

На правах рукописи

МАСЛОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ

ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ
СТОХАСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ВАГОНПОТОКА

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2009

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) Федеральное агентство железнодорожного транспорта.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент
Казаков Александр Леонидович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Туранов Хабибулла Туранович

кандидат технических наук, профессор
Лысенко Николай Евгеньевич

Ведущая организация – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Защита диссертации состоится « » ноября 2009 года в ____ часов в ауд. 283 на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 при Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66. Тел./факс: (343) 358-55-10

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2009 г.

Отзывы на автореферат, в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета по почте.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

Асадченко В.Р.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время Свердловская область становится важным логистическим центром. В связи с этим в Екатеринбурге и его окрестностях появились новые грузовые терминалы, обрабатывающие тарно-штучные грузы. Они обслуживают преимущественно автомобильные грузопотоки. При этом роль железнодорожного транспорта по перевозке грузов в структуре вновь образованных логистических систем снижается.

На примере Екатеринбурга и Свердловской области установлено, что количество мест переработки грузов в транспортном узле растет, исходя из интересов отдельных субъектов. Эти объекты строятся без учета современных тенденций и передового опыта проектирования и эксплуатации грузовых железнодорожных станций, который показывает, что грузы должны перерабатываться в железнодорожном узле на как можно меньшем количестве хорошо оснащенных станций. Таким образом, в отсутствие интегрированной концепции организации грузового терминального хозяйства в транспортном узле, реализуется неоптимальная технология переработки грузо- и вагонопотоков.

Указанные выше проблемы могут быть решены путем организации современных логистических систем, включающих грузовые железнодорожные станции общего пользования, отвечающие современным требованиям логистики. Это позволит повысить эффективность и конкурентоспособность железнодорожного транспорта. Техничко-технологические параметры функционирования таких станций, с участием которых могут быть созданы современные логистические системы, требуют специального подхода. Реализация такого подхода возможна при помощи двухуровневой модели, включающей в себя оптимизационную модель логистической системы и имитационную модель железнодорожной грузовой станции. Имитационная модель станции должна позволять учитывать влияние ритмов работы железнодорожного транспорта на логистическую систему.

Целью диссертационной работы является разработка методики определения оптимальных технико-технологических параметров функционирования грузовых станций в условиях их включения в структуру логистических систем для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта и повышения эффективности его работы. Для достижения поставленной цели сформулированы **следующие задачи:**

- 1) Анализ современного состояния теории и практики логистики, технических и технологических параметров железнодорожных грузовых станций;
- 2) Исследование современных логистических систем и оценка роли железнодорожных грузовых станций в их структуре;
- 3) Разработка математической модели входящего на грузовую станцию вагонопотока, учитывающей его суточную неравномерность;
- 4) Создание имитационной модели вагонопотока, реализующей предложенную в работе математическую модель;
- 5) Апробация созданной модели вагонопотока с использованием имитационной модели работы грузовой станции;
- 6) Разработка на основе применения построенных моделей методики определения оптимальных технико-технологических параметров функционирования грузовой станции, интегрированной в логистическую систему.

Объектом исследования является грузовая станция железнодорожного транспорта общего пользования как элемент структуры логистической системы.

Предметом исследования является влияние суточной неравномерности входящего на грузовую станцию вагонопотока на ее технико-технологические параметры функционирования в структуре логистической системы.

Методы исследования. В работе использованы методы теорий: логистики, прогнозирования, управления запасами, а также методы математического моделирования: теории систем массового обслуживания, системного анализа, математической статистики, имитационного моделирования.

Научная новизна работы.

- 1) Предложена математическая модель входящего на грузовую станцию вагонопотока, учитывающая его суточную неравномерность и описывающая поток как немарковский случайный процесс с наличием последствия;
- 2) Создана и апробирована имитационная модель вагонопотока, реализующая предложенную математическую модель;
- 3) Предложена новая методика определения параметров распределения случайных величин, являющаяся адаптированной модификацией метода «минимум хи-квадрат»;
- 4) Модифицирована и применена для описания вагонопотока модель описания телетрафика, предложенная Г. Поттгоффом (G. Pottgoff);
- 5) Предложена двухуровневая модель расчета параметров управления запасами и транспортировкой логистической системы, построенной на базе концепции «точно в срок», включающей железнодорожную грузовую станцию;
- 6) Разработана методика определения оптимальных технико-технологических параметров функционирования грузовых станций железнодорожного транспорта общего пользования, функционирующих в структуре логистической системы, основанная на применении предложенной двухуровневой модели.

Практическая значимость исследования. Результаты исследования направлены на внедрение разработанной методики специалистами в области железнодорожного транспорта и логистики в процессе построения логистических систем, включающих железнодорожные грузовые станции.

- 1) Реализация предложений работы позволяет определять условия интеграции существующих грузовых станций железнодорожного транспорта общего пользования в логистические системы, а также устанавливать те параметры работы этих систем, которые зависят от функционирования включенных в них железнодорожных грузовых станций.
- 2) При реконструкции существующих грузовых станций общего пользования с целью включения их в структуру логистических систем, предлагаемая методика позволяет установить оптимальные технико-технологические параметры их функционирования.

Основные научные и практические результаты, полученные лично автором:

- 1) Создана математическая модель вагонопотока,
- 2) Создана имитационная модель, реализующая предложенную математическую модель;
- 3) Модифицирована и применена для описания вагонопотока модель описания телетрафика, предложенная Г. Поттгоффом (G. Pottgoff);
- 4) Предложена методика определения параметров распределения случайных величин;
- 5) Предложена двухуровневая модель логистической системы;

- 6) Создана методика определения оптимальных технико-технологических параметров функционирования грузовых станций железнодорожного транспорта, функционирующих в логистических системах.

На защиту выносятся:

- 1) Математическая модель вагонопотока, входящего на грузовую станцию железнодорожного транспорта общего пользования.
- 2) Имитационная модель, реализующая предложенную математическую модель.
- 3) Двухуровневая модель расчета параметров управления запасами и транспортировкой логистической системы, построенной на базе концепции «точно в срок», включающей железнодорожную грузовую станцию.
- 4) Методика определения оптимальных технико-технологических параметров функционирования грузовых станций железнодорожного транспорта общего пользования, интегрированных в структуру логистической системы.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на международной научно - технической конференции «Наука, инновации, образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России» (Екатеринбург, УрГУПС, 2006); на Седьмой межвузовской научно - технической конференции «Молодые учёные – транспорту» (Екатеринбург, УрГУПС, 2007); на XXVIII Российской школе «Наука и технологии» (Миасс, МСНТ, 2008); на Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании» (Алматы-Новосибирск, ИВТ СО РАН, КазНУ, 2008); на 14-ой Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (с международным участием) (Иркутск, 2009).

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 12 печатных работах. Общий объём публикаций 10,7 п.л., из которых автору принадлежит 6,1 п.л. Две статьи опубликованы в издании «Транспорт Урала», входящем в перечень изданий рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций, остальные статьи опубликованы в журналах «Вычислительные технологии» и «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование», изданиях ВИНТИ и СО РАН, в сборниках научных трудов УрГУПС.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и десяти приложений. Содержание изложено на 196 машинописных страницах, в том числе включает 33 таблицы 52 рисунка и 10 приложений. Библиографический список содержит 170 наименований.

Автор выражает признательность Т.Н. Федотовой, С.А. Плахотичу, М.А. Журавской за полезные обсуждения и ценные советы, а также Н.Ф. Сириной и С.А. Плахотичу за поддержку и создание условий при выполнении работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности научной проблемы, формулирование цели и задач исследования, изложение основных направлений научной работы для решения задач и достижения сформулированной цели.

В первой главе диссертации дан анализ современного научного и практического состояния логистики, а также теорий проектирования и эксплуатации грузовых станций железнодорожного транспорта общего пользования.

