для инициализации заявок типа Catalog, отправляет информацию о количестве заявок типа Catalog в процессный блок split, который одному объекту Delivery() ставит в соответствие объекты Catalog(). Функция Set_catalog_params реализует алгоритм инициализации параметров объекта Catalog().

Функция Get_and_insert_deliv. Реализует механизм удаления объекта Delivery() из дискретно-событийной сети.

Класса Process_Catalog (рис. П3.12)

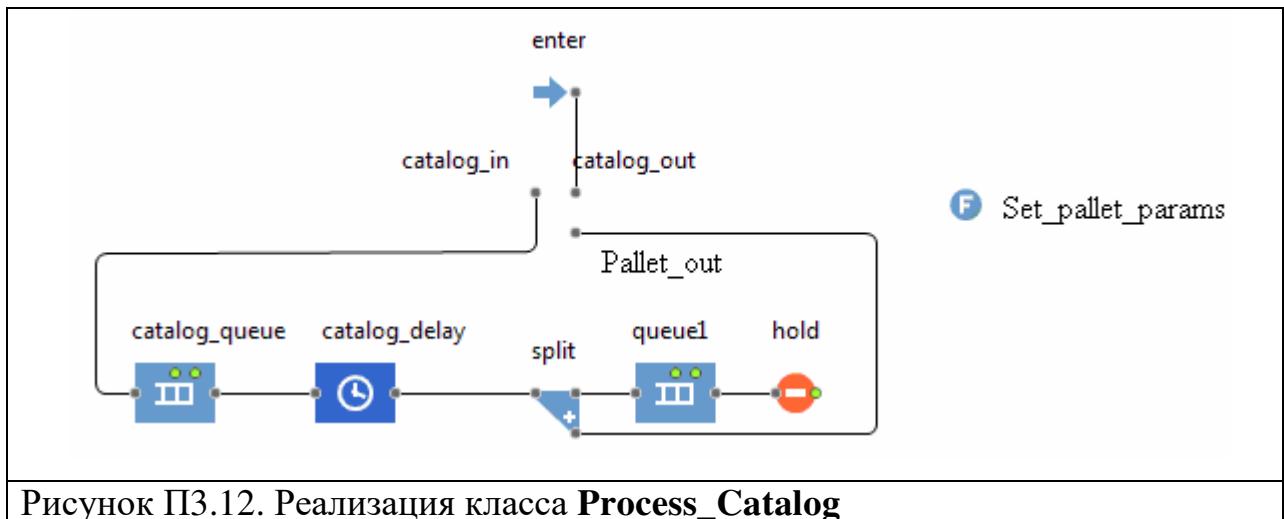


Рисунок П3.12. Реализация класса Process_Catalog

Функция Set_pallet_params. Получает данные из объекта Catalog() для инициализации заявок типа Pallet, отправляет информацию о количестве заявок типа Pallet, соответствующих инвойсу, в процессный блок split, который одному объекту Catalog() ставит в соответствие объекты Pallet(). Функция

Set_pallet_params реализует алгоритм инициализации параметров объекта *Pallet()*.

Класс *Decomp_Pallet_Cargo*(рис. П3.13)

