

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

На правах рукописи

БОЧКАРЕВ ПАВЕЛ АНДРЕЕВИЧ

**УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК В ЛОГИСТИКЕ
СНАБЖЕНИЯ**

Специальность 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством
(логистика)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель
д.т.н., профессор
заслуженный деятель науки РФ
В.С. Лукинский

Санкт-Петербург – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК.....	10
1.1. Аппарат теории надежности цепей поставок.....	10
1.2. Существующие подходы к повышению надежности в цепях поставок.....	15
1.3. Применение экономико-математических методов в повышении надежности цепей поставок.....	28
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ.....	58
2.1. Развитие модельного представления прикладных оценочных процедур....	58
2.2. Итерационное обеспечение надежности операций в цепях поставок.....	66
2.3. Разработка моделей динамического и стохастического программирования для обеспечения надежности поставок в условиях изменяющегося спроса.....	81
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	94
3.1. Методика расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств.....	94
3.2. Разработка системы сбора данных и формирование информационной базы исследования эксплуатационной надежности транспортных средств.....	108
3.3. Реализация алгоритма и апробация результатов исследования на примере СПбГУП «Пассажиравтотранс».....	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	136
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В современной экономике одним из базовых конкурентных преимуществ любой организации является способность быстро и качественно удовлетворять запросы потребителей или покупателей в соответствии с их требованиями. Важнейшим инструментом в процессе достижения данной цели является логистическая направленность деятельности организации в целом, поскольку именно формирование эффективно действующей логистической системы на предприятии, позволяет осуществить доставку необходимых потребителю товаров в нужное место, время, в необходимом количестве, требуемого качества и с наименьшими затратами.

Однако сочетание неблагоприятных внешних факторов, например, колебания цен, произвольное увеличение партий поставок, отклонение от плановых сроков и объемов производства и прочих, приводит к сбоям или отказам в цепи поставок (ЦП), а, следовательно, к снижению надежности поставок и увеличению издержек. Следовательно, важность повышения надежности как одной из важнейших характеристик эффективности функционирования цепей поставок является очевидной.

Несмотря на очевидную необходимость повышения надежности цепей поставок, число компаний, которые уделяют должное внимание данному вопросу, пока еще незначительно. Отечественные и зарубежные специалисты по логистике и управлению цепями поставок (УЦП) отмечают возросшую уязвимость цепей поставок. Это связано с тем, что логистические системы и цепи поставок становятся сложнее, а чем сложнее система и чем выше степень ее внутренней связанности, тем более она подвержена воздействию неуправляемых событий. Поэтому изначально бизнес должен быть го-

тов к снижению возможных последствий от подобного рода возмущений и повышению надежности и устойчивости собственной цепи поставок.

Недостаточное внимание проблеме повышения надежности и устойчивости цепей поставок может привести не только к краткосрочным финансовым потерям, но и к ухудшению общего восприятия цепи поставок рынком, что в конечном счете приводит к снижению капитализации компании и негативно отражается на результатах операционной деятельности.

Особенную важность, по нашему мнению, имеет проблема повышения надежности снабженческой деятельности компании. Снабжение является комплексной логистической функцией, охватывающей бизнес-процессы планирования, закупок, управления запасами, транспортировки, получения, входного контроля качества и управления отходами. Ввиду многостороннего характера снабженческой деятельности, тесного взаимоотношения с поставщиками и взаимодействия с другими отделами компании возникает необходимость в разработке новых методов планирования, повышающих надежность поставок в снабжении.

Вышеперечисленными обстоятельствами определяются актуальность исследования в области развития методов и моделей повышения надёжности цепей поставок в снабжении.

Степень проработанности проблемы. По надежности цепей поставок написаны множество работ отечественных и зарубежных ученых.

Анализ этих работ показал наличие следующих проблем:

– несмотря на то, что теория и методология управления надежностью, безопасностью и устойчивостью цепей поставок в основном сформировались, в настоящее время отсутствует единство в определении понятий, подходов и трактовок надежности цепей поставок;

– отсутствуют как классификация методов повышения надежности цепей поставок, связанная с их основными свойствами, так и классификация моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок;

– в недостаточной степени разработаны комплексные модели оценки и обеспечения надежности цепей поставок, т.е. модели, охватывающие несколько смежных бизнес-процессов;

– отдельные вопросы являются недостаточно изученными, в частности, проблема и методы расчета потребности в запасных частях, основанные на теории процессов восстановления, требуют своего исследования.

Целью диссертационного исследования является разработка методов повышения надёжности цепей поставок в логистике снабжения.

Достижение цели диссертационного исследования потребовало решения следующих основных задач:

- исследовать аппарат надежности цепей поставок;
- провести критический анализ существующие подходы к повышению надежности в цепях поставок и применение математических моделей и методов оценки и повышения надежности цепей поставок;
- разработать классификацию методов повышения надежности цепей поставок, связанную с их основными свойствами;
- предложить иерархическая классификация моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок, которая может служить концептуальной основой процесса моделирования;
- разработать новую экономико-математическую модель задачи определения оптимального размера партии поставки и выбора поставщиков для обеспечения надежности поставок, учитывающую ситуацию изменяющегося спроса;
- усовершенствовать методику расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств;
- провести апробацию разработанных моделей и методов.

Объектом исследования являются цепи поставок в снабжении, включающие протекающие в них процессы, реализуемые организациями.

Предметом исследования являются методы оценки и повышения надежности функционирования цепей поставок в логистике снабжения и их отдельных бизнес-процессов.

Теоретической и методологической основой диссертации являются фундаментальные и прикладные разработки в области экономической теории, теории управления, логистики и управления цепями поставок, теории управления бизнес-процессами, системного, логистического и экономического анализа, исследования операций, теорий вероятностей, надежности технических систем, массового обслуживания, методы логического анализа и синтеза, научной классификации, математической статистики и др. Были использованы материалы периодической научной и справочной литературы, монографий, справочников, результаты научно-практических конференций и электронных изданий.

Информационной базой исследования являются: данные официальной статистики; материалы периодических научных и изданий; результаты научно-практических конференций и электронных изданий; прикладные и фундаментальные исследования в области управления цепями поставок; материалы по теме диссертации, собранные лично автором при проведении исследования.

Обоснованность и достоверность результатов исследования определяется: изучением и анализом зарубежных и отечественных источников научной литературы и широкого спектра материалов предметной области; подтверждением рассматриваемых теоретических и методических положений соответствующими расчетами; публикацией основных результатов исследования в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; докладами об основных результаты диссертационного исследования и их обсуждением на международных и всероссийских научно-практических конференциях; непротиворечивостью результатов исследования предшествующим научным результатам и сфере развития методов управления надежностью цепей поставок в российской и зарубежной практике.

Соответствие паспорту научной специальности. Исследование проводилось в рамках Паспорта специальности ВАК РФ – п. 4.7. «Теоретические и методологические аспекты исследования функциональных областей логистики: логистики снабжения, логистик производства, логистики распределения, возвратной (реверсивной) логистики»; и п. 4.17. «Моделирование и оптимизация параметров

логистических бизнес-процессов».

Научная новизна результатов исследования заключается в комплексном решении организационных и методических проблем управления надежностью цепей поставок в логистике снабжения, разработке рекомендаций по оптимизации отдельных бизнес-процессов в логистике снабжения.

Наиболее существенные результаты исследования, обладающие научной новизной и полученные лично соискателем:

1. Предложена классификация методов повышения надежности цепей поставок, связанная с их основными свойствами, которая показывает, где применяются те или иные методы, какова связь этих методов с надежностью, экономичностью и безопасностью цепей поставок, а также служит основой для адекватного выбора метода управления надежностью цепей поставок в конкретных условиях или для конкретного бизнес-процесса.

2. Усовершенствована методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, позволяющая учесть нестационарность и дискретность процесса сбоев в поставках, следовательно, получить более точные данные, характеризующие надежность поставок в снабжении.

3. Предложена иерархическая классификация моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок, связанная с их математическими свойствами, которая служит концептуальной основой процесса моделирования, т.е. процедуры создания новой модели оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок.

4. Разработана стохастическая модель задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений в условиях изменяющегося спроса, которая в отличие от существующей динамической постановки данной задачи дает возможность получить более реалистичный план, учитывающий вероятностный характер спроса на товары.

5. Уточнена методика расчета потребности в запасных частях с учетом эксплуатационной надежности транспортных средств, которая в частях основывается

на вычислении характеристик процесса восстановления деталей, агрегатов и автомобиля, моделировании коэффициента выпуска и прогнозировании пробега на плановый период по возрастным группам автомобилей и позволяет учесть большинство факторов, определяющих расход запасных частей.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что предложенные в работе подходы, методы и алгоритмы ведут как к повышению надежности цепей поставок в целом, так и их отдельных бизнес-процессов, а применение этих методов на практике позволит снизить логистические затраты и повысить эффективность бизнес-процессов.

Разработанная в диссертации методика расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств может быть использована при создании специализированного программного решения для автоматизации планирования процесса закупок на автотранспортном предприятии.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования обсуждались на ежегодных всероссийских и международных научно-практических конференциях: IX Международная научно-практическая конференция «Логистика: современные тенденции развития», 15-16 апреля 2010 г., Санкт-Петербург, СПбГИЭУ; X Международная научно-практическая конференция «Логистика: современные тенденции развития», 14-15 апреля 2011 г., Санкт-Петербург, СПбГИЭУ; V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Эффективная логистика», 3 декабря 2011 г., Челябинск, ЮУрГУ; Пятый научный конгресс студентов и аспирантов ИНЖЭКОН-2012 25, 26 апреля 2012 г., Санкт-Петербург, СПбГИЭУ; XI Международная научно-практической конференции «Логистика: современные тенденции развития», 19-20 апреля 2012 г., Санкт-Петербург, СПбГИЭУ; Международная методической и научно-практической конференция, 23-25 мая 2013 г., Санкт-Петербург, СПб ГТУРП.

Некоторые положения диссертации нашли практическое применение в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» при преподавании дисциплин «Логистика городских

транспортных систем» и «Моделирование в среде AnyLogic», а также в экономической деятельности предприятия СПбГУП «Пассажиравтотранс».

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 11 научных работах общим объемом 3,25 п. л. (личный вклад – 2,05 п.л.), в том числе в 4 статьях в рецензируемых экономических журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и библиографического списка.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК

1.1. Аппарат теории надежности цепей поставок

В две последние декады XX века в развитых экономически странах во многих отраслях бизнеса вследствие непрерывного улучшения технологий производства сложилась такая ситуация, при которой себестоимость продукции достигла своего минимума. В этой связи для обеспечения конкурентных преимуществ появилась потребность в новой концепции управления бизнесом – управление цепями поставок.

Термин «управление цепями поставок» (Supply Chain Management) впервые был предложен системным интегратором «i2 Technologies» и консалтинговой компанией «Arthur Andersen» в начале 1980-х годов, а появление концепции связывают со статьей К. Оливера и М. Вебера «Supply chain management: Logistics Catches up with Strategy», опубликованной в 1982 году [122, с. 18-19], в которой авторы определили управление цепями поставок как материальный поток, идущий через каналы распределения от поставщика к конечному покупателю, выделяя главную идею в том, что цепь поставок должна быть неделимой, а её оптимизация должна вестись с учётом требований всех её участников.

Существует большое количество определений термина «управление цепями поставок», но общепризнанной в США и Европе является трактовка этого термина, данная в 1998 г. Советом логистического менеджмента: «Управление цепями поставок – это интеграция ключевых бизнес-процессов (в основном логистических), начинающихся от конечного потребителя и охватывающих всех посредников и поставщиков товаров, услуг и информации, добавляющих ценность для потребителей и других заинтересованных лиц» [71, с. 4]. Под логистическим бизнес-процессом понимают взаимосвязанную совокупность операций и функций, переводящих ресурсы компании (при управлении товарными и сопутствующими потоками) в результат, задаваемый логистической стратегией фирмы [71, с. 45].

Количество ключевых бизнес-процессов в цепях поставок также является вопросом для обсуждения. Ссылаясь на мнение Дж. Стока и Д. Ламберта, управление цепями поставок есть управление восемью ключевыми бизнес-процессами: взаимодействие с потребителем, обслуживание потребителей, управление спросом, выполнение заказов, управление производственным потоком, снабжение, разработка продукции и доведения ее до коммерческого использования, управление возвратными потоками [126, с. 54]. Джеффри Г. Шатт рассматривает следующие бизнес-процессы цепочки поставок: закупка, получение, изготовление, перемещение, хранение, продажа и поставка [140, с. 29]. В SCOR-модели рассматривается пять ключевых бизнес-процессов: планирование (*plan*), снабжение (*source*), производство (*make*), поставка (*deliver*) и возврат (*return*) [164, с. 11].

Поскольку существует множество определений понятия «цепь поставок», нет единства и в выделении её основных свойств, классификаций и декомпозиций. Анализ, проведенный в работе [62, с. 425-427], показал, что общепризнанными свойствами являются: адаптивность, гибкость, жизнестойкость/устойчивость, иерархичность, прочность/робастность, сложность, структурированность и эмерджентность (целостность). Взаимосвязь основных свойств цепей поставок представлена на рисунке 1.1.

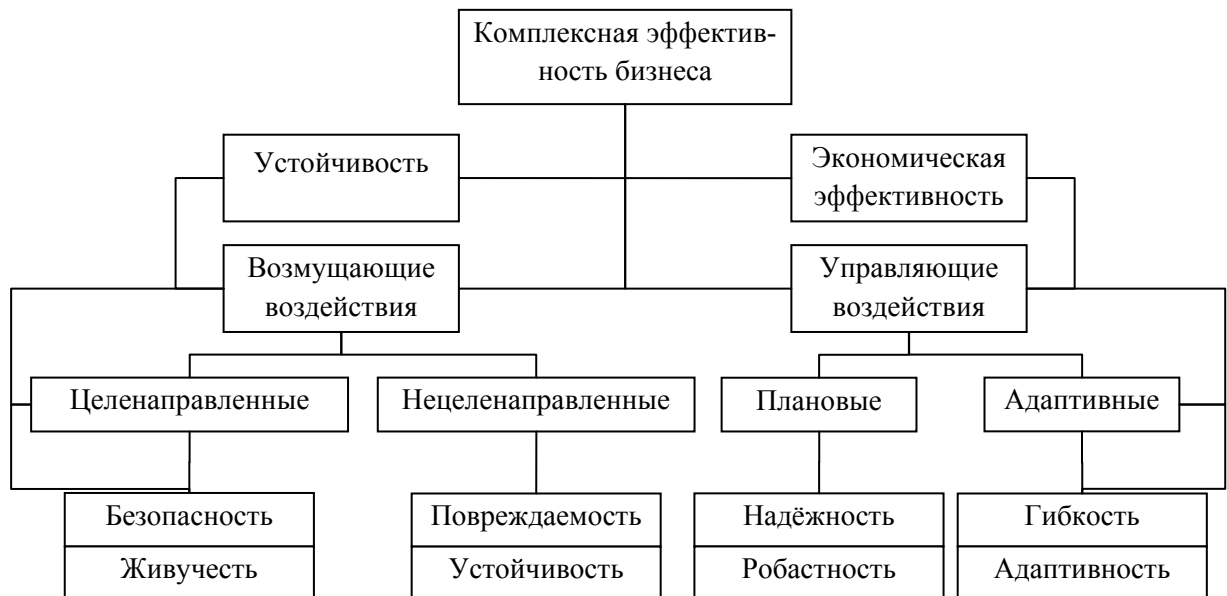


Рисунок 1.1 – Взаимосвязь основных категорий и свойств для анализа цепей поставок относительно неопределенности [62, с. 426]

В работах посвящённых вопросам надёжности и безопасности в управлении цепями поставок приводятся термины и определения понятийного аппарата теории надёжности, анализ которых показывает, что, во-первых, их взаимосвязь между собой не всегда прозрачна, во-вторых, различные трактовки одного и того же понятия иногда противоречат друг другу. Чтобы проиллюстрировать эту проблему, нами была составлена таблица 1.1, где перечислены основные понятия и определения того или иного термина надёжности и безопасности в работах по логистике и управлению цепями поставок.

Таблица 1.1 – Основные понятия и определения терминов в области надёжности и безопасности цепей поставок

Источник	Термин	Определение
[62, с. 203]	Адаптивность	Свойство цепи изменять свое поведение с целью сохранения, улучшения или приобретения новых характеристик для достижения поставленных целей в условиях меняющейся во времени среды, априорная информация о которой является неполной.
[47]	Безопасность	Сопrotивление преднамеренному акту незаконного вмешательства, рассчитанному на нанесение вреда или ущерба цепи поставок или посредством цепи поставок
[98]	Безотказность	Свойство, характеризующее способность цепи поставок функционировать без отказов в течение определенного времени в соответствии с условиями договоров между участниками цепи
[98]	Восстанавливаемость	Свойство цепи поставок, характеризующее ее способность к устранению последствий от возникающих отказов, приводящее цепь в работоспособное исправное состояние
[98]	Дефект	Внутреннее воздействие, влекущее допустимое отклонение от условий контрактов между участниками цепи поставок
[98]	Исправность	Состояние цепи поставок, при котором ее функционирование соответствует условиям договоров, заключенных между участниками этих цепей поставок
[115]	Надежность	Это временной показатель качества работы цепи поставок, связанный с вероятностью безотказного нормального его функционирования (в заданных условиях работы) с учетом влияния внешней среды
[121]	Надежность	Функционирование цепи поставок в части собственно поставок: логистический микс – 7R
[98]	Надежность	Свойство цепи поставок сохранять в установленных пределах значения всех своих характеристик и элементов (безотказности, долговечности, восстанавливаемости, сохраняемости), которые характеризуют способность цепи выполнять все свои функции в соответствии с условиями договоров между ее участниками
[102]	Надежность поставки в цепи	Набор таких критериев, как эффективность выполнения заказов с точки зрения соблюдения сроков поставки, качества предоставляемых услуг, ассортимента продукции и совокупных затрат.

Продолжение таблицы 1.1

Источник	Термин	Определение
[98]	Неисправность	Состояние цепи поставок, при котором она способна выполнять все свои функции, несмотря на нарушения условий договоров между участниками цепи
[98]	Неработоспособность	Неспособность выполнять свои функции в соответствии с договорами между участниками цепи поставок по любой причине
[124]	Скорость реакции	Скорость, с которой данная цепь поставок обслуживает конечного потребителя, которая может быть выражена в следующих показателях: <ul style="list-style-type: none"> • Длительность цикла выполнения заказа • Длительность производственного цикла • Длительность логистического цикла
[98]	Отказ	Потеря цепью поставок или ее элементами способности выполнять свои функции в соответствии с договорами между участниками цепи
[57]	Отказ	Событие, состоящее в невыполнении обязательств по доставке товара по какому либо пункту контракта, являющемуся фактором риска (время, объем, последовательность, комплектность и т.п.), из-за сбоев в реализации предоставляемых провайдером процессов или сервисов
[98]	Повреждение	Внешнее воздействие, вызывающее допустимое отклонение от условий контрактов между участниками цепи поставок
[98]	Работоспособность	Состояние цепи поставок, при котором она способна выполнять свои функции в соответствии с договорами между участниками цепи
[62]	Робастность	Свойство, заключающееся в способности цепи выдерживать определенный уровень возмущающих воздействий.
[98]	Сбой	Самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременной частичной потере работоспособности либо устраняемый незначительными усилиями без существенных временных и финансовых затрат
[62]	Устойчивость	Состояние цепи поставок, находящейся в плановом режиме функционирования устойчиво, если при фиксированном множестве допустимых управляющих воздействий ограниченные и относительно малые по величине возмущающие воздействия приводят к ограниченным и относительно малым изменениям выходных переменных.

Таким образом, несмотря на то, что теория и методология управления надежностью, безопасностью и устойчивостью цепей поставок в основном сформировались, в настоящее время отсутствует единство в определении понятий, подходов и трактовок надежности цепей поставок.

Например, для понятия «отказ» возможно рассматривать следующие классификации. В работе [62, с. 430-431] приводится классификация по сложности прилагаемых управляющих воздействий по возвращению системы в работоспо-

собное состояние. В этой классификации, выделяется четыре уровня отказа: критическая ситуация (нарушение одного процесса), опасная ситуация (нарушение нескольких процессов), ситуация срыва плана (нарушение многих процессов), катастрофическая ситуация (нарушение подавляющего большинства процессов).

В последние годы появилось достаточно много работ, в которых исследуются зависимости между процессами, протекающими в логистических системах, которые приводят к отказам в обслуживании, аналогичных выявленным при исследовании технических систем, и даются классификации отказов в цепях поставок [57, 58, 62, 98, 138, 143, 144].

Данные различными авторами классификации, конечно, не могут охватить все характеристики отказов, имеющих место в цепях поставок, поэтому необходимо адаптировать часть классификации из теории надёжности технических систем (НТС) и дополнить её с учётом специфики цепей поставок. Например, цепям поставок не присущи поломки в том понимании, в котором они употребляются в технических системах. Существенной особенностью отказов в цепях поставок является то, что они относятся к физическим процессам и многие из них невозможно исправить коррекцией планов, как предложено в работе [62, с. 431].

Поэтому первоочередными задачами в развитии теории надёжности цепей поставок являются уточнение основных терминов и определений, а также создание их подробных классификаций. Иначе будет затруднено проведение дальнейших исследований.

Подводя итог вышесказанному, нужно отметить, что, несмотря на развитие логистики и управления цепями поставок во всем мире, многие как теоретические, так и практические проблемы надёжности цепей поставок являются нерешёнными. К их числу, по нашему мнению, можно отнести проблему разработки классификации методов и моделей оценки и обеспечения надёжности операций в цепях поставок, а также проблему разработки моделей планирования отдельных бизнес-процессов в цепях поставок. Хотя вопросы надёжности цепей поставок стали подниматься в трудах отечественных и зарубежных авторов относительно недавно, уже существуют множество подходов, методов и моделей повышения

надежности цепей поставок. На наш взгляд, в соответствии с задачами диссертационного исследования целесообразно провести критический анализ этих подходов, методов и моделей, а также дать их классификацию.

1.2. Существующие подходы к повышению надежности в цепях поставок

Среди разнообразных подходов к оценке и обеспечению надежности цепей поставок наибольшее распространение получили: процессный подход и разработанная на его основе SCOR-модель, создание динамичных цепи поставок и оценка качества логистического сервиса на основе показателя «совершенный заказ».

SCOR-модель (*Supply Chain Operations Reference-model*) – «Рекомендуемая модель операций в цепях поставок» специально разработана для управления цепями поставок (SCM). Предпосылками к этому явилась необходимость создания методики моделирования SCM и одинакового понимания процессов, лежащих в основе управления цепями поставок, а также с их оценкой. Создание стандартизированной модели процессов было инициировано Советом по цепям поставок (*Supply Chain Council – SCC*). Цель Совета по цепям поставок – разработка и техническое описание стандартных моделей бизнес-процессов и обмена информацией между предприятиями, которые включены в логистическую цепь. При помощи SCOR-моделей могут быть созданы единые, сравнимые и приспособленные для оценки модели процессов внутри логистической цепи. Идеология SCOR-модели состоит в совмещении принципа неразрывности как товарного и информационного потоков, так и, одновременно, функциональной интеграции. Данная модель включает в себя три довольно популярные концепции управления (технологии): реинжиниринг бизнес-процессов, бенчмаркинг и использование наилучшей практики [121, с. 59].

Модель SCOR имеет четырехуровневую структуру (рисунок 1.2). На глобальном уровне принципиально различаются следующие ключевые бизнес-процессы:

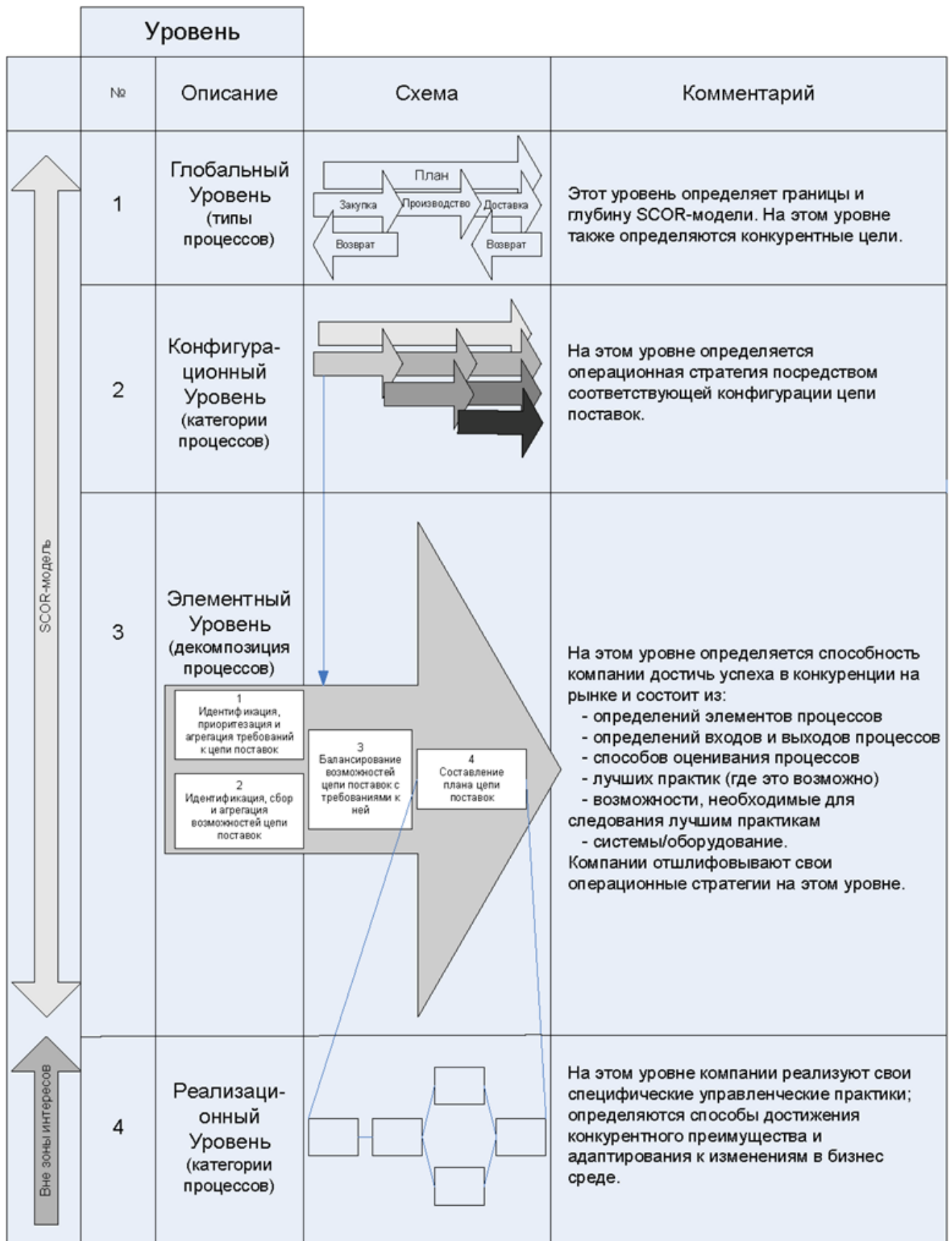


Рисунок 1.2 – Уровни детализации процессов в SCOR-модели [164]

– план (plan) – процессы, которые направлены на поддержание баланса совокупного спроса и предложения и разрабатывают последовательность действий,

которая наилучшим образом соответствует политике снабжения, производства и поставок;

- снабжение (source) – процессы, которые заключаются в закупке товаров и услуг с целью удовлетворения запланированного или текущего спроса;

- производство (make) – процессы, которые трансформируют продукт до его конечного состояния с целью удовлетворения запланированного или текущего спроса;

- доставка (deliver) – процессы, которые обеспечивают доставку готовой продукции или услуги для удовлетворения запланированного или текущего спроса, как правило, включают управление заказами, транспортировку и распределение;

- возврат (return) – процессы, связанные с возвратом или приемкой возвращенной продукции по любым причинам.

Эти основные процессы описываются более детально на следующих уровнях (см. рисунок 1.2).

Так, на втором (конфигурационном) уровне происходит дифференциация по 30 категориям «типовых» процессов, которые затем на третьем (элементном) уровне конфигурируются с помощью элементов процесса с учетом отраслевых стандартных рекомендаций. SCOR-модель позволяет определить процессы в логистической цепи на оперативном уровне в виде ограниченных частных процессов и задокументировать как временную и логическую последовательность производственных циклов выполнения заказов, так и оперативные базисные показатели. В таком виде наглядные процессы представляют собой основу для взаимопонимания партнеров и создают возможность для анализа таких факторов, как время и издержки.

Основные стадии проекта разработки SCOR-модели представлены на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Основные стадии проекта разработки SCOR-модели [121, с. 71]

В SCOR-модели эффективность цепи поставок определяют на основании оценки показателей, характеризующих такие параметры функционирования, как надежность, скорость отклика, гибкость, издержки и эффективность управления активами в цепи поставок. Показатели функционирования разделяются по уровням SCOR-модели. Показатели функционирования первого уровня, представляющие собой измерители высокого ранга, которые могут обобщать ряд процессов SCOR-модели, представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Параметры функционирования цепи поставок и показатели первого уровня [121, с. 62]

Параметры функционирования	Определение параметров	Показатели первого уровня
Надежность цепи поставок	Функционирование цепи поставок в части собственно поставок: логистический микс – 7R	Выполнение поставок
		Нормы насыщения спроса
		Доля безошибочных («идеальных») заказов
Отклик цепи поставок	Скорость, с которой цепь поставок доставляет продукт конечному потребителю	Время выполнения заказа
Гибкость цепи поставок	Темп, с которым цепь поставок реагирует на изменения ситуации на рынке с целью получения или сохранения конкурентных преимуществ	Время реагирования
		Гибкость производства

Продолжение таблицы 1.2

Параметры функционирования	Определение параметров	Показатели первого уровня
Издержки цепи поставок	Издержки, связанные с операциями в цепях поставок	Себестоимость проданной продукции
		Общие издержки цепи
		Производительность с добавленной стоимостью
		Издержки возврата продукции
Эффективность управления активами в цепи поставок	Эффективность организации в управлении активами, поддерживающими удовлетворение спроса. Включает управление всеми активами: оборотный капитал и основные средства	Цикл оборота денежных средств
		Объем запасов в днях продаж
		Оборачиваемость активов

В работе [123], посвященной практике использования SCOR-модели для реинжиниринга цепи поставок, рассматривается пример реальной компании химической отрасли, которая использует следующие показатели первого уровня для оценки надежности выполнения поставок [123, с. 68]:

- соответствие выполнения отгрузок требованиям, %;
- цикл выполнения заказа для стандартной продукции и продукции, произведенной под заказ, дни;
- доля идеально выполненных заказов, %.

Эффективность операционной стратегии цепи поставок на втором и третьем уровнях оценивается на основании ключевых показателей деятельности (*Key Performance Indication – KPI*), которые каждая компания разрабатывает самостоятельно исходя из существующей структуры бизнеса и конкретных бизнес-процессов.

Ограниченность SCOR-модели для оценки надежности цепи поставок, по нашему мнению, заключается в том, что, во-первых, данная модель ограниченно трактует понятие надежности цепи поставок. Под надежностью, в данном случае, понимается соблюдение качественных, количественных и временных параметров при выполнении заказов, т.е. надежность не рассматривается с позиций безотказности цепи поставок и затрат на поддержание ее работоспособности.

Во-вторых, оценка эффективности цепи поставок и, в частности, ее надежности осуществляется путем сравнения достигнутых в компании показателей с показателями компаний-лидеров в данной сфере бизнеса. Очевидно, что такое сравнение не всегда позволяет правильно оценить как эффективность, так и надежность цепи поставок. Например, если доля безошибочных или «идеально» выполненных заказов в лучших компаниях составляет 99%, а в рассматриваемой компании – 98%, то это еще не означает, что надежность поставок в рассматриваемой компании ниже, чем в лучших компаниях. В различных компаниях могут отличаться как параметры продукции, так и требования клиентов к поставкам продукции одного и того же назначения. Эти параметры и требования могут отличаться и для подразделений одной и той же компании, но работающих на различных рынках или в различных регионах. Следовательно, прямые сравнения компаний по таким показателям как доля безошибочных («идеальных») заказов или время выполнения заказа не всегда возможно.

В-третьих, как было отмечено ранее, SCOR-модель является моделью описательной, она позволяет описать существующие бизнес-процессы цепи поставок («как есть»), разработать усовершенствованные бизнес-процессы («как должно быть»), провести оценку функционирования компании в сравнении с лучшими результатами и разработать такие управленческие инструменты, которые приведут к достижению наилучших результатов. Но, поскольку модель является качественной (описательной), реинжиниринг цепи поставок не гарантирует, что бизнес-процессы будут оптимальными, а эффективность и надежность цепи поставок – наивысшими.

Создание динамичных цепей поставок также является одним из трех основных подходов к обеспечению их надежности. Динамичность означает быстрое реагирование в глобальных масштабах на требования постоянно изменяющихся рынков. Динамичность – свойство, присущее всему бизнесу. Оно включает организационные структуры, информационные системы, логистические процессы и уровень профессиональных компетенций персонала. Ключевая характеристика динамичной организации – гибкость [131, с. 361].

В работе [131, с. 362] указывается, что в управлении цепями поставок рассматривают две альтернативные стратегии: «бережливая» и динамичная. Основные характеристики обеих стратегий сравниваются друг с другом в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Характеристики «бережливой» и динамичной стратегии

Факторы, оказывающие влияние на выбор стратегии	Стратегия цепи поставок	
	«Бережливая»	Динамичная
Основная ориентация	Производительность	Эффективность
Характеристики продукции	Стандартная	Широкое разнообразие
Цикл жизни продукции	Длительный	Короткий
На чем делается акцент в работе цепи поставок	Экономия на масштабах	Скорость, гибкость и качество
Использование мощностей	Уровень задается графиком производства	Гибкость
Критерии отбора поставщиков	Цена и качество	Наличие резервной мощности. Скорость, гибкость и качество

Анализ факторов, оказывающих влияние на выбор стратегии цепи поставок, показывает, что «бережливый» вариант вполне оправдан в некоторых условиях, в частности, когда спрос предсказуем, требования к разнообразию ограничены, объем производства высокий, а динамичный вариант необходим в менее предсказуемой среде, когда спрос резко меняется, а требования к разнообразию продукции высокие.

Концепции «бережливой» и динамичной стратегии не являются взаимоисключающими. В идеале организации должны стремиться создавать гибридные стратегии цепей поставок, объединяющие обе эти философии, и благодаря этому – получать наиболее эффективные по затратам решения [131, с. 362]. Выбор того или иного варианта гибридной стратегии базируются на: применении правила 80:20 для разделения продукции на медленно реализуемую и быстрореализуемую, значении точек появления (*decoupling point*) или точек проникновения заказа (*order penetration point*) и распределении спроса на базовую и волновую составляющие.

Применение закона Парето или правила 80:20 к процедуре выбора гибридной стратегии представлено на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Применение закона Парето или правила 80:20 к процедуре выбора гибридной стратегии [131, с. 365]

Основная проблема, встречающаяся в большинстве цепей поставок, – ограниченная «видимость» фактического спроса. Поскольку цепи поставок часто протяженные и имеют множество уровней запасов, располагающихся между местом производства и конечным рынком, как правило, их работа основывается на прогнозах, а не на фактическом спросе. Точка, в которой фактический спрос появляется в верхней части цепи поставок, называется точкой появления (*decoupling point*) или точкой «проникновения заказа» (*order penetration point*) [131, с. 365].

Как правило, менеджеры стремятся использовать стратегию переноса точки появления заказа на нижние звенья цепи поставок, которая имеет несколько преимуществ. Во-первых, запасы можно держать в виде дженериков продукции, т.е. стандартных полуфабрикатов, ожидающих конечной обработки, и поэтому снижение числа вариантов продукции помогает сократить объем запасов в целом. Во-вторых, поскольку запасы здесь по своей физической природе типовые, гибкость работы с ними повышается, так как одни и те же компоненты, модули или платформы можно использовать в самых разных продуктах. В-третьих, прогнозы проще делать на типовом уровне, чем на уровне готовой продукции [131, с. 367].