Анализ показал, что основной парадигмой современной логистики становится интегральный подход. Для оценки возможности и условий интеграции железнодорожных грузовых станций общего пользования в современные логистические системы в данной диссертации исследованы история их развития и современное состояние теорий проектирования и эксплуатации.

Изучением различных аспектов функционирования железнодорожных грузовых станций занимались В.М. Акулиничев, В.И. Апатцев, Ю.А. Бабкин, Г.Ф. Бабушкин, Е.А. Ветухов, А.К. Головнич, В.Н. Кустов, Д.Ю. Левин, С. И. Логинов, Н.Е. Лысенко, О.Б. Маликов, Н.В. Негрей, В.М. Николашин, А.Т. Осьминин, В.В. Повороженко, И.Е. Савченко, П.П. Садиков, А.Г. Седых, В.М. Семенов, К.Ю. Скалов, А.А. Смехов, Н.К. Сологуб, Е.А. Сотников, В.А. Шаров и другие. Большой вклад в теорию и методологию проектирования и эксплуатации железнодорожных станций и узлов, который определяет общие современные тенденции и требования к исследованиям железнодорожных грузовых станций, внесли А.Э. Александров, Е.В. Архангельский, Ю.И. Ефименко, Б.Б. Жардемов, П.А. Козлов, В.М. Николашин, В.Н. Образцов, В.А. Персианов, Н.В. Правдин.

Наиболее эффективным представляется исследование грузовых станций с помощью двухуровневой модели, состоящей из оптимизационной модели, имитационной модели станции и блока их стыковки. Таким образом, появляется возможность производить оценку функционирования станции на микроуровне, для которого большое значение имеют флуктуации и макроуровне, на котором производится оптимизация работы, и применяются детерминированные зависимости.

Одной из актуальных задач исследования железнодорожных грузовых станций является создание стохастических моделей транспортных и грузовых потоков. В настоящее время теоретический аппарат систем массового обслуживания в достаточной мере развит только для марковских систем массового обслуживания. Для немарковских систем, к которым, в частности, относятся процессы, связанные с транспортными и грузовыми потоками, практически отсутствуют серьезные аналитические результаты. Кроме этого актуальным является изучение взаимодействия станции и внешней среды. В качестве внешней среды для железнодорожных грузовых станций на современном этапе целесообразно рассматривать логистические системы.

Вторая глава посвящена описанию логистической системы, задающей систему критериев оптимизации технико-технологических параметров функционирования интегрируемой железнодорожной грузовой станции. Исследована возможность построения крупных логистических терминалов на базе грузовых станций железнодорожного транспорта общего пользования в структуре логистической системы. За основу взята одна из наиболее известных существующих систем – «ИТ» («Точно в срок»).

Основной грузовой поток на таких терминалах будет поступать с железнодорожного транспорта (рис. 1). Часть его будет перерабатываться по технологии «кросс докинг» (приёмка и отгрузка товаров и грузов через склад напрямую, без размещения в зоне длительного хранения), остальная часть поступает в зону длительного хранения с целью пополнения запаса товаров клиентов терминала. После сортировки в процессе «кросс докинга» и сборки заказов из зоны длительного хранения грузовые потоки отгружаются на автомобильный либо железнодорожный транспорт для доставки конечному потребителю.

Отличительной чертой таких терминалов от обычных грузовых станций железнодорожного транспорта общего пользования будет то, что кроме перевалки груза с одного вида транспорта на другой, здесь также предусмотрено управление запасами и спектр дополнительных логистических услуг.

Не имея возможности напрямую влиять на характеристики потребности в запасе, в процессе управления материальным потоком обычно стремятся снизить риски за счет влияния на модель пополнения запаса. В большинстве случаев управление запасами происходит по классическим схемам с применением моделей с фиксированным размером заказа и с фиксированным интервалом времени между заказами, а также их различных производных и сочетаний. Чтобы оптимизировать уровень желаемого запаса в диссертации применяется модель «точно в срок». Преимуществом этой модели является то, что она позволяет минимизировать уровень запаса. Таким образом, предлагаемая модель терминала способна обслуживать достаточно большое для железнодорожных грузовых станций общего пользования количество клиентов, так как уровень запаса хранимых товаров каждого из них будет минимизирован.

Чем меньше время доставки груза, тем меньший уровень запаса потребуется хранить. Сократить общее время доставки можно за счет следующих мероприятий. Во-первых, сократить непосредственно время транспортировки. Во-вторых, повысив надежность функционирования всех элементов логистической цепочки, можно уменьшить величину отклонения сроков доставки от среднего. То есть при более надежной работе элементов цепочки, в том числе грузовых терминалов, задержки поставок уменьшаться по длительности и частоте. Это позволит сократить размер страхового запаса.

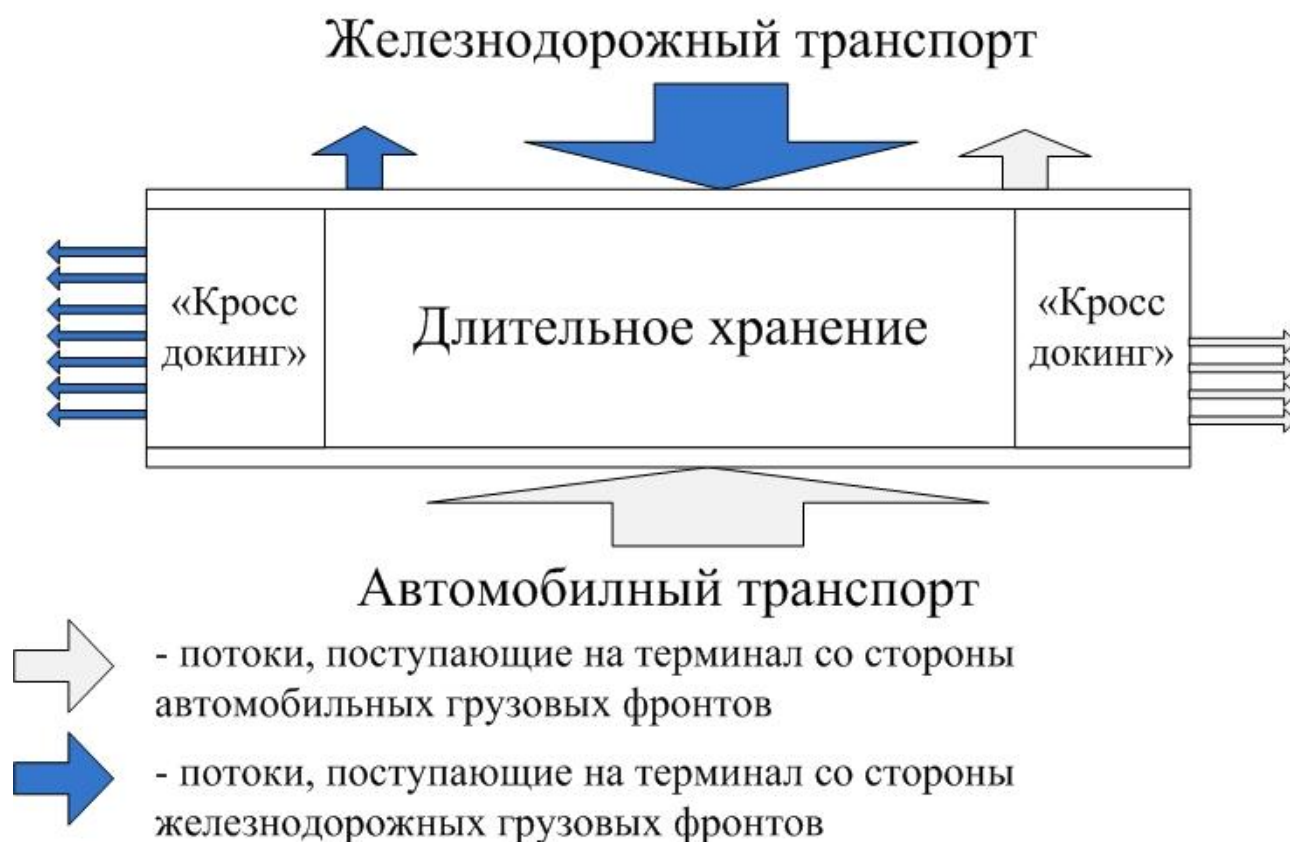


Рис. 1 – Схема движения материального потока на терминале

Рассматривая параметр – «время в пути», как внешний неуправляемый параметр для нашей системы, будем управлять параметром – «время нахождения в переработке на станции». Таким образом, допустимые пределы значения этой величины с точки зрения эффективности системы «точно в срок» являются внешним управляющим параметром для технико-технологических параметров функционирования грузовой станции.