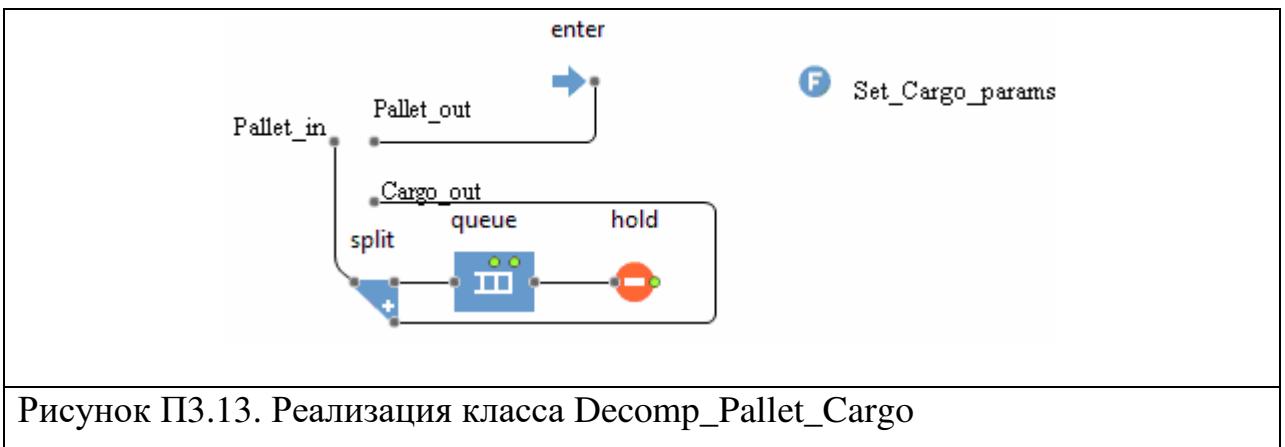


Рисунок П3.13. Реализация класса *Decomp_Pallet_Cargo*

Функция *Set_Cargo_params*. Получает данные из объекта *Pallet()* для инициализации заявок типа *Cargo*, отправляет информацию о количестве заявок типа *Cargo* в процессный блок *split*, который одному объекту *Pallet()* ставит в соответствие объекты *Cargo()*. Функция *Set_Cargo_params* реализует алгоритм инициализации параметров объекта *Cargo()*.

Класса *Decomp_Cargo_Components* (рис. П3.14)

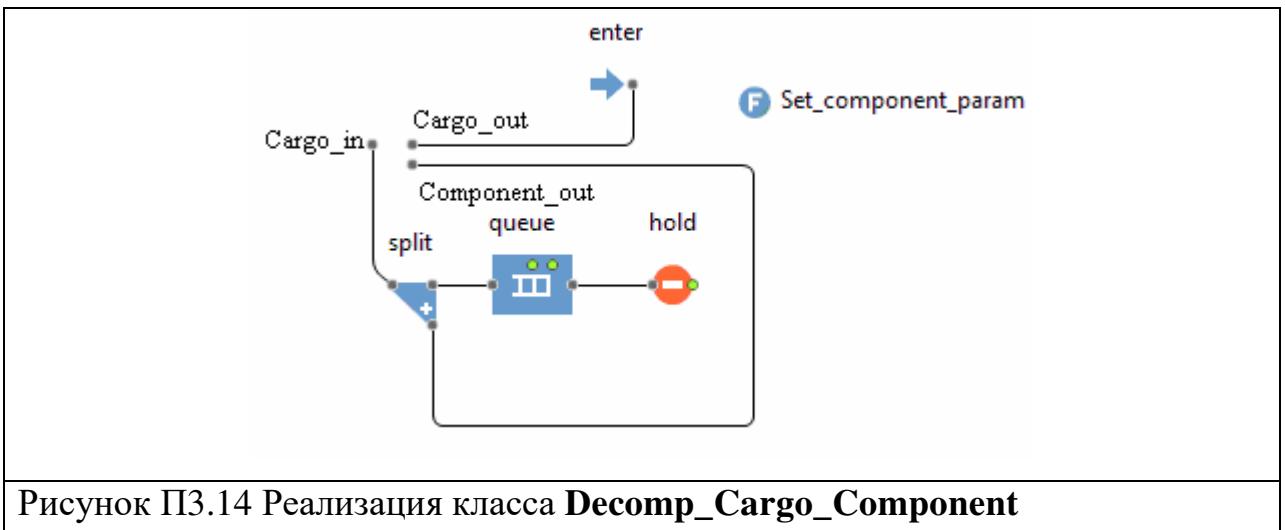


Рисунок П3.14 Реализация класса *Decomp_Cargo_Component*

Функция *Set_component_param*. Получает данные из объекта *Cargo()* для инициализации заявок типа *Components*, отправляет информацию о количестве заявок типа *Component* в процессный блок *split*, который одному объекту *Cargo()* ставит в соответствие объекты *Components()*. Функция *Set_component_param* реализует алгоритм инициализации параметров объекта *Components()*.