Продолжение таблицы 1.4

Метод выбора гибридной стратегии	Соответствующие рыночные условия и операционная среда
<p>Разделение спроса на волновую и базовую составляющие Управление составляющей спроса с высокой степенью прогнозируемости (базовой) на основе «бережливых» принципов; использование динамичных принципов для работы с менее предсказуемой (волновой) составляющей</p>	<p>Там, где базовый уровень спроса можно уверенно предсказать на основе прошлого опыта и где имеется местное производство и мощности для выпуска продукции небольшими партиями</p>

Следует отметить, что, во-первых, представленные в таблице 1.4 рыночные условия и операционная среда влияют скорее на выбор динамичного производства, а не динамичной логистики. Во-вторых, применение динамичной стратегии не исключает применения «бережливой» стратегии. Эти стратегии являются скорее взаимодополняющими, чем исключаящими друг друга, о чем свидетельствует выбор оптимальной гибридной стратегии, представленный в таблице 1.4.

Динамичная цепь поставок должна обладать рядом особенных характеристик:

- 1) чувствительность к рынку – способность цепи поставок определять реальный спрос и реагировать на него;
- 2) виртуальность – использование информационных технологий для обмена данными между покупателями и поставщиками;
- 3) согласование процессов – совместная работа заказчиков (покупателей) с поставщиками, совместная разработка продукции, использование общих систем и обмен информацией;
- 4) сетевой подход – идея, согласно которой цепь поставок – это совокупность партнеров, состыкованных друг с другом в виде сети.

Анализ проблемы создания динамичных цепей поставок позволяет сделать вывод о том, что, безусловно, достижение динамичности в рамках всей цепи поставок предоставляет компаниям глобальное конкурентное преимущество за счет сокращения времени цикла выполнения заказа, сокращения времени наладки оборудования, использования модульного производства и снижения запасов. Но все же создание динамичной цепи поставок позволяет добиться, прежде всего, повы-

шения эффективности, а не надежности цепи поставок. Таким образом, создание динамичной цепи поставок является проблемой, выходящей далеко за рамки диссертационного исследования.

Третьим широко распространенным подходом к оценке и обеспечению надежности цепей поставок является оценка качества логистического сервиса на основе показателя «совершенный заказ» (*Perfect Order Fulfillment – POF*). Под POF в общем случае понимается безошибочное исполнение всех операций полного цикла заказа в строгом соответствии с контрактными условиями. Количество операций связано с особенностями заказов и может быть разным. Во всяком случае, в зарубежных публикациях описываются случаи учета от 3 до 11 операций (или факторов), учитываемых при определении уровня POF. На практике чаще всего используется трехкомпонентная модель POF, определяемая такими факторами, как своевременность доставки, укомплектованность заказа и безошибочность его исполнения [72, 126] и др. Под своевременностью понимается доставка вовремя, в точно согласованный с заказчиком срок (*delivery on time*). Под укомплектованностью понимается доставка полностью укомплектованного заказа в полном объеме (*delivery in full*). Под безошибочностью понимается доставка заказанного товара без повреждений (*correct condition and correct place*) при соблюдении условий транспортировки и отсутствии ошибок в документах [72, 126]. В целом, с безошибочностью связывают отсутствие ущерба в том или ином виде у потребителя.

Актуальность темы POF несомненна. В работе Е.И. Зайцева и С.А. Уварова [58] отмечается, что она напрямую связана с проблемой надежности цепи поставок и обусловлена достаточно высокой неопределенностью используемых на практике метрик, сложностью измерения показателей качества логистических услуг и экономических последствий заключения контрактов на условиях POF. Не случайно POF рассматривается как характеристика надежности в модели SCOR и инструмент синхронизации каналов поставок в логистической цепи. Отметим также, что в ряде публикаций отмечается «труднодостижимость» определенного таким образом POF на практике. В то же время отмечается, что реальное повышение уровня POF на 3 % обеспечивает повышение прибыли компании на 1 %. Ком-

паниям, обеспечивающим практическое исполнение POF, также удастся существенно повысить конкурентоспособность, снизить уровень запасов до 15 % и до 35 % сократить срок оборачиваемости денежных средств [58, с. 16].

На сегодня однозначного формального метода оценки POF не существует. По сути, это дело службы управления поставками компании, оказывающей логистические услуги. Прежде всего, не оговорен ни перечень, ни количество факторов, влияющих на оценку POF. Чаще всего рассматривают три упомянутых выше фактора. Однако имеются примеры использования пяти, восьми и даже одиннадцати измерителей. В некоторых случаях вместо POF используется индекс совершенного заказа (*Perfect Order Index – POI*), определяемый произведением вероятностей безошибочного исполнения заказа по семи и четырем факторам. При этом отмечается, что на практике количество факторов устанавливается самой компанией, осуществляющей поставки [58, с. 17].

Существенной проблемой является расчет POF. Обычно POF представляется в виде вероятности безошибочного исполнения заказа, определяемой произведением вероятностей безошибочного выполнения базовых операций:

$$P_0 = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1.1)$$

где n – количество операций в совершенном заказе, P_i –вероятность безошибочного выполнения i -ой операции.

Суть проблемы использования модели (1.1) заключается в предположении независимости операций и неограниченности во времени контрактных соглашений между потребителями и поставщиками. В частности, ошибки на стадии приема и обработки заказа могут привести к ошибкам в комплектации и документировании. Задержки в выполнении операций на складе и ошибки в планировании отправки товаров могут вызвать нарушение сроков поставки. В связи с этим в работе [58, с. 17] указывается, что в модели (1.1) следует использовать условные вероятности событий, определяемые при условии безошибочного исполнения сопряженных операций.

Еще одна важная проблема оценки POF связана с ограниченностью сроков контрактных соглашений между поставщиками и потребителями, что, в свою очередь, приводит к неопределенности понятия «вероятность» в модели POF.

Известны три подхода к определению понятия «вероятность» [34]:

- *классический*, основанный на подсчете числа исходов опытов, благополучных данному событию, и его отношения к числу равновозможных исходов (классическая формула для вероятности события);
- *частотный (статистический)*, основанный на понятии частоты события в данной серии опытов;
- *теоретико-множественный*, основанный на теории множеств.

Именно третий вариант связан с моделью (1.1), а типичный пример, иллюстрирующий проблему использования различных вариантов расчета POF, приведен в работе [58, с. 17-18].

Пример 1.1. Пусть POF определяется по трем операциям, безотказность выполнения которых известна и равна $P_1 = 0,9$, $P_2 = 0,8$ и $P_3 = 0,5$ соответственно. По формуле (1.1) получим $P_0 = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 0,36$.

Пусть контракт между поставщиком и потребителем заключен на выполнение 20 заказов на условиях POF. Расчеты для трех вариантов практически возможного исполнения контракта представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Классическое определение уровня POF

Вариант	Параметр качества, операция	Номер заказа																				Количество ошибок	P_0
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
I	1	x	x																			2	0,5
	2	x	x	x	x																	4	
	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x											10	
II	1		x	x																		2	0,25
	2			x	x	x	x															4	
	3							x	x	x	x	x	x	x	x	x						10	
III	1	x	x																			2	0,2
	2			x	x	x	x															4	
	3							x	x	x	x	x	x	x	x	x						10	

Из таблицы 1.5 видно, что при одном и том же количестве ошибок их сочетание дает разные значения величины P_0 . В первом варианте имеем 10 безошибочных

бочно выполненных заказов из 20 ($P_0 = 0,5$), во втором 5 ($P_0 = 0,25$), а в третьем 4 ($P_3 = 0,2$). При этом по модели (1.1) имеем $P_0 = 0,36$. Этот пример иллюстрирует проявление эффекта неустойчивости частот при втором (статистическом) варианте определения «вероятности». При увеличении количества опытов частота событий стабилизируется, приближаясь к некоторой постоянной величине, называемой «вероятностью события». То есть, оценку (1.1) следует рассматривать как математическое ожидание показателя уровня POF. Практическая проблема оценки POF в логистике распределения состоит в том, что количество опытов, то есть, контрактов с конкретными потребителями, ограничено. И в этом раскрывается еще один аспект актуальности POF, связанный с важностью объективной оценки этого показателя не только для типичного поставщика, оперирующего понятием обезличенного заказа, но и для потребителя с его конкретикой в части длительности и условий контракта.

1.3. Применение экономико-математических методов в повышении надежности цепей поставок

Повышение надежности логистической системы целом, а также отдельных ее элементов, наряду с минимизацией логистических издержек является одним из направлений повышения эффективности функционирования логистической системы. Рост числа публикаций, посвященных надежности, устойчивости и безопасности цепей поставок, является свидетельством исключительной актуальности этой проблемы. В частности различные аспекты проблемы повышения надежности цепей поставок рассматривались в работах Аникина Б. А., Бочкарева А. А., Григорьева М. Н., Зайцева Е. И., Иванова Д. А., Инютиной К. В., Канке А.А., Кошевой И.П., Лукинскогo В. С., Миротина Л. Б., Нагловскогo С. Н., Некрасова А.Г., Плоткина Б.К., Пузановой И.А., Сергеева В. И., Уварова С. А., Шульженко Т. Г. [16, 48, 49, 62, 63, 65, 83, 101, 102, 103, 106, 109, 110, 114, 115, 143] и др.

Анализ применения математических моделей и методов оценки и повышения надежности цепей поставок, по нашему мнению, следует начать с рассмотре-

ния основных свойств самих цепей поставок и методов обеспечения их надежности.

По нашему мнению, по аналогии с техническими системами, основными свойствами цепей поставок являются надежность, экономичность и безопасность (рисунок 1.6).

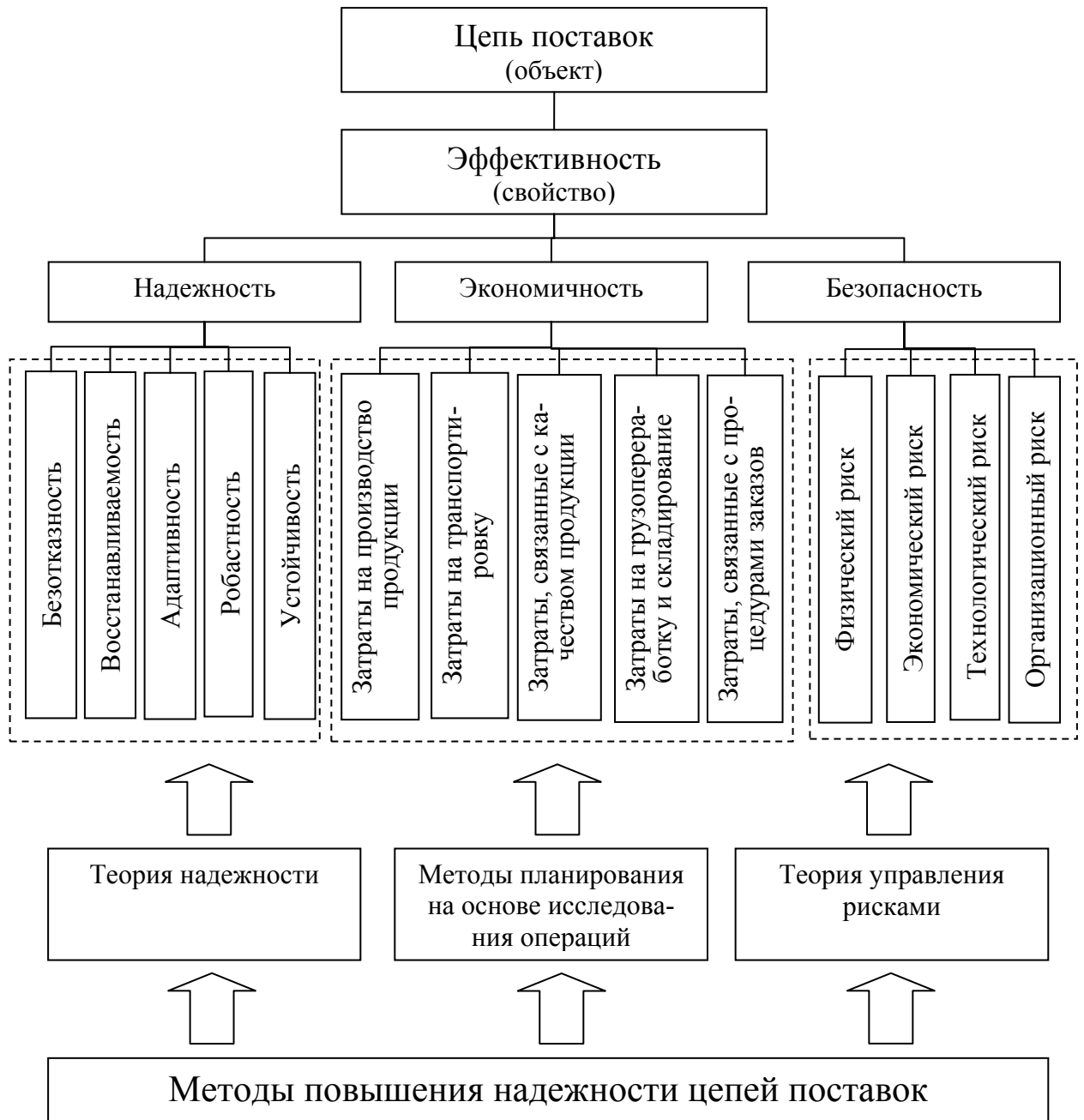


Рисунок 1.6 – Классификация методов повышения надежности цепей поставок

Следовательно, все методы повышения надежности цепей поставок должны рассматриваться с точки зрения трех подходов:

1) технический подход, базирующийся на теории надежности технических систем;

2) экономический подход, подразумевающий оценку надежности цепей поставок на основе логистических издержек, нарушения контрактных обязательств (штрафы и т.п.) или показателей прибыли и рентабельности бизнес-процессов в цепях поставок. Как правило, в основе экономического подхода к повышению надежности цепей поставок лежат методы и математические модели планирования логистических бизнес-процессов в условиях неопределенности;

3) подход, учитывающий безопасность протекания бизнес-процессов в цепях поставок, основанный на теории управления рисками.

Основными свойствами цепей поставок, определяющими их надежность, являются: безотказность, восстанавливаемость, адаптивность, устойчивость, робастность и ряд других (см. таблицу 1.1).

Экономичность цепей поставок определяется затратами на производство, затратами на внутреннюю и внешнюю транспортировку, затратами, связанными с качеством продукции (ущерб от недостаточного уровня качества, потери продаж, возврат товаров и т.п.), затратами на грузопереработку и складирование и затратами, связанными с процедурами заказов (см. рисунок 1.6).

На безопасность цепей поставок, по нашему мнению, влияют следующие группы факторов риска (см. рисунок 1.6):

– физические: хищение имущества (утрата); низкое качество исходного сырья и материалов; аварии транспортных средств; аварии основного оборудования и др.;

– экономические: неточность и недостоверность прогнозного спроса на продукцию; срыв поставки материалов; поставка некачественных ресурсов; отсутствие денежных средств на закупку ресурсов; рост цен на ресурсы и др.;

– технологические: снижение пропускной способности (мощности) звена логистической системы или контрагента цепи поставок; техническая невозможность производства; отказ оборудования; нарушение технологии производства, хранения и транспортирования; физический износ производственного оборудова-

ния, транспортных средств, складского подъемно-транспортного оборудования; несоблюдение технологии производства, хранения, транспортирования и др.;

– организационные: неэффективность сбытовой деятельности; отсутствие системы контроля качества и мониторинга цепи поставок; ошибки в выборе посредников; неэффективное управление запасами и др.

Очевидно, что классификация методов повышения надежности цепей поставок должна быть полезна не только в теоретическом, но и в практическом аспекте. По нашему мнению, предложенная классификация позволяет сделать обоснованный выбор метода управления надежностью цепей поставок в конкретных условиях или для конкретного бизнес-процесса.

Поскольку предметом исследования являются методы оценки и повышения надежности функционирования цепей поставок в логистике снабжения, представляет интерес связь диссертационного исследования с элементами надежности, методами их обеспечения и этапами функционального цикла логистики снабжения (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Связь диссертационного исследования с элементами надежности, методами их обеспечения и этапами функционального цикла логистики снабжения

Этапы функционального цикла логистики снабжения	Элементы надежности	Методы обеспечения надежности	Связь с диссертационным исследованием
1. Обработка заказа производства на обеспечение материально-техническими ресурсами	Надежность прогнозирования спроса	Выбор наиболее эффективного метода прогнозирования спроса	
2. Определение потребности производства в материально-технических ресурсах и производственных услугах	Надежность планирования потребности в материально-технических ресурсах	Выбор наиболее эффективного метода расчета потребности: метод прямого счета, расчет потребности на основе данных о рецептурном составе производимой продукции, расчет потребности на основе нормативных сроков износа и др.	Разработана методика расчета потребности в запасных частях с учетом эксплуатационной надежности транспортных средств

Продолжение таблицы 1.6

Элементы функционального цикла логистики снабжения	Элементы надежности	Методы обеспечения надежности	Связь с диссертационным исследованием
3. Выбор внешних источников поставок (поставщиков)	Надежность поставщиков	Выбор наиболее надежных поставщиков на основе аналитических или экспертных методов	Усовершенствована методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, которая позволяет учесть нестационарность и дискретность процесса сбоя в поставках
4. Размещение заказа на приобретение материально-технических ресурсов и их доставку	Надежность системы управления заказами и закупками	Выбор оптимальной стратегии управления запасами. Выбор оптимального типа закупок. Выбор оптимальных условий поставки	Разработана стохастическая модель задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений в условиях изменяющегося спроса
5. Комплектация заказа и отгрузка материально-технических ресурсов	Надежность поставки	Оценка эффективности поставщика на основе KPI	
6. Доставка материально-технических ресурсов	Надежность доставки	Планирование оптимальных маршрутов доставки грузов. Выбор наиболее эффективного метода обеспечения сохранности грузов (выбор упаковки, транспортной тары, способа выполнения погрузочно-разгрузочных работ и прочее)	
7. Качественная и количественная приемка материально-технических ресурсов	Надежность входного контроля	Выбор наиболее эффективного метода контроля качества и количества	

Таким образом, в фокусе диссертационного исследования оказались проблемы надежности планирования потребности в материально-технических ресур-

сах, надежности поставщиков и надежности системы управления заказами и закупками, которые относятся, соответственно, ко второму, третьему и четвертому этапу функционального цикла логистики снабжения.

Под *управлением надежностью* мы понимаем выбор того или иного инструмента (метода повышения надежности), позволяющего в конкретных условиях или для конкретного бизнес-процесса достичь поставленной цели. Например, если поставлена цель повышения безотказности цепи поставок, то наиболее эффективным инструментом повышения надежности будет резервирование бизнес-процессов в цепях поставок (виртуальное, физическое и по времени). В то же время, для снижения производственных и логистических издержек необходимо использовать достаточно сложные методы планирования на основе исследования операций (линейное, нелинейное или целевое программирование, имитационное моделирование и прочие), а для повышения безопасности – методы управления рисками (распределение риска между участниками цепи поставок, диверсификация, диссипация и прочие). Проблема выбора адекватного метода управления надежностью цепей поставок заключается в том, что для участников цепи поставок все три основных свойства эффективной цепи поставок – надежность, экономичность и безопасность – являются в равной степени актуальными. Следовательно, необходимо совместно использовать инструменты теории надежности, методы планирования на основе исследования операций и методы управления рисками для обеспечения высокой эффективности цепи поставок.

Примером совместного использования инструментов теории надежности и методов планирования на основе исследования операций является методический подход к разработке топологии цепи поставок по критериям надежности и минимума затрат, предложенный Е.И. Зайцевым и И.Г. Шурпатовым [60], который рассматривается во второй главе диссертации.

Безусловно, основные свойства цепей поставок определяют и подходы к их классификации. В свою очередь, классификация цепей поставок с точки зрения надежности позволяет структурировать модели оценки и обеспечения надежности цепей поставок. Например, в диссертации Р.Л. Чурилова [138] рассмотрены основные

свойства цепей поставок и предложена их классификация. Автор отмечает, что цепи поставок могут быть одноразового и многократного применения, восстанавливаемые и невосстанавливаемые. Как правило, цепи поставок являются восстанавливаемыми, например, за счёт резервирования [138, с. 67]. В этой же работе предложены три основных критерия надежности цепи поставок: безотказность, восстанавливаемость и стоимость поддержания работоспособности цепи поставок. Анализ литературных источников [60, 61, 104, 138] показывает, что в ряде случаев целесообразно критерии, характеризующие надежность и экономическую эффективность цепей поставок, использовать совместно. Например, целевая функция требует максимизации безотказности цепи поставок при ограничениях на затраты на поддержание ее работоспособности или требуется оптимизировать план поставок по критерию минимума затрат при ограничениях на надежность (безотказность) цепи поставок.

Таким образом, в [60, 61, 104, 138] и во многих других работах развивается технический подход, базирующийся на теории надежности технических систем. Модели и методы повышения надежности цепей поставок, базирующиеся на техническом подходе, заслуживают более глубокого анализа, который представлен ниже, а также во второй главе диссертации.

Следует отметить, что технический подход к методам оценки и повышения надежности цепей поставок является преобладающим. Данный подход развивается, в частности, в монографиях Б.К. Плоткина [109, с. 54-60], [110, с. 117-124], а также в работе А.А. Канке и И.П. Кошевой [65, с. 229-230].

Одной из первых работ, в которой не только предложены методы теории надежности применять к расчету надежности поставок в снабжении, но, и приведен пример практического использования предложенной методики, является монография Б.К. Плоткина [110, с. 117-124]. Автор отмечает, что «для приложения методов теории надежности к расчету надежности снабжения необходимо определить два основных понятия указанной теории: отказ и восстановление» [110, с. 117].

Под отказом понимается «опоздание партии поставки против установленного срока поступления материальных ресурсов на предприятие или несоответствие количества или комплектности условиям договора поставки», а под временем восстановления понимается длительность опоздания [110, с. 117].

Некомплектная поставка не позволяет использовать продукцию по своему производственному назначению, а поэтому приравнивается к отсутствию поставки, тогда время восстановления будет равно времени до восполнения комплекта.

Отказом в процессе снабжения является недопоставка материалов по количеству, хотя срок поставки был соблюден. В этом случае время восстановления определяется отношением количества недопоставленного материала к величине среднесуточного потребления или «среднесуточной поставки».

Величина среднесуточной поставки определяется по формуле:

$$v = \frac{\sum V}{T}, \quad (1.2)$$

где $\sum V$ – объем выполненных поставок данного материала за исследуемый период T , например, за год.

Отсюда следует время восстановления:

$$t_B = \frac{\Delta V}{v}, \quad (1.3)$$

где ΔV – объем недопоставки.

Параметры λ и η однозначно определяют законы распределения времени t безотказного снабжения:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (1.4)$$

и времени опоздания t_B поставок:

$$f(t_B) = \eta e^{-\eta t}. \quad (1.5)$$

Характеристикой надежности также является функция или коэффициент готовности K_r .

Для конкретных условий осуществления процессов материально-технического снабжения функция готовности K_r характеризует безотказность поставок в процессе снабжения.

Функция готовности определяется формулой:

$$K_r = \frac{T - \sum T_{\text{оп}}}{T}, \quad (1.6)$$

где T – исследуемый период, например, год; $\sum T_{\text{оп}}$ – суммарное время опозданий в течение периода T .

Функция готовности K_r изменяется от нуля (при $T = \sum T_{\text{оп}}$) и до единицы (при $\sum T_{\text{оп}} = 0$). Иными словами, при отсутствии опозданий коэффициент готовности поставок равен единице.

Для расчета надежности поставок определяются основные параметры: наработка на отказ T_0 и интенсивность отказов λ .

$$T_0 = \frac{T - \sum T_{\text{оп}}}{n}, \quad (1.7)$$

где T – исследуемый период, как правило, год; $\sum T_{\text{оп}}$ – общая длительность всех опозданий, т.е. отказов в процессе снабжения; n – количество отказов-опозданий.

Интенсивность отказов равна:

$$\lambda = \frac{1}{T_0}. \quad (1.8)$$

Среднее время восстановления:

$$T_B = \frac{\sum T_{\text{оп}}}{n}. \quad (1.9)$$

Интенсивность восстановления:

$$\eta = \frac{1}{T_B}. \quad (1.10)$$

Перечисленные показатели – наработка на отказ, интенсивность отказов, среднее время восстановления и интенсивность восстановления – взятые в динамике или в сравнении, достаточно полно характеризуют процесс снабжения, позволяют прогнозировать уровень надежности поставок и длительность возможных дефицитных ситуаций.

Обобщающим показателем надежности поставок является вероятность безотказного снабжения в данный момент времени t в течение всего исследуемого периода $(t, t+\tau)$:

$$P = Ke^{-\lambda\tau} \quad (t, t + \tau). \quad (1.11)$$

Расчет надежности поставок ведется в следующем порядке:

1) Сопоставляются даты каждой поставки по плану (договору) $D_{пл}$ и фактически $D_{ф}$;

2) Определяется время опозданий партий поставок как разность между фактической и плановой датами, т.е. $t_{оп} = D_{ф} - D_{пл}$;

3) Сопоставляются объемы каждой партии поставки по плану (договору) $V_{пл}$ фактически $V_{ф}$;

4) Определяется величина недопоставки как разность между плановой и фактической партиями поставки, т.е. $\Delta V = V_{пл} - V_{ф}$;

5) Определяется величина среднесуточной поставки:

$$v = \frac{\sum V_{пл}}{365}; \quad (1.12)$$

6) Определяется условное время опозданий в случае недопоставок:

$$t'_{оп} = \frac{\Delta V}{v}; \quad (1.13)$$

7) Определяется общая величина опозданий:

$$\sum T_{оп} = \sum t_{оп} + \sum t'_{оп}; \quad (1.14)$$

8) Определяется количество отказов в процессе поставок n ;

9) Определяется наработка на отказ T_0 (см. формулу (1.7));

10) Определяется интенсивность отказов λ (см. формулу (1.8));

11) Определяется коэффициент безотказности снабжения K (см. формулу (1.6));

12) Определяется надежность поставок в снабжении по формуле (1.11):

$$P = Ke^{-\lambda\tau} \quad (0 < P \leq 1).$$

При расчете надежности поставок следует учитывать ряд условий:

– превышение величины партии поставки против плановой не компенсирует нарушение срока поставки;

– в том случае, когда нарушен срок поставки и имеется недопоставка, то считаются два вида опоздания: по дате и вследствие недопоставки;

– если в заданный срок не состоялась поставка, то в этом случае условное опоздание определяется по всему объему не поставленной партии поставки;

– поставки, выполненные ранее планового срока, считаются выполненными в срок.

Рассмотрим пример расчетов поставок по данной методике, взятый из монографии Б.К. Плоткина [110, с. 117-124].

Пример 1.2. Рассчитать надежность процесса поставок по данным, представленным в таблицах 1.7 и 1.8.

В таблице 1.7 рассчитана динамика изменения следующих показателей: функции готовности $K_r(t)$, функции простоя $K_n(t)$, вероятности безотказной работы $P(t)$, интенсивности отказов $\lambda(t)$. На рисунке 1.7 представлен график динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$, соответствующий экспоненциальному распределению интенсивности отказов, а на рисунке 1.8 – график интенсивности отказов $\lambda(t)$. В таблице 1.8 проведен расчет надежности поставок в снабжении при нормальном распределении интенсивности отказов и построен график динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$, соответствующий нормальному распределению интенсивности отказов (рисунок 1.9).

Расчет надежности поставок в снабжении ведется в следующем порядке.

1. Определяется количество отказов. Из таблицы 1.7 видно, что только две поставки 15 января и 15 февраля выполнены безотказно, т.е. количество отказов $n=10$.

2. Определяется величина среднесуточной поставки:

$$v = \frac{7200}{365} \approx 20 \frac{\text{кг}}{\text{сутки}}.$$

3. Определяется наработка на отказ:

$$T_0 = \frac{365 - 147}{10} = 21,8 \text{ суток.}$$

4. Определяется интенсивность отказов:

$$\lambda = \frac{1}{21,8} = 0,046.$$

Таблица 1.7 – Расчет надежности поставок в снабжении при экспоненциальном распределении интенсивности отказов

Показатель	Значение												Σ или среднее
	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Начало интервала времени t , дни	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Конец интервала времени $t+\Delta t$, дни	31 янв	28 фев	31 мар	30 апр	31 май	30 июн	31 июл	31 авг	30 сен	31 окт	30 ноя	31 дек	
Дата поставки плановая $D_{пл}$, дни	15 янв	15 фев	15 мар	15 апр	15 май	15 июн	15 июл	15 авг	15 сен	15 окт	15 ноя	15 дек	
Дата поставки фактическая $D_{ф}$, дни	15 янв	13 фев	20 мар	25 апр	1 июн	28 июн	15 июл	15 авг	18 сен	15 окт	1 дек	30 дек	
Длина интервала Δt , дни	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Сумма длин интервалов $\Sigma \Delta t$, дни	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334	365	
Опоздание $t_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	0	0	3	0	16	15	79
Условное опоздание $t'_{оп}$, дни	0	0	0	0	0	0	7	20	11	30	0	0	68
Общее опоздание $t_{оп}+t'_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	147
Объем поставки плановый $V_{пл}$, кг	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7200
Объем поставки фактический $V_{ф}$, кг	600	600	600	800	1000	640	460	200	380	0	720	1200	7200
Объем недопоставленного товара ΔV , кг	0	0	0	200	400	40	-140	-400	-220	-600	120	600	0
Интенсивность потребления запаса ν , кг/день	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Число отказов $n(t, t+\Delta t)$, ед.	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Наработка на отказ T_0 , дни	31	28	26	20	14	17	24	11	16	1	14	16	21,8
Среднее время восстановления $T_в$, дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	14,7
Функция готовности $K_r(t)$	1	1	0,83871	0,66667	0,45161	0,56667	0,77419	0,35484	0,53333	0,03226	0,46667	0,51613	0,59726
Функция простоя $K_n(t)$	0	0	0,16129	0,33333	0,54839	0,43333	0,22581	0,64516	0,46667	0,96774	0,53333	0,48387	0,40274
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,96826	0,96492	0,80706	0,63415	0,42048	0,53429	0,7426	0,324	0,50102	0,01187	0,4345	0,48486	0,57048
Интенсивность отказов $\lambda(t)$	0,03226	0,03571	0,03846	0,05	0,07143	0,05882	0,04167	0,09091	0,0625	1	0,07143	0,0625	0,04587

Таблица 1.8 – Расчет надежности поставок в снабжении при нормальном распределении интенсивности отказов

Показатель	Значение												Σ или среднее
	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Начало интервала времени t , дни	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Конец интервала времени $t+\Delta t$, дни	31 янв	28 фев	31 мар	30 апр	31 май	30 июн	31 июл	31 авг	30 сен	31 окт	30 ноя	31 дек	
Дата поставки плановая $D_{пл}$, дни	15 янв	15 фев	15 мар	15 апр	15 май	15 июн	15 июл	15 авг	15 сен	15 окт	15 ноя	15 дек	
Дата поставки фактическая $D_{ф}$, дни	15 янв	13 фев	20 мар	25 апр	1 июн	28 июн	15 июл	15 авг	18 сен	15 окт	1 дек	30 дек	
Длина интервала Δt , дни	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,41667
Сумма длин интервалов $\Sigma \Delta t$, дни	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334	365	
Опоздание $t_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	0	0	3	0	16	15	79
Условное опоздание $t'_{оп}$, дни	0	0	0	0	0	0	7	20	11	30	0	0	68
Общее опоздание $t_{оп}+t'_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	147
Объем поставки плановый $V_{пл}$, кг	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7200
Объем поставки фактический $V_{ф}$, кг	600	600	600	800	1000	640	460	200	380	0	720	1200	7200
Объем недопоставленного товара ΔV , кг	0	0	0	200	400	40	-140	-400	-220	-600	120	600	0
Интенсивность потребления запаса ν , кг/день	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Число отказов $n(t, t+\Delta t)$, ед.	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Наработка на отказ T_0 , дни	31	28	26	20	14	17	24	11	16	1	14	16	21,8
Среднее время восстановления $T_{в}$, дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	14,7
Среднеквадратичное отклонение времени между отказами σ_T , дни	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,26639
$(\Delta t - T_0)/\sigma_T$	0	0	0,60486	1,20972	2,05652	1,57263	0,8468	2,41943	1,6936	3,62915	1,93555	1,81458	1,042373
Значение функции Лапласа Φ_0	0	0	0,22736	0,38681	0,48013	0,4421	0,30145	0,49223	0,45483	0,49986	0,47354	0,46521	0,351381
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,5	0,5	0,27264	0,11319	0,01987	0,0579	0,19855	0,00777	0,04517	0,00014	0,02646	0,03479	0,148619

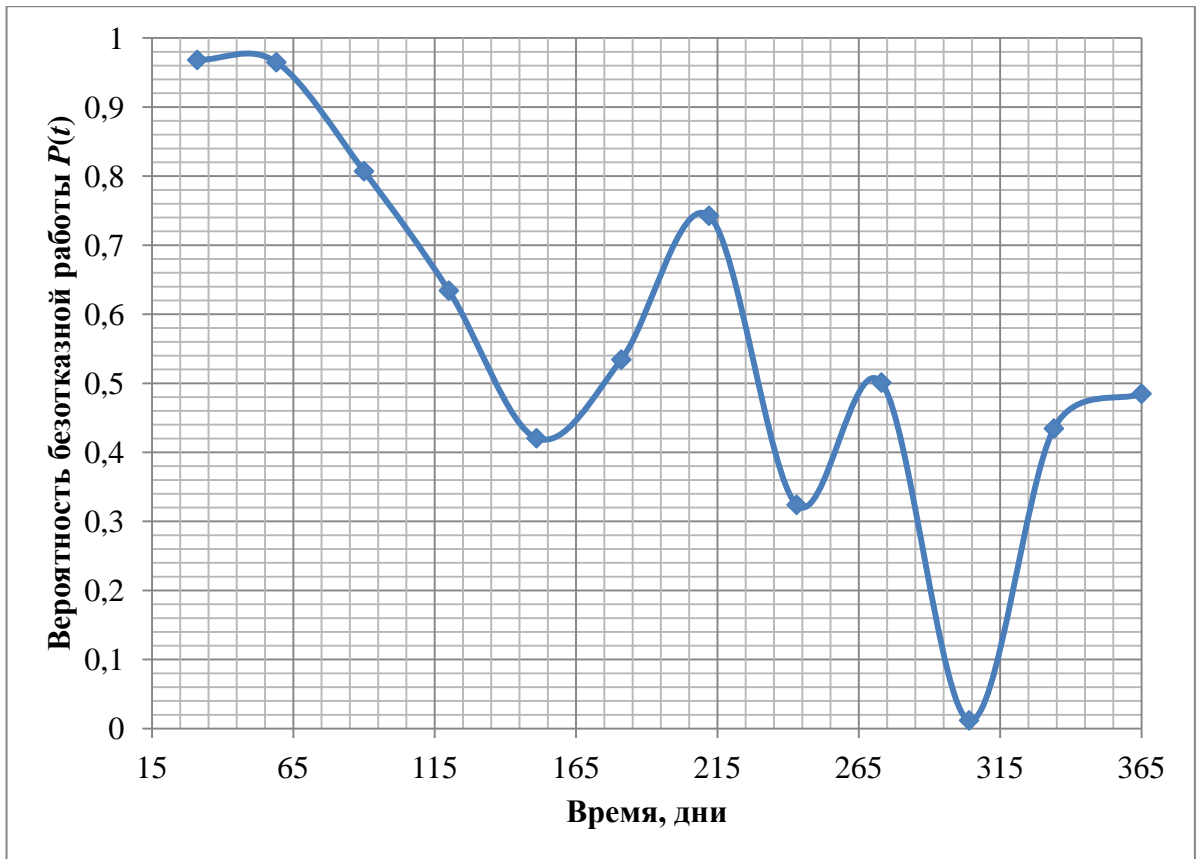


Рисунок 1.7 – Графики динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при экспоненциальном распределении интенсивности отказов