В третьей главе произведено моделирование входящего вагонопотока на грузовую станцию железнодорожного транспорта. Входящий вагонопоток здесь принят внешним управляющим параметром для грузовой станции. Основным, применяемым в диссертации методом исследования транспортных потоков, является статистическое моделирование. При использовании стохастических методов главной задачей является определение законов распределения случайных величин, входящих в модель.

Источником статистических данных послужили «натурные листы» грузовой станции общего пользования Свердловского транспортного узла за период, равный восемнадцати месяцам с 31.12.2005 по 31.06.2007. На ее примере устанавливаются параметры вагонопотока входящего на грузовую станцию железнодорожного транспорта общего пользования. Под входящим вагонопотокм понимается поток вагонов, поступающих на грузовую станцию с сортировочной станции, в передаточных поездах.

В диссертации для описания входящего вагонопотока предлагается следующая модель

$$\begin{cases} X = X(x), \\ S = S(s), \\ L_i = L_i(l), \\ \tau = \tau(\tau), \end{cases} \quad (1)$$

где использованы случайные величины: X – количество вагонов в передаточном поезде, S – количество передаточных поездов, прибывающих за сутки на железнодорожную грузовую станцию общего пользования, L_i – показывает, в какой период суток прибывает очередной передаточный поезд, τ – время прибытия поезда на станцию.

Режим прибытия поездов на станцию в течение суток не одинаков и зависит от диспетчерских смен, периода суток и общего числа поездов, прибывающих на станцию за сутки. Поэтому моменты прибытия разных передаточных поездов подчиняются в течение суток разным законам распределения L_i и τ . Предложенная математическая модель, описывает вагонопоток, входящий на железнодорожную грузовую станцию со стороны железнодорожного транспорта с учетом его суточной неравномерности, как немарковский случайный процесс.

Сначала теоретические законы для описания случайных величин, входящих в математическую модель вагонопотока, установлены по выборке данных за полгода в период с 31.12.2005 по 31.06.2006.

Чтобы определить суточное прибытие поездов на станцию использована дискретная случайная величиной S , из предложенной выше модели, которая принимает целые значения от 0 до максимально возможного $n_{\text{ед}}$.

Таблица 1 – Закон распределения случайной величины S

s_i	1	2	3
w_i	0,4	0,52	0,08

Для определения временной характеристики вагонопотока построена гистограмма случайной величины τ (см. рис. 2). Число интервалов разбиения k для построения вариационного ряда и гистограммы составило 24 по количеству часов в сутках.

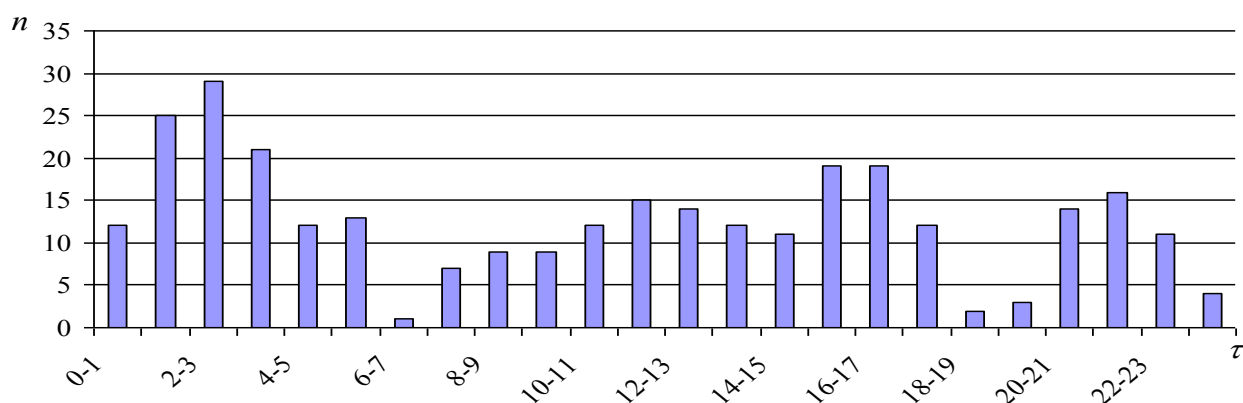


Рис. 2 – Гистограмма распределения случайной величины τ

Гистограмма, приведенная на рисунке 2, является полимодальной. Такое поведение случайной величины объясняется особенностями технологического процесса. Период с 7:00 до 18:00 часов совпадает с дневной сменой, а с 18:00 до 7:00 – ночной.

Учитывая различия в технологии работы железнодорожного узла и входящей в него грузовой станции днем и ночью, а также вид графика на рисунке 2, сутки условно разбиты на две части, а статистическая совокупность – на три. Период с 7:00 до 18:00 часов считается дневной сменой и все, значения, попавшие в данный период, – одной выборкой. Значения, попавшие в ночной период, разбиты на две выборки, ограниченные периодами времени с 18:00 до 24:00 часов и с 0:00 до 7:00 часов.

Для определения параметров законов распределения непрерывных случайных величин в диссертации предложена новая методика, являющаяся адаптированной модификацией метода «минимум хи-квадрат». В соответствии с ней, параметры законов распределения случайных величин определены по методу сгущающейся сетки путем нахождения пары чисел a и σ (в случае нормального закона) таких, чтобы уровень значимости критерия Пирсона для них был наилучшим из полученных. При этом уровень значимости критерия Колмогорова должен быть не менее 0,05. Предлагаемая методика применена в диссертации в том случае, когда при определении параметров законов случайных величин метод моментов не работает. В остальных случаях параметры законов определены по методу моментов с проверкой результата с помощью критериев Пирсона, Колмогорова и Вилкоксона.

Установлено, что по используемым критериям нет оснований отвергнуть гипотезу о равномерном распределений случайной величины τ в период времени с 7:00 до 18:00 часов.

Случайная величина τ в период времени с 0:00 до 7:00 часов описана нормальным законом распределения с параметрами: $a=2,72$ и $\sigma=1,77$.

$$f(\tau) = \frac{1}{1,77 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(\tau-2,72)^2}{2 \cdot 1,7^2}}. \quad (2)$$

В период времени с 18:00 до 24:00 часов случайная величина τ описана нормальным закон с параметрами равными: $a=21,36$ и $\sigma=1,19$.

$$f(\tau) = \frac{1}{1,19 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(\tau-21,36)^2}{2 \cdot 1,19^2}}. \quad (3)$$

Далее определено, как передаточные поезда будут распределены в течение расчетных суток, т. к. в разное время суток моменты их прибытия распределены по разным законам. Для этого использованы случайные величины L_i , показывающие каков закон распределения времени прибытия i -ого за сутки передаточного поезда. Значениям $L1$, $L2$ и $L3$ соответствуют периоды суток соответственно с 0:00 до 7:00, с 7:00 до 18:00 и с 18:00 до 24:00 часов.