Класса Components_Cheat (рис. П3.15)

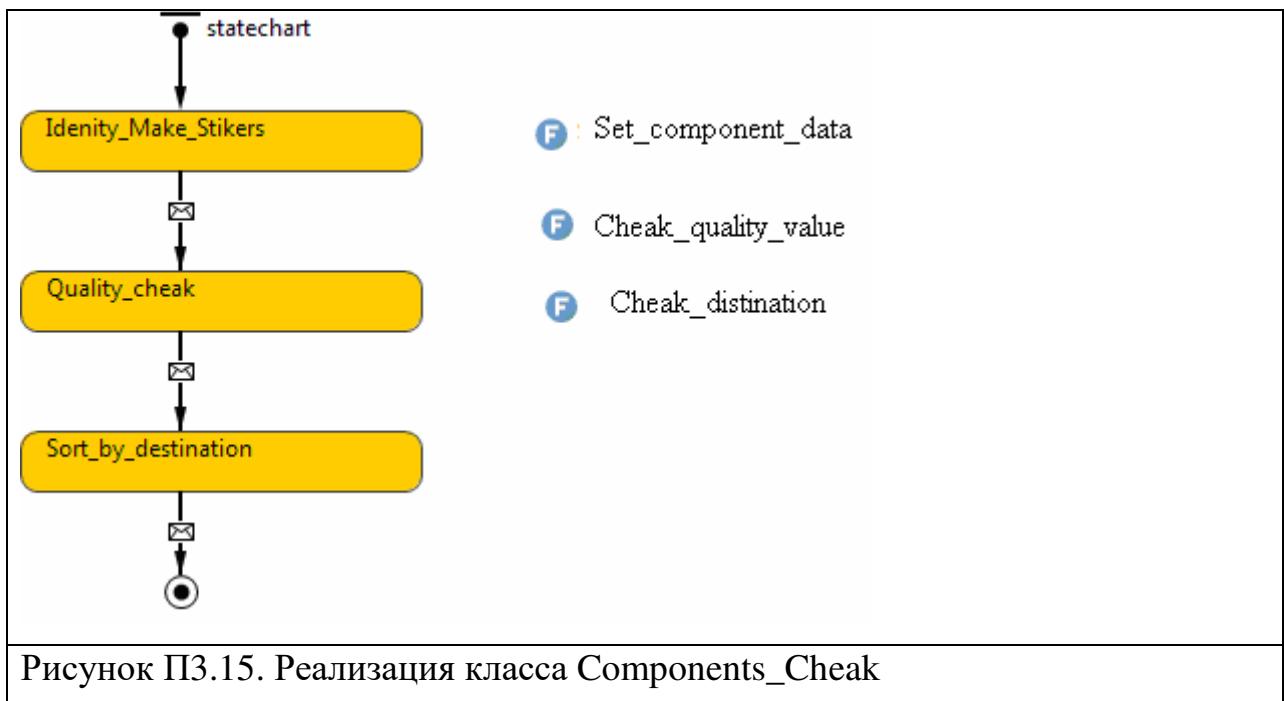


Рисунок П3.15. Реализация класса Components_Cheat

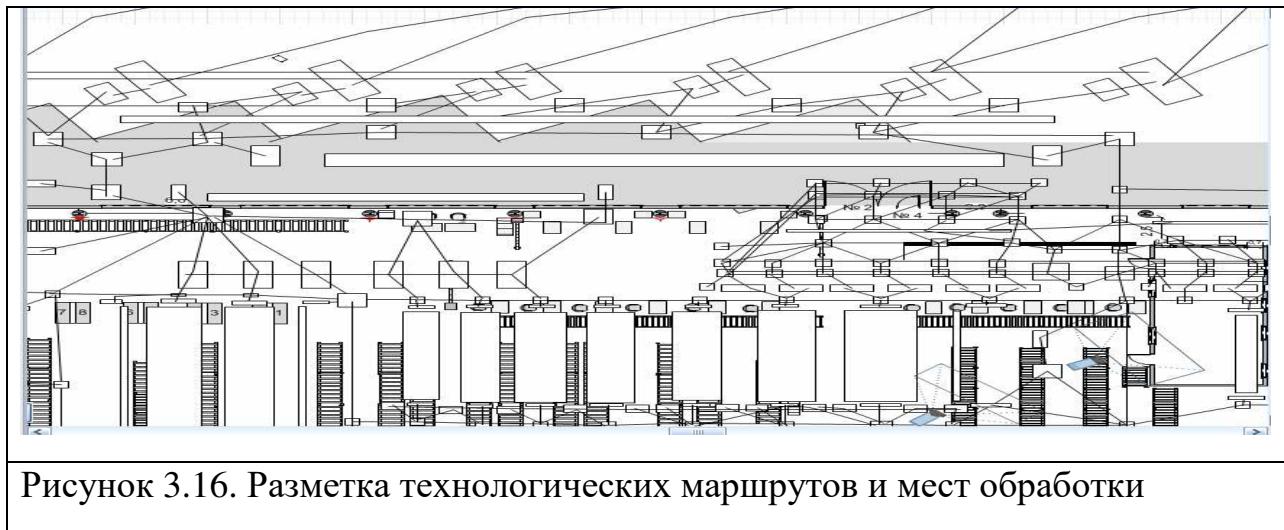
Функция Set_component_data. Необходима для инициализации дополнительных параметров объекта, таких как штрих код поставщика, штрих код склада, транспортная компания.

Функция Cheak_quality_value. Реализует механизм проверки детали на брак.

Функция Cheak_distination. Проверяет параметр объекта Component() “направление хранения” и направляет деталь, в указанное место.

Класс Modeling_route_Pallet

Реализует механизм привязки объектов Pallet() к статическим ресурсам (места ожидания на пандусе) и реализует карту маршрутов перемещения (рис. П3.16) .



// Фрагмент программного кода к классу *Modeling_route_Pallet*

```
private ShapeRectangle _Put_On_Pandus2_destinationNode_xjal( final
com.anylogic.libraries.enterprise.NetworkMoveTo<Pollet> self, Pollet entity ) {
if (entity.Gabarit){
entity.dest_node_resource=Resorse_desognation_gab(entity);
entity.Res_ind=Resorse_desognation1(entity);
traceln(" Габариты распределены по поставкам "+entity.Res_ind);
}
Else{
entity.dest_node_resource=Resorse_desognation_not Gab(entity);
entity.Res_ind=Resorse_desognation2(entity);
traceln(" Негабариты распределены по поставкам "+entity.Res_ind);
}
ShapeRectangle _value;
_value = parameter.parameter.parameter.pre_sorage1 ;
return _value;}
```

Программный код класса Pandus_revisor