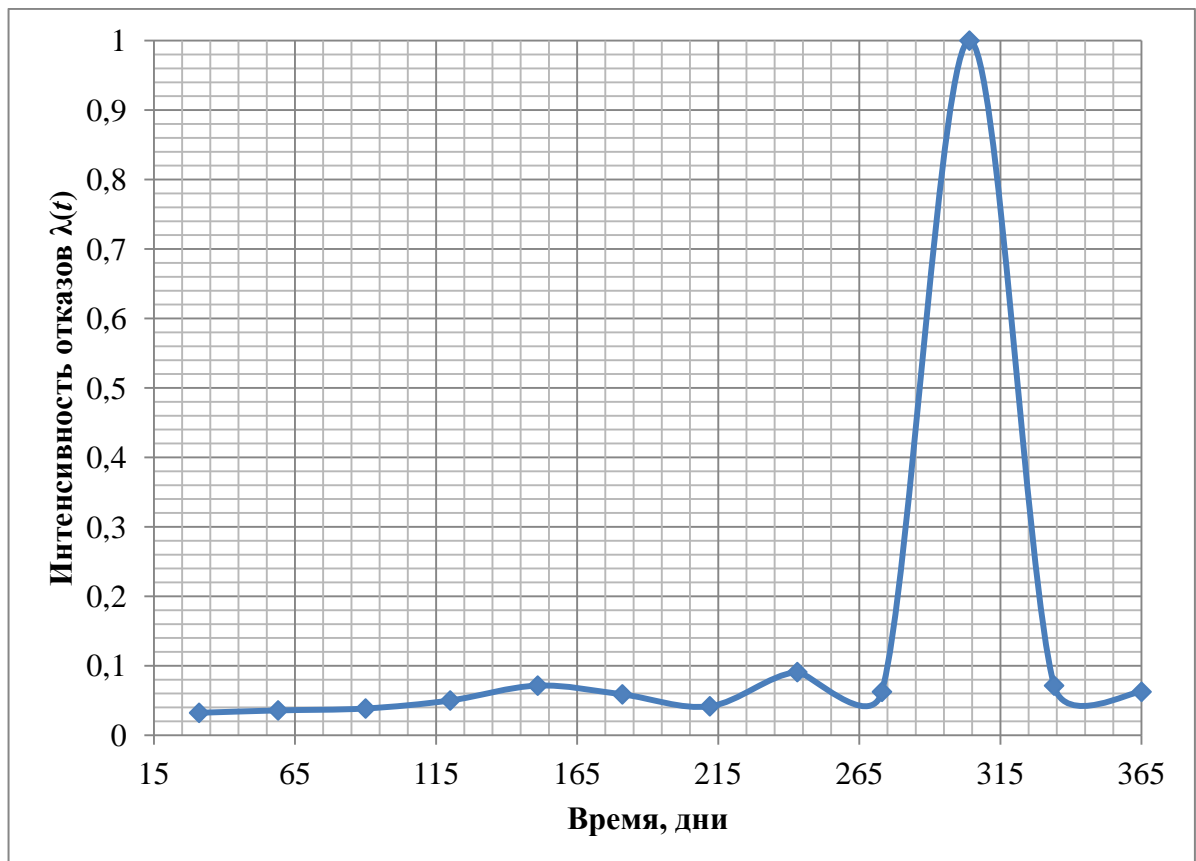


Рисунок 1.8 – График интенсивности отказов $\lambda(t)$

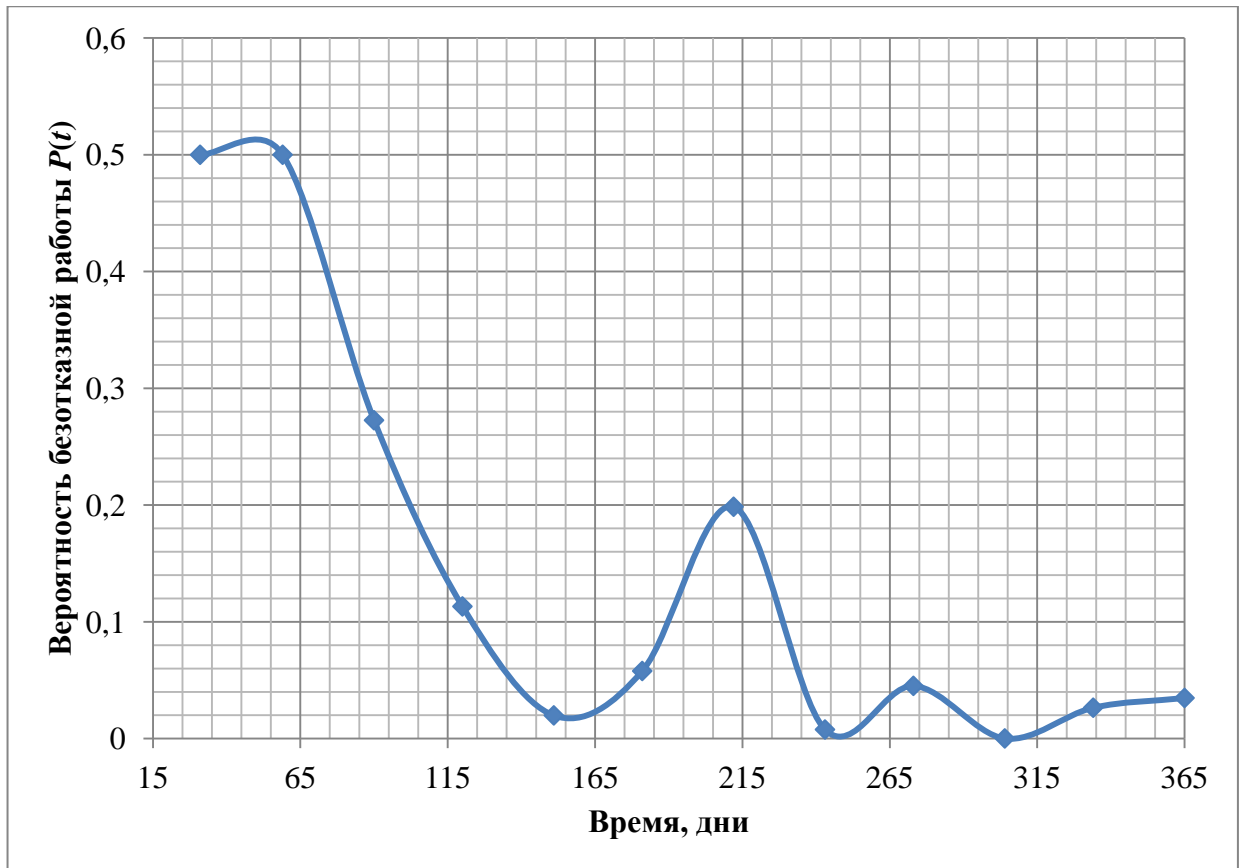


Рисунок 1.9 – Графики динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при нормальном распределении интенсивности отказов

5. Определяется функция готовности K_r или коэффициент безотказности снабжения:

$$K_r = \frac{365 - 147}{365} = 0,597.$$

6. Определяется функция простоя K_n :

$$K_n = \frac{147}{365} = 0,403.$$

7. Определяется величина надежности поставок в снабжении:

$$P = 0,597 \cdot e^{-0,046} = 0,597 \cdot 0,955 = 0,570.$$

Данный пример позволяет сделать следующие выводы и обобщения:

1) анализ динамики изменения интенсивности отказов $\lambda(t)$ (см. таблицу 1.7 и рисунок 1.8) показывает, что возникновение отказов является нестационарным процессом, следовательно, следовательно, во-первых, необходимо исследовать параметры надежности поставок в динамике; во-вторых, распределение этого показателя является островершинным, асимметричным, имеющим ряд локальных

экстремумов и плохо согласующимся с экспоненциальным распределением, следовательно, для расчета параметра надежности поставок в снабжении необходимо подобрать наиболее подходящий закон распределения. Согласно закону больших чисел, распределение всегда подчиняется нормальному закону, если на изменение случайной величины оказывают влияние многие примерно равнозначные факторы, поэтому в теории надежности принято, что «при большом времени работе элемента и наличии восстановления среднее число отказов имеет асимптотически нормальное распределение» [111, с. 44];

2) анализ объемов недопоставленного товара ΔV показывает, что проблемы с поставками предприятие начало испытывать уже в июле, когда объем недопоставленного товара ΔV составил 140 ед., и достигли максимума в октябре, когда поставок товара не было, а $\Delta V = -600$ ед., следовательно, торговый или производственный процесс на данном предприятии в указанный период времени мог прерываться вследствие отсутствия необходимого материала;

3) анализ динамики изменения функция готовности $K_r(t)$ и функция простоя $K_n(t)$ (см. таблицу 1.7) показывает, что они изменяется в широком диапазоне в течение всего планового периода времени T , причем функция готовности $K_r(t)$ достигает максимума в январе и феврале, а минимума – в октябре, тогда как функция простоя $K_n(t)$ имеет обратную динамику;

4) результаты расчета функции простоя $K_n(t)$ показывают, что в августе, октябре и ноябре большую часть времени предприятие простаивало или могло простаивать ввиду отсутствия необходимого материала. Данные, представленные в таблице 1.7, не позволяют дать ответ на вопрос какая величина общего опоздания $t_{оп}+t'_{оп}$ является критичной, т.е. приводит к остановке производственного или торгового процесса, следовательно необходимо знать величину страхового запаса, чтобы определить недопустимую величину общего опоздания $t_{оп}+t'_{оп}$;

5) анализ динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при экспоненциальном распределении интенсивности отказов (см. рисунок 1.7) показывает, что данный показатель изменяется в широком диапазоне значений от 0,96826 в январе до 0,01187 в октябре, динамика этого показателя полностью со-

ответствует динамике изменения функция готовности $K_r(t)$ (см. таблицу 1.7) и существенно отличается от нее по величине;

б) анализ динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при нормальном распределении интенсивности отказов (см. рисунок 1.9) показывает, что динамика данного показателя соответствует динамике изменения функция готовности $K_r(t)$ (см. таблицу 1.7), но существенно отличается от нее по величине.

Для нормального распределения функция надежности вычисляется по формуле [111, с. 44]:

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx = 0,5 - \Phi_0\left(\frac{t-m}{\sigma}\right), \quad (1.15)$$

где $t = \Delta t$ – длина интервала, дни; $m = T_0$ – среднее время между отказами, дни;

$\sigma = \sigma_T$ – среднеквадратичное отклонение времени между отказами, дни;

$\Phi_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – функция Лапласа, значения которой сведены в таблицы.

Так для рассматриваемого примера за интервал времени $\Delta t = 30,4$ дней, т.е. в среднем за месяц, функция надежности равна

$$P(30,4) = 0,5 - \Phi_0\left(\frac{\Delta t - T_0}{\sigma_T}\right) = 0,5 - \Phi_0\left(\frac{30,4 - 21,8}{8,266}\right) = 0,149.$$

Не сложно посчитать, что за период времени $\Delta t = 365$ дней, т.е. за один год, значение функции надежности $P(t)$ будет близко к нулю, что совершенно противоречит расчету, выполненному по формуле (1.11). Очевидно, что функция надежности, рассчитанная по формуле (1.11), дает завышенную оценку данного показателя и, по сути, не является функцией надежности в классическом понимании, т.е. не представляет собой вероятность безотказной работы поставщика в течение времени t .

Таким образом, во-первых, точечные значения коэффициента безотказности снабжения K_r и величины надежности поставок в снабжении P не дают полного представления о надежности поставок, необходимо исследовать динамику этих показателей. Во-вторых, необходимо подбирать теоретическое распределение для

интенсивности отказов $\lambda(t)$, поскольку экспоненциальное распределение, которое широко используется для моделирования надежности невосстанавливаемых систем, плохо подходит для моделирования надежности восстанавливаемых систем [111, с. 43]. В-третьих, функция надежности вида (1.11) неадекватна классическому пониманию надежности, т.е. не представляет собой вероятность безотказной работы поставщика в течение времени t .

В работе А.А. Канке и И.П. Кошевой [65, с. 229-230] предложен алгоритм определения надежности поставок в снабжении, который в общих чертах повторяет рассмотренную выше методику.

Предлагается в качестве главного показателя надежности поставок рассматривать надежность снабжения P :

$$P = \prod_{1}^m (1 - P_{\text{отказа}}), \quad (1.16)$$

где $P_{\text{отказа}}$ – вероятность отказа в удовлетворении одной заявки; m – количество заявок.

Рассчитанный выше показатель надежности поставок справедлив для однократной системы поставок, когда одно комплектующее изделия поставляется одним поставщиком.

В других случаях система определения надежности поставок может быть следующей:

- 1) сопоставление плановой и фактической дат поставки;
- 2) определение времени опоздания;
- 3) сопоставление планового и фактического объема поставки, выявление случаев недопоставки продукции;
- 4) определение объема недопоставки продукции:

$$\Delta Q = Q_{\text{фактич}} - Q_{\text{план}}; \quad (1.17)$$

- 5) определение условного опоздания в случае недопоставки:

$$t'_{\text{оп}} = \Delta Q : q, \quad (1.18)$$

где ΔQ – величина недопоставки; q – средний дневной расход;

- б) определение общей величины опозданий:

$$T_{\text{оп}} = t_{\text{оп}} + t'_{\text{оп}}; \quad (1.19)$$

7) определение количества случаев отказа;

8) определение наработки на отказ:

$$T_0 = \frac{T - \sum T_{\text{оп}}}{n}, \quad (1.20)$$

где T – общее число дней в периоде;

9) определение интенсивности отказов:

$$\pi = \frac{1}{T_{\text{оп}}}; \quad (1.21)$$

10) определение коэффициента готовности поставок:

$$K_{\text{г.п}} = \frac{T - \sum T_{\text{оп}}}{T}; \quad (1.22)$$

11) вычисление надежности снабжения:

$$P = K_{\text{г.п}} \exp(-\pi t). \quad (1.23)$$

Общий вывод из алгоритма определения надежности, который сделан в работе [65, с. 230] – чем выше коэффициент готовности поставок $K_{\text{г.п}}$, характеризующий надежность поставщика, тем надежнее его снабжение для предприятия. С этим выводом сложно не согласиться, но методика расчета, по нашему мнению, нуждается в совершенствовании (см. пример 1.2).

При разработке показателей надежности поставок в снабжении, по нашему мнению, необходимо учитывать особенности процесса поставок:

- интенсивность отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении может быть как стационарным процессом, так и нестационарным процессом (иметь тренды, сезонности, случайные всплески), следовательно, расчет надежности цепи поставок может быть как статическим, так и динамическим;
- сбои в поставке товара могут быть как непрерывными, так и дискретными (например, динамика их может быть отнесена к редким событиям). Следовательно, необходимо подобрать наилучший закон распределения вероятности для функции интенсивность отказов $\lambda(t)$: непрерывный (экспоненциальный, нормальный, Вейбулла, гамма-распределение и др.) или дискретный (Пуассона, биномиальный и др.).

На рисунке 1.10 представлена усовершенствованная методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, где каждый этап расчета представлен в виде блока. Рассмотрим содержание этих этапов более подробно.

Этап 1. На первом этапе (блок 1) осуществляется формирование исходных данных о поставках и расходе товарного запаса для конкретной товарно-номенклатурной позиции за рассматриваемый период времени.

Этап 2. На данном этапе (блок 2) проводится построение и анализ функции интенсивности отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении.

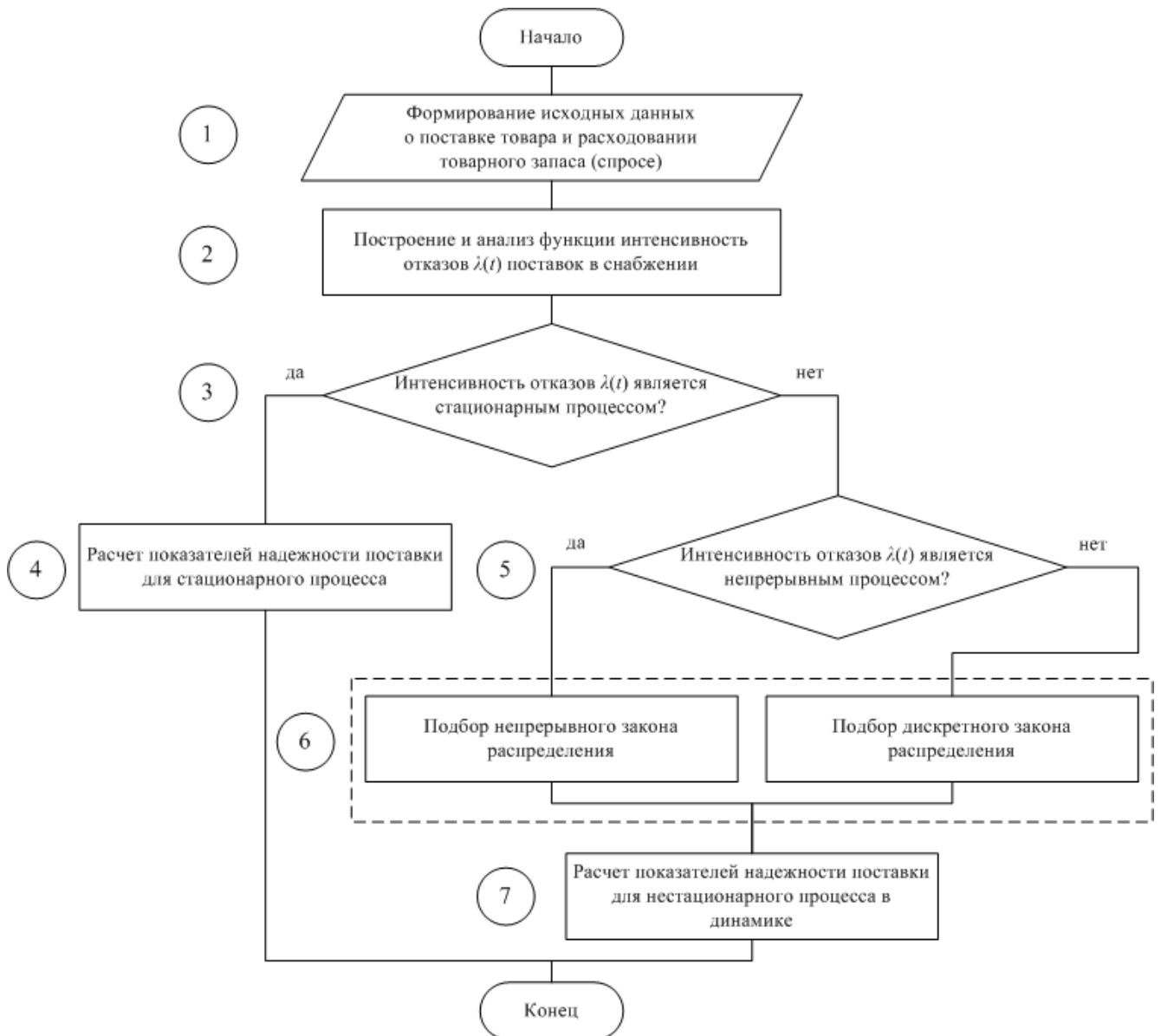


Рисунок 1.10 – Блок-схема методики расчета показателей надежности поставок в снабжении при нестационарном и дискретном процессе сбоев в поставках

Этап 3. Проверяется условие: являются ли интенсивности отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении стационарным процессом? Если да, то проводится расчет показателей надежности для стационарного процесса (блок 4), если нет, то алгоритм расчета показателей надежности поставок усложняется и включает в себя блоки 5, 6 и 7.

Этап 4. Проводится расчет показателей надежности поставок для стационарного процесса по алгоритму, предложенному Б.К. Плоткиным [110, с. 117-124] (см. формулы 1.2 – 1.14).

Этапы 5 и 6. В блоке 5 проверяется условие: являются ли интенсивности отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении непрерывным процессом или динамика сбоев в поставках может быть отнесена к редким событиям? Если да, то осуществляется подбор наиболее подходящего непрерывного закона распределения, если нет – дискретного закона распределения (блок 6).

Этап 7. Проводится расчет показателей надежности поставки для нестационарного процесса в динамике по алгоритму, представленному в примере 1.2 (см. таблицы 1.7 и 1.8).

Таким образом, усовершенствованная методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, представленная на рисунке 1.10, позволяет учесть как нестационарность, так и дискретность процесса сбоев в поставках, следовательно, получить более точные данные, характеризующие надежность поставок в снабжении.

Выше было указано, что в некоторых случаях критерии надежности цепи поставок и экономические критерии ее эффективности используются совместно. Классическим примером, иллюстрирующим данное утверждение, является задача оптимального планирования загрузки тайм-слотов, решение которой на 1-м этапе позволяет получить оптимальный план загрузки тайм-слотов, а на 2-м этапе – оптимальный тарифный план [104, с. 14-17].

Рассмотрим другой пример совместного использования критериев надежности и экономической эффективности цепи поставок. Одним из направлений повышения надежности бизнес-процесса доставки является обеспечение заданного

(более высокого) уровня надежности за счет поэлементного резервирования. В работе Е.И. Зайцева и И.Г. Шурпатова [61, с. 31-36] предложена модель, которая позволяет обеспечить заданный уровень надежности цепи поставок за счет поэлементного резервирования поставщиков, перевозчиков, терминалов и прочих элементов цепи поставок.

Цепочку поставок при расчете ее по одному из критериев надежности можно представить в виде структурной схемы с последовательно-параллельным соединением элементов, как это приведено, например, на рисунке 1.11.

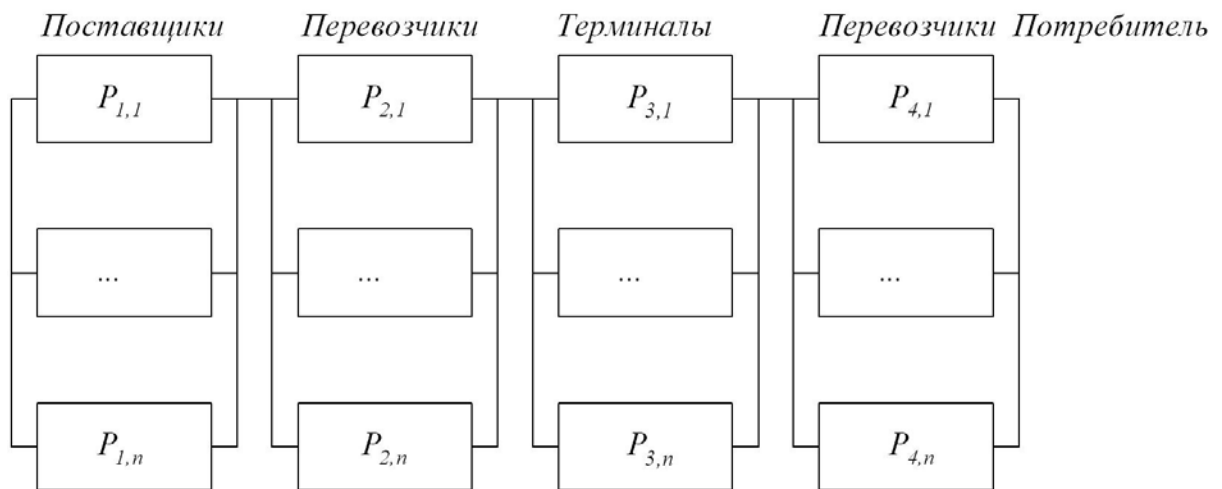


Рисунок 1.11 – Пример структурной схемы цепи поставок

Элемент считается последовательно соединенным, если нарушение в его работе к нарушению работы всей цепи в целом. Когда все элементы цепи соединены последовательно, достаточно даже одного отказа, чтобы полностью остановить работу системы. Вероятность безотказной работы такой цепи поставок можно определить по формуле:

$$P_c = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1.24)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента системы.

Элемент, не приводящий к отказу системы в ходе нарушения его работы, называют параллельно соединенным. Следовательно, отказ системы возможен только в случае отказа всех параллельно соединенных элементов системы. Вероятность такого события будет равна:

$$Q_c(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot \dots \cdot Q_n(t), \quad (1.25)$$

где $Q_i(t)$ – вероятность отказа i -го элемента системы за время t .

Вероятность безотказной работы в этом случае можно определить по следующей формуле:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)). \quad (1.26)$$

Пусть необходимо спроектировать цепь поставок, в которой доставку груза до поставщика будут вести три основных перевозчика. Терминалы координируют работу поставщиков, осуществляя в назначенное время перевалку грузов с одного транспортного средства на другое, а также проводя требуемую обработку груза. Если перевозчик не пребудет в назначенный срок в терминал, то это сорвет всю работу остальных перевозчиков и будет причиной применения штрафных санкций, установленных в контракте на перевозку.

Иногда клиент выставляет такие требования по обеспечению надежности поставок, что для их обеспечения необходимо усложнение цепи поставок и привлечение дополнительных резервных перевозчиков на наиболее проблемных участках цепи.

Бывает, что на рынке представлены несколько вариантов основных и резервных элементов, которые характеризуются уровнем надежности и затратами на их использование. В таком случае появляется возможность организовать цепь поставок с резервированием. Например, в регионе есть ряд перевозчиков, которые оказывают требуемые услуги. Каждый из них обладает разным уровнем точности и берет за свои услуги определенную сумму (включая резервирование транспортного средства). При этом можно сформулировать постановки двух задач:

1) определение уровня надежности обеспечиваемой цепью поставок с определенной топологией при заданном уровне финансовых издержек, связанных с функционированием цепи. Иными словами, затраты связанные с функционированием цепи поставок уже известны и требуется только определить такую топологию цепи поставок, когда уровень надежности всей цепи будет максимальным;

2) определение финансовых издержек, связанных с обеспечением функционирования цепи с определенной топологией и уровнем надежности. Нужно рас-

считать возможные минимальные затраты, связанные с выполнением обязательств по перевозке груза и обеспечению требуемого уровня надежности, оговоренного в контрактных обязательствах.

Рассмотрим математическую постановку обеих задач.

Пусть, доставку груза осуществляют основные перевозчики m (перевозчики первого уровня), каждый из них может быть зарезервирован $n-1$ перевозчиком. Каждого перевозчика характеризуют следующие параметры:

- вероятность нормального функционирования (доставка груза в указанный срок) $p_{i,j}$;
- затраты на резервирование элемента (перевозчика) $C_{i,j}$;
- стоимость использования элемента (доставки груза) $G_{i,j}$;

где $i \in [1; m]$ и $j \in [1; n]$.

Надежность цепи поставок в целом будет определяться по формуле:

$$P = \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{i,j})). \quad (1.27)$$

Суммарные затраты на резервирование рассчитываются по формуле:

$$S_P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{i,j} \cdot X_{i,j}, \quad (1.28)$$

где X – матрица закрепления, формирующая топологию сети. Матрица X является бинарной, т.е. её элементы могут принимать только два возможных значения 0 и 1. Если элемент присутствует в сети, ставится значение 1, иначе берется значение 0 – которое означает отсутствие соответствующего элемента.

Затраты на функционирование цепи можно записать как максимально возможные затраты:

$$S_{\mathcal{O}} = \sum_{i=1}^m \max(G_{i,j}), \quad j \in [1, n]. \quad (1.29)$$

Тогда, целевая функция примет следующий вид:

$$S_O = S_P + S_{\mathcal{O}} \rightarrow \min. \quad (1.30)$$

Если есть ограничение по суммарным затратам $S \leq S_{\max}$, тогда условие первой следует записать так:

$$\begin{cases} P = \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_{i,j})) \rightarrow \max; \\ S = S_P + S_{\mathcal{O}} \leq S_{\max}. \end{cases} \quad (1.31)$$

В случае, когда существует ограничение по надежности $P \geq P_0$, т.е. условие второй задачи можно записать в виде:

$$\begin{cases} P = \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_{i,j})) \geq P_0; \\ S = S_P + S_{\mathcal{O}} \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1.32)$$

В работе Е.И. Зайцева и И.Г. Шурпатова [61, с. 31-36] также предложено использовать функции алгебры логики (ФАЛ) для оценки безотказности работы цепи поставок. Следует отметить, что описание всех функциональных состояний сети поставок с помощью ФАЛ было предложено ранее в работе [15, с. 38-48]. Преимущество работы с ФАЛ состоит в том, что можно выделить несколько отказов и описать различные состояния цепи поставок, что невозможно сделать при обычном подходе.

По отношению к системе рассматривают два несовместных события, образующих полную группу событий:

- событие A , заключающееся в сохранении работоспособности системы, при определенных условиях в течение определенного промежутка времени;
- событие B , противоположное событию A , и заключающееся в проявлении отказа.

Из условия полной группы событий:

$$P(A) + P(B) = P(A) + P(\bar{A}) = 1. \quad (1.33)$$

Для каждого элемента системы рассматривают аналогичную группу событий, но если отказы элемента влияют на работоспособность системы по-разному, то в событии отказа элемента также может быть выделено несколько неработоспособных состояний. Разнородные отказы, которые возникают в работе элемента, рассматриваются как несовместные события, так как появление одновременно

двух видов отказов в одном элементе маловероятно и этой вероятностью можно пренебречь.

Предложенный в работе [61, с. 31-36] подход к обеспечению надежности путем резервирования элементов цепи поставок, в известной степени, является универсальным для обеспечения надежности цепей поставок. Но рассмотренный подход не лишен определенных недостатков, среди которых отметим следующие два. Во-первых, резервирование бизнес-процессов и элементов цепей поставок является не единственным способом повышения их надежности. Другими способами повышения надежности являются замена ненадежного звена цепи поставок более надежным и совершенствование бизнес-процессов в цепях поставок для того, чтобы минимизировать количество отказов. Во-вторых, физическое резервирование является довольно дорогостоящим, не всегда оправданным и экономически целесообразным способом повышения надежности цепи поставок.

Методика планирования деятельности участников цепи поставок по обеспечению ее надежности представлена в работе И.А. Пузановой [115, с. 283-293]. В частности, в этой работе рассмотрены такие понятия, определяющие надежности цепи, как [115, с. 284]:

- 1) безотказное нормальное функционирование, по которым понимается сохранение количественных и качественных характеристик логистической деятельности цепи в целом;
- 2) заданные условия работы, под которыми понимается система ограничений в изменении надежности логистической системы.

В рассматриваемой работе [115, с. 285-286] также предложены параметры оценки надежности логистической системы, представленные в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Параметры оценки надежности логистической системы

Показатель надежности	Параметр
Надежность элементов цепи поставок	Обеспечение бесперебойного функционирования производственной системы
	Обеспечение устойчивого финансового состояния
	Обеспечение анализа деловой активности
	Информационная и коммуникационная надежность, точность и своевременность

Продолжение таблицы 1.9

Показатель надежности	Параметр
Логистические затраты	Затраты на производство продукции (себестоимость)
	Затраты на внутреннюю и внешнюю транспортировку
	Затраты, связанные с качеством продукции (ущерб от недостаточного уровня качества, потери продаж, возврат товаров и т.п.)
	Затраты на грузопереработку и складирование
	Затраты, связанные с процедурами заказов
Качество продукции	Точность и достоверность прогнозирования
	Случаи потерь, хищения, порчи и др.
	Возврат товаров покупателям
Время логистического цикла	Время составляющих цикла заказа
	Время пополнения запасов
	Время обработки заказов потребителями
	Время доставки заказа
	Время подготовки и комплектации заказа
	Время производственно-технологического цикла
	Время цикла подготовки отчетов
	Время цикла закупки материальных ресурсов
Комплектность	Точность и своевременность прогнозирования спроса на продукцию
	Выполнение производственного расписания
	Точность параметров заказа
	Полнота удовлетворения заказа

Оценку надежности цепи поставок предлагается проводить на основе расчета интегрального показателя надежности по следующей формуле:

$$Y = \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot p_i \cdot N_i, \quad (1.34)$$

где β_i – весовые коэффициенты показателей надежности; p_i – вероятность достижения требуемых значений показателей надежности; N_i – уровень показателей надежности; m – количество показателей надежности логистической цепи.

Предлагается процесс планирования мероприятий, обеспечивающих надежность цепи поставок, состоящий из семи этапов [115, с. 284-293]:

- 1) определение целей и задач цепи поставок;
- 2) формирование критериев оценки достижения поставленных целей;
- 3) мониторинг и логистический анализ результатов функционирования цепи поставок;
- 4) анализ фактов, влияющих на надежность цепи поставок;

5) составление профиля риска ненадежности цепи поставок (комплексный анализ риска);

6) выбор стратегии и приемов управления риском для обеспечения надежности цепи поставок;

7) разработка программы действий, ориентированных на нейтрализацию или минимизацию возможных отрицательных последствий риска.

Таким образом, в работе [115, с. 285-286] развивается подход, учитывающий безопасность протекания бизнес-процессов в цепях поставок, основанный на теории управления рисками, т.е. третье направление повышения надежности цепей поставок (см. рисунок 1.6).

Проведенные в первой главе диссертации исследования позволяют сделать следующие **выводы и обобщения**.

1. Анализ публикаций по проблеме надежности и безопасности цепей поставок позволяет утверждать, что терминологическая база в области надёжности и безопасности цепей поставок, в основном, сформирована, но такое понятие как «отказ» трактуется по-разному и требует конкретизации.

2. Анализ существующих подходов к оценке и обеспечению надежности цепей поставок позволяет констатировать, что наибольшее распространение получили: процессный подход и разработанная на его основе SCOR-модель, создание динамичных цепи поставок и оценка качества логистического сервиса на основе показателя «совершенный заказ». Проведенный критический анализ данных подходов позволил выявить преимущества, недостатки и сферу целесообразного использования каждого из них.

3. Предложена классификация методов повышения надежности цепей поставок, связанная с их основными свойствами (см. рисунок 1.6). В основе нее лежат три подхода:

а) технический подход, базирующийся на теории надежности технических систем;

б) экономический подход, подразумевающий оценку надежности цепей поставок на основе логистических издержек, нарушения контрактных обязательств

(штрафы и т.п.) или показателей прибыли и рентабельности бизнес-процессов в цепях поставок. Как правило, в основе экономического подхода к повышению надежности цепей поставок лежат методы и математические модели планирования логистических бизнес-процессов в условиях неопределенности;

в) подход, учитывающий безопасность протекания бизнес-процессов в цепях поставок, основанный на теории управления рисками.

Классификация методов повышения надежности цепей поставок позволяет лучше понять, где применяются те или иные методы, каковы связь этих методов с надежностью, экономичностью и безопасностью цепей поставок, а также служит основой для адекватного выбора метода управления надежностью цепей поставок в конкретных условиях или для конкретного бизнес-процесса.

4. Проведенный критический анализ применение математических моделей и методов оценки и повышения надежности цепей поставок показал, что технический подход к оценке и повышению надежности является преобладающим. При данном подходе критерием надежности является вероятность безотказной работы цепи поставок, которая стремится к единице, при ограничениях, накладываемых на логистические затраты или время логистического цикла. Альтернативный экономический подход к оценке и повышению надежности цепи поставок в последние годы также получил широкое распространение. При данном подходе критерием являются производственные или логистические издержки, которые стремятся к минимуму, при ограничениях, накладываемых на вероятность безотказной работы цепи поставок. Таким образом, эти два подхода к повышению надежности цепи поставок дополняют друг друга.

5. Проблема расчета надежности восстанавливаемых проблем является одной сложной в теории надежности, а в логистике данная проблема является недостаточно проработанной. Рассмотренный пример расчета надежности поставок в снабжении показывает, что, во-первых, точечные значения коэффициента безотказности снабжения K_T и величины надежности поставок в снабжении P не дают полного представления о надежности поставок, необходимо исследовать динамику этих показателей. Во-вторых, необходимо подбирать теоретическое распреде-

ление для интенсивности отказов $\lambda(t)$, поскольку экспоненциальное распределение, которое широко используется для моделирования надежности невосстанавливаемых систем, плохо подходит для моделирования надежности восстанавливаемых систем. В-третьих, функция надежности вида (1.11) неадекватна классическому пониманию надежности, т.е. не представляет собой вероятность безотказной работы поставщика в течение времени t . Таким образом, необходимо продолжить исследования в данном направлении.

б. Усовершенствована методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, представленная на рисунке 1.10, которая позволяет учесть как нестационарность, так и дискретность процесса сбоев в поставках, следовательно, получить более точные данные, характеризующие надежность поставок в снабжении, что в свою очередь способствует обоснованному выбору поставщиков.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

2.1. Развитие модельного представления прикладных оценочных процедур

Проведенный в первой главе диссертации анализ показал, что в основе методов оценки и повышения надежности цепей поставок лежат теория надежности, методы планирования логистических бизнес-процессов на основе исследования операций и теория управления рисками. В соответствии с задачами диссертационного исследования необходимо дать классификацию моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок.

За последние 10-15 лет появилось большое количество работ, посвященных различным аспектам проблемы надежности в логистике и управлению цепями поставок. В частности, в статье В.С. Лукинского и Р.С. Чурилова [98, с. 37] подчеркивается, что наиболее важными достижениями этих работ являются:

- 1) переход от качественных экспертных оценок надёжности к количественным показателям;
- 2) выделение основных способов повышения надёжности цепей поставок, главным образом за счёт различных видов резервирования;
- 3) разработка моделей оптимизации надёжности цепей поставок.

Детальному анализу цепей поставок с позиции структурно-функциональной надёжности был посвящен целый ряд работ [11, 15, 60, 61, 98, 138] и другие, в которых получил распространение подход к оценке надёжности цепей поставок, основанный на теории надёжности технических систем. В данных работах используется часть понятийного аппарата и ряд моделей и методов оценки надёжности. Предпосылки к применению теории надёжности технических систем в логистике были и раньше, но до реализации расчётов в отечественных работах дошли относительно недавно.