Таблица 2 – Законы распределения случайной величины L_i

L_i	$L1$	$L2$	$L3$
L_1			
w_i	0,37	0,56	0,07
L_{21}			
w_i	0,77	0,23	-
L_{22}			
w_i	-	0,67	0,33
L_{31}			
w_i	0,93	0,07	-
L_{33}			
w_i	-	0,07	0,93

В тех случаях, когда в сутки прибывало 3 поезда, второй поезд всегда прибывал в период суток $L2$.

С точки зрения использованного критерия оптимальности, наилучший результат для закона распределения количества вагонов в прибывающих на станцию поездах достигается при значениях параметров нормального закона: $a=33,3$ и $\sigma=7,31$. При разыгрывании случайной величины X область ее определения справа ограничена значением 44, т. к. это максимально возможная длина состава поезда исследуемой станции.

$$f(x) = \frac{1}{7,31 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(x-33,3)^2}{2 \cdot 7,3^2}}. \quad (4)$$

Созданная модель позволяет моделировать моменты прибытия поездов на станцию с учетом особенностей внутриузловых графиков движения, режима работы сортировочной станции, формирующей передаточные поезда, и самой грузовой станции. При этом влияние перечисленных факторов отображается как воздействие внешней среды на работу станции. Внешняя по отношению к железнодорожной грузовой станции среда считается неуправляемой и представляется как «черный ящик» с выходящим потоком, имеющим стохастический характер. Реализация этой математической модели осуществляется в четвертой главе диссертации путем построения имитационной модели.

Однако для повышения точности и достоверности прогнозных оценок целесообразно использование нескольких подходов прогнозирования с применением альтернативных источников информации.

Возможность произвести аппроксимацию эмпирических данных с помощью известных теоретических законов распределения случайной величины имеется не всегда.

Распределение моментов прибытия поездов на грузовую станцию общего пользования Свердловского железнодорожного узла (рис. 2) представляет собой временную характеристику вагонопотока. Как отмечалось выше, эти данные неоднородны. Поэтому, чтобы определить аппроксимирующую функцию для эмпирических данных, потребовалось их реструктуризировать. Для этого применена методика, которую предложил немецкий ученый Г. Поттгофф (G. Potthoff). Однако в первоначальном виде применение этой методики не дало положительных результатов, так как подобрать подходящее аналитическое выражение не удалось.

С учетом предложенных в диссертации изменений данная методика получает следующий вид. Определяется процент поездов D от общего суточного поступления, прибывающих в каждый час y . Суммируя проценты каждого часа, получается количество часов за сутки, в течение которых не будет превышен процент D . Подбрав аппроксимирующую функцию и определив ее параметры по методу наименьших квадратов, получили функцию вида:

$$y = 24 - 1,519D^{0,591}. \quad (5)$$

В качестве еще одного альтернативного подхода к построению модели вагонопотока были использованы ряды Фурье. Тогда для аппроксимации эмпирических данных можно использовать не теоретическую функцию, а отрезок ряда, который служит в модели в качестве закона распределения случайной величины.

Определение коэффициентов Фурье производится с помощью вычисления определенного интеграла по методу Симпсона.

Из таблицы 3 видно, что, начиная с $N=7$, дальнейшее увеличение количества членов ряда не приводит к значительному уменьшению среднего квадратичного отклонения. Таким образом, время прибытия поезда на станцию τ описано с помощью отрезка ряда Фурье из 7 первых членов (рис. 3).

Из таблицы 3 видно, что, начиная с $N=7$, дальнейшее увеличение количества членов ряда не приводит к значительному уменьшению среднего квадратичного отклонения. Таким образом, время прибытия поезда на станцию τ описано с помощью отрезка ряда Фурье из 7 первых членов (рис. 3).

Таблица 3 – Изменение среднего квадратичного уклонения в зависимости от количества членов ряда Фурье

Количество членов ряда, N	Среднее квадратичное уклонение, ε_i	Изменение приращения среднего квадратичного уклонения (точность до 0,001), $\Delta\varepsilon_i$
4	0,016	0
5	0,015	0,001
6	0,011	0,004
7	0,01	0,001
8	0,01	0

Таблица 4– Коэффициенты отрезка ряда Фурье

A_0	A_1	B_1	A_2	B_2	A_3	B_3
0,0842	0,0052	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
A_4	B_4	A_5	B_5	A_6	B_6	-
-0,0115	-0,0005	-0,0015	0,0000	0,0051	-0,0014	—

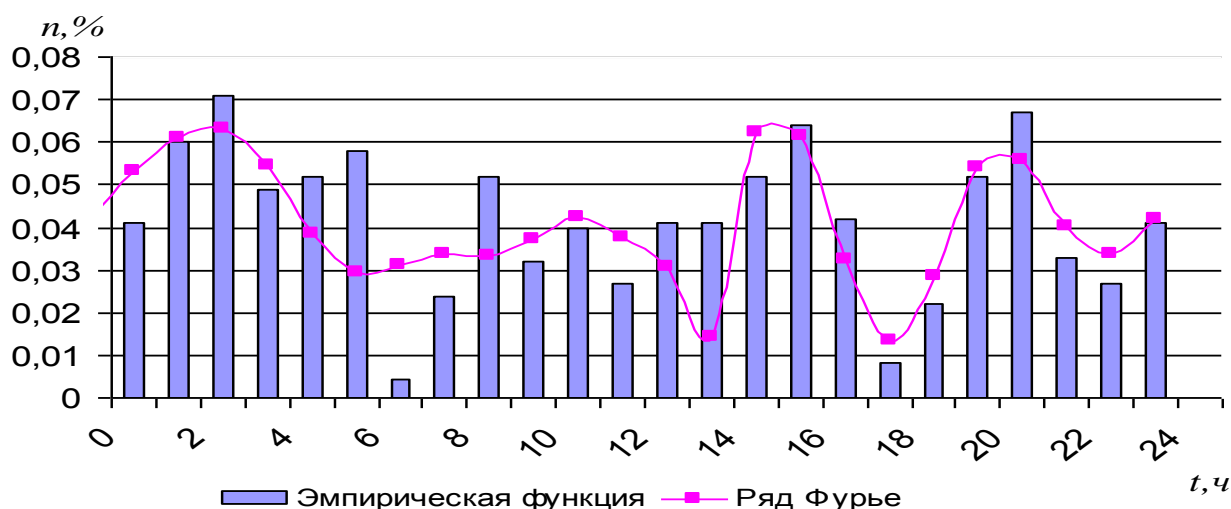


Рис. 3 – Отрезок ряда Фурье с 7-ю членами

К преимуществам метода основанного на применении рядов Фурье для создания модели вагонопотока относится то, что с ростом количества членов ряда отклонение его значений от эмпирической функции уменьшается. То есть с помощью такого ряда можно аппроксимировать практически любую функцию колебательного процесса.

В четвертой главе построена имитационная модель вагонопотока и работы грузовой станции железнодорожного транспорта по выгрузке.

Реализация модели осуществлена в среде программирования Matlab. Текст программы приведен в приложении к диссертации.

Адекватность модели установлена путем проверки однородности статистических данных и моделированных вариационных рядов по критерию Вилкоксона (таблица 5). При критическом уровне значимости критерия Вилкоксона 0,05 нет оснований отвергнуть гипотезу о том, что эмпирические и смоделированные выборки однородны. Из таблицы 5 видно, что неудовлетворительное значение критерия Вилкоксона при 30 экспериментальных испытаниях встречается только один раз в опыте №15. Это значит, что гипотезы не противоречат опытным данным и их можно принять.

Таблица 5 – Уровень значимости критерия Вилкоксона для прогнозных данных имитационной модели

№ эксперимента	Период моделирования, дней	Уровень значимости критерия Вилкоксона			
		Вагоны	Время 1	Время 2	Время 3
1	1000	0,678	0,570	0,302	0,956
2	1000	0,959	0,806	0,276	0,808
...	-/-
15	1000	0,680	0,996	0,032	0,954
...	-/-
30	1000	0,723	0,569	0,558	0,619

Далее выполнена оценка влияния увеличения объема статистических данных на качество прогноза. Период отчетных данных для выборки был увеличен с 6-ти до 18-ти месяцев. Качество прогноза с помощью модели по критерию Вилкоксона осталось удовлетворительным. Однако уровни значимости критерия Вилкоксона снизились для разных случайных величин в разной мере.