```
package m1;

public class Pandus_revisor extends Agent
{
// Параметры

public
T_O1 parameter;

public T_O1 _parameter_DefaultValue_xjal() {
final Pandus_revisorself = this;
return
(T_O1)getOwner()
;
}

public void set_parameter( T_O1 parameter ) {
if (parameter == this.parameter) {
return;
```

```

}

T_O1 _oldValue_xjal = this.parameter;
this.parameter = parameter;
onChange_parameter_xjal( _oldValue_xjal );
onChange();
}

protected void onChange_parameter() {
  onChange_parameter_xjal( parameter );
}

protected void onChange_parameter_xjal( T_O1 oldValue ) {
}

public void setParametersToDefaultValues() {
  super.setParametersToDefaultValues();
  parameter = _parameter_DefaultValue_xjal();
}

public boolean setParameter(String _name_xjal, Object _value_xjal, boolean
_callOnChange_xjal) {
  switch ( _name_xjal ) {
    case "parameter":
      if ( _callOnChange_xjal ) {
        set_parameter( (T_O1) _value_xjal );
      } else {
        parameter = (T_O1) _value_xjal;
      }
      return true;
    default:
      return super.setParameter( _name_xjal, _value_xjal, _callOnChange_xjal );
  }
}

public <T> T getParameter(String _name_xjal) {
  Object _result_xjal;
  switch ( _name_xjal ) {
    case "parameter": _result_xjal = parameter; break;
    default: _result_xjal = super.getParameter( _name_xjal ); break;
  }
  return (T) _result_xjal;
}

private static String[] _parameterNames_xjal;

public String[] getParameterNames() {