Совершенствованию методов планирования различных логистических бизнес-процессов посвящено огромное количество публикаций. Достаточно упомя-

нуть такие известные проблемы, как проблема расчета размера партии и выбора поставщиков (*Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection*) или проблема маршрутизации транспортных средств (*Vehicle Routing Problem – VRP*). Как правило, математическая постановка указанных задач осложняется дополнительными ограничениями, связанными, например, с неопределенностью спроса потребителей или необходимостью учитывать временные окна при планировании маршрутов. Повышение степени неопределенности при планировании логистических процессов приводит к необходимости создания и оптимизации сложных моделей динамического и стохастического программирования или использования методов имитационного моделирования [13, 14, 16, 154, 165].

В последние годы появляются публикации, посвященные проблеме управления рисками и безопасности цепей поставок [102, 103, 107], среди них особо следует отметить монографию А.Г. Некрасова и Д.А. Мельникова [103], в которой системно изложены проблемы безопасности цепей поставок в авиаиндустрии.

Основой для изучения надежности функционирования сложных систем является математическое моделирование. Следующие особенности решаемых задач создают дополнительные трудности для исследователей: случайный характер явлений, многокритериальность, высокая размерность уравнений, многовариантность и необходимость обеспечения высокой точности. Такие особенности требуют использования в ходе моделирования широкий набор инструментов математического аппарата: теории вероятностей и математической статистики, решения алгебраических, дифференциальных, интегральных уравнений, теории графов, методов оптимизации, статистического моделирования и др.

Классификация моделей обеспечения надежности операций в цепях поставок (рисунок 2.1) может быть проведена по различным критериям, что усложняет как процесс выбора существующей модели, так и процесс создания новой. По нашему мнению, процесс моделирования, т.е. создания новой модели оценки надежности операций в цепях поставок, является иерархическим процессом и включает следующие этапы.

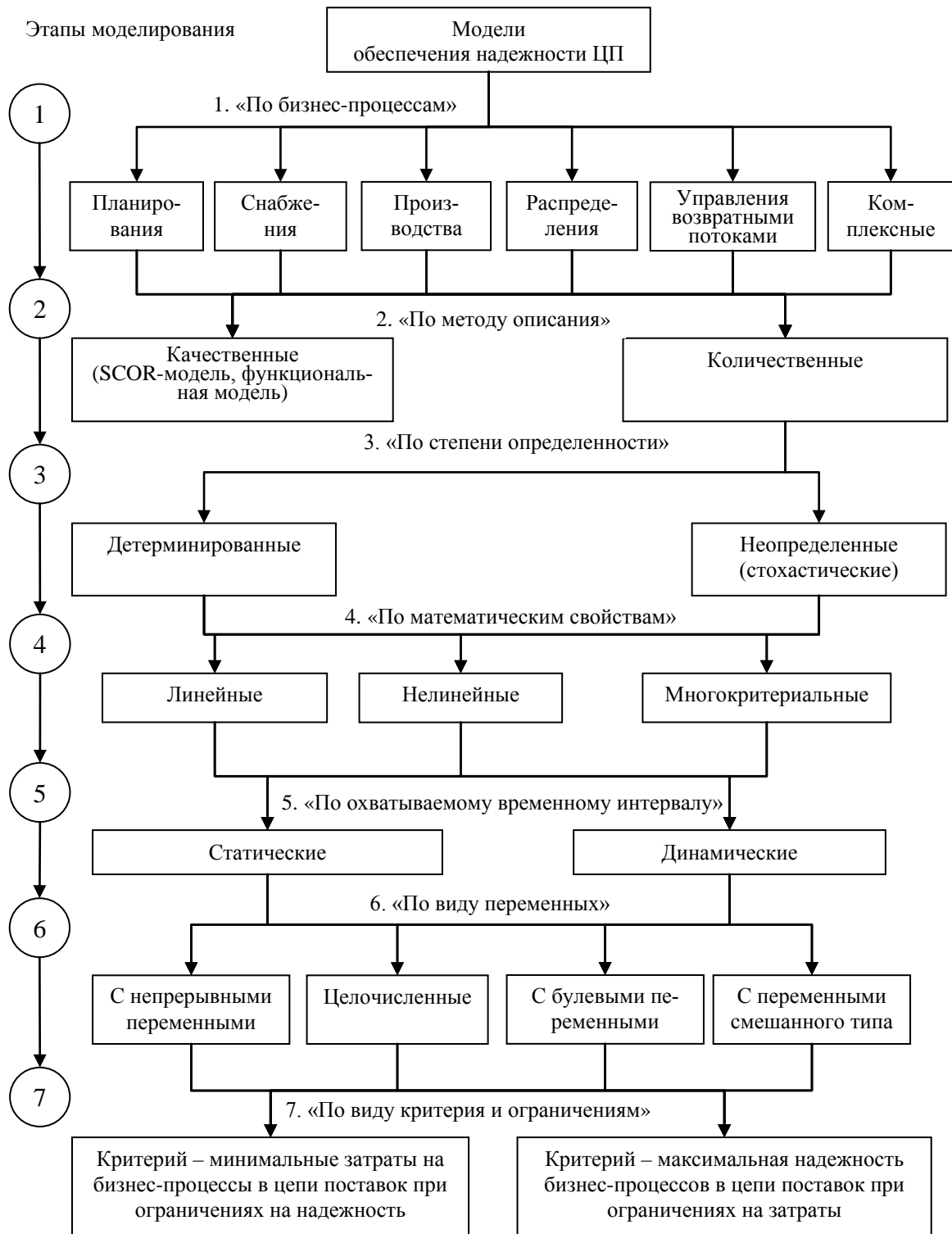


Рисунок 2.1 – Классификация моделей обеспечения надежности операций в цепях поставок и ее взаимосвязь с процессом моделирования

Этап 1. Определяются бизнес-процессы, для которых строится модель. Может строиться модель как для отдельного бизнес-процесса (планирование, снабжение, производство, распределение, управления возвратными потоками), так и комплексная модель (охватывающие несколько бизнес-процессов).

Этап 2. Выбирается метод описания бизнес-процесса: качественный или количественный. В первом случае строится SCOR-модель цепи поставок или функциональная модель отдельного бизнес-процесса, а во втором случае – математическая модель (например, модель линейного программирования).

Этапы 3 – 6. Конкретизируются математические свойства количественных моделей, которые могут быть:

- по степени определенности: детерминированные и неопределенные (стохастические) модели;
- по охватываемому временному интервалу: статические (однопериодные) и динамические (многопериодные) модели;
- по математическим свойствам, виду целевой функции и ограничениям: линейные целевая функция и/или ограничения, нелинейные целевая функция и/или ограничения, многокритериальные модели;
- по виду переменных: с непрерывными переменными, целочисленные, булевы, смешанного типа.

Этап 7. Выбираются критерий и ограничения модели обеспечения надежности. Проведенный анализ показал, что наиболее часто используются два варианта:

- критерий – минимальные затраты на бизнес-процессы в цепи поставок при ограничениях на надежность;
- критерий – максимальная надежность бизнес-процессов в цепи поставок при ограничениях на затраты.

Иерархическая классификация моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок, представленная на рисунке 2.2, связана с их математическими свойствами и может служить концептуальной основой процесса моделирования, т.е. процедуры создания новой модели оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок.

С точки зрения задач диссертационного исследования наибольший интерес представляет систематизация и классификация моделей обеспечения надежности операций в цепях поставок по критерию отнесения к определенному логистическому бизнес-процессу, который являются объектом математического моделиро-

вания. В таблице 2.1 представлено обобщение информации о разработанных моделях и методах обеспечения надежности операций в цепях поставок в соответствии с рассматриваемым критерием, которое не претендует на полноту охвата всех существующих моделей, но позволяет лучше понять остроту проблемы оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок.

Таблица 2.1 – Существующие модели и методы обеспечения надежности операций в цепях поставок

Логистические бизнес-процессы	Проблемы и соответствующие им модели и методы	Источник	Авторы или разработчики
Планирование	<i>Планирование цепи поставок</i>		
	SCOR-модель	http://www.apics.org	Supply Chain Council
	Производственно-транспортно-складская модель	[Шапиро]	Шапиро Дж.
	Модели оптимизации сетевой структуры цепи поставок (<i>Network optimization model – NOM</i>), например, <i>Oracle Strategic Network Optimization</i>	http://www.oracle.com	Oracle Corporation
	<i>Планирование снабжения</i>		
	Проблема и методы расчета потребности в запасных частях, основанные на теории процессов восстановления, в том числе <i>методика управления запасами на основе анализа эксплуатационной надежности технических систем</i>	[132]	Лукинский В.С., Бадочкин О.В., Бочкарев А.А., Бочкарев П.А., Брусакова И.А. Лукинский В.В., Степанова А.С., Фомин В.И.
	Модели выбора поставщиков и оптимизация размера партии поставки (<i>Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection</i>), в том числе <i>динамическая модель задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений</i>	[165]	Chirawat Woarawichai, Tarathorn Kullpattaranirun, Vichai Rungreunganun
	Стохастическая модель задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки в условиях изменяющегося спроса	[13]	Бочкарев П.А., Бочкарев А.А.

Продолжение таблицы 2.1

Логистические бизнес-процессы	Проблемы и соответствующие им модели и методы	Источник	Авторы или разработчики
Планирование	<i>Планирование производства</i>		
	Модели задачи о распределении ресурсов на несколько периодов, например, <i>динамическая модель задачи о распределении ресурсов на несколько периодов</i>	[139]	Шапиро Дж.
	Стохастическая модель задачи о распределении ресурсов на несколько периодов	[139]	Шапиро Дж.
	<i>Планирование поставок (распределения)</i>		
	Динамическая модель задачи о стратегии приобретения и продаж товаров в условиях изменяющегося спроса	[148]	Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г.
	Динамическая модель многономенклатурной задачи о стратегии приобретения и продаж товаров в условиях изменяющегося спроса	[16]	Бочкарев А.А., Колмаков А.В.
	Стохастическая модель многономенклатурной задачи о стратегии приобретения и продаж товаров в условиях изменяющегося спроса	[16]	Бочкарев А.А., Колмаков А.В.
	Проблема маршрутизации транспортных средств (<i>Vehicle Routing Problem – VRP</i>) и соответствующие модели, например, <i>модель задачи маршрутизации транспортных средств с временными окнами (Vehicle Routing Problem with Time Windows – VRPTW)</i>	[154]	Desrochers Martin, Desrosiers Jacques, Solomon Marius и др.
Снабжение	Модель определения надежности поставок в снабжении	[65, 109, 110]	Канке А.А., Кошечая И.П., Плоткин Б.К.
	Модель функционально-структурной надежности цепи поставок	[56]	Зайцев Е.И., Бочкарев А.А.
	Модель задачи о нахождении оптимальной сетевой структуры цепи поставок	[15]	Бочкарев А.А., Зайцев Е.И.
	Модель задачи определения оптимального плана поставок с учетом надежности	[15]	Бочкарев А.А., Зайцев Е.И.

Продолжение таблицы 2.1

Логистические бизнес-процессы	Проблемы и соответствующие им модели и методы	Источник	Авторы или разработчики
Производство	Имитационные модели производственных систем с помощью универсальных пакетов моделирования, например, Arena, Extend, AnyLogic или предметно-ориентированных пакетов моделирования, например, AutoMod, ProModel, Enterprise Dynamics и др.	https://www.arenasimulation.com/; http://www.extendsim.com/; http://www.anylogic.ru/; http://www.appliedmaterials.com/; https://www.promodel.com/; http://www.incontrolsim.com/	Rockwell Automation, Imagine That Inc., The AnyLogic Company, Applied Materials, Inc., ProModel Corporation, INCONTROL Simulation Solution
Поставки (распределение)	Модель задачи обеспечения требуемой надежности складских процессов	[145]	Шульженко Т.Г., Шурпатов И.Г.
	Модель задачи тайм-слотирования на морском контейнерном терминале	[104]	Нерман А.А.
	Модель повышения надежности транспортно-терминальных операций в цепях поставок	[99]	Малевич Ю.В., Шурпатов И.Г.
Управление возвратными потоками	Модель возврата товаров с использованием средств реверсивной логистики	[64]	Калашников С., Монин Я.
	Модель оптимизации возвратных потоков на основе критерия «затраты на восстановление потребительской ценности возвращенного товара»	[128]	Терентьев П.А.
Комплексные модели	SCOR-модель	http://www.apics.org	Supply Chain Council
	Модель оценки надежности цепей поставок на основе ведущей функции потока отказов и ведущей функции потока затрат	[99, 138]	Лукинский В.С., Чурилов Р.Л.
	Модель задачи о нахождении минимума суммарных затрат при заданном требовании к надежности (безотказности) ЦП	[55]	Зайцев Е.И.
	Модель задачи о разработке топологии цепи поставок при минимизации затрат	[60]	Зайцев Е.И., Шурпатов И.Г.
	Процессная модель формирования надежных цепей поставок	[57]	Зайцев Е.И., Парфенов А.В., Уваров С.А.

Анализ данных, представленных в таблице 2.1, показывает, что обеспечение надежности отдельных бизнес-процессов достаточно давно занимает умы ученых, свидетельством чему является большое количество разработанных моделей. В то же время, обращает на себя внимание то обстоятельство, что наибольшее число моделей и методов обеспечения надежности относятся к бизнес-процессу «планирование», в то время как отдельные аспекты этой проблемы еще в недостаточной степени разработаны.

Во-первых, по нашему мнению, в недостаточной степени разработаны комплексные модели оценки и обеспечения надежности, т.е. модели, охватывающие несколько смежных бизнес-процессов. Причина, по нашему мнению, заключается в том, что комплексные модели являются, как правило, гораздо более сложными в математическом аспекте. Поэтому, в большинстве случаев комплексные модели обеспечения надежности цепей поставок являются описательными моделями, например, SCOR-карта, процессная SCOR-модель, географическая модель цепи поставок или структурно-функциональная модель. Следует отметить, что в последние годы появились интересные количественные модели, например, модель задачи о разработке топологии цепи поставок при минимизации затрат [60], также модель оценки надежности цепей поставок на основе ведущей функции потока отказов и ведущей функции потока затрат [98, 138].

Во-вторых, проведенный нами поиск моделей управления возвратными потоками на основе критерия «надежность» не дал результатов, т.е. в основе существующих моделей, например, модели возврата товаров с использованием средств реверсивной логистики, предложенной в работе [64, с. 29-31], или модели оптимизации возвратных потоков на основе критерия минимума затрат на восстановление потребительской ценности возвращенного товара, предложенной в работе [128, с. 55-59], лежит экономический критерий, а не надежность.

В-третьих, модели планирования отдельных бизнес-процессов также постоянно развиваются и дополняются новыми разработками. Наибольшее число научных работ посвящено проблемам календарного планирования производства, маршрутизации транспортных средств, выбора поставщиков и оптимизация размера

партии поставки (см. таблицу 2.1). Интерес ученых к этим проблемам вызван их математической сложностью и необходимостью учитывать большое количество ограничений, в том числе вероятностных, например, связанных с неопределенностью спроса, изменение цен на ресурсы или временными ограничениями (окнами доставки) для транспортных средств. Но отдельные вопросы являются, по нашему мнению, недостаточно изученными. В частности, проблема и методы расчета потребности в запасных частях, основанные на теории процессов восстановления, явились предметом диссертационного исследования. В третьей главе диссертации предложена методика управления запасами на основе анализа эксплуатационной надежности технических систем.

Проблема выбора поставщиков и оптимизация размера партии поставки также явилась предметом диссертационного исследования, в результате предложена стохастическая модель задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений в условиях изменяющегося спроса [13, с. 37-42].

2.2. Итерационное обеспечение надежности операций в цепях поставок

В соответствии с задачами диссертационного исследования целесообразно дать критический анализ существующих комплексных методов и модели обеспечения надежности операций в цепях поставок. Критический анализ SCOR-модели, проведенный в первой главе диссертации, показал, что главным ее недостатком является то, что данная модель является качественной (описательной), поэтому реинжиниринг цепи поставок не гарантирует, что бизнес-процессы будут оптимальными, а эффективность и надежность цепи поставок – наивысшими. По этой причине в последние годы стали активно развиваться количественные методы и модели обеспечения надежности операций в цепях поставок.

Модель задачи о нахождении минимума суммарных затрат при заданном требовании к надежности (безотказности) цепи поставок была предложена в работе Е.И. Зайцева [55, с. 266-271] и затем развита в работе Е.И. Зацева и И.Г. Шур-

патова [60, с. 229-234]. Авторы рассматривают цепь поставок не с традиционных объектно-функциональных позиций (поставщик, производитель, посредник и т.п.), а с процессно-операционных. То есть, в виде последовательности процессов выполнения фокусной компанией контрактных обязательств по доставке товара от поставщика конечному потребителю, используя известную 5-ти процессную SCOR-модель.

Классическая процессная модель управления ЦП по критерию минимума затрат при независимости процессов и заданным требованием к безотказности имеет вид

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{i,j} \cdot X_{i,j} \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m X_{i,j} = 1, \forall i = \overline{1, n}; \\ \prod_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{i,j} \cdot X_{i,j} \geq \beta; \end{cases} \quad (2.2)$$

где n – количество процессов;

$m = \max \{k_i\}_n$, k_i – количество возможных вариантов (стратегий) реализации i -го процесса;

$S_{i,j}$ – затраты на i -ый процесс в ЦП при реализации j -ой стратегии;

$\{S_{i,j}\}_n^m$ – матрица затрат на процессы;

β – задаваемая (требуемая) безотказность ЦП (вероятность безотказной работы ЦП);

$P_{i,j}$ – вероятность безотказной реализации j -ой стратегии в i -ом процессе;

$\{P_{i,j}\}_n^m$ – матрица вероятностей безотказной работы;

$X_{i,j}$ – бинарная переменная (переменная выбора), принимающая значение либо 0, либо 1.

Сложностью использования модели (2.1)-(2.2) является необходимость статистических исследований для получения объективных оценок матрицы $\{P_{i,j}\}_n^m$. В

то же время, при проектировании ЦП необходимо решать задачи выбора поставщиков услуг (т.е. процессов), исходя из требований конечного потребителя к надежности поставки β . Иными словами, возникает задача нормирования требований к процессной безотказности. В работе [55, с. 266-271] предложен алгоритм решения этой задачи, при этом сделано допущение о том, что процессы являются независимыми, а потоки отказов – простейшими.

Из основного уравнения надежности имеем

$$P(t_\beta) = \exp(-\lambda_0 t_\beta) = \beta, \quad (2.3)$$

откуда
$$\lambda_0 = -\frac{\ln(\beta)}{t_\beta}, \quad (2.4)$$

где λ_0 – интенсивность потока отказов ЦП; t_β – значение фактора риска (время, объем и т.п.) при β -уровне безотказности.

При отсутствии в ЦП процессов с доминирующей интенсивностью отказов можно положить

$$\lambda_{i,j} = \lambda_0 \omega_{i,j}, \quad (2.5)$$

где $\lambda_{i,j}$ – интенсивность отказов i -го процесса при j -ой стратегии реализации, $\omega_{i,j}$ – весовой коэффициент вклада j -ой стратегии i -го процесса в общую интенсивность отказов ЦП.

С учетом (2.3) получим

$$P_{i,j} = \exp(-\lambda_0 \omega_{i,j} t_\beta) = \exp[\omega_{i,j} \ln(\beta)]. \quad (2.6)$$

Остается определить матрицу весовых коэффициентов $\{\omega_{i,j}\}_n^m$. Очевидно, требование к надежности процесса должно быть тем выше, чем больший ущерб наносит отказ при его реализации. Ущерб может измеряться издержками восстановления процесса, потерями в реализации товара и т.п. Например, издержки можно оценить через потери на обороте и тарифах по формуле

$$R = Q \cdot d \left[1 - \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) \left(1 - \frac{\varepsilon}{100} \right) \right], \quad (2.7)$$

где Q – оборот; d – продажная цена; δ, ε – потери на обороте и цене в % соответственно.

Весовые коэффициенты в этом случае связаны с издержками обратно пропорциональной зависимостью и определяются по формуле

$$\omega_{i,j} = \frac{1}{R_{i,j} \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{i,j}}}, \quad (2.8)$$

где $R_{i,j}$ – издержки, связанные с отказом при реализации j -ой стратегии i -го процесса.

Полный алгоритм решения задачи математического программирования (2.1)-(2.2) с учетом нормирования требований к надежности процессов выглядит следующим образом.

Найти минимум целевой функции (2.1)

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{i,j} \cdot X_{i,j} \rightarrow \min ,$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m X_{i,j} = 1, \forall i = \overline{1, n}; \\ \prod_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{i,j} \cdot X_{i,j} = \beta; \\ \sum_{j=1}^m P_{i,j} \cdot X_{i,j} \geq \alpha_i, \forall i = \overline{1, n}; \end{array} \right. \quad (2.9)$$

где $\{\alpha_i\}_1^n$ – вектор ограничений на безотказность процессов ($\forall i = \overline{1, n}$); $P_{i,j}$ – вероятность безотказной реализации j -ой стратегии в i -ом процессе (рассчитывается по формуле (2.6)); $\omega_{i,j}$ – весовой коэффициент вклада j -ой стратегии i -го процесса в общую интенсивность отказов ЦП (рассчитывается по формуле (2.8)); $X_{i,j}$ – бинарная переменная (переменная выбора), принимающая значение либо 0, либо 1.

В отличие от ограничений классической модели (2.2) в системе ограничений (2.9) появляется равенство в ограничениях второго вида (вторая строка в системе ограничений (2.9)) и дополнительное ограничения на надежность отдельных процессов в ЦП (третья строка в системе ограничений (2.9)). Решение задачи яв-

ляется ненулевой вектор из матрицы $\{X_{i,j}\}_n^m$, при котором суммарные затраты S_Σ будут минимальными.

Иллюстрация предложенного в работе [55, с. 266-271] подхода проводилась на условном примере.

Пример 2.1. При заданной безотказности 5-ти процессной модели цепи поставок $\beta = 0,85$ и ограничениях на безотказность процессов $\alpha \geq 0,95$ необходимо выбрать оптимальные стратегии их реализации и определить соответствующие этим стратегиям требования к надежности поставляемых посредниками процессов. Затраты на процессы и связанные с отказами издержки заданы в виде матриц $\{S_{i,j}\}_n^m$ и $\{R_{i,j}\}_n^m$:

$$\{S_{i,j}\}_n^m = \begin{pmatrix} 2000 & 4000 & 1000 & 1500 & 5000 \\ 2500 & 3500 & 800 & 1900 & 5200 \\ 3000 & 4500 & 1200 & 1400 & 4700 \\ 3200 & 5000 & 900 & 1300 & 4100 \\ 1500 & 4000 & 1100 & 1000 & 4000 \\ 1800 & 4100 & 850 & 1400 & 4900 \end{pmatrix},$$

$$\{R_{i,j}\}_n^m = \begin{pmatrix} 2000 & 3000 & 1000 & 1500 & 5000 \\ 1700 & 3500 & 1300 & 1200 & 4500 \\ 1500 & 2500 & 1150 & 1600 & 5400 \\ 1200 & 2000 & 1050 & 1450 & 6300 \\ 2300 & 2900 & 800 & 1500 & 6400 \\ 2200 & 2850 & 1500 & 1300 & 5050 \end{pmatrix}.$$

Имеем задачу математического программирования с бинарными переменными, для решения которой используем математическое программное обеспечение с функцией оптимизации.

После оптимизации данной модели получим следующее решение:

$$\{X_{i,j}\}_n^m = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & [1] & 0 \\ 0 & 0 & [1] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ [1] & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [1] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & [1] \end{pmatrix},$$

минимальные суммарные затраты $S_{\Sigma}^* = 14400$ обеспечиваются при использовании стратегий $Z_i^* = (4; 5; 2; 1; 6)$, которым соответствуют ненулевые значения в матрице бинарных переменных $\{X_{i,j}\}_n^m$. При этом должна быть обеспечена надежность процессов не ниже $P_i = (0,958 \quad 0,980 \quad 0,954 \quad 0,960 \quad 0,987)$.

Анализ данной модели показывает, что ее практическое использование сопряжено с определенными затруднениями. Во-первых, не ясно каким образом должны быть определены «затраты и связанные с отказами издержки». Во-вторых, 5-ти процессная SCOR-модель является общепризнанным, но не единственным вариантом описания процессов в цепи поставок. Например, Джеффри Г. Шатт [140, с. 104] предлагает рассматривать следующие бизнес-процессы при планировании потока товаров: закупка, получение, изготовление, перемещение, хранение, продажа, поставка. Существуют и другие подходы к выделению бизнес-процессов в цепях поставок и их количеству. Во всяком случае, необходимо проводить декомпозицию ключевых бизнес-процессов цепи поставок на подпроцессы для того, чтобы точнее оценить затраты на них и связанные с отказами издержки. В-третьих, требование независимости процессов для SCOR-модели не может быть соблюдено, поскольку процессы планирование, снабжение, производство, доставка и возврат выполняются последовательно и сбой, например, в снабжении может привести к сбою (отказу) всей цепи поставок. Следовательно, если наименее надежным бизнес-процессом является снабжение фокусной компании, т.е. предприятия-производителя, то бизнес-процессы производства и доставки (доставления) товаров до потребителя никак не могут быть высоконадежными, поскольку сбой в начальном бизнес-процессе повлечет за собой сбои по всей цепи поставок. Таким образом, в данном случае вероятность безотказной работы цепи

поставок не может определяться как произведение вероятностей безотказности процессов, т.е. условие $\prod_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{i,j} \cdot X_{i,j} = \beta$ в системе ограничений (2.9) не выполняется.

Дальнейшим развитием этого подхода явилась работа Е.И. Зайцева и И.Г. Шурпатова [60, с. 229-234], в которой предложен вариант решения задачи формирования топологии цепи поставок исходя из условия минимизации затрат связанных с функционированием цепи поставок и обеспечения требуемого уровня надежности.

Для решения данной задачи авторы предлагают использовать основы теории надежности. Исходя из этого, надежность рассматриваемого участка цепи поставок, в которой нет резервных элементов, будет определяться по формуле (2.10), а надежность цепи поставок с резервными элементами будет определяться по формуле (2.11):

$$P_c = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2.10)$$

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) \quad (2.11)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента цепи поставок.

Под отказом элемента понимается превышение фактического времени доставки груза (или выполнения другой логистической операции, например время комплектования партии отправки) над заданным.

Топология цепи поставок без резервирования и с резервированием представлена на рисунках 2.2 и 2.3.

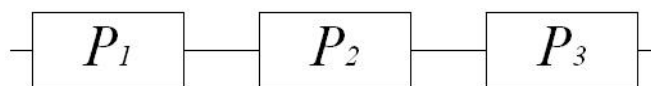


Рисунок 2.2 – Топология цепи поставок без резервирования

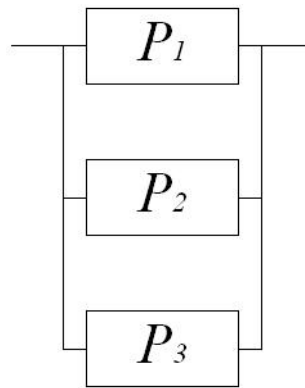


Рисунок 2.2 – Топология цепи поставок с резервированием

На сегодняшний день акцент при проектировании цепей поставок нужно делать на повышение надежности всей цепи в целом. Существуют три основных способа достижения надежности цепи поставок, которые условно можно разделить на: количественный, качественный и комбинированный подходы.

Количественный подход – введение резервных элементов цепи поставок. Таких как, приглашение дополнительных перевозчиков, осуществляющих бесперебойную перевозку грузов в случае, когда основной перевозчик не в состоянии исполнить свои контрактные обязательства по тем или иным причинам.

Качественный подход – повышение надежности всех элементов цепи поставок (или самых ненадежных из них), например снижения времени доставки груза и, как следствие, повышение точности его доставки или организация особых способов его транспортировки для повышения сохранности груза.

Комбинированный подход – применение первых двух подходов.

Привлекательность цепочки поставок для клиента обуславливается определенным уровнем надежности, который должен иметь конкурентные преимущества перед надежностью аналогичных цепях поставок других фирм, присутствующих на рынке услуг в данной области. Качественное функционирование цепочки поставок по заданному критерию надежности зависит от следующего условия:

$$P_c \geq P_0 \quad (2.12)$$

где: P_c – уровень надежности всей цепи поставок, P_0 – требуемый уровень надежности. Под надежностью в данном случае подразумевается вероятность выполнения необходимых функций в определенный интервал времени.

Выполнение требования (2.12) возможно при различных комбинациях значений P_i и различной топологии цепи поставок, следовательно с разными затратами на организацию цепочки поставок.

Затраты необходимые для функционирования цепи поставок можно представить как функцию от показателей надежности ее элементов:

$$C = f(P_1, \dots, P_n) \quad (2.13)$$

При разработке топологии цепочки поставок нужно искать такие комбинации, которые обеспечат выполнение условия (2.12), а также которые дадут минимальное значение функции затрат (2.13) в данной области поиска.

Но если по ряду причин резервирование невозможно, или не планируется вовсе, то задача разработки топологии цепи поставок при затратах стремящихся к минимуму будет выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{\min} = \min f(P_1, \dots, P_n) = f(P'_1, \dots, P'_n); \\ \prod_{i=1}^n P'_i - P_0 \geq 0; \\ P'_i \leq P_i^{\max}. \end{array} \right. \quad (2.14)$$

где P_i^{\max} – максимально возможный уровень надежности, обеспечивающийся i -ым звеном.

Исходя из вышеперечисленного, можно решить задачу определения уровней надежности для элементов цепи поставок при оптимизации затрат для цепи любой длины в условиях отсутствия в ней резервных элементов.

При необходимости обеспечения высокой надежности цепи поставок не обойтись без резервирования. Результатом решения задачи по определению топологии цепи поставок при минимизации затрат, в этом случае, должно являться определение числа резервных элементов на каждом из участков цепочки поставок, а также необходимых уровней надежности, которые должны ими обеспечиваться.

Задача при этом сводится к нахождению двух векторов P и X . Значения элементов вектора P соответствуют уровням надежности i -го основного элемента

в цепочке поставок, а элементы вектора X соответствуют количеству резервных элементов (включая и основной) на i -ом участке цепи.

Надежность всей цепи поставок при данных условиях будет определяться формулой:

$$P_n = \prod_{i=1}^m (1 - (1 - P_i)^{X_i}), \quad (2.15)$$

где X_i – количество резервных элементов (включая и основной) на i -ом участке цепи поставок.

Функция затрат описывается следующим образом:

$$C = \alpha_0 e^{\sum_{i=1}^m \alpha_i P_i} \cdot (1 + \gamma (\sum_{i=1}^m X_i - m)), \quad (2.16)$$

где γ – доля затрат приходящихся на один резервный элемент.

Задачу поиска оптимальной топологии сети поставок по критерию надежности и минимизации затрат можно записать следующим образом

Найти минимум целевой функции

$$\alpha_0 e^{\sum_{i=1}^m \alpha_i P_i} \cdot (1 + \gamma (\sum_{i=1}^m X_i - m)) \rightarrow \min \quad (2.17)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \prod_{i=1}^m (1 - (1 - P_i)^{X_i}) - P_o \geq 0; \\ P_i \leq P_i^{\max}; \\ X_i \leq X_i^{\max}. \end{cases} \quad (2.18)$$

Последнее ограничение в данной системе обуславливает область поиска по количеству резервных элементов для каждого участка цепи.

В рассматриваемой работе указывается, что «сформулированная задача может быть достаточно сложной и присутствие большого количества ограничений не всегда позволяет решить задачу аналитическим способом» [60, с. 234]. Авторы считают, что для преодоления указанной проблемы «целесообразно «разбить» сложную цепь поставок на более «простые» и постараться разработать их топологию исходя из условий минимизации затрат и повышения уровня надежности до

требуемой величины» [60, с. 234]. Очевидно, что в этом случае происходит декомпозиция комплексной модели обеспечения надежности цепи поставок на несколько подмоделей обеспечения надежности отдельных бизнес-процессов.

С иных позиций к построению комплексной модели обеспечения надежности операций в цепях поставок подошли В.С. Лукинский и Р.Л. Чурилов [98, 137, 138]. Ими была предложена модель оценки надежности цепей поставок на основе ведущей функции потока отказов и ведущей функции потока затрат.

Авторы предлагают изобразить цепь поставок в виде графика на рисунке 2.4, как диаграмму Ганта. Предлагаемый график демонстрирует все операции, выполняемые в рамках рассматриваемой цепи поставок, для организации доставки груза и иллюстрирует временные характеристики операций, позволяя учесть вариант их параллельного выполнения [98, с. 38].

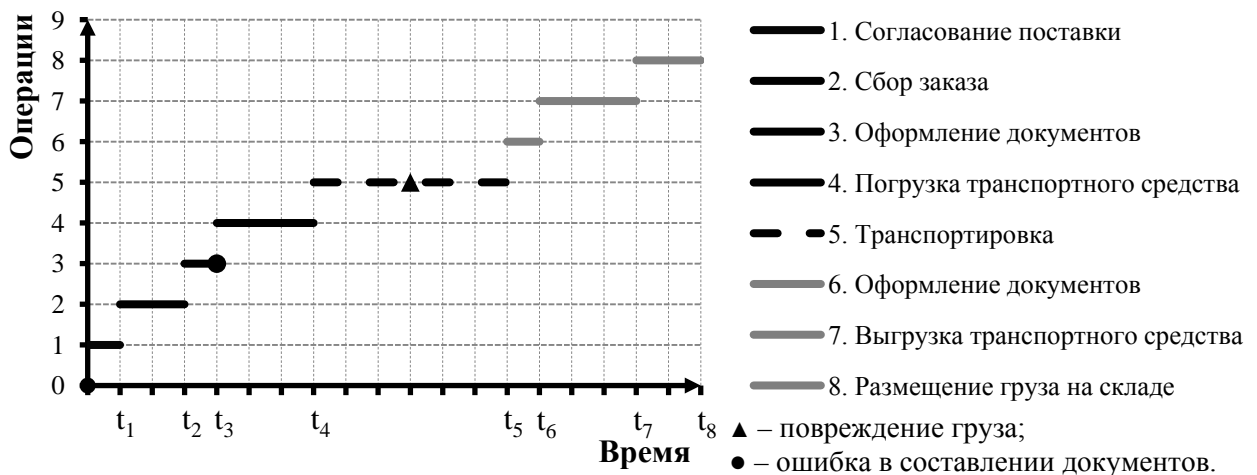


Рисунок 2.4 – Дискретно-непрерывная модель цепи поставок [98, с. 38]

Разному типу линий соответствует участник цепи поставок, несущий ответственность за выполнение той или иной операции. Отказы, возникающие в ЦП, наносятся на график в виде точек разной формы, обозначая вид отказа и то, в какой операции он произошел.

Собрав за несколько реализаций ЦП эти данные, можно оценить безотказность ЦП и ее элементов, с учетом разных видов отказов. Оценка производится на основе статистики возникновения отказов с дополнениями по специфике операций.

Характеристика операций, использующих технику, может быть дополнена

надежностью, в которой задействованы технические изделия. Последняя характеризуется ведущей функцией потока отказов на отрезке времени, соответствующем времени эксплуатации данного изделия в рамках рассматриваемой цепи поставок, либо коэффициентом готовности.

Все процессы в ЦП протекают и делятся во времени, ввиду чего можно дополнить вероятностные характеристики оценкой своевременности. Для этого можно воспользоваться взяв за основу концепцию «точно в срок», применяющуюся для транспортировки, которая, однако, имеет адаптированные для складских систем и внутрипроизводственного функционирования аналоги. Тогда каждая операция в ЦП будет характеризоваться функцией распределения времени ее выполнения.

При отказах и их устранении в ЦП возникают денежные затраты, определяющие общую стоимость ее поддержания в работоспособном состоянии и служащие одной из ее основных характеристик. Отказы и дополнительные расходы могут возникать в ходе каждой реализации. Это можно изобразить в виде графика (рисунок 2.5).