Дополнительный анализ показал, что качество прогноза можно улучшить путем уточнения имитационной модели. В диссертации для уточнения модели потребовалось разбить период прибытия поездов L_1 на два отдельных периода.

Первый период суток с отдельным законом распределения моментов прибытия поездов при новом разбиении будет заключен в промежутке с 0 до 4,50 часов, второй – с 4,00 до 6,50 часов.

Общее количество периодов с отличным от других характером распределения моментов прибытия поездов равно четырем (рис. 4).

Законы распределения после уточнения приняли следующий вид. Для случайных величин S и L_i они читаются с графа имитационной модели (рис. 4).

Для первого периода суток с 0,00 ч до 4,50 часов случайная величина τ описывается нормальным законом с параметрами: $a=2,3$ и $\sigma=1,4$. Во второй период суток – с 4,00 до 6,50 часов она описывается нормальным законом с параметрами: $a=5,19$ и $\sigma=0,54$. В период времени с 6,50 до 7,00 часов – технологический перерыв и поезда не прибывают.

Количество вагонов в составе поезда представляются совокупностью двух – нормального и равномерного. К нормальному закону в интервале от 35 до 42 вагонов осуществляется добавка в виде равномерного закона.

Таким образом, сохраняя общий принцип построения математической и имитационной моделей неизменным, путем уточнения законов распределения модели, удалось достичь существенного улучшения качества прогноза. То есть при

увеличении объема статистической выборки качество прогноза улучшается, но при этом между моделью вагонопотока по данным выборки за 6 и 18 месяцев нет противоречий приводящих к взаимоисключению прогнозов. Граф имитационной модели вагонопотока приведен на рисунке 4, а блок-схема алгоритма – на рисунке 5.

Рис. 4 – Граф имитационной модели вагонопотока, входящего на грузовую станцию железнодорожного транспорта

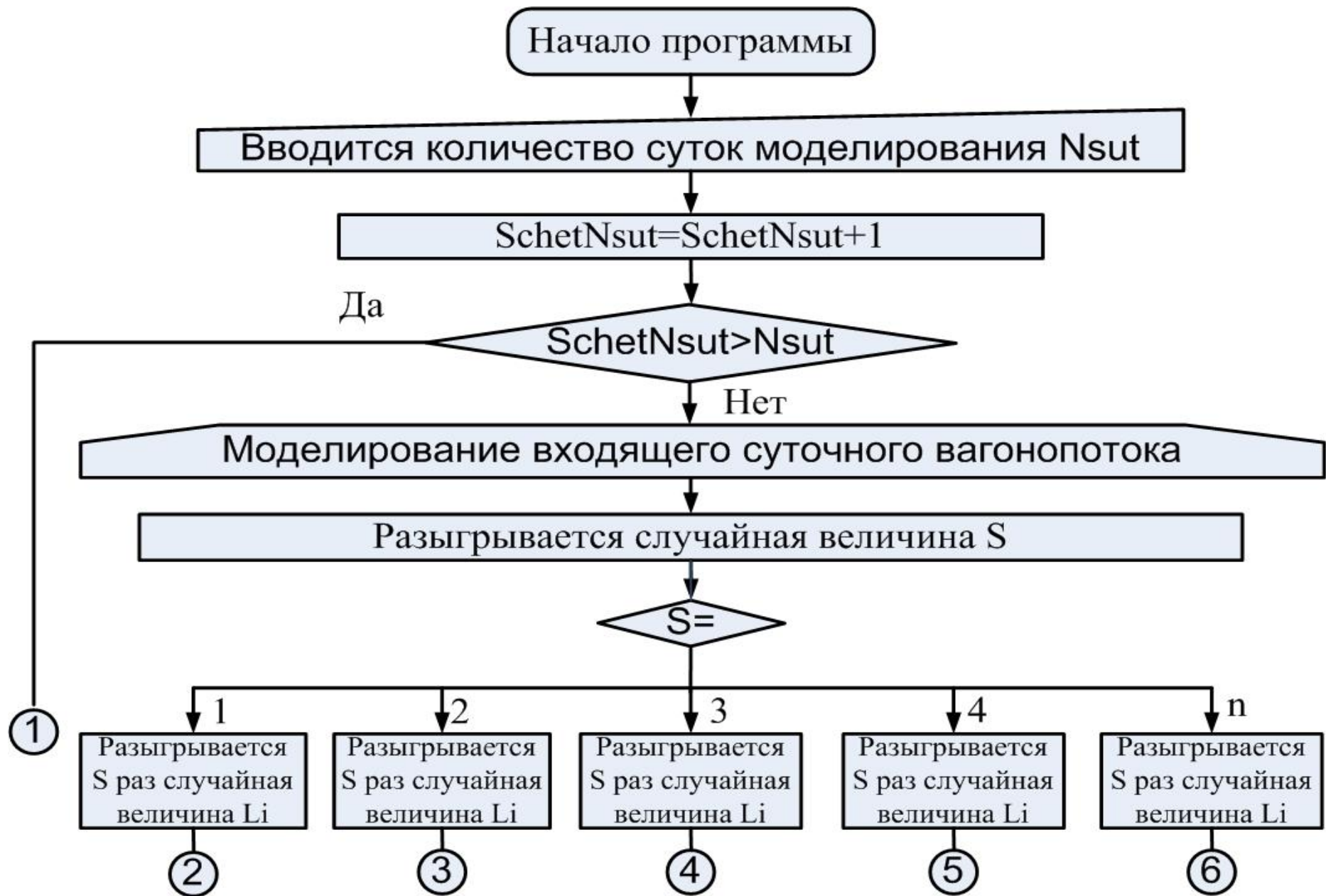
Произведено сравнение модели вагонопотока, построенной диссертацией, со стандартной стохастической моделью, в которой поток представлен через межпоездные интервалы. Рассмотрены три случая: поток является простейшим (то есть интервалы между поездами распределены по показательному закону), интервалы между поездами распределены по закону Эрланга с $k=2$, интервалы распределены по закону Эрланга с $k=3$. В качестве λ взято среднее число поездов в единицу времени (час) за рассмотренный период, которое равно 0,0806. Сравнение уровней значимости критерия Вилкоксона для модели с пуассоновским (простейшим) потоком и модели, построенной в диссертации, показало, что последняя позволила улучшить уровень значимости критерия на 27 %. Для модели, в которой интервалы между поездами распределены по закону Эрланга с $k=2$ – на 79 % и с $k=3$ – на 41 %. Кроме того, использование стандартной модели приводит к искажению информации о моделируемом объекте, так как в этом случае в ходе разыгрывания появляются сутки с прибытием такого количества поездов, которое находится вне области допустимых значений. В свою очередь, разработанная в диссертации модель, лишена такого недостатка.

Модель косвенно учитывает недельные и сезонные колебания вагонопотока в тех случаях, когда они не являются ярко выраженными. Это, в частности, подтверждается однородностью модельных и статистических данных для различных периодов времени. При появлении выраженных недельных или сезонных всплесков, модель позволяет с помощью поправочных слагаемых учесть указанные эффекты.

В основу построения имитационной модели работы станции, на которой апробируется имитационная модель вагонопотока, положена схема последовательных логистических транспортных сетей, предложенная В.М. Николашиным. Эта схема воспроизводит предложенный П.А. Козловым принцип моделирования грузовых железнодорожных станций, по которому системы станции представляются в виде последовательно расположенных элементов: накопителей (бункеров) и обслуживающих аппаратов.