```

```

String[] result = _parameterNames_xjal;
if (result == null) {
    List<String> list = new ArrayList<>( Arrays.asList( super.getParameterNames() ) );
    list.add( "parameter" );
    result = list.toArray( new String[ list.size() ] );
    _parameterNames_xjal = result;
}
return result;
}
private static Map<String, IElementDescriptor> elementDescriptors_xjal = null;

public Map<String, IElementDescriptor> getElementDescriptors() {
    if (elementDescriptors_xjal == null) {
        elementDescriptors_xjal = createElementDescriptors(super.getElementDescriptors(),
Dispecher_Ne_gabaritov_prior.class);
    }
    return elementDescriptors_xjal;
}
public com.anylogic.libraries.enterprise.Queue<
Pollet
> queue;

public String getNameOf( Agent ao ) {
    if ( ao == queue ) return "queue";
    return super.getNameOf( ao );
}

public AgentAnimationSettings getAnimationSettingsOf( Agent ao ) {
    return super.getAnimationSettingsOf( ao );
}

public String getNameOf( AgentList<?> aolist ) {
    return super.getNameOf( aolist );
}

public AgentAnimationSettings getAnimationSettingsOf( AgentList<?> aolist ) {
    return super.getAnimationSettingsOf( aolist );
}

protected com.anylogic.libraries.enterprise.Queue<Pollet> instantiate_queue_xjal() {
    com.anylogic.libraries.enterprise.Queue<Pollet> _result_xjal = new
com.anylogic.libraries.enterprise.Queue<Pollet>( getEngine(), this, null ) {
        return _result_xjal;
}

```

```

private void _queue_onEnter_xjal( final
com.anylogic.libraries.enterprise.Queue<Pollet> self, Pollet entity ) {

entity.dest_node_resource=Resorse_desognation2(entity);
entity.Res_ind=Resorse_desognation3(entity);
}

// вычисление индекса ресурса, в очередь к которому поставим поставку
// габаритов

ShapeRectangle
Resorse_desognation( Pollet t ) {

int k=0;

ShapeRectangle t1=null;

k=parameter.queue9.in.count()%parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity;
// назначили место где будет произведен разбор

t1=parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.getUnit(k).getNetworkLocation();

//traceln( " parameter.networkEnter1.in.count() " + parameter.queue9.in.count() + "
parameter.parameter.parameter.PlaceSborGabarit.capacity " +
parameter.parameter.parameter.PlaceSborGabarit.capacity+" k "+k);

return t1;
}

// вычисление индекса ресурса, в очередь к которому поставим поставку
// негабаритов
int
Resorse_desognation1( Pollet t ) {

int k=0;

ShapeRectangle t1=null;

k=parameter.queue9.in.count()%parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity;
// назначили место где будет произведен разбор

t1=parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.getUnit(k).getNetworkLocation();

```

```

//traceln( " parameter.networkEnter1.in.count() " + parameter.queue9.in.count() + "
parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity " +
parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity+" k "+k);

return k;
}

// вычисляем индекс ресурса, в очередь к которому поставим паллет из
поставки габаритов

ShapeRectangle
Resorse_desognation2( Pollet t ) {

int k=0;

ShapeRectangle t1=null;

k=queue.in.count()%parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity; //
назначили место где будет произведен разбор

t1=parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.getUnit(k).getNetworkLocation();

//


//traceln( " parameter.networkEnter1.in.count() " + parameter.queue8.in.count() + "
parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity " +
parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity+" k "+k);

return t1;
}

// вычисление индекса ресурса, в очередь к которому поставим паллет из
поставки негабаритов
int
Resorse_desognation3( Pollet t ) {

int k=0;

ShapeRectangle t1=null;

k=queue.in.count()%parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity; //
назначили место где будет произведен разбор

```

```
t1=parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.getUnit(k).getNetworkLocation();  
  
//traceln( " parameter.networkEnter1.in.count() " + parameter.queue8.in.count() + "  
parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity " +  
parameter.parameter.parameter.PlaceSbor1.capacity+" k "+k);  
  
return k;  
}
```