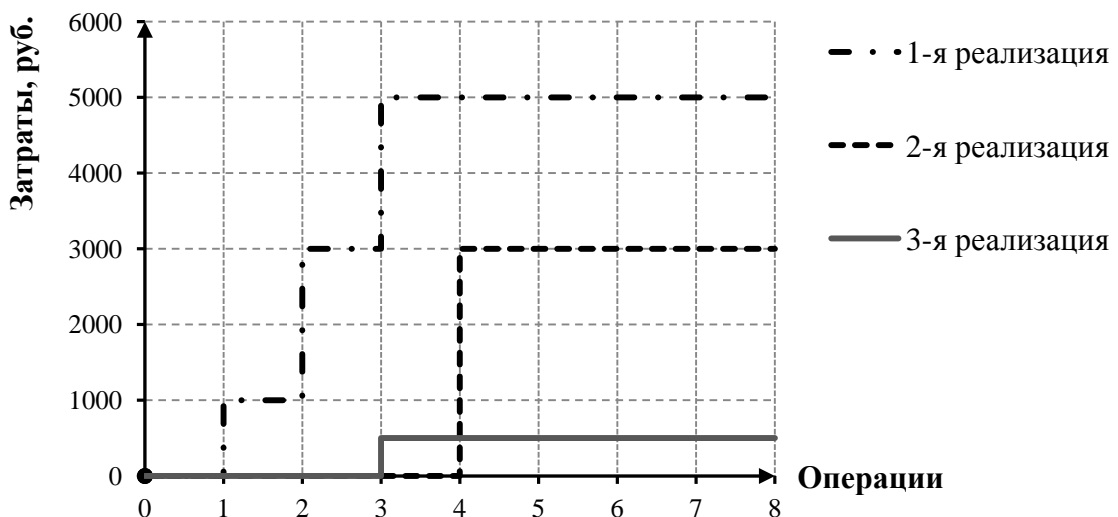


Рисунок 2.5 – График затрат на поддержание работоспособности ЦП [98, с. 39]

В диссертации Л.Р. Чурилова предложены алгоритм расчёта безотказности цепи поставок в общем виде [138, с. 104] и алгоритм сбора статистической информации о функционировании цепи поставки [138, с. 110].

Выделены три основных показателя надежности ЦП: безотказность, восста-

навливаемость и затраты на поддержание работоспособности. Первые два показателя можно охарактеризовать вероятностными характеристиками операций ЦП, комбинируя разные способы их вычисления применительно к разным видам отказов. Затраты на поддержание работоспособности ЦП авторы предлагают учитывать количественно в зависимости от вероятности (частоты) их возникновения и в сочетании с двумя другими показателями. В таблице 2.2 приведена краткая характеристика предложенных способов оценки этих показателей для элементов ЦП [137, с. 13].

Таблица 2.2 – Способы вычисления вероятностных характеристик операций

Описание	Показатель	Формула	Пояснения
Основанный на учете возникающих событий	Безотк.	$P = 1 - \frac{N}{n}$	N – количество возникших k -х отказов в j -й операции за n реализаций.
	Восст.		N – количество устраненных k -х отказов в j -й операции за n реализаций.
	Затраты		N – количество случаев возникновения затрат на устранение отказа в j -й операции за n реализаций.
Основанный на количественных характеристиках	Безотк.	$P = \frac{\Pi - \delta}{\Pi}$	Π – плановая величина характеристики поставки в j -й операции; δ – среднее отклонение от планового показателя в j -й операции за n реализаций.
	Восст.	$P = \frac{\delta}{\delta^B}$	δ – среднее отклонение от планового показателя в j -й операции за n реализаций; δ^B – средняя величина восстановления планового показателя в j -й операции за n реализаций.
	Затраты	$C = \frac{\sum_{i=1, k=1}^{n, z} C_{i,k}}{n}$	$C_{i,k}$ – затраты на устранение k -го отказа в j -ой операции и i -й операции.
Основанный на коэффициенте готовности	Безотк.	$K_r = \frac{\Pi}{\Pi + \Pi_B}$	Π – средний размер характеристики поставки в j -й операции; Π_B – средняя величина восстановления характеристики поставки в j -й операции.
	Восст.		Π – средний размер характеристики поставки в j -й операции; Π_B – средняя величина восстановления характеристики поставки в j -й операции.
	Затраты		Π – средний размер характеристики поставки в j -й операции; Π_B – средняя величина восстановления характеристики поставки в j -й операции.

На основе комбинации вероятностных характеристик элементов ЦП, можно произвести оценку надежности всей цепи поставок R , для чего предложены три подхода, разные по полноте и уровню сложности вычислений, представленные в таблице 2.3 [137, с. 14].

Таблица 2.3 – Подходы к оценке надежности цепей поставок

Подход	Исходные данные	Основная формула
Упрощенный (по безотказности)	$P_{k,j}^{\bar{o}}$ – вероятность выполнения j -ой логистической операции без появления k -го отказа.	$R_1 = \prod_{k=1}^m \prod_{j=1}^z P_{k,j}^{\bar{o}} \rightarrow 1$
С учетом восстановления	P_k^B – вероятность устранения k -го отказа в ЦП.	$R_2 = \prod_{j=1}^m \prod_{k=1}^z (P_{k,j}^{\bar{o}} + P_k^B(1 - P_{k,j}^{\bar{o}})) \rightarrow 1$
С учетом стоимости поддержания работоспособности ЦП	$P_{k,j}^{\bar{b}B}$ – вероятность выполнения j -ой операции с учетом восстановления; C_k^{CB} – средние затраты возникающие от k -х отказов за n реализаций.	$R_3 = \sum_{j=1}^m [C_{k-1}^{CB} \cdot (1 - P_{k-1,j}^{\bar{b}B}) \cdot P_{k,j}^{\bar{b}B} \cdot \dots \cdot P_{z,j}^{\bar{b}B} + C_k^{CB} \cdot P_{k-1,j}^{\bar{b}B} \cdot (1 - P_{k,j}^{\bar{b}B}) \cdot \dots \cdot P_{z,j}^{\bar{b}B} + \dots + C_z^{CB} \cdot P_{k-1,j}^{\bar{b}B} \cdot P_{k,j}^{\bar{b}B} \cdot \dots \cdot (1 - P_{z,j}^{\bar{b}B})] \rightarrow 0$

Авторы подчеркивают, «что именно экономическая интерпретация «потока отказов» позволит наилучшим образом охарактеризовать надежность ЦП, как восстанавливаемых систем» [98, с. 39]. На основе собираемых данных о затратах на поддержание работоспособности ЦП предлагается построить ведущую функцию потока затрат (рисунок 2.6), и по ней проводить оценку текущего состояния ЦП, или сравнение ее характеристик до оптимизации и после [98, с. 39].

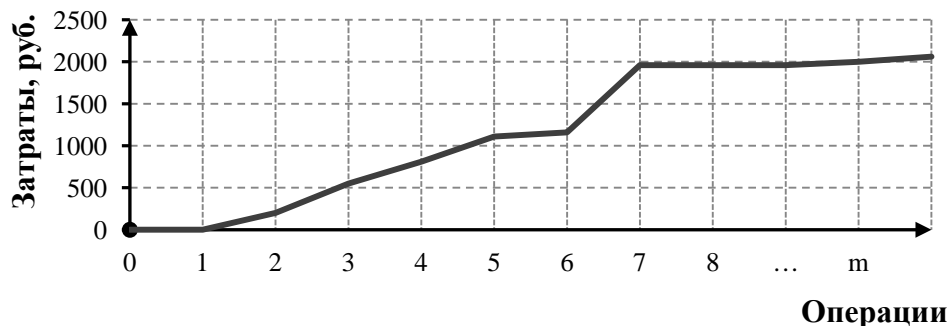


Рисунок 2.6 – Ведущая функция потока затрат на поддержание работоспособности цепи поставок [98, с. 38]

Для повышения надежности цепи поставок в работе [137, с. 15] предлагается использовать три основных метода:

- 1) замена ненадежного звена цепи поставок более надежным;
- 2) резервирование бизнес-процессов в цепях поставок (рассматриваются три вида резервирования: виртуальное, физическое и по времени);
- 3) совершенствование бизнес-процессов в цепях поставок для того, чтобы минимизировать количество отказов.

Подход к оценке и повышению надежности цепей поставок, предложенный В.С. Лукинским и Р.Л. Чуриловым [98, 137, 138], является хорошим инструментом реинжиниринга существующей цепи поставок и анализа ее надежности, но данный подход, по нашему мнению, нуждается в конкретизации применительно к специфике различных цепей поставок, так как в цепях поставок могут отличаться как набор выполняемых логистических операций, так и виды возможных отказов.

Проектирование новой цепи поставок, по нашему мнению, требует применения структурно-функционального подхода к формированию топологии цепи поставок в том виде, как предложено работах А.А. Бочкарева, Е.И. Зайцева, А.В. Парфенова, С.А. Уварова, И.Г. Шурпатова [11, 15, 57, 60, 61] и других авторов. Планирование отдельных бизнес-процессов в цепях поставок – это, прежде всего, планирование продвижения материальных ресурсов в цепи поставок от источников к конечным потребителям, что, в свою очередь, требует определения оптимальных объемов перемещаемых ресурсов и оптимизации размещения запасов в звеньях цепи поставок. При этом, очевидно, должно быть выполнено требование к надежности рассматриваемых бизнес процессов.

Роль планирования в обеспечении надежности цепи поставок исключительно высока, поскольку планирование является первым бизнес-процессом и неэффективный (например, трудновыполнимый) план может привести к сбою всех последующих бизнес-процессов и значительным затратам на восстановление работоспособности цепи поставок. Поэтому, значительное внимание в диссертации уделено именно планированию бизнес-процессов. Разработке моделей динамического и стохастического программирования для обеспечения надежности поставок в условиях изменяющегося спроса, т.е. совершенствованию методов планирования бизнес-процесса «снабжение» посвящен раздел 2.3 второй главы, а совершенствованию методов планирования потребности в запасных частях на основании анализа эксплуатационной надежности транспортных средств – третья глава диссертации.

2.3. Разработка моделей динамического и стохастического программирования для обеспечения надежности поставок в условиях изменяющегося спроса

Планирование цепи поставок – динамический процесс, потому что решения, принятые в данном периоде, связаны с решениями, которые будут приняты в более поздних периодах. Планы распределения ресурсов должны объяснять межвременной характер процесса принятия решения. Запасы сырья, продукты незавершенного производства, и готовый продукт играют центральную роль в оптимизации влияния производственных решений и решений по распределению ресурсов, принимаемых по каждому периоду, на протяжении всего многопериодного горизонта планирования. По этой причине в управлении цепями поставок широкое распространение получили *динамические модели*, охватывающие несколько временных периодов, в отличие от *статических моделей*, разрабатываемых для одного временного периода.

Динамические модели линейного программирования, также как и статические модели, являются детерминированными, т.е. подразумевается, что такие параметры, как величина спроса и цены на ресурсы являются постоянными. В том случае, когда эти условия не выполняются, используют модели стохастического линейного программирования.

Стохастические модели линейного программированием, это заманчивый выбор для любого вида планирования (оперативного, тактического или стратегического), потому как оно позволяет менеджеру подробно анализировать неточности и управлять рисками. Основной мыслью является одновременное рассмотрение множества сценариев неизвестного будущего, каждого со своей вероятностью. Модель одновременно определяет *оптимальный случайный план* для каждого сценария и *оптимальный план упреждения*, отличающийся от всех случайных планов. Оптимизация включает в себя максимизацию (или минимизацию) ожидаемых доходов (расходов), где термин «ожидаемые» означает умножение прибылей (доходов) каждого сценария на их вероятности. Рассмотрим методику соз-

дания и оптимизации модели стохастического линейного программирования на примере.

Количество моделей динамического и стохастического программирования огромно и сфера их использования далеко выходит за рамки диссертационного исследования, ограничимся рассмотрением только двух моделей: динамической модели задачи оптимизации размера партии и выбора поставщиков с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений и стохастической модели той же задачи в условиях изменяющегося спроса.

Одной из типичных задач в логистике снабжения является задача расчета оптимального размера партии поставки, которая превращается в нетривиальную задачу, когда необходимо учесть при ее решении большое количество ограничений: по предложению поставщиков и спросу потребителей, по емкости склада, бюджетные и прочие. В работе Hafiz Ullah, Sultana Parveen [158, с. 21-36] проведен обзор литературы по проблеме размера партии поставки. В этой же работе дана также классификация моделей управления запасами. На выбор той или иной модели влияют: горизонт планирования, количество заказа, периодичность пополнения запасов, характер спроса (постоянный, динамический или стохастический), количество уровней цепи поставок (однуровневые, эшелонированные) и ряд других факторов. В случае постоянного спроса для определения оптимального размера партии поставки используют классическую модель EOQ, предложенную Харрисом в 1913 году и различные ее модификации. Алгоритм, позволяющий найти оптимальное решение в ситуации с переменным спросом, был сначала предложенный Вагнером и Витином в 1958 году в их хорошо известной работе [166, с. 89-96]. Они использовали динамическое программирование, чтобы решить проблему определения размера партии поставки.

В последние годы появилось много работ посвященных применению методов динамического и стохастического программирования для планирования производственного и торгового процесса. В частности, в третьей главе монографии Шапиро [139, с. 96-151] рассматриваются динамическая и стохастическая задачи распределения ресурсов компании на несколько периодов. В монографии Юдина

и Гольштейна [148, с. 159-164] рассматривается задача о стратегии приобретения и продажи товара в условиях изменяющегося спроса для одного товара, т.е. одноиндексная задача. В работе [16, с. 43-55] предложена многономенклатурная (многоиндексная) постановка данной задачи, а в работе [17, с. 209-217] предложена методика совместного применения классической модели EOQ и методов линейного программирования для решения задачи о стратегии приобретения и продажи товаров в условиях изменяющегося спроса.

В работе Chirawat Woarawichai, Tarathorn Kullpattaranirun, Vichai Rungreunganun [165, с. 250-255] предложена математическая постановка задачи расчета размера партии и выбора поставщиков с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений. Решение данной задачи позволяет определить величину оптимального размера партии для каждого поставщика и минимизировать общие затраты на закупки, которые включают затраты на приобретение продуктов, транзакционные издержки для поставщиков и затраты на хранение для оставшихся запасов. Предполагается, что спрос на товары известен на весь период планирования. Задача формализуется как задача линейного программирования, рассмотрим ее математическую постановку.

Введем следующие обозначения.

Индексы:

$i \in \{1, \dots, I\}$ – множество индексов продуктов;

$j \in \{1, \dots, J\}$ – множество индексов поставщиков;

$t \in \{1, \dots, T\}$ – множество индексов временных периодов.

Параметры:

$D_{i,t}$ – спрос на продукт i в период времени t ;

$P_{i,j}$ – цена продукта i у поставщика j ;

H_i – затраты на хранение продукта i за период;

O_j – транзакционные издержки для поставщика j ;

w_i – площадь под хранение продукта i ;

S – общая площадь хранения;

B_t – закупочный бюджет за период времени t .

Переменные решения:

$X_{i,j,t}$ – количество продуктов i , заказанных у поставщика j в период времени t ;

$Y_{j,t}$ – переменная, принимающая значение 1, если сделан заказ от поставщика j в период t , иначе 0.

Вспомогательные переменные:

$R_{i,t}$ – количество продуктов i , перенесенных с периода t на период $t+1$.

Требуется вычислить переменные $X_{i,j,t}$ и $Y_{j,t}$, обращающие в минимум линейную форму

$$TC = \sum_i \sum_j \sum_t P_{i,j} X_{i,j,t} + \sum_j \sum_t O_j Y_{j,t} + \sum_i \sum_t H_i \left(\sum_{k=1}^t \sum_j X_{i,j,k} - \sum_{k=1}^t D_{i,k} \right) \rightarrow \min; \quad (2.19)$$

при условиях

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{i,t} = \sum_{k=1}^t \sum_j X_{i,j,k} - \sum_{k=1}^t D_{i,k} \geq 0, \forall i, t; \quad (2.20) \\ \left(\sum_{k=t}^T D_{i,k} \right) Y_{j,t} - X_{i,j,t} \geq 0, \forall i, j, t; \quad (2.21) \\ \sum_i w_i \left(\sum_{k=1}^t \sum_j X_{i,j,k} - \sum_{k=1}^t D_{i,k} \right) \leq S, \forall t; \quad (2.22) \\ \sum_i \sum_j P_{i,j} X_{i,j,t} \leq B_t, \forall t; \quad (2.23) \\ Y_{j,t} \in \{0,1\}, \forall j, t; \quad (2.24) \\ X_{i,j,t} \geq 0, \forall i, j, t. \quad (2.25) \end{array} \right.$$

Целевая функция показана в выражении (2.19), состоит из трех частей: 1) стоимость продуктов, 2) транзакционные издержки для поставщиков, и 3) стоимость хранения для оставшихся продуктов на $t+1$ период.

Ограничения вида (2.20) указывают на то, что ограничения по спросу должны быть выполнены в том периоде, в котором они возникли: недостача или отсылка заказа назад недопустимы. Ограничения вида (2.21) указывают на то, что

нет заказов без взимания соответствующих транзакционных затрат, т.е. если переменная $Y_{j,t}$ в период времени $k = t$ принимает значение 0, то $X_{i,j,t} = 0$. Ограничения вида (2.22) – это ограничения, накладываемые на площадь хранения товаров на складе. Ограничения вида (2.23) – общая стоимость закупок для каждого продукта не может превышать бюджет на период. Ограничения вида (2.24) указывают на то, что $Y_{j,t}$ булева переменная со значениями 0 или 1; а ограничения вида (2.25) – переменные решения $X_{i,j,t}$ должны принимать неотрицательные значения.

В общем случае поиск решения для подобных моделей – достаточно сложная задача. Необходимо учитывать взаимодействие между многими переменными. Например, запас на конец заданного временного периода t определяется всеми решениями о закупке и хранении товаров в период с 1 по T . Поэтому данная задача формализуется как динамическая многопериодная задача линейного программирования и решается с помощью оптимизационных пакетов, таких как LINGO 12.

Рассмотрим пример численного решения данной задачи.

Пример 2.2. Допустим, некая компания принимает решение о закупке трех продуктов А, В и С у трех поставщиков X, Y и Z в течение пяти временных периодов. Предполагается, что спрос на продукты известен на весь период планирования. В таблице 2.4 представлен спрос на три продукта в течение пяти периодов планирования $D_{i,t}$ и бюджет на закупку этих продуктов на тот же период B_t .

Таблица 2.4 – Спрос на три продукта в течение пяти периодов $D_{i,t}$, ед. и бюджетные ограничения на их закупку B_t , ден. ед.

Продукты	Спрос на продукт i в течение периода t , $D_{i,t}$, ед.				
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	$t = 5$
А ($i = 1$)	12	15	17	20	13
В ($i = 2$)	20	21	22	23	24
С ($i = 3$)	20	19	18	17	16
Бюджет, B_t , ден. ед.	1820	2000	3500	3000	3500

В таблице 2.5 представлены цена на три вида продуктов для каждого из трех поставщиков X, Y, Z $P_{i,j}$ и транзакционные затраты для них O_j .

Таблица 2.5 – Цена на три вида продуктов для каждого из трех поставщиков X,Y,Z $P_{i,j}$, ден. ед. и транзакционные затраты для них O_j , ден. ед.

Продукты	Цена поставщика, $P_{i,j}$, ден. ед.		
	X ($j = 1$)	Y ($j = 2$)	Z ($j = 3$)
A ($i = 1$)	30	33	32
B ($i = 2$)	32	35	30
C ($i = 3$)	45	43	45
Транзакционные затраты, O_j , ден. ед.	110	80	102

Стоимость хранения для трех видов продуктов A, B, C H_i , ден. ед. и площадь под их хранение w_i , ед. представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Стоимость хранения для трех видов продуктов A,B,C H_i , ден. ед. и площадь под их хранение w_i , ед.

Показатели	Продукты		
	A ($i = 1$)	B ($i = 2$)	C ($i = 3$)
Стоимость хранения, H_i , ден. ед.	1	2	3
Площадь под хранение, w_i , ед.	10	40	50

Общая площадь под хранение составляет $S = 200$ ед. Необходимо определить величину оптимального размера партии для каждого поставщика и минимизировать общие затраты на закупки.

Результаты решения данной задачи, полученные с помощью оптимизационного пакета LINGO 12, представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Величина заказа трех продуктов на пять периодов $X_{i,j,t}$, ед.

Продукты	Величина заказа на продукт i в течение периода t , $X_{i,j,t}$, ед.				
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	$t = 5$
A ($i = 1$)	$X_{1,1,1} = 12$	$X_{1,3,2} = 15$	$X_{1,1,3} = 37$	-	$X_{1,3,5} = 13$
B ($i = 2$)	$X_{2,3,1} = 20$	$X_{2,3,2} = 21$	$X_{2,1,3} = 22$	$X_{2,3,4} = 23$	$X_{2,3,5} = 24$
C ($i = 3$)	$X_{3,2,1} = 20$	$X_{3,3,2} = 19$	$X_{3,1,3} = 18$	$X_{3,3,4} = 17$	$X_{3,3,5} = 16$

Общие затраты на закупки при этом минимальны и составляют $TC=10448$ ден. ед.

Сравнение данных о спросе на продукты (см. таблицу 2.4) и о величине заказа трех продуктов на пять периодов (см. таблицу 2.7) показывает, что спрос на

продукты В и С удовлетворяется всегда закупкой в том же периоде, когда этот спрос возникает. Спрос на продукт А также в основном удовлетворяется закупкой в том же периоде, когда спрос возникает, за исключением четвертого периода ($t = 4$). В третьем периоде значение вспомогательной переменной составляет $R_{1,3} = 20$ ед., т.е. 20 ед. продукта закупается в 3-м временном периоде для использования в 4-м периоде.

Таким образом, в условиях постоянства спроса и постоянства цен на продукты создание запасов является не целесообразным, что и показал численный пример рассматриваемой задачи.

Сделанное допущение о том, что спрос на товары известен на весь период планирования, по нашему мнению является нереалистичным, что сужает сферу использования данной задачи в рассмотренной выше постановке. Дадим стохастическую постановку данной задачи линейного программирования.

Развитие методов линейного и смешанного целочисленного программирования, называемое *стохастическим программированием*, это заманчивой выбор для любого вида планирования (оперативного, тактического или стратегического), потому как оно позволяет менеджеру подробно анализировать неточности и управлять рисками. Основной мыслью является одновременное рассмотрение множества сценариев неизвестного будущего, каждого со своей вероятностью. Модель одновременно определяет *оптимальный случайный план* для каждого сценария и *оптимальный план упреждения*, отличающийся от всех случайных планов. Оптимизация включает в себя максимизацию (или минимизацию) ожидаемых доходов (расходов), где термин «ожидаемые» означает умножение доходов (расходов) каждого сценария на их вероятности.

Рассмотрим методику создания и оптимизации модели стохастического линейного программирования. Преобразуем рассмотренный выше численный пример задачи выбора поставщика и оптимизации размера партии поставки в условиях постоянного спроса к задаче с изменяющимся спросом, т.е. к задаче стохастического программирования.

Пример 2.3. Допустим, рассматриваемая нами компания является предприятием розничной торговли. Необходимо разработать оптимальную стратегию приобретения продуктов (товаров) в данной компании на два периода. Причем, количество приобретенного товара в первом периоде точно известно и составляет $X_{1,1,1} = 12, X_{2,3,1} = 20, X_{3,2,1} = 20$.

Но неизвестно влияние большой рекламной кампании на количество товаров, которые компания сможет продать и, соответственно, должна приобрести во втором периоде. Анализ предыдущих рекламных кампаний и интуитивные оценки маркетингового персонала выявили три совершенно разных сценария, показанных в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Прогнозы продаж товаров во 2-м периоде ($t = 2$)

Продукты	Спрос на товар, $D_{i,t}$, ед.	Вероятность
Низкий спрос (Сценарий 1)		
A ($i = 1$)	$D_{1,2} = 13$	$p_1 = 0,25$
B ($i = 2$)	$D_{2,2} = 20$	
C ($i = 3$)	$D_{3,2} = 16$	
Средний спрос (Сценарий 2)		
A ($i = 1$)	$D_{1,2} = 17$	$p_2 = 0,5$
B ($i = 2$)	$D_{2,2} = 20$	
C ($i = 3$)	$D_{3,2} = 18$	
Высокий спрос (Сценарий 3)		
A ($i = 1$)	$D_{1,2} = 18$	$p_3 = 0,25$
B ($i = 2$)	$D_{2,2} = 20$	
C ($i = 3$)	$D_{3,2} = 20$	

Данные, представленные в таблице 2.8, показывают, что мы должны создать отдельную подмодель линейного программирования для каждого из трех сценариев второго периода, так же как и отдельную подмодель линейного программирования первого периода. Очевидно, что подмодель линейного программирования первого периода должна быть объединена с каждой из трех подмоделей второго периода, и затем оптимизирована. Рассмотрим математическую постановку данной задачи.

Используя введенные ранее обозначения коэффициентов и переменных, сформулируем модель стохастического линейного программирования.

Индивидуальная постановка стохастической многономенклатурной задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки в условиях изменяющегося спроса на два временных периода имеет вид:

$$TC = TC_0 + 0,25 \cdot TC_1 + 0,5 \cdot TC_2 + 0,25 \cdot TC_3 \rightarrow \min, \quad (2.26)$$

где TC_0 – общие затраты на закупки за первый период ($t = 1$); TC_1 – общие затраты на закупки за второй период ($t = 2$) по 1-му сценарию ($s = 1$); TC_2 – общие затраты на закупки за второй период ($t = 2$) по 2-му сценарию ($s = 2$); TC_3 – общие затраты на закупки за второй период ($t = 2$) по 3-му сценарию ($s = 3$); $p_1 = 0,25$, $p_2 = 0,5$, $p_3 = 0,25$ – вероятность реализации 1-го, 2-го и 3-го сценария соответственно.

Каждая из слагаемых TC_s целевой функции (2.26) представляет собой под-модель следующего вида:

$$TC_s = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_t P_{i,j} X_{i,j,t} + \sum_{j=1}^3 \sum_t O_j Y_{j,t} + \sum_{i=1}^3 \sum_t H_i \left(\sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^3 X_{i,j,k} - \sum_{k=1}^t D_{i,k} \right) + f \cdot \left(\sum_{j=1}^3 \sum_t \left(\min_j \{P_{i,j}\} \Delta D_{i,k} \right) \right); \quad (2.27)$$

при условиях

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{i,t} = \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^3 X_{i,j,k} - \sum_{k=1}^t D_{i,k} \geq 0, i = 1, 2, 3; t = 2; \end{array} \right. \quad (2.28)$$

$$\left(\sum_{k=1}^t D_{i,k} \right) Y_{j,t} - X_{i,j,t} \geq 0, i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; t = 2; \quad (2.29)$$

$$\sum_{i=1}^3 w_i \left(\sum_{k=1}^t \sum_j X_{i,j,k} - \sum_{k=1}^t D_{i,k} \right) \leq S, t = 2; \quad (2.30)$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 P_{i,j} X_{i,j,t} \leq B_t, t = 2; \quad (2.31)$$

$$Y_{j,t} \in \{0, 1\}, j = 1, 2, 3; t = 2; \quad (2.32)$$

$$X_{1,1,1} = 12, X_{2,3,1} = 20, X_{3,2,1} = 20; \quad (2.33)$$

$$X_{i,j,t} \geq 0, i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; t = 2. \quad (2.34)$$

Очевидно, что мы объединили в целевой функции (2.26) три подмодели динамического линейного программирования (2.27)-(2.34). Отличия модели (2.27)-(2.34) от представленной выше модели (2.19)-(2.25) заключаются в том, что, во-первых, в данном случае горизонт планирования охватывает два временных периода. Во-вторых, в целевой функции (2.27) учтены издержки, связанные с дефицитом товара в k -м временном периоде, в виде

$$F_{j,k} = f \cdot \left(\sum_{j=1}^3 \sum_{t=k} \left(\min_j \{P_{i,j}\} \Delta D_{i,k} \right) \right),$$

где f – штраф за дефицит (коэффициент, учитывающий увеличение стоимости товара, в случае необходимости срочной поставки); $\min_j \{P_{i,j}\}$ – стоимость товара, в случае необходимости срочной поставки (принимая исходя из предположения, что закупка будет осуществляться по минимальной стоимости); $\Delta D_{i,k} = X_{i,j,k} - D_{i,k}^{\max}$ – дефицит товара в k -м временном периоде (рассчитывается исходя из предположения, что спрос на товар в k -м временном периоде будет максимальным $D_{i,k}^{\max} = \max_t \{D_{i,t}\}$).

В-третьих, мы вводим дополнительные ограничения для переменных $X_{i,j,t}$ (2.33), которые означают, что количества продуктов, приобретенных в первую неделю $X_{i,j,1}$, являются известными величинами или константами. Таким образом, мы фактически находим оптимальное решение для второго периода планирования, поскольку решение для первого периода является исходными данными задачи.

Результат численного решения данной задачи представлен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Величина заказа трех продуктов на два периода $X_{i,j,t}$ ед.

Продукты	Величина заказа на продукт i в течение периода t , $X_{i,j,t}$ ед.			
	$t = 1$	$t = 2$		
		Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
A ($i = 1$)	$X_{1,1,1} = 12$	$X_{1,3,2} = 18$	$X_{1,1,2} = 18$	$X_{1,1,2} = 18$
B ($i = 2$)	$X_{2,3,1} = 20$	$X_{2,3,2} = 20$	$X_{2,1,2} = 20$	$X_{2,3,2} = 20$
C ($i = 3$)	$X_{3,2,1} = 20$	$X_{3,2,2} = 19$	$X_{3,2,2} = 19$	$X_{3,2,2} = 20$

Общие затраты на закупку при этом составят $TC = 4376,125$ ден. ед.

Проанализируем полученное решение, для чего рассчитаем величину запасов товаров $I_{i,t}$, ед., в каждом из двух периодов планирования по формуле

$$I_{i,t} = R_{i,t} + I_{i,t-1},$$

где $R_{i,t}$ – количество продуктов i , перенесенных с периода t на период $t+1$ (т.е. количество запасов, созданных в текущем периоде t); $I_{i,t-1}$ – количество запасов продуктов i , созданных в предыдущем периоде $t-1$.

Результаты расчетов величины запасов товаров $I_{i,t}$, ед., в каждом из периодов планирования представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Величина запасов товаров $I_{i,t}$, ед., в каждом из периодов планирования

Продукты	Величина запаса продукта i в течение периода t , $I_{i,t}$, ед.			
	$t = 1$	$t = 2$		
		Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
А ($i = 1$)	$I_{1,1} = 0$	$I_{1,2} = 5$	$I_{1,2} = 1$	$I_{1,2} = 0$
В ($i = 2$)	$I_{2,1} = 0$	$I_{2,2} = 0$	$I_{2,2} = 0$	$I_{2,2} = 0$
С ($i = 3$)	$I_{3,1} = 0$	$I_{3,2} = 3$	$I_{3,2} = 1$	$I_{3,2} = 0$

Данные, представленные в таблице 2.10, подтверждают очевидный факт того, что чем выше неопределенность спроса на товар, тем больше должна быть величина запаса данного товара. В рассматриваемом примере спрос на товар В является неизменным $D_{2,1} = D_{2,2} = 20$ ед., поэтому для него величина заказа постоянна $X_{2,j,1} = X_{2,j,2} = 20$ ед., а величина запаса равна нулю. Спрос на товар А изменяется в диапазоне от 13 до 18 ед., а на товар С – в диапазоне от 16 до 20 ед. (см. таблицу 2.8), поэтому необходимо создавать запасы данных товаров. В то же время, обращает на себя внимание то, что в случае низкого спроса (сценарий 1) заказывать товар следует у поставщиков Y и Z, в случае среднего спроса (сценарий 2) – у поставщиков X и Y, а в случае высокого спроса (сценарий 3) – у всех трех поставщиков X, Y и Z. Таким образом, полученные решения являются неустойчивым в смысле выбора поставщиков, т.е. значений переменных $Y_{j,t}$. Не ясно, каким из них следует отдать предпочтение в случае существенного колебания величины спроса на товары рассматриваемом плановом периоде. В то же время, значения величины заказа трех продуктов во втором периоде $X_{i,j,2}$ являются достаточно ус-

тойчивыми. Так при увеличении спроса величина заказа продукта А остается неизменной, а величина заказа продукта С изменяется с 19 до 20, т.е. на одну единицу (см. таблицу 2.9).

Рассмотренный нами пример подтверждает, что математическая модель стохастической многономенклатурной задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки в условиях изменяющегося спроса является достаточно сложной, ее оптимизация не всегда позволяет получить устойчивое решение. Но при достаточно небольшом диапазоне изменения спроса устойчивое решение может быть получено, следовательно, данную модель можно использовать для принятия решения об оптимальном размере партии для каждого поставщика, позволяющим минимизировать общие затраты на закупки. По нашему мнению, следует продолжить исследование в данном направлении, в частности, следует рассмотреть возможность использования имитационного моделирования для решения рассматриваемой задачи.

Проведенные во второй главе диссертации исследования позволяют сделать следующие **выводы и обобщения**.

1. Предложена иерархическая классификация моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок (рисунок 2.1), которая обеспечивает лучшее понимание их математических свойств, а также служит концептуальной основой для процедуры создания новых моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок.

2. Проведен критический анализ существующих моделей обеспечения надежности операций в цепях поставок по критерию отнесения к логистическому бизнес-процессу (см. таблицу 2.1), который позволил сделать следующие выводы:

а) в недостаточной степени разработаны комплексные модели оценки и обеспечения надежности, т.е. модели, охватывающие несколько смежных бизнес-процессов. Причина заключается в том, что комплексные модели являются, как правило, гораздо более сложными в математическом аспекте. Поэтому, в большинстве случаев комплексные модели обеспечения надежности цепей поставок являются описательными моделями, например, SCOR-карта, процессная SCOR-

модель, географическая модель цепи поставок или структурно-функциональная модель;

б) модели планирования отдельных бизнес-процессов также постоянно развиваются и дополняются новыми разработками. Наибольшее число научных работ посвящено проблеме календарного планирования производства, проблеме маршрутизации транспортных средств, а также проблеме выбора поставщиков и оптимизация размера партии поставки (см. таблицу 2.1). Интерес ученых к этим проблемам вызван их математической сложностью и необходимостью учитывать большое количество ограничений, в том числе вероятностных, например, связанных с неопределенностью спроса, изменение цен на ресурсы или временных ограничений для транспортных средств. Но отдельные вопросы являются, по нашему мнению, не достаточно изученными. В частности, проблема и методы расчета потребности в запасных частях, основанные на теории процессов восстановления, явились предметом диссертационного исследования.

3. Разработана стохастическая модель задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки с учетом площади складских помещений и бюджетных ограничений в условиях изменяющегося спроса, которая в отличие от существующей динамической постановки данной задачи позволяет получить более реалистичный план, учитывающий вероятностный характер спроса на товары.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

3.1. Методика расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств

Одной из актуальных и недостаточно изученных проблем являются проблема расчета потребности в запасных частях (ЗЧ) для автомобилей, находящихся в процессе эксплуатации.

Методам расчета количества запасных частей посвящено большое количество исследований, например, см. [7, 82, 96, 97, 113, 132, 147] и другие.

Выделяют три основные группы методов расчета потребности в запасных частях:

I. Расчетные методы, применяемые на этапе проектирования конструкции автомобилей;

II. Методы планирования потребности в запасных частях, основанные на результатах эксплуатационных испытаний опытных партий автомобилей (на заводах-изготовителях);

III. Методы, которые используются для автомобилей, находящихся в процессе эксплуатации на автотранспортном предприятии (АТП).

Третья группа методов позволяет определить потребность в запасных частях, исходя из специфики эксплуатации техники на конкретном автотранспортном предприятии.

Как правило, определение потребности в запасных частях для автомобилей, находящихся в процессе эксплуатации, используют методы расчета, базирующиеся на теории восстановления, включающие в себя методы, основанные на асимптотических формулах, и методы, основанные на использовании потоков отказов деталей. Здесь активно используются функции наработки от начала эксплуатации до списания и законы распределения наработок деталей до первого и между последующими отказами с дальнейшим переходом к потоку отказов [147, с. 36-46].

Анализу и расчету потоков отказов, представляющих сумму независимых случайных величин, посвящен один из разделов теории вероятностей – теория восстановления.

Вопрос об определении норм расхода запасных частей достаточно сложен. На сегодняшний день не существует точных и общепринятых методик и рекомендаций того, как необходимо определять нормативные значения, в том числе и нормы расхода запасных частей на транспорте.

Авторы энциклопедических источников сходятся на том, что норма – «это правило, мера, которая может выражать минимальное, предельное или среднее количество чего-нибудь; нормативы - расчетные экономические или технические показатели, характеризующие количество производимых или потребляемых материалов или средств, приходящихся на какую-либо единицу» [40, с. 10].