Имитационная модель работы реализована в среде программирования Matlab. Модель позволяет имитировать работу станции по выгрузке с железнодорожного транспорта в склад (рис. 6). Она позволяет устанавливать оптимальные параметры функционирования станции с учетом стохастического характера входящего вагонопотока, поступающего на грузовые фронты станции. Учитывает влияние ритмов работы железнодорожного транспорта выражающееся в совокупности факторов: работа сортировочной станции, внутриузловой график движения, работа примыкающих к железнодорожному узлу направлений и др. Предполагается, что при сложении всех перечисленных факторов формируется стохастический процесс.

Оптимизация функционирования станции произведена за счет регулирования статических резервов (то есть без учета оперативного управления работой). Структура станции представлена в виде укрупненных блоков и технологических линий, без жесткой привязки к схеме станции на плане. Такая оптимизация может применяться в первую очередь для установления оптимальных параметров работы грузовых фронтов станции. Определение оптимального количества устройств станции без жесткой привязки к реальному плану путевого развития необходимо на предварительных этапах проектирования для разработки принципиальной схемы, либо в тех случаях, когда работу парков приема и сортировки можно учесть приблизительно или пренебречь ею.



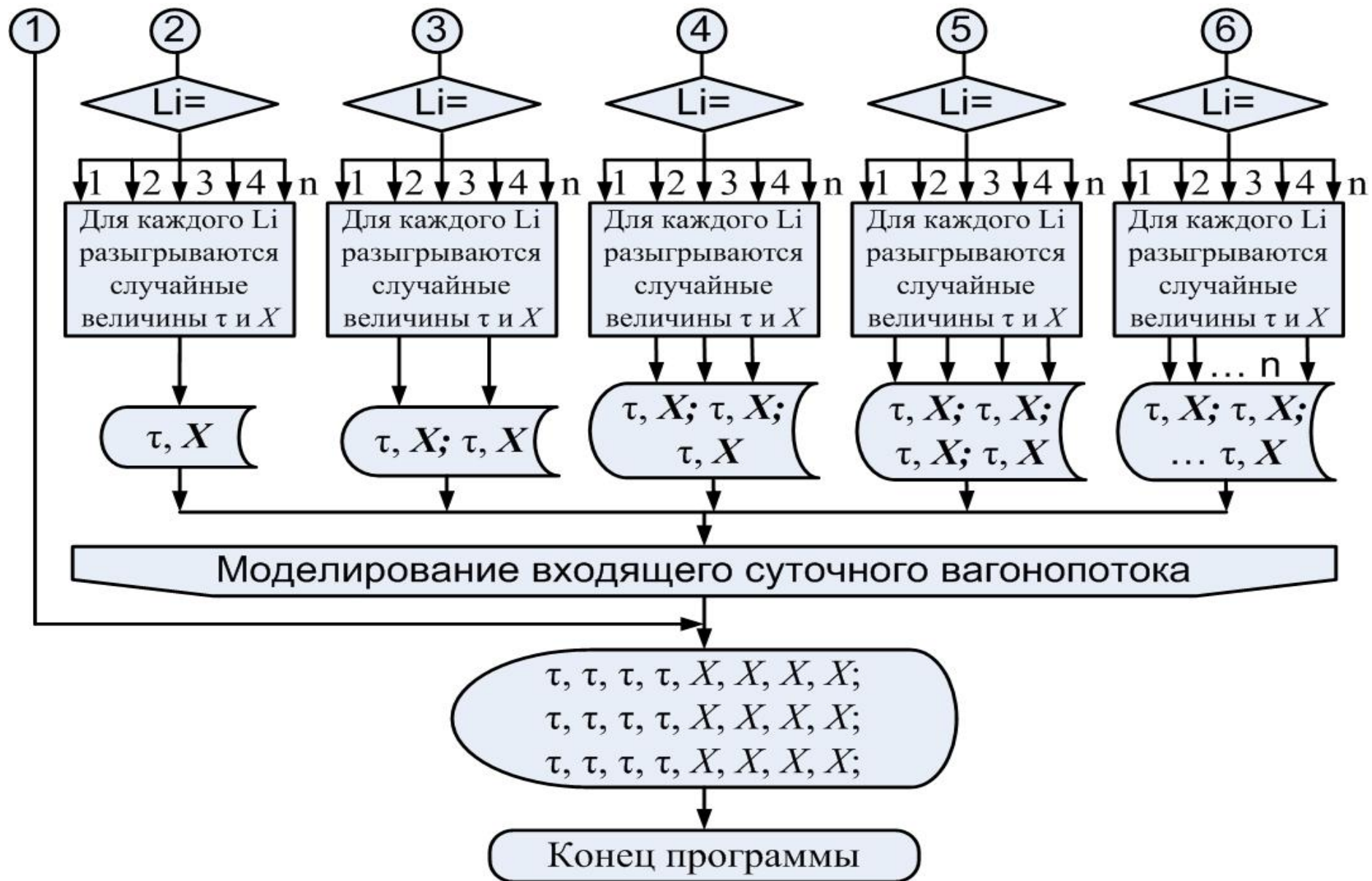


Рис. 5 – Блок-схема алгоритма имитационной модели вагонопотока

В случаях, когда маневровая работа на станции имеет значительные объемы и, отображение влияния структуры станции на параметры функционирования является обязательным, требуется дополнительный анализ, например, с помощью таких моделей как ИСТРА. Особенностью модели ИСТРА является то, что она позволяет осуществлять привязку к реальной схеме станции с учетом ее топографических особенностей, а также она учитывает динамические резервы, то есть ситуационное управление оперативной работой.

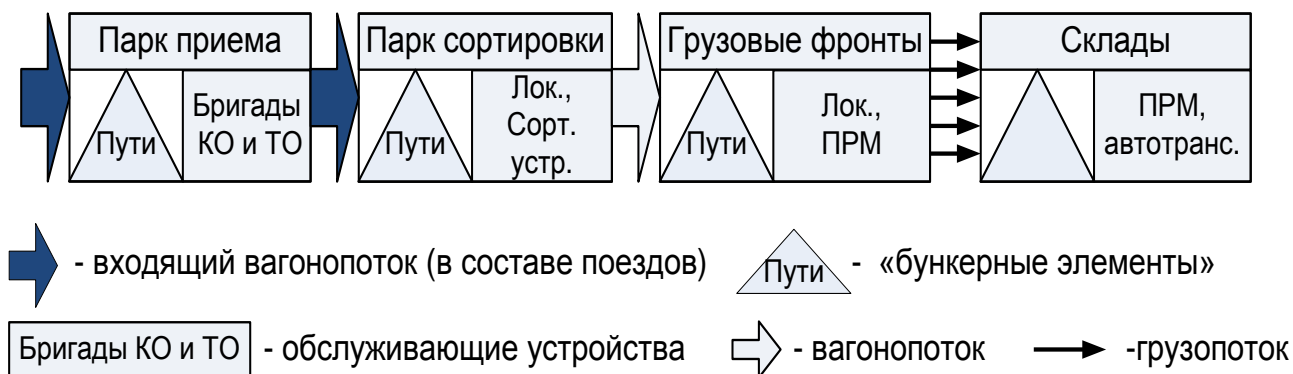


Рис. 6 – Схема имитационной модели работы грузовой станции по выгрузке

В разработанной в диссертации модели работы станции время обработки в парке приема определено по типовому технологическому процессу работы грузовой станции и в модели оно является величиной постоянной. Время обработки в сортировочном парке зависит от количества вагонов и числа отцепов в обрабатываемом составе и определено методическим указаниям по расчету норм времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте. Декомпозиция состава на отцепы назначением на грузовые фронты произведено путем разыгрывания дискретных случайных величин. Время переработки на грузовых фронтах определяется путем перевода вагонопотока в грузопоток с помощью технической нормы загрузки вагонов. Количество груза в каждой подаче производимой на грузовой фронт делится на нормативную производительность погрузочно-разгрузочных механизмов в час.