В том же источнике говорится о том, что норма – это «экономическая категория, выражающая отношение людей к материальному содержанию воспроизводства и взаимоотношениям между людьми в его процессе; количественная мера чего-либо, обуславливаемая интересами людей, общеэкономическим законами норм и пропорций, другими законами закономерностями природы и общества, условиями производства; технико-экономический показатель, необходимый для выполнения различных хозяйственных и экономических расчетов, а также для организации процесса производства. [40, с.14].

Профессор Нестеров в своей книге «Нормы и нормативы в планировании и управлении» определяет категорию нормативов как «целенаправленно, логически сконструированные относительные показатели, благодаря которым появляется возможность вскрывать глубинную сущность объективно протекающих экономических, социальных и других процессов общественного производства, распределения, обмена и потребления» [105, с. 19].

Если обобщить приведенные выше понятия нормы и норматива, можно сделать заключение о том, что нормативные значения, в каких отраслях человеческой деятельности они бы не определялись, должны определяться объективно, исходя из реальных характе-

ристик протекающих процессов, и отражать реально существующие закономерности развития нормируемых процессов.

Расход таких материальных ресурсов, как топливо, смазочные и эксплуатационные материалы, шины и прочие материалы, практически функционально зависит от общего пробега автомобиля. Величина общего пробега также влияет на расход запасных частей и агрегатов.

Частота выхода из строя запасных частей и агрегатов со временем возрастает. Связано это с постепенным износом агрегатов и «усталостью» систем автомобиля. Изменение частоты и количества отказов особо заметно при сравнении периодов работы транспортных средств (ТС) до и после капитального ремонта. Качество ежедневного обслуживания, сезонного обслуживания, технического обслуживания (ТО), текущих ремонтов (ТР) и капитальных ремонтов (КР); интенсивность эксплуатации, а также качество запасных частей, узлов и агрегатов – вот основные факторы, оказывающие влияние на отказы деталей и агрегатов.

Поскольку четко прослеживается взаимосвязь между пробегом, надежностью ТС и выходом из строя запасных частей и агрегатов, при планировании потребного расхода запасных частей необходимо определить нормы расхода деталей (или норму отказов) по отношению к пробегу.

Таким образом, норма расхода запасных частей может быть рассчитана как удельный показатель количества отказов на определенное значение пробега, накопленного автомобилем с момента ввода его в эксплуатацию (ед./тыс. км.) из расчета на 1 автомобиль.

Вопросам расчета количества ЗЧ уделяется большое внимание, однако до сих пор отсутствует классификация применяемых методов и моделей. Многообразие подходов к решению данной задачи объясняется многими причинами, важнейшими из которых являются:

- наличие различных сфер применения расчетных методов (проектирование, эксплуатация и ремонт, планирование и распределение);
- использование в расчетах различного аналитического аппарата (в частности, теории восстановления, теории надежности, теории прогнозирования и т.д.);

- привлечение различных источников информации (вероятностно-статистические модели оценки ресурсов деталей, данные наблюдений за подконтрольной эксплуатацией групп автомобилей, результаты микрометрирования деталей, поступающих в капитальный ремонт и т.д.).

Прежде чем приступить к классификации методов, необходимо определить то, что вкладывается в понятие «расчет ЗЧ». Если речь идет о проектируемой машине, то расчет предусматривает получение количественных оценок потребности в них, которые используются в будущем при эксплуатации серийных машин. В случае, когда для расчета используется информация, полученная в результате эксплуатационных испытаний за опытными партиями автомобилей, то предполагается, что полученные оценки могут быть обобщены и использованы для нормирования расхода и планирования потребности в ЗЧ на предстоящий период для парка автомобилей данной модели. Наконец, при наличии системы сбора данных о расходе ЗЧ на эксплуатацию и капитальный ремонт, представленных в виде динамического ряда, за предшествующий период времени для автомобилей данной модели расчет сводится к прогнозированию их расхода на последующий период.

Рассмотренные примеры расчета ЗЧ существенно различаются по своему информационному обеспечению (т. е. степени точности и достоверности исходных данных), возможности учета различных факторов, влияющих на расход ЗЧ, а следовательно, управления ими. Очевидно, каждый из этих примеров расчета отражает самостоятельное направление исследований; в то же время они взаимосвязаны, что видно из укрупненной блок-схемы, приведенной на рисунке 3.1.

В блок-схеме выделены три уровня прогнозов количества ЗЧ: I уровень включает этапы проектирования и доводки новой конструкции автомобиля; II – соответствует эксплуатационным испытаниям опытных партий автомобилей; III – отвечает непосредственной эксплуатации парка серийных автомобилей. Из блок-схемы видно, что наиболее общим является I уровень, включающий как подсистемы методы расчетов (прогнозирование) на II и III уровнях.

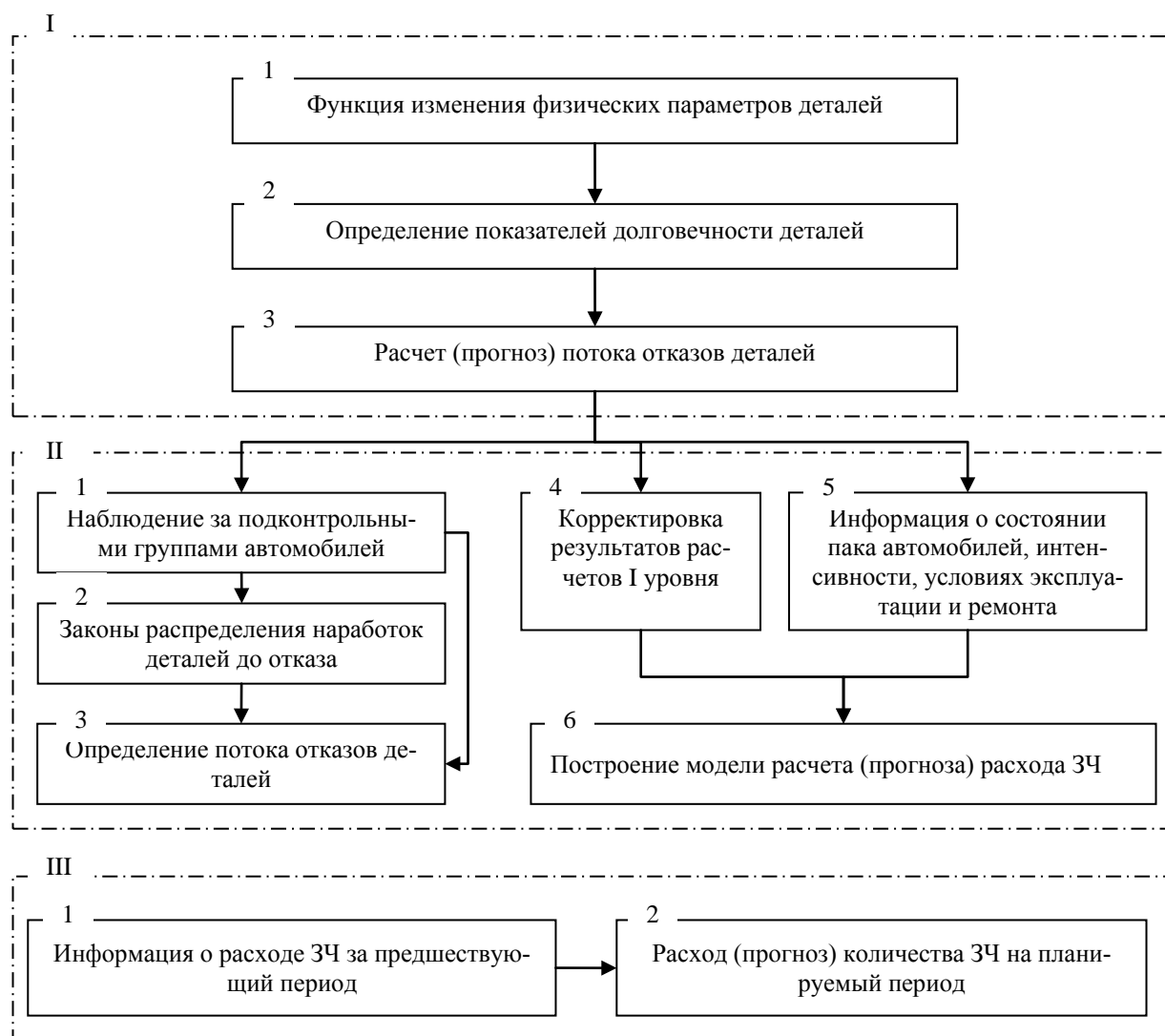


Рисунок 3.1 – Блок-схема расчета (прогнозирования) запасных частей при проектировании и эксплуатации автомобилей [147, с. 37]

Решению проблемы проблема расчета потребности в запасных частях для автомобилей, находящихся в процессе эксплуатации посвящена научно-исследовательская работа по теме «Формирование логистического ИТ-сервиса для управления запасами на основе анализа и эксплуатационной надежности технических систем», выполненная в Санкт-Петербургском государственном инженерно-экономическом университете (СПбГИЭУ) в соответствии с решением Научно-технического совета СПбГИЭУ № 3-1-1 от 07.03.2012, приказ СПбГИЭУ № 30 от 28.03.2012 г. [132].

Целью работы являлась разработка методики расчета потребности в запасных частях для эксплуатации технических систем различного назначения с уче-

том эксплуатационной надежности и данных складского учета, позволяющая оптимизировать расходы на снабжение и поддержание технических систем в работоспособном состоянии, а также программная реализация данной методики.

Основными результатами научно-исследовательской работы являются:

- 1) проведен анализ используемых подходов при управлении запасами в цепях поставок;
- 2) разработана методика расчета показателей различного вида запасов (текущего, страхового, производственного и др.);
- 3) разработаны рекомендации по формированию механизма принятия решений при управлении запасами в многоуровневых цепях поставок;
- 4) разработана методика формирования интегрального показателя логистического ИТ-сервиса.

Объектом и информационной базой исследования послужила системы материально-технического снабжения Автобусного парка №1 СПб ГУП «Пассажиравтотранс».

Результаты НИР рекомендуется внедрить в организациях и компаниях, осуществляющих эксплуатацию технических систем (машин) различного назначения и поддержание их на высоком уровне технической готовности.

Предлагаемая нами методика определения потребного количества запасных частей основывается на определении норм расхода запасных частей для автомобилей различных марок и моделей.

Для расчета потоков отказов агрегатов автомобиля необходимо знать законы распределения ресурсов деталей до первого и последующего отказов, поэтому основными характеристиками процесса восстановления является ведущая функция потока отказов (см. ГОСТ 27.002-83):

$$\Omega(L) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(L) \quad (3.1)$$

и ее дифференциальная характеристика – параметр потока отказов:

$$\omega(L) = \frac{d\Omega(L)}{dL} = \sum f_n(L), \quad (3.2)$$

где $F_n(L)$ – функция распределения наработки деталей до n -ого отказа; $f_n(L)$ – плотность распределения наработки деталей до n -ого отказа; $\omega(L)$ – параметр потока отказов, кол. отказов/тыс. км.

Для расчета значений функции потока отказов и параметра потока отказов используются численные методы, например, метод статистических испытаний или методы, основанные на асимптотических зависимостях.

Поскольку асимптотические формулы справедливы для любых законов распределения наработок между отказами, то коэффициент вариации и тип процесса восстановления определяют различия между функциями восстановления.

Выделяют 3 основных типа процессов восстановления:

- 1) простой процесс, при котором все функции распределения наработок до первого и между последующими отказами равны;
- 2) общий процесс, при котором ограничения на равенство функций распределения не распространяется на первую из них;
- 3) сложный процесс, при котором все функции наработок до отказов различны.

Расчет запасных частей с помощью метода, основанного на асимптотических зависимостях, удобен, но не достаточно точен.

В работе [7, с. 172-197] приведена комбинированная методика расчета запасных частей, учитывающая большее количество факторов.

Согласно комбинированной методике, основанной на соотношениях общего процесса восстановления и использовании степенной аппроксимации начального интервала (на пробеге от начала эксплуатации до среднего ресурса детали), для расчета используются две формулы: на пробеге до первого капитального ремонта расчетная зависимость записывается в виде:

$$Q_{1кр} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\delta_1^2}{\bar{L}_1 \cdot L_{1,2}} + 1 \right) \times \left(\frac{\bar{L}_1}{\bar{R}_1} \right)^{\bar{L}_1/\delta_1}, \quad (3.3)$$

где $Q_{1кр}$ – потребное количество запасных частей на пробеге до первого капитального ремонта; \bar{L}_1, δ_1^2 – среднее значение и среднее квадратичное отклонение ресурса детали до первого отказа; \bar{R}_1 – ресурс агрегата до первого капитального

ремонта; $\bar{L}_{1,2}$ – среднее значение ресурса детали между последующими отказами.

На пробеге между капитальными ремонтами расчет потребного количества запасных частей рассчитывается по формуле:

$$Q_{м.кр} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\delta_{1R}^2}{\bar{L}_{1R} \cdot \bar{L}_{1,2}} + 1 \right) \times \left(\frac{\bar{R}_{м.кр}}{\bar{L}_{1,2}} \right)^{\bar{L}_{1,2}/\delta_{1,2}}, \quad (3.4)$$

где $\bar{R}_{м.кр}$ – среднее значение наработки между капитальными ремонтами агрегата; $\bar{L}_{1R}, \delta_{1R}^2$ – среднее значение и среднее квадратичное отклонение ресурса детали, установленной при капитальном ремонте.

Очевидно методы и модели оценки потребности в запасных частях, агрегатах и методы оценки надежности автомобилей должны быть взаимосвязаны.

Общим фактором-аргументом, связующим методы оценки надежности автомобиля и потребности в запасных частях, агрегатах, является величина потока отказов деталей, агрегатов и автомобиля в целом [7, с. 172].

Потребность АТП в запасных частях определяется в основном надежностью автомобилей (агрегатов, деталей), интенсивностью эксплуатации и возрастной структурой подвижного состава. Надежность автомобилей (агрегатов, деталей) может быть оценена по параметру или ведущей функции потока отказов, которые определяются ресурсами деталей до отказа. Интенсивность эксплуатации автомобилей характеризуется их пробегом в течение планируемого периода. Возрастная структура парка определяется пробегом автомобилей с начала эксплуатации.

Формула расчета потребности в f -й запасной части для автомобилей данной марки, учитывающая вышеперечисленные факторы, имеет вид:

$$Q_f = r \times \sum_{j,j=1}^{h,h} [\Omega_f(L_{j,j}) - \Omega_f(L_{0j,j})] \times A_{j,j}, \quad (3.5)$$

где r – число одноименных деталей на автомобиле, шт.; $L_{0j,j}, L_{j,j}$ – пробег автомобиля j,j -ого возраста (j -й возрастной группы) сначала его эксплуатации на начало и конец планового периода соответственно, тыс.км; $\Omega_f(L_{0j,j}), \Omega_f(L_{j,j})$ – значения ведущей функции потока отказов f -ой детали автомобиля j -й возрастной

группы на начало и конец планового периода соответственно; $A_{j,j}$ – количество автомобилей j,j -ого возраста, шт.

Такие компоненты формулы (3.5), как ведущая функция потока отказов и пробег с начала эксплуатации, связаны не только функционально, но и имеют единую информационную основу, определяются надежностью деталей автомобиля, поэтому данные показатели на уровне средних и больших транспортных предприятий должны определяться с использованием единой информационной базы, включающей данные о надёжности деталей, узлов и агрегатов автомобиля.

Нахождение ведущей функции потока отказов деталей и годового пробега автомобиля на единой информационной базе возможно, если последний показатель вычислять на основе, моделирования вероятности безотказной работы (коэффициента выпуска) подвижного состава с учетом надежности агрегатов, узлов, деталей автомобиля. При данном подходе общая схема определения потребности АТП в f -й запасной части будет иметь вид, представленный на рисунке 3.2.

В соответствии со схемой расчета, представленной на рисунке 3.2, прогноз потребности в запасных частях основывается на вычислении характеристик процесса восстановления деталей, агрегатов и автомобиля, моделировании коэффициента выпуска и прогнозировании пробега на плановый период по возрастным группам автомобилей [7, с. 172-190]. Данная методика позволяет учесть большинство факторов, определяющих расход запасных частей, но и она требует дальнейшего развития.

Использование вышеизложенной методики определения потребности в запасных частях осложнено необходимостью наличия полной и достоверной информации о процессах расходования запасных частей для разных групп транспортных средств за длительный период времени.

Расчет нормативов должен осуществляться отдельно по каждой позиции номенклатуры запасных частей и для автомобилей одной марки и модели.

В качестве базы для расчета должны использоваться данные по эксплуатационной надежности (по отказам) запасных частей для выборки автомобилей, однородных по возрасту и конструкционным особенностям. При этом данные рас-

чета нормативов тем точнее, чем продолжительности период наблюдения за процессом отказа деталей и агрегатов.

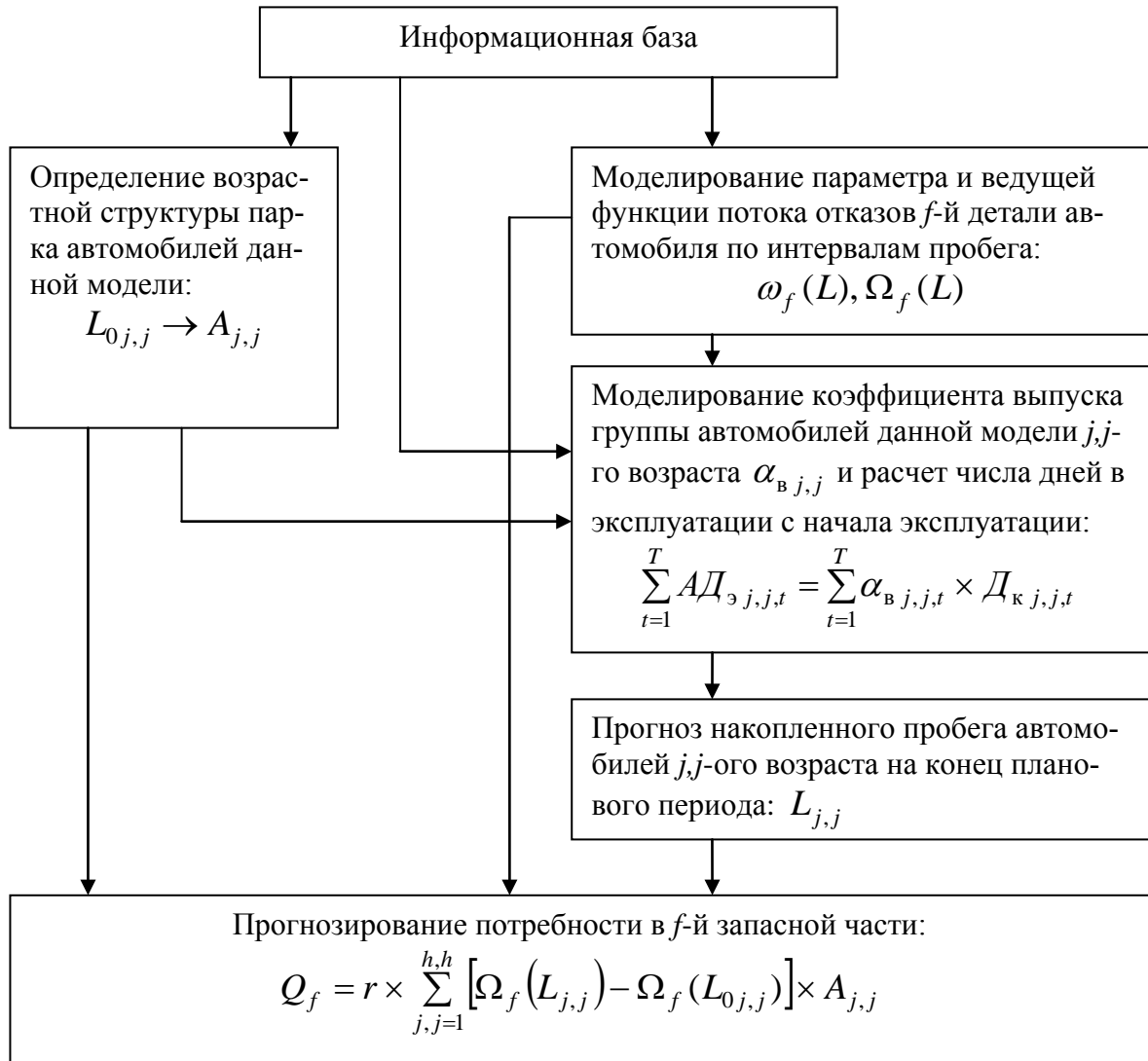


Рисунок 3.2 – Укрупненный алгоритм расчета потребности в запасных частях [7, с. 175]

Таким образом, мы предлагаем использовать динамические значения норм расхода запасных частей, которые будут меняться в зависимости от значений накопленного автомобилями пробега с момента ввода в эксплуатацию L :

$$\lambda_i(\Delta L_{выбор(t)}) = \frac{\sum p_i(\Delta L_{выб(t)})}{n_{выбор(t)}(\Delta L(t))}, \quad (3.6)$$

где $\lambda_i(\Delta L)$ – суммарное число отказов i -й запчасты в интервале пробега ΔL для анализируемой выборки автомобилей на момент времени t ; $n(\Delta L_{выбор(t)})$ – суммарное количество автомобилей в выборке, суммарный пробег которых от начала

эксплуатации до момента t находится в интервале ΔL ; ΔL – интервал пробега, тыс. км.; $\Delta L_i \equiv L_n(t) \div L_k(t)$, определяется эмпирически, исходя из среднемесячного пробега автомобилей в выборке и того периода, на который предполагается установить норму (квартал, год, несколько лет).

Динамические нормы расхода запасных частей – аналог параметров потоков отказов теории восстановления.

Нормы определяются для различных периодов времени, которым будут соответствовать свои интервалы пробега ΔL .

Найдя зависимость $\lambda_i(\Delta L)$ от середин интервалов ΔL , получим «нормирующую» функцию, которую можно рассматривать как аналог ведущей функции потока отказов:

$$\lambda_i = f(L(T)), \quad (3.7)$$

где λ_i – норма расхода i - детали как значение некой нормирующей функции.

Выражение $\lambda_i = f(L(T))$ означает, что норма расхода зависит от суммарного накопленного пробега (из расчета в среднем на 1 автомобиль), который в свою очередь зависит от момента времени T .

Зная выражение функции $\lambda_i(L(T))$, можно прогнозировать потребное количество деталей на момент времени T для всего парка однородных по конструкционным особенностям автомобилей:

$$Q_i(t) = \sum_{j,j=1}^{h,h} \lambda_{i,j(l(t))} \times n_{j(l(t))}, \quad (3.8)$$

где $Q_i(t)$ – требуемое количество деталей i -ой марки; $\lambda_{i,j(l(t))}$ – норма расхода деталей i -ой марки для автомобилей j -ого возраста; $n_{j(l(t))}$ – число автомобилей j -ого возраста; возраст зависит от значения накопленного пробега L на момент времени определения расхода деталей t .

Нахождение нормы расхода $\lambda_{i,j(l(t))}$ предполагает увязку расхода деталей с накопленным пробегом, а пробега – со временем эксплуатации. Для этого предварительно находится функциональная зависимость «накопленного пробега от времени эксплуатации» ($L(T)$).

Номенклатурные тетради, по которым осуществляется заказ запасных частей АТП, содержат до 700-800 наименований по каждой модели автомобиля [96]. В то же время результаты исследований эксплуатационной надежности [91] показывают, что имеется ограниченное число деталей, которые чаще других выходят из строя и тем самым определяют трудовые и материальные затраты на поддержание автомобилей в работоспособном состоянии. Такие детали получили название деталей, лимитирующих надежность (ДЛН).

Очевидно, целесообразно определять нормы расхода не для всей совокупности деталей (это очень трудоемкий процесс, требующий значительных затрат времени), а лишь для группы ДЛН. Одним из способов выделения группы деталей, лимитирующих надежность, может служить широко применяемый в логистике метод ABC [96, 132].

Резюмируя все вышесказанное, отметим, что реализация предлагаемой нами методики нормирования расхода запасных частей предполагает выполнение ряда задач (этапов), отраженных в виде блоков на рисунке 3.3:

- 1) сбор и первичная обработка исходной информации (о накопленных пробегах, времени нахождения в эксплуатации для рассматриваемых групп автобусов, среднем расходе и средней цене по каждой номенклатурной позиции);
- 2) определение функциональных зависимостей накопленного пробега от времени нахождения в эксплуатации для рассматриваемых групп автобусов;
- 3) ABC-классификация номенклатуры запасных частей;
- 4) построение потоков отказов деталей, лимитирующих надежность, вошедших в группу А;
- 5) определение удельных показателей (норм) расхода запчастей группы А по всем группам автобусов на определенный интервал накопленного за время эксплуатации пробега;
- 6) расчёт норм расхода и количества запчастей на основе статистики складских операций прихода/расхода для деталей, вошедших в группы В и С;
- 7) анализ результатов расчетов и корректировка норм расхода запчастей, если затраты на их приобретение превышают бюджетные ограничения.

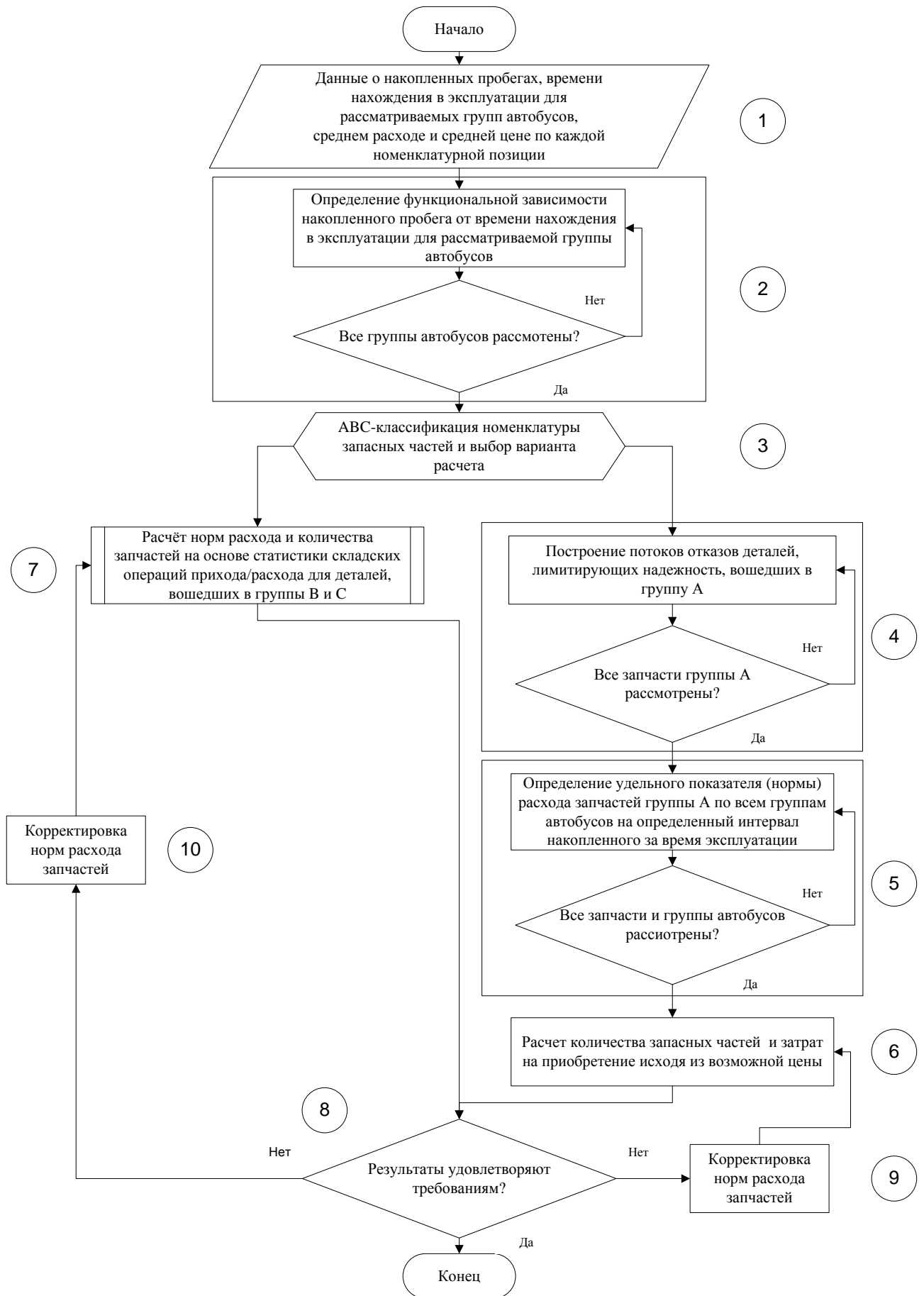


Рисунок 3.3 – Блок-схема методики расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств

Рассмотрим содержание этих этапов более подробно.

Этап 1. На первом этапе (блок 1) осуществляется сбор исходных данных о накопленных пробегах, времени нахождения в эксплуатации для рассматриваемых групп автобусов, среднем расходе и средней цене по каждой номенклатурной позиции.

Этап 2. На втором этапе (блок 2) проводится определение функциональной зависимости накопленного пробега от времени нахождения в эксплуатации для рассматриваемой группы автобусов. Данный процесс повторяется для всех групп автобусов. Предлагается формировать группы автобусов по моделям подвижного состава. Но в отдельных случаях группы могут быть разбиты на подгруппы в зависимости от условий эксплуатации (городские, пригородные или междугородные перевозки) или других факторов, существенно влияющих на пробег автобусов в плановом периоде.

Этап 3. На третьем этапе (блок 3) необходимо выполнить ABC-классификацию номенклатуры запасных частей и по ее результатам выбрать вариант расчета норм расхода и количества запасных частей. ABC-классификацию может быть выполнена по различным критериям: стоимости приобретенных запчастей; среднего расхода запасных частей за определенный период; показателя частоты расхода запчастей; комбинированного стоимостного показателя, включающий не только стоимость детали, но и другие затраты, связанные с ремонтом.

Этап 4. Расчёт норм расхода и количества запчастей для группы А проводят на основании построения потоков отказов деталей, лимитирующих надежность (блок 4).

Этап 5. Определения удельного показателя (нормы) расхода запчастей по всем группам автобусов на определенный интервал накопленного за время эксплуатации (блок 5).

Этап 6. На этом этапе проводят расчет количества запасных частей и затрат на приобретение исходя из возможной цены (блок 6). Следует отметить, что применение данной методики может привести в отдельных случаях к превышению бюджета на закупку запчастей. Следовательно, необходимо контролировать, что-

бы бюджетные ограничения не были нарушены (блок 8), а в случае их нарушения нормы расхода запчастей необходимо скорректировать в сторону уменьшения (блок 9).

Для запчастей, вошедших в группы В и С, расчёт норм расхода и количества запчастей проводится по упрощенной процедуре на основе статистики складских операций прихода/расхода деталей (блок 7). В блок-схеме алгоритма, представленного на рисунке 3.3, детально не рассматривается расчёт норм расхода и количества запчастей на основе статистики складских операций прихода/расхода, поскольку эта процедура подробно рассмотрена в работе [138].

Предлагаемая нами методика расчета количества запасных частей может и должна быть реализована с помощью специального программного обеспечения как непрерывная прогнозирующая система с постоянным пополнением информации о фактическом расходе запасных частей.

3.2. Разработка системы сбора данных и формирование информационной базы исследования эксплуатационной надежности транспортных средств

Внедрение методика расчета количества запасных частей в практику управления АТП (средним и крупным) предполагает формирование собственной информационной базы расчетов, под которой следует понимать комплекс исходных данных, характеризующих надежность эксплуатируемого подвижного состава, конкретные условия эксплуатации и организации ТО и ремонтов в АТП.

Наличие указанной информационной базы на АТП значительно увеличивает возможный эффект от повышения объективности принимаемых управленческих решений по развитию микрологистической системы АТП.

Общий подход к формированию единой информационной базы расчетов программы производства АТП, его материально-технического обеспечения и соответствующей экономической оценки издержек состоит в следующем:

1. На основании анализа всей исходной информации, необходимой для проведения расчетов, выявляется первичная информация, которая должна содержаться в первичных документах (формах) учета и отчетности. Выделяется информация, которая может быть получена из существующих в настоящее время форм.

2. Рационализируются существующие первичные документы по форме и содержанию. Разрабатываются новые формы первичных документов и технологические процессы обработки их на предмашинном этапе.

3. Разрабатывается и создается нормативно-справочная база.

4. Разрабатываются программные комплексы по обработке первичной информации, включающие операционную систему, библиотеку стандартных программ, пакеты прикладных программ.

5. Вся исходная информация организуется в массивы постоянной и переменной информации. По характеру содержащейся в них информации массивы подразделяются на исходные (ИМ), содержащие первичную информацию; промежуточные (ПМ), включающие данные, полученные после первого этапа обработки первичной информации; результирующие (РМ), содержащие информацию после обработки исходных данных.

Результирующие, или базовые, массивы, содержащие информацию о характеристиках потока отказов деталей и агрегатов, а также прогнозы коэффициентов технической готовности и выпуска подвижного состава и годовых пробегов по возрастным группам автомобилей, могут быть организованы в информационный архив, который хранится на внешних носителях.

При определении норм расхода запасных частей очень большое значение имеет качество предоставленной информации и ее полнота.

Необходимыми условиями являются:

– однородная группа автомобилей в качестве объекта исследования при выявлении нормативных значений: по марке, по модели, по возрасту, по среднемесячному пробегу;

– необходимо иметь данные по отказам за более длительный промежуток времени. В идеале – с момента ввода в эксплуатацию транспортного средства до списания;

– данные должны предоставляться в форме, удобной для обработки и анализа, то есть в электронном виде.

На основании изучения опыта работы ряда торговых и производственных компаний в работе [130, с. 251-253] был предложен обобщенный алгоритм формирования оптимальных стратегий управления запасами (рисунок 3.4), учитывающих особенности цепей поставок.

Охарактеризуем основные этапы реализации данного алгоритма. На первом этапе (блок 1) осуществляется формирование базы данных с информацией, которая может быть полезна для управления запасами. Как правило, это данные, характеризующие процессы потребления продукции, а также информация о ключевых особенностях цепей поставок, которые могут повлиять на выбор стратегии управления запасами.

На втором этапе (блок 2) осуществляется статистическая обработка и анализ рядов данных о расходах и приходах запасов. Анализ данных включает расчет средних значений потребления, времени выполнения заказов, СКО расхода и времени выполнения заказов, оценку принадлежности крайних (максимальных, минимальных) значений в общей выборке, дисперсионный анализ рядов, корреляционный анализ и т. д.

На третьем этапе (блок 3) осуществляется классификация всей номенклатуры материальных ценностей в запасах на группы: ABC, XYZ, $\alpha\beta\gamma\delta$. ABC-анализ позволяет выявлять группы позиций номенклатуры, представляющие наибольший экономический интерес для управления запасами. XYZ-анализ позволяет оценить степень стохастичности и точности прогнозирования расходов по отдельным номенклатурным позициям. $\alpha\beta\gamma\delta$ -анализ позволяет идентифицировать характер процесса расхода (редкий спрос, сезонность, экстремальный спрос и т. п.).

На четвертом этапе (блок 4) осуществляется экспертная оценка причин, приводящих к возникновению дефицита, сверхнормативных запасов и других негативных проявлений динамики уровня запасов на складах компании.

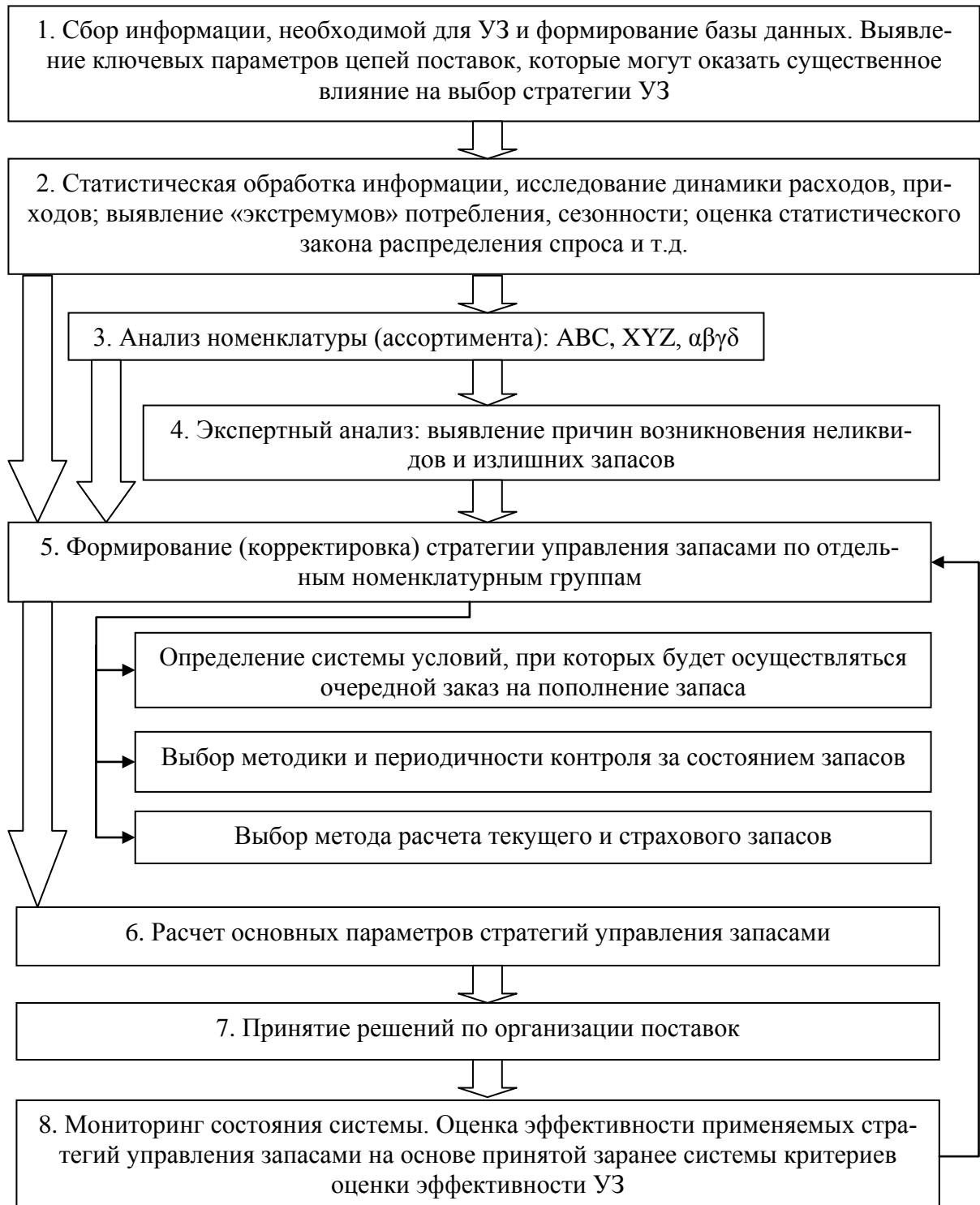


Рисунок 3.4 – Алгоритм формирования стратегии УЗ [130, с. 252]

На пятом этапе (блок 5) осуществляется процедура выбора (формирования), а также корректировки стратегии управления запасами в соответствии с выявлен-

ными ранее особенностями динамики спроса на материальные ресурсы и ключевыми характеристиками цепей поставок.

На шестом этапе (блок 6) осуществляется расчет основных параметров стратегий управления запасами, таких как объем и периодичность заказов на пополнение запаса, величина страхового запаса, нормативный (желательный) уровень текущего запаса.

На седьмом этапе (блок 7) происходит реализация стратегии в процессе поставок продукции.

На восьмом этапе (блок 8) осуществляется мониторинг состояния системы управления запасами и корректировка стратегий управления запасами исходя из изменений параметров спроса и цепей поставок.

Рассмотрим теперь более подробно содержание первого этапа, связанного с формированием базы исходных данных, необходимых для управления запасами.

Данные, необходимые для управления запасами, можно условно разделить на 3 группы: 1) данные по потреблению материальных ценностей; 2) данные по поставкам материальных ценностей; 3) данные по затратам в системе управления запасами.

Перечень информации, входящей в каждую из перечисленных выше групп, приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Информация, необходимая при управлении запасами

«Потребление»	«Поставки»	«Затраты»
Наименование позиции по номенклатуре; дата расхода (день, месяц, число); объем расхода; ед. измерения (шт., комплектов и пр.)	Наименование позиции по номенклатуре; дата размещения заказа; объем заказа; дата заказа; дата поставки по договору; дата поставки фактическая; объем фактический (пригодный к использованию, брак не учитывается)	Затраты общие и на единицу позиции номенклатуры: – на заказ; – на хранение; – потери от дефицита; – на приобретение (закупочная стоимость)

Целесообразно привести основные требования к информации, которая используется при управлении запасами, а именно:

– данные по приходу и расходу должны быть отсортировываться по позициям номенклатуры и по времени;

– в базе данных должна быть предусмотрена возможность накапливания статистической информации за длительное время, что позволит постоянно улучшать качество прогнозов.

Источники информации, необходимой для управления запасами, можно подразделить на цифровые (электронные) и аналоговые.

Аналоговые источники информации – это данные на бумажных носителях. Примеры возможных аналоговых источников информации, которые могут быть использованы при управлении запасами, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Аналоговые источники информации, используемые при управлении запасами

Вид документа	Источник, подразделение	Содержащаяся в документе информация	Какие задачи УЗ могут быть решены с помощью этой информации
Карточки складского учета материалов (готовой продукции) или книги складского учета материалов	Склад	Даты и объемы поступления / расхода МЦ; источники поступления МЦ; направления расхода МЦ; остатки МЦ на определенную дату	Моделирование процесса движения запасов; прогнозирование потребности в запасах; определение параметров стратегий УЗ и т.п.
Оборотные количественно-суммовые ведомости или ведомости продажи для готовой продукции	Склад, бухгалтерия	Наименование МЦ и номенклатурный номер, единица измерения, приход за месяц, расход за месяц, наличие на конец месяца	АВС-анализ номенклатуры МЦ; контроль неликвидов и общая оценка эффективности УЗ
Ведомости неликвидов	Склад	Наименование и номенклатурный номер МЦ, количество и стоимость по каждой позиции, дата последнего движения	Выявление и анализ неликвидов
Ведомость учета остатков материалов	Склад	Наименование и номенклатурный номер МЦ, единицы измерения, цены, нормы запаса и остаток – количество и сумма	Выявление неликвидов

Продолжение таблицы 3.2

Вид документа	Источник, подразделение	Содержащаяся в документе информация	Какие задачи УЗ могут быть решены с помощью этой информации
Ведомости (журналы) оперативного учета выполнения договоров поставки	Бухгалтерия или отдел снабжения, отдел продаж	В этих ведомостях отмечают выполнение условий договора о поставке по ассортименту материалов, их количеству, цене, срокам отгрузки и др.	Определение и контроль надежности поставок
Договора на поставку, счета, счета-фактуры и др.	Бухгалтерия или отдел снабжения, отдел продаж	Поставщик (наименование); сведения о договоре: номер, дата; наименование позиции; количество в заказе; дата поставки по договору	Определяются показатели надежности поставок, необходимые для расчета страхового запаса
Счет-фактура, товарно-транспортная накладная	Бухгалтерия или отдел снабжения, отдел продаж	Наименование позиции; поставщик (наименование); номер договора (заказа), дата; объем и номенклатура поставки по договору и фактические; дата поставки по договору и фактическая; стоимость	Моделирование процесса движения запаса «приход-расход»; определяются показатели надежности поставок, необходимые для расчета страхового запаса

С развитием специализированного складского и бухгалтерского программного обеспечения в сфере управления запасами все большее распространение получают цифровые источники информации.

Цифровые источники информации – это отчеты, сформированные в специализированных программных продуктах, хранимые на персональных компьютерах, передаваемые по сети интернет. Цифровые источники информации гораздо более удобны в использовании, поскольку информация в электронном виде может быть перенесена в любую прикладную программную среду и обработана компьютером. Для использования аналоговой информации ее предварительно необходимо внести в электронную базу данных, что требует дополнительных затрат времени и труда, которые в конечном счете выливаются в дополнительные затраты финансовых ресурсов компаний. Примеры возможных цифровых источников информации, которые могут быть использованы при управлении запасами, представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Цифровые источники информации, используемые при управлении запасами

Блок данных	Состав информации	Решаемые задачи	Источник
Потребление	Дата требования (расхода); объем требования (расхода); источник поступления требования (парк, подразделение, транспортное средство и т.п.)	Моделируется процесс потребления МР. Оценка характера процесса потребления (стохастичность). Используется как база для прогнозирования потребности в материальных ресурсах	Отчеты складского и бухгалтерского ПО. Пример: отчет «Карточка складского учета МЦ», формируемый программой «1С: Бухгалтерия»
Потребление	Поставщик (наименование); сведения о договоре: номер, дата; наименование позиции; количество в заказе; дата поставки по договору	Определяются показатели надежности поставок, необходимые для расчета страхового запаса	Отчеты складского и бухгалтерского ПО. Пример: отчет «Сведения о закупках и движении МЦ», формируемый программой «1С: Бухгалтерия»
Поставки	Наименование позиции; поставщик (наименование); номер договора (заказа), дата; объем и номенклатура поставки по договору и фактические; дата поставки по договору и фактическая; стоимость	Моделирование процесса движения запаса «приход-расход»; определяются показатели надежности поставок, необходимые для расчета страхового запаса	Отчеты складского и бухгалтерского ПО. Пример: отчет «Карточка складского учета МЦ», формируемый программой «1С: Бухгалтерия»

Помимо данных, характеризующих процесс потребления материальных ресурсов и качество поставок при формировании оптимальных стратегий управления запасами, необходимо учитывать еще и особенности цепей поставок

К ключевым параметрам цепей поставок, влияющим на формирование стратегии управления запасами, можно отнести: условия поставок (по INCOTERMS); сроки поставок и периодичность поставок, определяемые поставщиком; требования поставщика к минимальному и максимальному размеру заказа; ограничения производственных и складских мощностей клиента по переработке поступающих от поставщиков материальных ценностей; условия и порядок осуществления расчетов за поставляемую продукцию; способы доставки и характеристика транспорта, используемого при поставках материальных ценностей от одного участника цепи поставок другому и ряд других.

3.3. Реализация алгоритма и апробация результатов исследования на примере СПбГУП «Пассажиравтотранс»

Рассмотрим реализацию методики расчета запаса запасных частей на основе эксплуатационной надежности транспортных средств (см. рисунок 3.3).

Этап 1. Сбор и первичная обработка исходной информации.

Информационной базой анализа послужили данные технического отдела и бухгалтерии Автобусного парка №1 СПбГУП «Пассажиравтотранс». Основные данные для исследования содержались в следующих первичных источниках информации:

- полный список автобусов с датами ввода в эксплуатацию;
- формах вывода данных программы «АРМ.ТЕХ» (форма «Карточка автобуса», форма «Пробеги линейных автобусов» и др.);
- полная номенклатура запасных частей и комплектующих;
- отчеты по поступлению материалов и запчастей на склад.

Из отчетных форм программы «АРМ.ТЕХ» были получены следующие данные:

- 1) гаражный номер автобуса, на который заведена карточка;
- 2) дата замены (выхода из строя, отказа) детали;
- 3) группа номенклатуры отказавших деталей (отдельно для каждого типа автобусов НЕФАЗ, ЛиАЗ, «Волжанин» и др.);
- 4) номенклатурный номер отказавшей детали;
- 5) наименование детали;
- 6) количество отказавших за один раз деталей одного наименования.

Из общего списка автобусов и данных по пробегам автобусов, попавших в выборку для обследования, была взята следующая информация:

- 1) общее число единиц подвижного состава в парке;
- 2) структура парка по маркам и моделям;
- 3) дата (год) выпуска в эксплуатацию автобуса;
- 4) накопленный пробег за период эксплуатации, с момента ввода в эксплуата-

цию до момента последнего замера.

Полная номенклатура запасных частей и комплектующих была использована нами для уточнения сведений о наименовании и номенклатурном номере запасных частей. Отчеты по поступлению материалов для автобусов позволили рассчитать среднюю цену вышедших из строя элементов оборудования, агрегатов и деталей.

Этап 2. Определение функциональной зависимости накопленного пробега от времени нахождения в эксплуатации для рассматриваемой группы автобусов.

Рассмотрим процесс нахождения аналитического выражения, описывающего зависимость накопленного пробега автобусов L от времени в эксплуатации T .

В самом начале работы над определением аналитического выражения зависимости $L(T)$ перед нами встала проблема неоднородности предоставленных нам данных. Автомобили, вошедшие в выборки по каждой группе автомобилей, оказались разными и по дате ввода в эксплуатацию, и по среднемесячному пробегу.

Для того чтобы определить зависимость $L(T)$ необходимо осуществить выравнивание временных рядов значений пробега автомобилей, вошедших в выборку. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1. Осуществить переход от календарных значений срока службы автобусов к фактическому числу дней в эксплуатации, найдя разность между датой ввода автобуса в эксплуатацию и текущей датой. За текущую дату принимается дата начала месяца, на которую имеются данные по удельным и накопленным пробегам.

2. Осуществить переход к интервальным рядам по числу дней в эксплуатации. Интервальный шаг определялся по формуле:

$$\Delta_{t}^{\partial n} = \frac{T_{\max}^{\partial n} - T_{\min}^{\partial n}}{n_{\max}^t},$$

где $\Delta_{t}^{\partial n}$ – шаг интервала, дней в эксплуатации; $T_{\max}^{\partial n}, T_{\min}^{\partial n}$ – максимальное число дней в эксплуатации среди всех автобусов одной марки в выборке и минимальное начальное значение дней в эксплуатации за первый месяц работы автобуса; n_{\max}^t – максимальное число периодов (месяцев) эксплуатации.

3. Переходим к общему интервальному ряду, найдя средние значения накопленного пробега в каждом интервале Δ^{dn}_t .

Этапы работы по определению зависимости $L(T)$:

1. Строим временные ряды для значений накопленного пробега от времени для каждого автомобиля, вошедшего в выборку, заполняя таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Пример заполнения вспомогательной таблицы №1 для определения зависимости $L(T)$

Гаражный № ТС:	1381		
Дата снятия показаний по пробегу	Дата ввода ТС в эксплуатацию	Число дней работы с начала эксплуатации	Накопленный пробег
	01.05.2012	0	0
01.06.2012		30	5240
01.07.2012		61	10300
01.08.2012		и т.д.	и т.д.
01.09.2012			
01.10.2012			
и т.д.			

Примечание – В таблице 3.4 показатель «Число дней работы с начала эксплуатации» определяется как разность между текущей датой (датой снятия показаний по пробегу) и датой ввода ТС в эксплуатацию.

2. Переходим от временных рядов по дате к интервальным рядам по числу дней в эксплуатации, заполнив таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Пример заполнения вспомогательной таблицы №2 для определения зависимости $L(T)$

Интервал дней с начала эксплуатации		Частота	Средний день	Средний пробег, тыс км.
начало интервала	конец интервала			
7	37	15	22,33	2,3
37	67	15		4,1
67	97	15		6,7
и т.д.		и т.д.	и т.д.	и т.д.

Примечание – Расчеты в таблице 3.5 выполнены при следующих допущениях:

«Начало интервала» равно минимальному значению числа «дней работы с начала эксплуатации», взятому из таблицы 3.4;

$$\text{«Конец интервала»} = \text{«Начало интервала»} + \Delta^{dn}_t;$$

«Частота» – число автобусов, значения «Числа дней работы с начала эксплуатации» которых (см. таблицу 3.4) попадают в соответствующий интервал.

3. На основе данных интервального ряда (по таблице 3.5) строим график зависимости накопленного пробега L от времени эксплуатации T , используя возможности табличного процессора MS Excel.

4. С помощью соответствующих инструментов MS Excel подбираем тренд, наиболее точно описывающий зависимость, определяем его уравнение. Проверку адекватности модели осуществляем с помощью коэффициента детерминации R^2 .

Коэффициент детерминации дает количественную оценку меры анализируемой связи. Он показывает часть вариации результативного признака, который находится под влиянием факторов, которые изучаются, то есть определяет, какая частица вариации признака Y учитывается в модели и обусловлена влиянием на нее независимых факторов. Чем ближе R^2 к 1, тем в большей степени уравнение регрессии объясняет фактор, который изучается.

Расчеты по автобусам, попавшим в выборку, выполненный в MS Excel с помощью инструментов «График» и «Построение линии тренда», представлен на рисунках 3.5 – 3.7.

Для автобусов НЕФАЗ-5299: на начальных этапах эксплуатации автомобиля (до 8 лет и до накопленного пробега примерно в 450 тыс. км) зависимость $L(T)$ близка к степенной вида (см. рисунок 3.5):

$$y = 256,24x^{0,9357},$$

$$R^2 = 0,9921.$$

Затем по достижении определенной точки (возможно, капитального ремонта) темп роста пробега от времени замедляется и описывается кривой, близкой к логарифмической (см. рисунок 3.5):

$$y = 145707 \cdot \ln(x) - 762630,$$

$$R^2 = 0,8503.$$

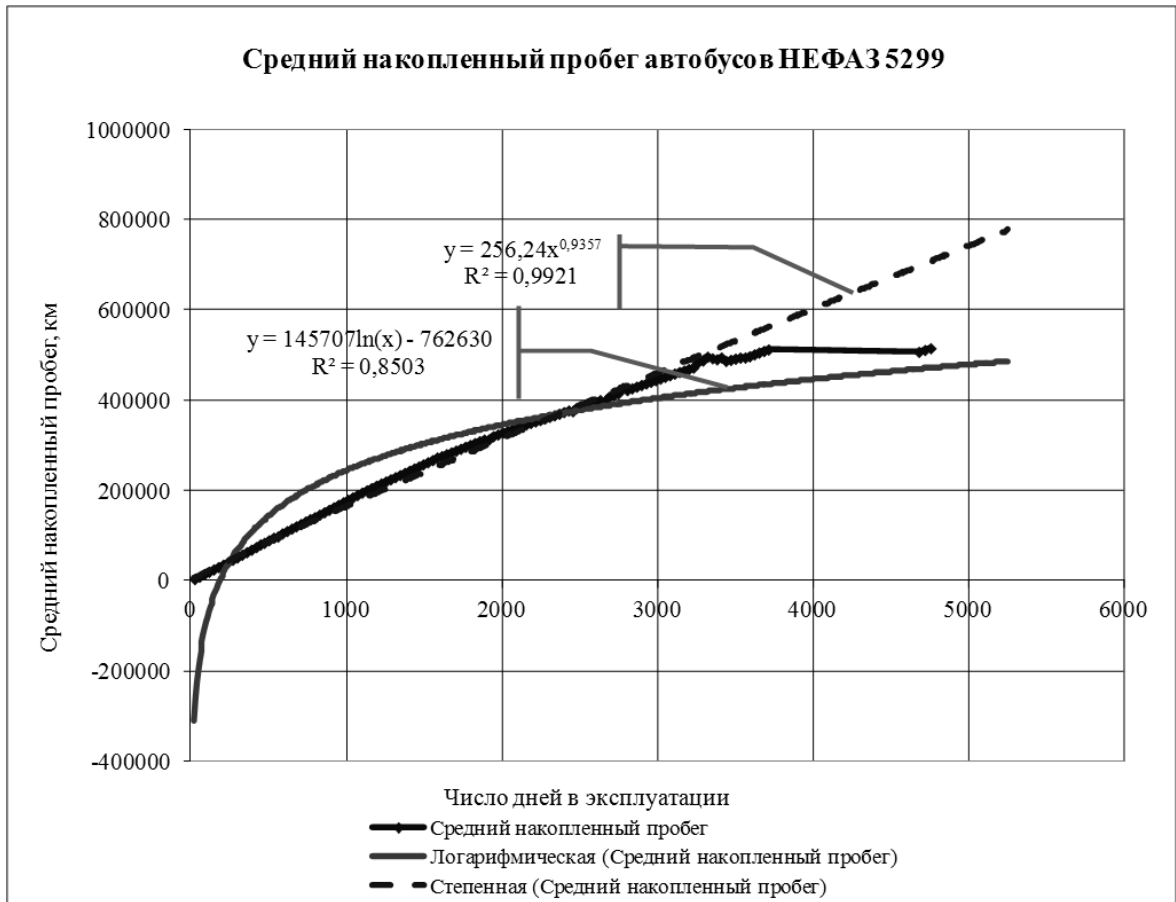


Рисунок 3.5 – Динамика изменения значений среднего накопленного пробега при увеличении числа дней в эксплуатации для автобусов НЕФАЗ-5299

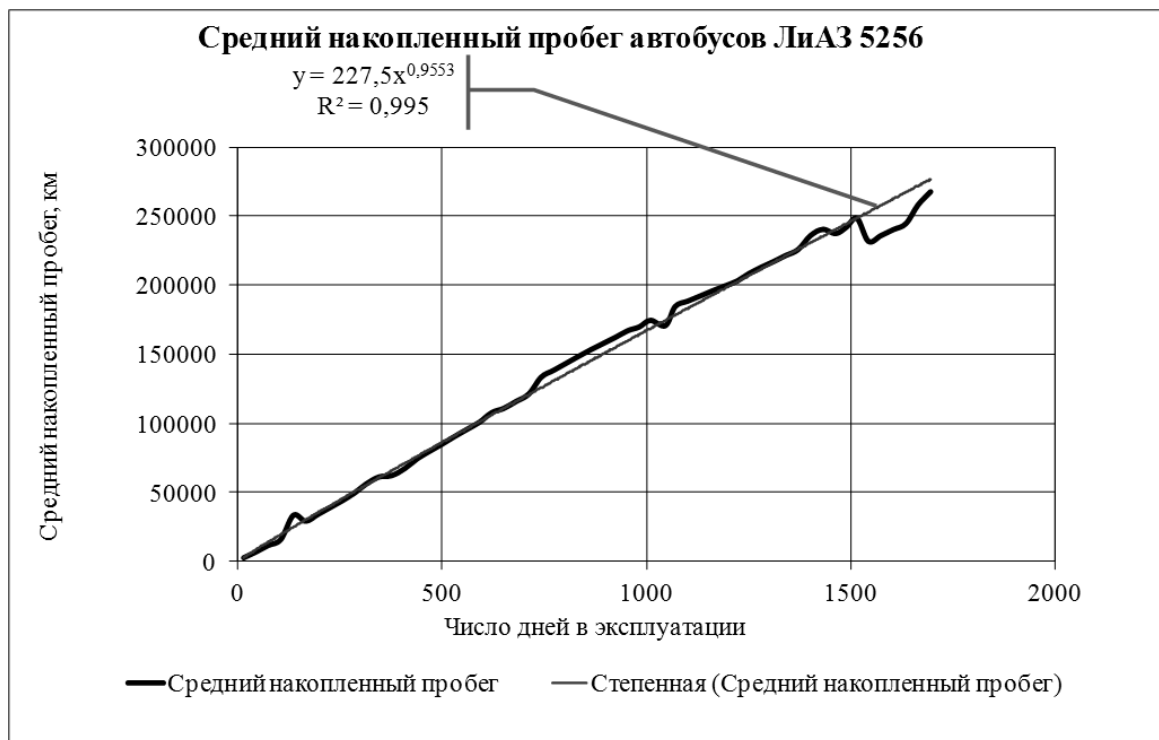


Рисунок 3.6 – Динамика изменения значений среднего накопленного пробега при увеличении числа дней в эксплуатации для автобусов ЛиАЗ-5256



Рисунок 3.7 – Динамика изменения значений среднего накопленного пробега при увеличении числа дней в эксплуатации для автобусов Волжанин-6270

Для автобусов ЛиАЗ-5256 характерна зависимость $L(T)$ вида (см. рисунок 3.6):

$$y = 227,5x^{0,9553},$$

$$R^2 = 0,995.$$

Для автобусов Волжанин-6270 характерна зависимость $L(T)$ вида (см. рисунок 3.7):

$$y = 630,48x^{0,9435},$$

$$R^2 = 0,9908.$$

Этап 2. ABC-классификация номенклатуры запасных частей

Реализация логистической функции АТП – прогнозирование, планирование и нормирование материальных запасов – требует решения задачи оптимизации номенклатуры запасных частей, входящих в состав материальных запасов предприятия. Под номенклатурой запасных частей понимается перечень наименова-

ний элементов автомобиля, составленный в определенной последовательности в соответствии с технической документацией предприятий-изготовителей [96].

Как уже упоминалось выше, не все детали номенклатуры запасных частей можно отнести к группе деталей лимитирующих надежность. Имеется ограниченное число деталей, которые чаще других выходят из строя, или же являются наиболее затратными, с точки зрения оптовой цены и стоимости трудозатрат.

Для выделения группы деталей лимитирующих надежность можно воспользоваться широко применяемым в логистике методом ABC.

Метод ABC – «способ формирования и контроля за состоянием запасов, заключающийся в разбиении номенклатуры N реализуемых товарно-материальных ценностей на три неравномоощных подмножества А, В и С на основании некоторого формального алгоритма» [130, с. 205]. В таблице 3.6 отражена характеристика номенклатурных групп А,В и С материалов и запасных частей с точки зрения управления их запасами и снабжением.

Таблица 3.6 – Характеристика номенклатурных групп А, В и С

Группа	Период контроля	Страховые запасы (вероятность наличия на складе)*	Концепции логистики
А	ежедневный (непрерывный)	0,95 ... 0,99	QR, VIM, JIT, DTD, MRP (MRP II) и др.
В	одна – две недели	0,90 ... 0,95	JIT, DTD, MRP и др.
С	месяц, квартал и более	0,80 ... 0,90	-

Общий порядок определения номенклатурных групп таков:

1. Выбирается показатель – критерий разбиения на группы. В качестве показателя для выделения номенклатурных групп автомобильных запчастей могут быть использованы:

- стоимостной показатель, отражающий стоимость приобретенных запасных частей:

$$C_i = n_i C_i,$$

где n_i – количество приобретенных запасных частей на замену отказавших, ед.; C_i – стоимость запасной части, руб./ед.

- показатели среднего расхода запасных частей за определенный период, на-

пример, за год;

- показатель частоты расхода, показывающий какое число раз за определенный период случались отказы той или иной детали (агрегата);
- единый комбинированный стоимостной показатель, включающий не только стоимость детали, но и другие затраты, связанные с ремонтом:

$$C_i = M_i \cdot (C_{zi} + C_{mpi} + C_{ni}),$$

где M_i – количество i -х деталей, требующих замены на рассматриваемом пробеге (с начала эксплуатации); C_{zi} – оптовая цена i -й детали; C_{mpi} – стоимость трудозатрат на устранение отказа i -й детали; C_{ni} – потери предприятия, связанные с простоем автомобиля в ремонте.

2. После расчета критерия разбиения на группы, будем его в дальнейшем для простоты обозначать символом P , все позиции номенклатуры располагаются в порядке убывания значений критерия.

3. Затем в зависимости от выбранного варианта метода ABC, производится деление на группы.

Наиболее распространенными методами ABC-анализа являются: эмпирический, аналитический и дифференциальный. Данные методы подробно описаны во многих учебниках и учебных пособиях по логистике (например, см. [130, с. 205-218]).

Пример 3.1. Проведем ABC-анализ номенклатуры запасных частей автобусов НЕФАЗ и по среднегодовому расходу (таблица 3.8) и по критерию затрат на приобретение запасных частей (таблица 3.9).

Поскольку для автобусов марки НЕФАЗ-5299 ABC-анализ проводился с использованием двух критериев (среднегодового расхода и среднегодовой стоимости запчастей), представляется интересным сопоставить данные ABC-анализа, проведенного с использованием вышеназванных показателей. Это сопоставление нашло отражение в сводной таблице 3.10.

Таблица 3.8 – Выделения номенклатурных групп запчастей к автобусам НЕФАЗ-5299 по критерию суммарного расхода (группа А)

№	Номенклатурный номер	Наименование	Расход за год					Средний расход за год	Доля, %	Σ доля, %	Группа
			2001	2002	2003	2004	2005				
1	20005	Воздушный фильтр	62	72	70	72	93	73,8	0,11	0,11	А
2	10275	Пневмобаллон	36	30	49	34	42	38,2	0,06	0,17	
3	1300	Ремень	36	30	35	32	48	36,2	0,05	0,22	
4	20159	Элементы (ушастый)	25	40	18	19	61	32,6	0,05	0,27	
5	1225	Ремень	31	23	22	22	44	28,4	0,04	0,32	
6	20135	Элементы (граната)	13	26	14	18	35	21,2	0,03	0,35	
7	950	Ремень	18	14	21	13	27	18,6	0,03	0,38	
8	10000	Амортизатор	5	19	6	12	40	16,4	0,02	0,40	
9	10270	Поршневая (D-10)		12	6	24	37	15,8	0,02	0,42	
10	20157	Элементы	4	8	11	8	37	13,6	0,02	0,45	
11	10502	Тормозной шланг	8	10	10	16	20	12,8	0,02	0,46	
12	108810	Опорный подшипник	7	11	15	14	13	12	0,02	0,48	
13	247570	а/лампа	22	10	11	12	5	12	0,02	0,50	
14	1250	Ремень	18	10	8	4	16	11,2	0,02	0,52	
15	10267	Поршень компрессора	4	12	6	12	21	11	0,02	0,53	
16	10137	Кольцо компрессора				14	39	10,6	0,02	0,55	
17	775	Ремень	11	3	8	13	14	9,8	0,01	0,57	
18	10271	Поршневой вал	12		18		12	8,4	0,01	0,58	
19	353263	Подшипник		7	6	13	15	8,2	0,01	0,59	
20	10453	Фильтр масляный АТМ	7	8	2	5	17	7,8	0,01	0,60	
21	10010	Барабаны		4	9	11	12	7,2	0,01	0,61	

Таблица 3.9 – Выделение номенклатурных групп запчастей к автобусам НЕФАЗ-5299 по критерию суммарных затрат на приобретение (группа А)

№	Номенклатурный номер	Наименование	Средний расход	Средняя цена	Стоимость	Доля, %	∑ доля, %	Группа
1	10270	Поршневая (D-10)	15,8	3994,50	63113,09	0,11	0,11	А
2	10250	Кол диск	5,2	5899,89	63113,09	0,11	0,21	
3	10755	Турбина "Гарит" (фирменная)	3	15002,72	45008,16	0,08	0,29	
4	10418	Турбина с решеткой	3,8	9930,92	37737,51	0,06	0,35	
5	10024	Коленный вал	1,6	20398,48	32637,56	0,05	0,40	
6	10271	Поршневой вал	8,4	3492,63	29338,08	0,05	0,45	
7	10565	ПГУ	5,8	4519,28	26211,80	0,04	0,50	
8	10092	Диск сцепления	3,8	6668,60	25340,68	0,04	0,54	
9	10010	Барабаны	7,2	2946,26	21213,04	0,04	0,57	
10	10035а	Моховик	1	17739,19	17739,19	0,03	0,60	
11	10000	Амортизатор	16,4	1011,82	16593,92	0,03	0,63	
12	20005	Воздушный фильтр	73,8	210,31	15520,88	0,03	0,66	
13	10275	Пневмобаллон	38,2	348,49	13312,42	0,02	0,68	
14	20098	Водогрев	0,4	27343,49	10937,40	0,02	0,70	
15	20028	Генератор	1	10679,88	10679,88	0,02	0,72	
16	10325	Радиатор	0,8	11937,28	9549,82	0,02	0,73	
17	20115	Трещетки	4,8	1957,26	9394,84	0,02	0,75	
18	10334	Рычаг угл	4,4	2043,60	8991,84	0,02	0,76	
19	20096а	Насос г/руля	0,8	9895,08	7916,06	0,01	0,78	
20	10431	Наконечник	6,6	1052,56	6946,90	0,01	0,79	
21	10332	Якорь	2	3468,33	6936,67	0,01	0,80	
22	10277	Площадка компрессора	4,6	1497,77	6889,74	0,01	0,81	
23	10453	Фильтр масляный АТМ	7,8	766,68	5980,10	0,01	0,82	

Таблица 3.10 – Сводная таблица АВС-анализа с использованием нескольких критериев для автобусов НЕФАЗ-5299 (фрагмент)

		АВС по затратам на приобретение							
		А		В		С		нет цен	
АВС по объему расхода	А	10270	Поршневая (D-10)	1300	Ремень	775	Ремень	20159	Элементы (ушастый)
		10250	Кол диск	1225	Ремень	10125	Клапан компрессора	20135	Элементы (граната)
		10271	Поршневой вал	10502	Тормозной шланг	10478	Хомут	950	Ремень
		10565	ПГУ	10267	Поршень компрессора			20157	Элементы
		10010	Барабаны	10137	Кольцо компрессора			108810	Опорный подшипник
		10000	Амортизатор	10328	Распылитель			247570	а/лампа
		20005	Воздушный фильтр	20111	Реле поворота			1250	Ремень
		10275	Пневмо-баллон	10505	Шланг масляный компрессора			353263	Подшипник
		20115	Трешетки	10496	Блок компрессора			7610	Подшипник
		10334	Рычаг угл.	10163	Вал компрессора			925	Ремень
		10431	Наконечник	10333	Вал			1275	Ремни
		10277	Площадка компрессора	10470	Фильтр сепаратор			1602290	Главный цилиндр сцепления
		10453	Фильтр АТМ					1125	Ремень
								10504	Шланг
			ФП-131					Фонарь IV	
			7613					Подшипник	
	В	10092	Диск сцепления	10517	Шатун			900	Ремень
		10418	Турбина с решеткой	10013	Арматура	10511	Шланг сцепления	354218	Р/к компрессора
		10755	Турбина «Гарит» (фирменная)	10370	Корпус генератора	10038	Замок зажигания	10164	Головка компрессора
		10332	Якорь	10171	Кран уровня пола	10105	Зеркало	10400	Седло клапана
		10024	Коленный вал	10332а	Якорь Сшу	10544	Щетки	3501105	Накладка

Сопоставление результатов АВС-анализа для автобусов марки НЕФАЗ (см. таблицу 3.10) позволяет сделать вывод о том, что номенклатуры деталей, имеющих наибольшую стоимость и наибольший среднегодовой объем расходования не совпадают. Причины в этого в том, что существуют позиции номенклатуры, тре-

бующие больших затрат, но при этом выходящие из строя или заменяемые достаточно редко, например, генераторы, радиаторы, водогревы. Встречается и обратная ситуация, когда деталь выходит из строя достаточно часто, но из-за небольшой цены не может быть отнесена к группе А или даже к группе В по показателю среднегодовой стоимости на их приобретение, например, хомуты.

Вышесказанное обосновывает, на наш взгляд, необходимость более тщательного изучения номенклатуры запасных частей не только с точки зрения того или иного критерия (на основе которого будет осуществляться разбиение номенклатуры на группы), но и с точки зрения оценки важности самих критериев для каждого конкретного предприятия. Скорее всего, в случае с АТП следует переходить от однокритериального АВС-анализа к многокритериальному, со взвешиванием показателей (критериев выделения номенклатурных групп А, В и С).

Этапы 4 и 5. Построение потоков отказов деталей и определение норм расхода запчастей

Общая схема построения потоков отказов и определения на их основе норм расхода запасных частей, зависящих от изменения накопленного пробега L со временем T , показана на рисунке 3.7. Потоки отказов определяются нами как ряды данных о суммарном числе отказов деталей определенного вида, соответствующем определенному интервалу накопленного пробега.

Начальное значение первого интервала для автобусов НЕФАЗ было определено исходя из минимального значения накопленного пробега на начало первого года, за который была предоставлена информация по отказам деталей, отраженная в карточке автобуса.

Интервальный шаг был установлен в размере 25000 км, что примерно соответствует среднему пробегу автобусов за квартал.

Для определения числа отказов в том или ином интервале используются данные о расходе деталей по интервалам пробега, полученные в результате обработки первичных источников информации.

Далее мы определяем число автобусов из нашей выборки, попавшее в тот или иной интервал по накопленному на момент отказа пробегу.