Вагонопоток, поступающий на подъездные пути предприятий, примыкающих к станции, вычленяется на стадии расформирования состава поезда и в дальнейшем не рассматривается. То есть оптимизация технико-технологических параметров станции ведется в основном по тем транспортным и грузовым потокам, которые перерабатываются на местах общего пользования.

Перед каждым разыгрыванием имитационной модели специалист формирует блок входных данных, который содержит управляющие и управляемые параметры. К управляющим параметрам относятся: параметры вагонопотока, время нахождения грузов в системе станции под переработкой, нормы и стандарты проектирования и эксплуатации железнодорожных станций, в том числе потребная перерабатывающая способность.

К управляемым параметрам относятся: емкость путей в парках станции и грузовых фронтов, количество обслуживающих элементов (бригад работников, локомотивов, погрузочно-выгрузочных механизмов) и их производительность, параметры складов и грузовых фронтов, режим работы отдельных элементов станционной системы в течение суток.

Принцип модели следующий. Блок имитации входящего вагонпотока моделирует основные параметры вагонпотока (время прибытия и количество вагонов в составе поезда) на каждые сутки исследуемого периода. Далее производятся технологические операции в парке приема. Далее состав поступает в сортировку, производится декомпозиция состава на группы вагонов. Отдельно выделяются вагоны на подъездные пути необщего пользования и порожний подвижной состав. Остальные вагоны распределяются по фронтам выгрузки.

После каждой итерации происходит сравнение показателей работы станции при заданных значениях управляющих и управляемых параметров: средняя перерабатывающая способность станции, максимальная перерабатывающая способность станции, среднее время простоя в ожидании грузовых операций, средний и максимальный уровень загруженности обрабатывающих устройств и др.

В пятой главе разработана методика определения оптимальных параметров грузовых станций интегрируемых в логистические системы, для чего построена двухуровневая модель расчета параметров управления запасами и транспортировкой логистической системы, основанной на базе концепции «точно в срок», включающей железнодорожную грузовую станцию.

$$\begin{cases} \sigma_c = \sqrt{\bar{R}(\sigma_{Sa}^2) + \bar{S}a^2(\sigma_R^2)}, \\ \bar{R} = \bar{R}_{ц} + x_p \sigma_{Rц}, \\ T_{пер} = \sum_i^n (t_{итех} + t_{иож}), \end{cases} \quad (6)$$

где σ_c – число единиц страхового запаса для удовлетворения 68 % всех запросов (оно равно среднеквадратичному отклонению); \bar{R} – среднее время пополнения запасов; σ_{Sa} – среднеквадратическое отклонение дневного объема продаж; $\bar{S}a$ – средний объем дневных продаж; σ_R – среднеквадратическое отклонение цикла пополнения, x_p – количество среднеквадратических отклонений $\sigma_{Rц}$ – среднеквадратическое отклонение времени исполнения логистического цикла, определяющее надежность доверительного интервала; $T_{пер}$ – время нахождения товаров в переработке на грузовой станции; $t_{итех}$ – время нахождения грузов в переработке в i -ой технологической линии грузовой станции; $t_{иож}$ – время ожидания переработки в следующей технологической линии грузовой станции.

Железнодорожные грузовые станции общего пользования при определенных условиях могут служить основными элементами современных логистических систем. Для этого их технико-технологические параметры должны отвечать требованиям всей системы. В диссертации предложена методика определения оптимальных технико-технологических параметров грузовых станций, в условиях, когда они интегрируются в логистические системы. Алгоритм методики приведен на рисунке 7.

Для реализации методики необходимо применение разработанной в диссертации двухуровневой модели логистической системы. На верхнем уровне строится модель логистической системы, и определяются ее структура и основные параметры. Определяются грузовые железнодорожные станции, которые входят в рассматриваемую логистическую систему.

Для предложенной в диссертации логистической системы на базе принципа «точно в срок» основным параметром является «срок доставки». Параметр «время переработки на станции» входит в общий срок доставки и поэтому будет главным

управляющим параметром для оптимизации технико-технологических параметров станции. Под «временем переработки на станции» понимается время с момента поступления вагонов с грузом на грузовую станцию до момента поступления их на склад в распоряжение владельца груза (грузополучателя). Область допустимых значений этого параметра установлена из модели логистической системы.

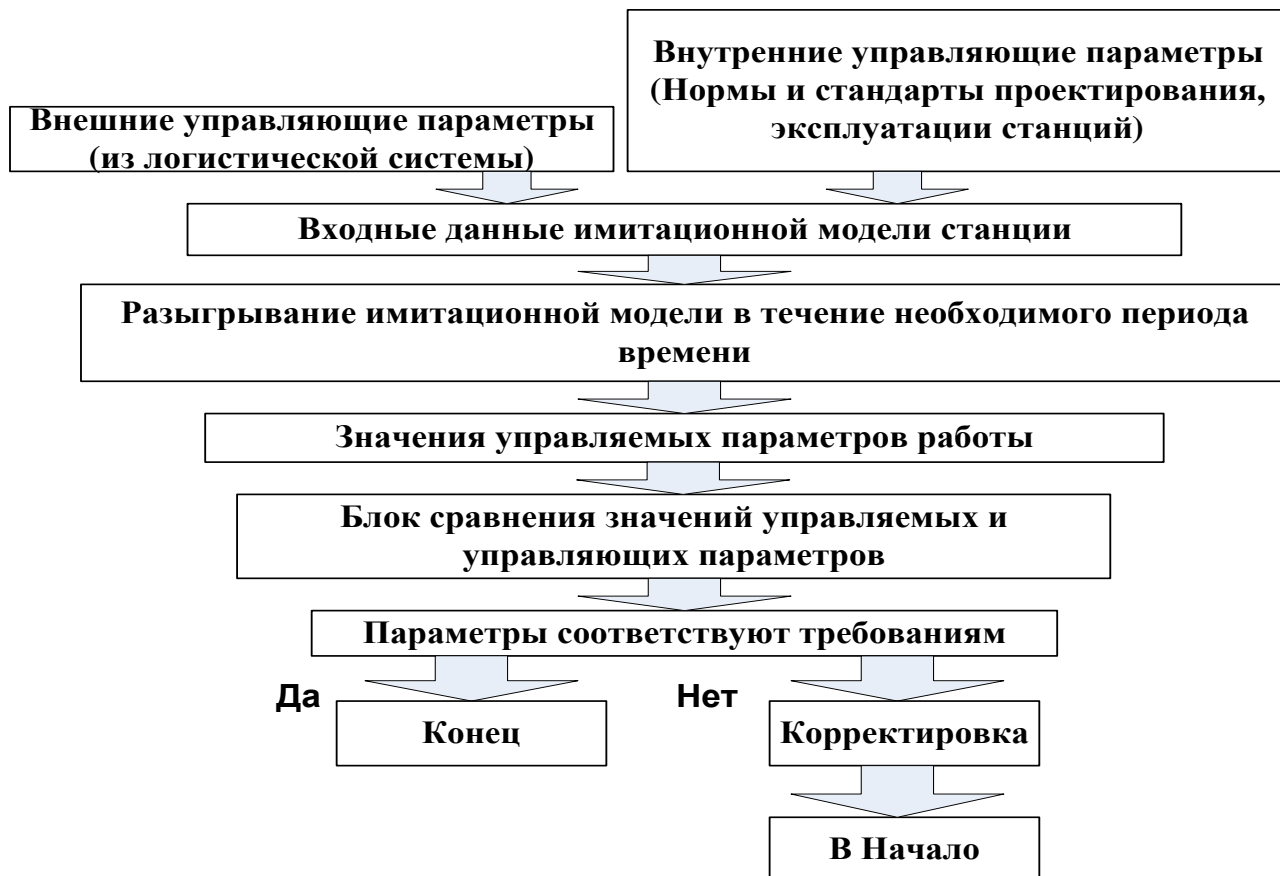


Рис. 7 – Алгоритм методики определения оптимальных технико-технологических параметров станции

На нижнем уровне построена имитационная модель работы станции с применением разработанной в диссертации имитационной модели, которая позволяет методом направленного перебора устанавливать технико-технологические параметры функционирования станции, обеспечивающие требуемое значение параметра «время переработки на станции». Количество оптимизируемых параметров в каждом случае определяется проектом и может включать в себя, количество путей в парках станции и на грузовых фронтах, количество бригад коммерческого осмотра и технического обслуживания подвижного состава, количество грузовых фронтов и их производительность, количество погрузочно-разгрузочных машин и их производительность, количество маневровых локомотивов, количество вытяжных путей, параметры складов, продолжительность работы отдельных элементов станции. Также имитационная модель может быть построена на базе модели ИСТРА, которая имеет ряд отмеченных выше преимуществ, с применением разработанной в диссертации модели вагонопотока.

Оптимизация может производиться для существующих станций с целью включения их в логистическую систему. В таком случае модель вагонопотока строится на базе статистических данных о входящем вагонопотоке станции за

предшествующий период. Для разных вариантов технико-технологических параметров станции устанавливается значение управляющего параметра и сравнивается с допустимыми значениями. Делается вывод о необходимости реконструкции и развития станции для приведения к оптимальному состоянию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Описаны структура и функции логистической системы, которая может быть построена с участием грузовых станций общего пользования с использованием концепции «точно в срок». На основании рассмотренного примера логистической системы выделен управляющий параметр («время нахождения грузов на станции в переработке»), который влияет на определение технико-технологических параметров функционирования входящей в нее железнодорожной грузовой станции.
2. Определены методы, с помощью которых может быть создана математическая модель входящего на грузовую железнодорожную станцию общего пользования вагонопотока, и произведено их сравнение. Предложен подход к описанию вагонопотоков с помощью законов распределения случайных величин, имеющий ряд преимуществ перед существовавшими ранее, позволяющий адекватно описывать вагонопоток, в том числе, учесть его суточную неравномерность.
3. Создана и апробирована имитационная модель вагонопотока, реализующая предложенную в диссертации математическую модель.
4. Предложена двухуровневая модель исследуемой логистической системы, основанная на принципе «JIT» («точно в срок»). Она включает в себя предложенную имитационную модель вагонопотока и позволяет оптимизировать технико-технологические параметры функционирования станции с учетом суточной неравномерности вагонопотока, а также в рамках ограничений, задаваемых интегрирующей логистической системой. Эмпирические данные для создания модели и проверки ее адекватности реальному объекту получены по результатам исследования работы грузовой станции Свердловского железнодорожного узла.
5. Проведен сравнительный анализ модели вагонопотока, предложенной в диссертации, и стандартных моделей. По сравнению с моделью простейшего (пуассоновского) потока, уровень значимости критерия Вилкоксона оказался выше в среднем на 27 %. Для модели, в которой интервалы между поездами распределены по закону Эрланга с $k=2$ – на 79 %, с $k=3$ – на 41 %. Использование стандартной модели, как правило, приводит к искажению информации о моделируемом объекте, так как в этом случае в ходе разыгрывания появляются сутки с прибытием такого количества поездов, которое находится вне области допустимых значений. Разработанная в диссертации модель, лишена такого недостатка.
6. Предложена методика определения оптимальных технико-технологических параметров функционирования железнодорожных грузовых станций в структуре логистических систем, позволяющая использовать управляющие параметры, полученные из интегрирующей логистической системы и предложенной модели входящего на станцию вагонопотока. Она позволяет

получать параметры грузовых станций, которые будут интегрированы в логистическую систему, а также определять условия такой интеграции. Работоспособность методики апробирована с применением реальных данных грузовой станции Свердловского транспортного узла.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Маслов А.М. Моделирование входящего транспортного потока на грузовую станцию с учетом его суточной неравномерности [Текст] / А.Л. Казаков, А.М. Маслов // Транспорт Урала. – 2008. – №2. – С. 65-72. – издание «Транспорт Урала», входит в перечень изданий рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.
2. Маслов А.М. Построение имитационной модели входящего на грузовую станцию вагонопотока [Текст] / А.Л. Казаков, А. М. Маслов // Транспорт Урала. – 2009. – №2. – С. 17-21. – издание «Транспорт Урала», входит в перечень изданий рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.
3. Маслов А.М. Проблемы и перспективы развития грузовых станций общего пользования железнодорожного транспорта России [Текст] / А.М. Маслов // «Наука, инновации, образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России»: Мат-лы межд. научн.-техн. конф. Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 329-330.
4. Маслов А.М. Развитие и анализ современных тенденций логистики [Текст] / А.М. Маслов // «Молодые ученые – транспорту – 2007»: сб. научн. тр., посв. 170-летию Российских железных дорог. – Екатеринбург: УрГУПС, 2007. – С. 79-91.
5. Маслов А.М. Место грузовых станций общего пользования в логистических цепочках поставки товаров [Текст] / А.М. Маслов // «Развитие систем управления перевозочным процессом и транспортной логистикой»: сб. науч. тр. / под ред. С.А. Плахотича. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – Вып.73(156) – С.85-94.
6. Маслов А. М. Математическая модель входящего вагонопотока для определения уровня загрузки грузовой станции [Текст] / А.М. Маслов, А.Л. Казаков // Вычислительные технологии / Вестник КазНУ им. Аль-Фараби (совместный выпуск) – 2008. – Т.13. – №3(58). – Ч. II. – С. 419-424.
7. Маслов А.М. Построение модели неравномерного транспортного потока на примере железнодорожной грузовой станции [Текст] / А.Л. Казаков, А.М. Маслов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2009. – №3(23) – С. 27-32.
8. Маслов А.М. Математическая модель вагонопотока на грузовой железнодорожной станции [Текст] / А.Л. Казаков, А.М. Маслов // Информационные и математические технологии в науке и Управлении: Труды XIV Байкальской Всеросс. Конф. – Ч. I. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. – С. 27-33.
9. Маслов А.М. Методика функциональной идентификации для описания транспортных потоков железнодорожных грузовых станций [Текст] / А.М. Маслов, А.Л. Казаков // «Развитие систем управления перевозочным процессом и транспортной логистикой»: сб. науч. тр. / под ред. С.А. Плахотича. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – Вып.73(156) – С.95-114.
10. Маслов А. М. Проблемы интеграции грузовых станций общего пользования в логистические цепочки [Текст] / А.М. Маслов, С.А. Плахотич // Транспорт, наука,

бизнес: проблемы и стратегия развития: Мат-лы Всероссийской научн.-технич. конф. посв. 130-летию Сверд. ж. д. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – С.105.

11. Маслов А.М. Модель прогнозирования суточного вагонопотока на грузовых станциях общего пользования [Текст] / А.Л. Казаков, А.М. Маслов / Тезисы докладов XXVIII Российской школы. – Миасс. – 2008. – С.101.
12. Маслов А.М. Определение параметров входящего транспортного потока на грузовой станции общего пользования с помощью стохастических методов [Текст] / А.М. Маслов, А.Л. Казаков // УрГУПС. – Екатеринбург, 2007. – 52 с.: ил. – Библиогр.: 18 назв. – Рус. Рукопись деп. в ВИНТИ 22.11.2007, № 1090-В2007.

МАСЛОВ Александр Михайлович

ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ
СТОХАСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ВАГОНПОТОКА

05.22.08 – Управление процессами перевозок

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова 66

Издательство УрГУПС

Формат бумаги 60x84 1/16
Тираж 100 экз.

Подписано к печати 21.10.2009

усл. п.л. 1,4
Заказ № 301