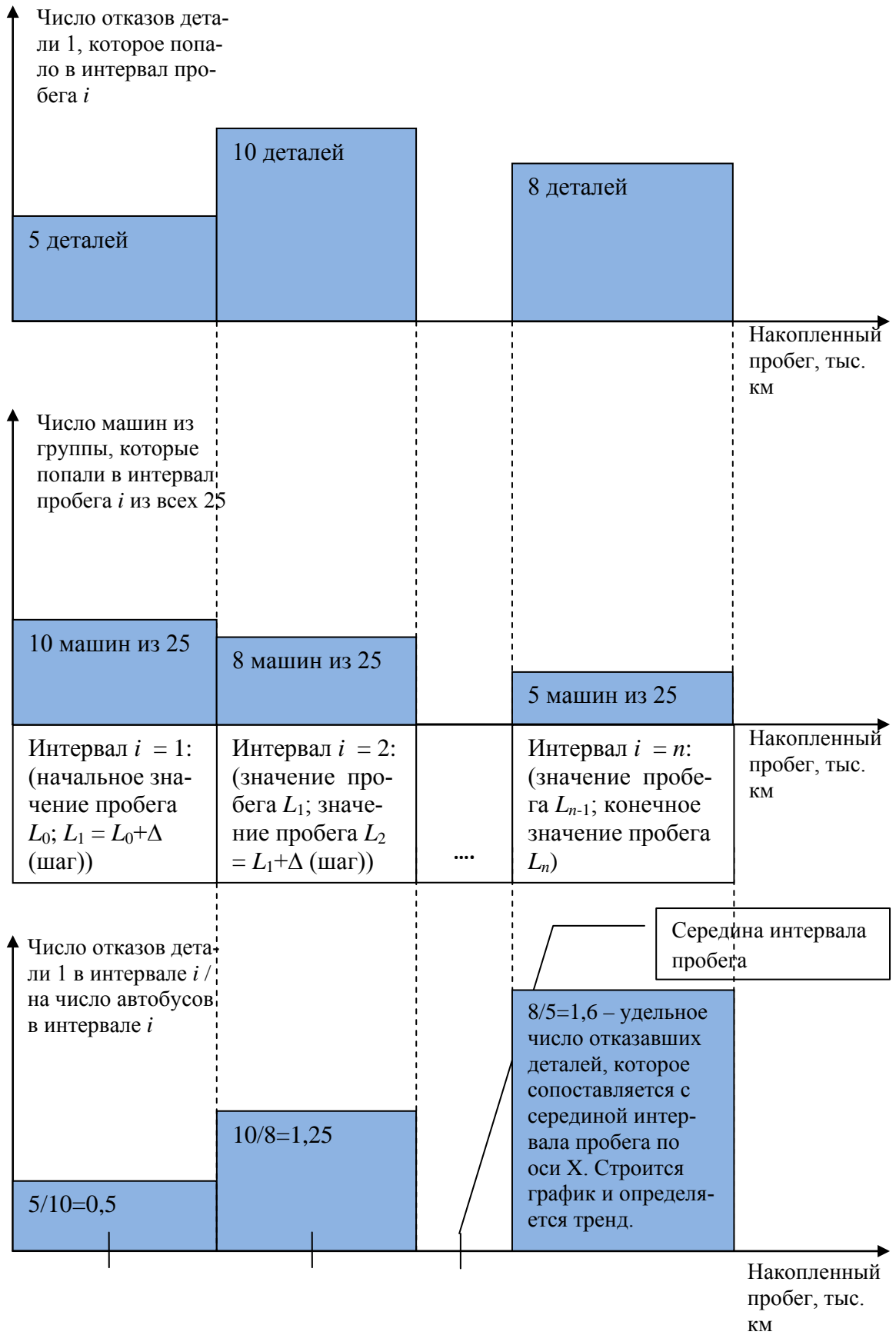


Рисунок 3.8 – Пример определения норм расхода на основе данных по потокам отказов запасных частей

После этого, разделив суммарное число отказов на количество автобусов, попавших в определенный интервал, находим значение нормы расхода запасных частей для этого интервала (см. формулу (3.6)).

После того как определены нормы в определенном интервале находятся середины этих интервалов и строятся графики зависимостей нормы расхода от значения пробега, являющегося серединой того или иного интервала. К построенным графикам можно подобрать тренды, наиболее близко описывающие отраженную на графике зависимость. Уравнения этих трендов есть ни что иное, как упомянутая выше «нормирующая» функция (см. формулу (3.7)).

Прогнозное значение потребности в запасных частях на основе значений нормирующей функции может быть рассчитано по формуле (3.8).

Ниже показаны результаты построения потока отказов и расчета удельного показателя (нормы расхода) для детали 108810 опорный подшипник (таблица 3.11 и рисунок 3.9).

Таблица 3.11 – Поток отказов и удельные значения (норма) расхода детали 108810 опорный подшипник

Интервал пробега, км	Середина интервала, км	Число отказавших деталей, ед.	Число автобусов, попавших в интервал, ед.	Норма расхода, ед.
191565-216565	204065	0	25	0
216565-241565	229065	0	25	0
241565-266565	254065	0	25	0
266565-291565	279065	0	25	0
291565-316565	304065	1	25	0,04
316565-341565	329065	4	25	0,16
341565-366565	354065	12	25	0,48
366565-391565	379065	16	25	0,64
391565-416565	404065	18	25	0,72
416565-441565	429065	9	25	0,36
441565-466565	454065	0	25	0
466565-491565	479065	0	22	0
491565-516565	504065	0	18	0
516565-541565	529065	0	15	0
541565-566565	554065	0	13	0
566565-591565	579065	0	9	0
591565-616565	604065	0	2	0
616565-641565	629565	0	1	0
641565-666565	654065	0	1	0

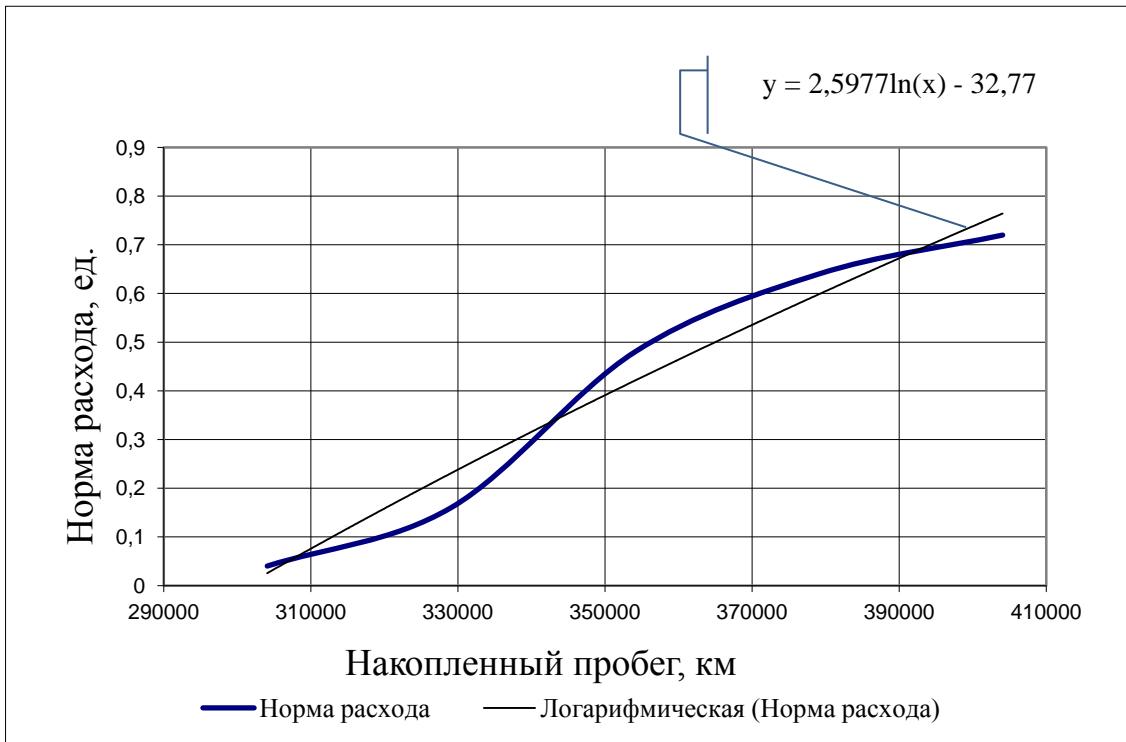


Рисунок 3.9 – Динамика удельного значения (нормы) расхода детали 108810 опорный подшипник

Примечание – Нормирующая функция для детали 108810 опорный подшипник построена по пяти точкам, выделенным в таблице 3.11 полужирным шрифтом.

Этап 6. Расчет количества запасных частей и затрат на приобретение исходя из возможной цены

Потребное количество деталей на момент времени T для всего парка однородных по конструкционным особенностям автомобилей рассчитывают по формуле (3.8). Суммарные затраты на приобретение запчасти в расчете на год $\sum C_3$, руб., рассчитывают по формуле:

$$\sum C_3 = c_n \cdot \sum Q_j(t),$$

где c_n – цена запчасти, руб.

Рассмотрим пример расчета количества запасных по предложенной методике.

Пример 3.2. Расчет количества запасных по предложенной методике.

Шаг 0. Определить позицию номенклатуры запчастей, для которой будет осуществляться расчет потребного количества:

- 108810 опорный подшипник.

Шаг 1. Определить группу автобусов для расчета запчастей:

- НЕФА3-5299. Всего в группе 60 единиц транспортных средств.

Шаг 2. Выделить возрастные подгруппы и определить количество автобусов в каждой подгруппе:

- группа 1 – срок эксплуатации 5 лет; 10 автобусов в группе;
- группа 2 – срок эксплуатации 7 лет; 20 автобусов в группе;
- группа 3 – срок эксплуатации 10 лет; 30 автобусов в группе.

Шаг 3. Определить период, на который осуществляется расчет запчастей число дней год и число дней с момента начала эксплуатации с учетом плановых простоев:

- группа 1 – период 6-й год ($T_1 = 6$); принимаем число дней в эксплуатации $AD_{э,1} = 250$; тогда, число дней с момента начала эксплуатации с учетом плановых простоев составит:

$$\sum_{t=1}^6 AD_{э,1} = AD_{э,1} \cdot T_1 = 250 \cdot 6 = 1500;$$

- группа 2 – период 8-й год ($T_2 = 8$); принимаем число дней в эксплуатации $AD_{э,2} = 250$; тогда, число дней с момента начала эксплуатации с учетом плановых простоев составит:

$$\sum_{t=1}^8 AD_{э,2} = AD_{э,2} \cdot T_2 = 250 \cdot 8 = 2000;$$

- группа 3 – период 11-й год ($T_3 = 11$); принимаем число дней в эксплуатации $AD_{э,3} = 250$; тогда, число дней с момента начала эксплуатации с учетом плановых простоев составит:

$$\sum_{t=1}^{11} AD_{э,3} = AD_{э,3} \cdot T_3 = 250 \cdot 11 = 2750.$$

Шаг 4. Спрогнозировать суммарный (накопленный) пробег для автомобиля каждой из выделенных возрастных групп:

- группа 1:

$$L_1(T) = 256,24 \cdot (\sum AD_{э,1})^{0,9357} = 256,24 \cdot 1500^{0,9357} = 240168,21 \text{ км};$$

– группа 2:

$$L_2(T) = 256,24 \cdot (\sum AD_{3,2})^{0,9357} = 256,24 \cdot 200^{0,9357} = 314355,23 \text{ км};$$

– группа 3:

$$\begin{aligned} L_3(T) &= 145707 \cdot \text{LN}(\sum AD_{3,3}) - 762630 = 145707 \cdot \text{LN}(2750) - 762630 = \\ &= 391275,63 \text{ км}. \end{aligned}$$

Шаг 5. Определить норму расхода запчастей исходя из спрогнозированного пробега:

– группа 1: поскольку нормирующей функции для детали 108810 опорный подшипник определена в диапазоне от 304 до 404 тыс. км (см. таблицу 3.11 и рисунок 3.7), а прогноз суммарного накопленного пробег для автомобилей данной группы, составляющий приблизительно 240 тыс. км, не попадает в область определения нормирующей функции, то следует принять норму расхода некоторой (отличной от нуля) величине; принимаем $\lambda_1(L(T)) = 0,02$;

– группа 2:

$$\lambda_2(L(T)) = 2,5977 \cdot \text{LN}(L(T)) - 32,77 = 2,5977 \cdot 314355,23 - 32,77 = 0,1124 \text{ ед.};$$

– группа 3:

$$\lambda_3(L(T)) = 2,5977 \cdot \text{LN}(L(T)) - 32,77 = 2,5977 \cdot 314355,23 - 32,77 = 0,6810 \text{ ед.}.$$

Шаг 6. Рассчитать (по формуле (2.34)) требуемое количество запчастей для группы ТС, определенной на 1-м шаге:

– группа 1:

$$Q_1(t) = 0,02 \cdot 10 = 0,2 \approx 1 \text{ ед.}$$

– группа 2 – срок эксплуатации 7 лет; 20 автобусов в группе;

$$Q_2(t) = 0,1124 \cdot 20 = 2,2482 \approx 3 \text{ ед.}$$

– группа 3 – срок эксплуатации 10 лет; 30 автобусов в группе.

$$Q_3(t) = 0,6810 \cdot 30 = 20,4305 \approx 21 \text{ ед.}$$

– на весь списочный парк автобусов

$$\sum Q_j(t) = 1 + 3 + 21 = 25 \text{ ед.}$$

Шаг 7. Рассчитать затраты на приобретение исходя из возможной цены запчастей:

- принимаем цену запчасти $c_n = 746$ руб.; тогда, суммарные затраты на приобретение подшипников в расчете на год составят:

$$\sum C_{z(\text{опорный подшипник})} = c_n \cdot \sum Q_j(t) = 746 \cdot 25 = 18650 \text{ руб.}$$

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Пример расчета количества запасных частей

Но- мер этапа	Содержание этапа	Пример расчета и результат		
Шаг 0	Определить позицию номенклатуры запчастей, для которой будет осуществляться расчет необходимого количества	108810 опорный подшипник		
Шаг 1	Определить группу автобусов для расчета запчастей	Икарус 280.33		
		Всего ТС в группе	60	
Шаг 2	Выделить возрастные подгруппы и определить количество автобусов в каждой подгруппе	Группа 1: срок в эксплуатации 5 лет	Группа 2: срок в эксплуатации 7 лет	Группа 3: срок в эксплуатации 10 лет
		Количество ТС в группе		
		10	20	30
Шаг 3	Определить период, на который осуществляется расчет з/частей число дней год и число дней с момента эксплуатации с учетом плановых простоев	6-й год	8-й год	11-й год
		Дней в эксплуатации		
		1500	2000	2750
Шаг 4	Спрогнозировать суммарный (накопленный) пробег для автомобиля каждой из выделенных возрастных групп	Формула для расчета пробега		
		$y = 256,24x^{0,9357}$	$y = 256,24x^{0,9357}$	$y = 145707\ln(x) - 762630$
		Результат расчета прогнозного значения пробега с начала эксплуатации		
		240168,21	314355,23	391275,63
Шаг 5	Определить норму расхода запчасти исходя из спрогнозированного пробега	Нормирующая функция для детали 108810	$y = 2,5977\ln(x) - 32,77$	
		Результат расчета нормы расхода для каждой возрастной группы ТС		
		0,02	0,112411194	0,6810181

Продолжение таблицы 3.12

Но- мер этапа	Содержание этапа	Пример расчета и результат		
Шаг 6	Рассчитать требуемое кол-во запчастей для группы ТС, определенной на 1-м шаге	Формула для расчета	$Q_i(t) = \sum_{j,j=1}^{h,h} \lambda_{i,j(l(t))} \times n_{j(l(t))}$	
		0,20	2,25	20,43
		1	3	21
		ИТОГО	25	
Шаг 7	Рассчитать затраты на приобретение исходя из возможной цены запчасти	Цена запчасти, руб.	746	
		Суммарные затраты на приобретение подшипников, руб.	18650	

Таким образом, проведенные в третьей главе диссертации исследования позволяют сделать следующие **выводы и обобщения**.

1. Разработана методика расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств, которая в частях основывается на вычислении характеристик процесса восстановления деталей, агрегатов и автомобиля, моделировании коэффициента выпуска и прогнозировании пробега на плановый период по возрастным группам автомобилей и позволяет учесть большинство факторов, определяющих расход запасных частей.

2. Внедрение разработанной методики расчета потребности в запасных частях в практику управления АТП (средним и крупным) предполагает формирование собственной информационной базы расчетов, под которой следует понимать комплекс исходных данных, характеризующих надежность эксплуатируемого подвижного состава, конкретные условия эксплуатации и организации ТО и ремонтов в АТП. В диссертации разработан общий подход к формированию единой информационной базы расчетов.

3. Проведена апробация методики расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств на основе данных Автобусного парка №1 СПбГУП «Пассажиравтотранс», показывающая ее эффек-

тивность. Рекомендуется внедрить данную методику в организациях и компаниях, осуществляющих эксплуатацию технических систем (машин) различного назначения и поддержание их на высоком уровне технической готовности, в том числе на всех видах транспортных предприятий, имеющих одномарочный подвижной состав, на всех предприятиях, имеющих однотипные станки, машины и механизмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное исследование позволяет сделать выводы и сформулировать рекомендации, перечисленные ниже.

1. Проведенный анализ аппарата теории надежности цепей поставок показал, что теория и методология управления надежностью, безопасностью и устойчивостью цепей поставок в основном сформировались, но в рамках конкретного исследования эти понятия, подходы и трактовки должны быть уточнены и конкретизированы.

2. Предложена классификация методов повышения надежности цепей поставок, связанная с их основными свойствами, в основе которой лежат три подхода:

а) технический подход, базирующийся на теории надежности технических систем;

б) экономический подход, подразумевающий оценку надежности цепей поставок на основе логистических издержек, нарушения контрактных обязательств (штрафы и т.п.) или показателей прибыли и рентабельности бизнес-процессов в цепях поставок. Как правило, в основе экономического подхода к повышению надежности цепей поставок лежат методы и математические модели планирования логистических бизнес-процессов в условиях неопределенности;

в) подход, учитывающий безопасность протекания бизнес-процессов в цепях поставок, основанный на теории управления рисками.

Предложенная классификация показывает, где применяются те или иные методы, какова связь этих методов с надежностью, экономичностью и безопасностью цепей поставок, а также служит основой для адекватного выбора метода управления надежностью цепей поставок в конкретных условиях или для конкретного бизнес-процесса.

3. Усовершенствована методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, которая позволяет учесть нестационарность и дискретность процесса сбоев в поставках, следовательно, получить более точные данные, характеризующие надежность поставок в снабжении.

4. Предложена иерархическая классификация моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок, которая обеспечивает лучшее понимание их математических свойств, а также служит концептуальной основой для процедуры создания новых моделей оценки и обеспечения надежности операций в цепях поставок.

5. Проведен критический анализ существующих моделей обеспечения надежности операций в цепях поставок по критерию отнесения к логистическому бизнес-процессу, который позволил сделать следующие выводы:

а) в недостаточной степени разработаны комплексные модели оценки и обеспечения надежности, т.е. модели, охватывающие несколько смежных бизнес-процессов. Причина заключается в том, что комплексные модели являются, как правило, гораздо более сложными в математическом аспекте. Поэтому, в большинстве случаев комплексные модели обеспечения надежности цепей поставок являются описательными моделями, например, SCOR-карта, процессная SCOR-модель, географическая модель цепи поставок или структурно-функциональная модель;

б) модели планирования отдельных бизнес-процессов также постоянно развиваются и дополняются новыми разработками. Наибольшее число научных работ посвящено проблеме календарного планирования производства, проблеме маршрутизации транспортных средств, а также проблеме выбора поставщиков и оптимизация размера партии поставки. Интерес ученых к этим проблемам вызван их математической сложностью и необходимостью учитывать большое количество ограничений, в том числе вероятностных, например, связанных с неопределенностью спроса, изменение цен на ресурсы или временных ограничений для транспортных средств. Но отдельные вопросы являются, по нашему мнению, не достаточно изученными. В частности, проблема и методы расчета потребности в запасных частях, основанные на теории процессов восстановления, явились предметом диссертационного исследования.

6. Разработана стохастическая модель задачи выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки с учетом площади складских помещений и

бюджетных ограничений в условиях изменяющегося спроса, которая в отличие от существующей динамической постановки данной задачи позволяет давать более реалистичный план с учетом вероятностного характера спроса на товары.

7. Уточнена методика расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств, которая частях основывается на вычислении характеристик процесса восстановления деталей, агрегатов и автомобиля, моделировании коэффициента выпуска и прогнозировании пробега на плановый период по возрастным группам автомобилей и позволяет учесть большинство факторов, определяющих расход запасных частей.

8. Проведена апробация методики расчета потребности в запасных частях на основе эксплуатационной надежности транспортных средств на основе данных Автобусного парка №1 СПбГУП «Пассажиравтотранс», показывающая ее эффективность. Рекомендуется внедрить данную методику в организациях и компаниях, осуществляющих эксплуатацию технических систем (машин) различного назначения и поддержание их на высоком уровне технической готовности, в том числе на всех видах транспортных предприятий, имеющих одномарочный подвижной состав, на всех предприятиях, имеющих однотипные станки, машины и механизмы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АТП	–	автотранспортное предприятие
ДЛН	–	детали, лимитирующие надежность
ЗЧ	–	запасные части
ИМ	–	исходные массивы (информации)
ИТ	–	информационные технологии
КР	–	капитальный ремонт
МР	–	материальные ресурсы
МЦ	–	материальные ценности
ПМ	–	промежуточные массивы (информации)
РМ	–	результатирующие массивы (информации)
СКО	–	среднеквадратичное отклонение
ТО	–	техническое обслуживание
ТР	–	текущий ремонт
ТС	–	транспортное средство
УЗ	–	управление запасами
УЦП	–	управление цепями поставок
ФАЛ	–	функции алгебры логики
ЦП	–	цель поставок
DTD	–	Door-to-door
EOQ	–	Economic Order Quantity
ЛТ	–	Just-in-time
KPI	–	Key Performance Indication
MRP	–	Material Requirement Planning
MRP II	–	Manufactory Resource Planning
NOM	–	Network optimization model
POI	–	Perfect Order Index
POF	–	Perfect Order Fulfillment
SCC	–	Supply Chain Council

- SCM – Supply Chain Management
- SCOR – Supply Chain Operations Reference-model
- VMI – Vendor Managed Inventory
- VRP – Vehicle Routing Problem
- VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексинская Т.В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления: Учеб. пос. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005 г.
2. Ассэль Генри. Маркетинг: принципы и стратегия: учеб. для вузов / пер. с англ. Штернгарца М.З. – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2001. – 803 с.
3. Альбеков А. У., Митько О. А. Коммерческая логистика. Учебное пособие. – М.: Феникс, 2002. – 416 с.
4. Аутсорсинг: создание высокоэффективных и конкурентоспособных организаций: Учеб. пособие / Под ред. проф. Б. А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 187 с.
5. Бауэрсокс Д. Дж., Клосс Д. Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. 2-е изд. Пер. с англ. Н. Н. Барышниковой, Б. С. Пинскера. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
6. Балахонова И.В., Волчков С.А., Капитуров В.А. Логистика: интеграция процессов с помощью ERP-системы. Н.Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2006 – 464 с.
7. Бережной В.И. Методология логистического подхода к управлению автотранспортным предприятием: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.15 / Бережной Владимир Иванович. – СПб.: СПбГИЭУ, 1997.– 397 с.
8. Бережной В.И., Бережная Е.В. Методы и модели управления материальными потоками микрологистической системы автопредприятия. – Ставрополь: Интеллект-сервис, 1996. – 155 с.
9. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows: учеб. пособие / В.П. Боровиков, Г.И. Ивченко. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 368 с.
10. Бочкарев А. А. Автоматизация планирования и моделирования цепи поставок: Монография. – СПб. : СПбГИЭУ, 2008. – 291 с.
11. Бочкарев А. А. Теория и методология процессного подхода к моделированию и интегрированному планированию цепей поставок: автореф. дис. ... д-ра

экон. наук: 08.00.15 / Бочкарев Андрей Александрович. – СПб.: СПбГИЭУ, 2009. – 39 с.

12. Бочкарев А. А. Теория и методология процессного подхода к моделированию и интегрированному планированию цепей поставок: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.15 / Бочкарев Андрей Александрович. – СПб.: СПбГИЭУ, 2009.–291 с.

13. Бочкарев А.А., Бочкарев П.А. Проблема выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки в условиях изменяющегося спроса // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – №1(60). – С. 37-42.

14. Бочкарев А.А., Бочкарев П.А. Франюк Р.А. Оптимизация перевозок контейнерных грузов // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – №1(48). – С. 43-55.

15. Бочкарев А.А., Зайцев Е.И. Оптимизация планирования поставок в многоуровневых сетевых структурах с учетом надежности // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – №2(37). – С. 38-48.

16. Бочкарев А.А., Колмаков А.В. Стратегия приобретения и продажи товаров в условиях изменяющегося спроса // Логистика – евразийский мост: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. 2, 3 марта 2011 г., г. Красноярск / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – В 2 ч. – Красноярск, 2011. – Ч. 1. – С. 196-202.

17. Бочкарев А.А., Рыжов С.С. Проблема оптимизации плана приобретения и продажи товаров в условиях изменяющегося спроса // Вестник ИНЖЭКОНА: Серия «Экономика». – № 3 (54). – 2012. – С. 209-217.

18. Бочкарев П.А. ABC-анализ при планировании запасов // Вестник СПбГЭУ. Серия «Экономика». – 2014. - № 2 (69). – С. 122-125.

19. Бочкарев П.А. Методы планирования поставок и мультиагентные системы // Логистика – евразийский мост: мат-лы IX Международ. науч.-практ. конф. (15-16 мая 2014 г., г.Красноярск) / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – С. 27-32.

20. Бочкарев П.А. Планирование поставок на основе муравьиных колоний // Математические методы и информационные технологии в экономике и управле-

нии: материалы Международной методической и научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 23-25 мая 2013 г.) / СПб ГТУРП. 2013. – С. 57-60.

21. Бочкарев П.А. Разработка имитационной модели системы управления запасами в среде ANYLOGIC // Логистика: современные тенденции развития: материалы XI Международной методической и научно-практической конференции 19, 20 апреля 2012 г. / Ред. кол. В.С. Лукинский (отв. ред.) [и др.]. – СПб.: СПбГИЭУ, 2012. – С. 49-52.

22. Бочкарев П.А., Бочкарев А.А. Принципы процессного подхода к управлению цепями поставок // Логистика: современные тенденции развития: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. 14, 15 апреля 2011 г. / ред. кол. В.С. Лукинский (отв. ред.) [и др.]. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – С. 37-41.

23. Бочкарев П.А., Бочкарев А.А. Проблема выбора информационной системы для транспортной логистики // Эффективная логистика: сборник статей участников V Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием 3 декабря 2011 г. / отв. ред. А.Г. Бутрин. – Челябинск: ЮУрГУ, 2011. – С. 56-60.

24. Бочкарев П.А., Бочкарев А.А. Проблема расчета надежности цепи поставок // Логистика: современные тенденции развития: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. 15, 16 апреля 2010 г. / ред. кол. В.С. Лукинский (отв. ред.) [и др.]. – СПб.: СПбГИЭУ, 2010. – С. 64-67.

25. Бочкарев П.А., Бочкарев А.А. Транспортные задачи и модели транспортного типа в управлении цепями поставок // Экономика и менеджмент на транспорте: сб. науч. тр. Вып. 7 / ред. кол. Е.В. Будрина (отв. ред.) [и др.]. – СПб.: СПбГИЭУ, 2010. – С. 53-57.

26. Бочкарев П.А., Замалетдинова Д.А. Особенности управления запасами в транспортных компаниях // Вестник СПбГЭУ Серия «Экономика». – 2014. – Вып. 7(74). – С. 76-78. – 0,3/0,15 п.л.

27. Бродецкий Г. Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности. – М.: Academia, 2010. – 336 с.

28. Бродецкий Г.Л. Управление запасами: учеб. пособие / Г.Л. Бродецкий. – М.: Эксмо, 2008. – 352 с.

29. Брусакова И.А., Власов М.П., Голоскоков К.П. и др. Управление корпоративными ресурсами в информационных системах. – СПб.: Изд-во СПбГИЭУ «ИНЖЭКОН», 2010. – 362 с.
30. Букан Дж., Кенингсберг Э. Научное управление запасами. – М.: «Наука», 1967. – 423 с.
31. Быков Р., Толмачев Д. Источник долгосрочного процветания // Эксперт-Урал. – 2008. – № 14(323).
32. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2-е изд., стер. – М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит., 1988. – 208 с.
33. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для ВУЗов. – 7-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
34. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.
35. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учебн. пособие для ВТУЗов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.
36. Владимиров В.Г., Найда В.Г., Чурилов Л.П. Человеческий фактор Чернобыля // Вестн. С.-Петербургск. ун-та., сер. 11. Медицина. – 2011. – № 2. – с. 206–214
37. Владимирова И.Г. Исследование уровня транснационализации компаний // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – № 6.
38. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2008. – 416 с.
39. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИВЦ «Маркетинг», 2000. – 375 с.
40. Гарькавый В.В. Нормы и нормативы в рыночной экономике: мифы и реальность. Ростов-на-Дону, 1999. – 170 с., С. 10
41. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003 – 479 с.

42. Григорьев М.Н., Долгов А.П., Уваров С.А. Управление запасами в логистике: методы, модели, информационные технологии: учебное пособие. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2006. – 368 с.
43. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
44. Годлевский В. Е., Дмитриев А. Я., Изюменко Г. Н., Литвинов А. В., Юнак Г. Л. Применение метода анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) на различных этапах жизненного цикла автомобильной продукции. Под ред. В. Я. Кокотова. – Самара: ГП «Перспектива», 2002. – 160 с.
45. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990–07–01. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 32 с.
46. ГОСТ Р 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2011–01–01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 28 с.
47. ГОСТ Р 53663-2009 (ИСО 28000:2005). Система менеджмента безопасности цепи поставок. Требования. – Введ. 2009–12–15. – М.: Стандартиформ, 2010. – 20 с.
48. Григорьев М. Н., Долгов А. П., Уваров С. А. Логистика. Продвинутый курс: учебник для магистров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2011. – 734 с.
49. Григорьев М. Н., Уваров С. А. Логистика. Базовый курс: Учебник.– М.: Изд-во Юрайт, 2011. – 782 с.
50. Джонсон Дж. С. и др. Современная логистика. – 7-е изд. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2002. – 624 с.
51. Долгов А. П., Козлов В. К, Уваров С. А. Логистический менеджмент фирмы: концепции, методы и модели: учеб. пособие. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2005. – 384 с.
52. Дыбская В.В. и др. Логистика: учебник / В.В. Дыбская, Е.И. Зайцев, В.И. Сергеев, А.Н. Стерлигова; под ред. В.И. Сергеева. – М.: Эксмо, 2008. – 944 с.

53. Дыбская В. В., Сергеев В. И. Развитие логистики и Supply Chain Management в России // Логистика и управление цепями поставок: современные тенденции в России и Германии: Сб. статей V росс.-нем. конф-и по логистике / Под ред. Д. А. Иванова, К. Янса, Ф. Штраубе, О. Д. Проценко, В. И. Сергеева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 24–35.

54. Зайцев Е.И. Особенности определения оптимальных объемов закупок товаров при коротких периодах планирования // Логистика сегодня. – 2010. – № 4. – С. 230-241.

55. Зайцев Е.И. Проблема надежности в процессной модели цепи поставок // Логистика и управление цепями поставок: современные тенденции в России и Германии: V Российско-германская конференция по логистике и управлению цепями поставок 2008 г.: Тез. докл. / Под ред. Д. А. Иванова, К. Янса, Ф. Штраубе, О. Д. Проценко, В. И. Сергеева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. С. 266-271.

56. Зайцев Е. И., Бочкарев А. А. Модель функционально-структурной надежности цепи поставок// Logistics and Supply Chain Management: Modern Trends in Germany and Russia: VI Германо-российская конференция по логистике и управлению цепями поставок 6 – 9 мая 2009 г.: Тез. докл. – Геттинген: CUVILLER VERLAG, 2009. – С. 187-195.

57. Зайцев Е.И., Парфенов А.В., Уваров С.А. Процессная модель формирования надежных цепей поставок // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – №2(49). – С. 5-13.

58. Зайцев Е.И., Уваров С.А. Применение показателя «совершенный заказ» в логистике распределения // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 4(51). – С. 16–22.

59. Зайцев Е. И., Шаповалов А. В. Транспортно-закупочная задача с ограничением на надежность поставок. // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – № 6(41). – С. 33–38.

60. Зайцев Е. И., Шурпатов И. Г. Методический подход к разработке топологии цепей поставок по критериям надежности и минимума затрат // Вестник ИНЖЭКОНа. Сер. Экономика. – 2011. – Вып. 2 (45). – С. 229-234.

61. Зайцев Е.И., Шурпатов И.Г. О методах расчета уровня надежности элементов цепи поставок // Логистика и управление цепями поставок. – 2011. – №1(42). – С. 31-36
62. Иванов Д. А. Управление цепями поставок / Д.А. Иванов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 660 с.
63. Инютина К. В. Повышение надежности и качества снабжения. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 240 с.
64. Калашников С., Монин Я. Применение модели возврата товаров с использованием средств реверсивной логистики // Логистика. – 2014. – № 5. – С. 29-31.
65. Канке А.А., Кошечая И.П. Основы логистики: учебное пособие / А.А. Канке, И.П. Кошечая. – М.: КНОРУС, 2013. – 576 с.
66. Качалов И. Новые формы торговых взаимоотношений: производитель – сеть. Исследование компании «Качалов и коллеги» [Электронный ресурс]: // Маркетинг журнал. – Режим доступа: <http://www.4p.ru>
67. Ковалев К. Ю., Уваров С. А., Щеглов П. Е. Логистика в розничной торговле: как построить эффективную сеть. – СПб.: Питер, 2007. – 272 с.
68. Кристофер М. Логистика и управление цепями поставок. / Под общ. ред. В.С. Лукинского – СПб.: Питер, 2004. – 316 с.
69. Кротов К. В., Куш С. П., Смирнова М. М. Маркетинг взаимоотношений в управлении цепями поставок // Российский журнал менеджмента. – 2008. – Т. 6. – № 2. – С. 3–26.
70. Колобов А.А., Омельченко И.Н., Орлов А.И. Менеджмент высоких технологий: учебник для вузов. – М.: Экзамен, 2008. – 624 с.
71. Корпоративная логистика в вопросах и ответах / Под общ. и науч. ред. проф. В.И. Сергеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2013. – XXX, 634 с.
72. Кристофер М., Пэк Х. Маркетинговая логистика – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 200 с.

73. Крум Э.В. Экономика предприятия: учеб.-метод. пособие для повышения квалификации и переподготовки преподавателей и специалистов системы образования. Мн.: РИВШ, 2005. – 152 с.
74. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей в США. – М.: Транспорт, 1992. – 352 с.
75. Кузьмин Б., Юрьев В., Шахдинаров Г. Методы и модели управления фирмой. СПб.: Питер, 2001. – 432 с.
76. Ладутько Н.И. Учет контроль и анализ материальных ресурсов. – Минск: Беларуская наука, 1997. – 215 с.
77. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика.-М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007 – 472 с.
78. Лебедев Ю. Г. Логистика. Теория гармонизированных цепей поставок. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 488 с.
79. Леншин И.А. Основы логистики. – М.: Машиностроение, 2002. – 472 с.
80. Литвин С., Любомирский А., Сигаловская И. Глоссарий к методике G3:ID. 2.06.2008. [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://gen3.ru/3605/5453/>
81. Ллойд Д. К., Липов М. Надёжность. Организация исследования, методы, математический аппарат, пер. с англ.: Коваленко И.Н., Русакова Г.А., под ред. Бусленко Н.П. – М.: Сов. радио, 1964. – 688 с.
82. Логистика автомобильного транспорта: учеб. пособие. / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.
83. Логистика: учебник / Государственный Университет Управления; Под ред. Б.А. Аникина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 368 с.
84. Логистика: учеб. пособие / Под ред. Б.А. Аникина, Т.А. Родкиной. М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. – 408 с.
85. Логистика: тренинг и практикум: учеб. пособие / Б.А. Аникин, В.М. Вайн, В.В. Водянова и др. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2007. – 448 с.

86. Логистика: общественный пассажирский транспорт: учебник для студентов экономических вузов / Под общ. ред. Л.Б. Миротина. – М.: Изд-во «Экзамен», 2003. – 224 с.
87. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Основы теории сложных систем. М.–Ижевск: НИЦ "Регулярная и стохастическая динамика", 2007. – 620 с.
88. Лукинский В. В. К вопросу о проектировании оптимальных логистических систем // Коммерция и логистика. – 2007. – Вып. 6. – С. 52–57.
89. Лукинский В. В. Проектирование оптимальных логистических систем на основе модели EOQ // Вестн. ИНЖЭКОНа. Сер. Экономика. – 2007. – Вып. 4(17). – С. 281–285.
90. Лукинский В. С., Зайцев Е. И. Опыт расчета показателей надежности механических систем при проектировании. – Л.: ЛДНТП, 1988. – 28 с.
91. Лукинский В. С., Зайцев Е. И. Прогнозирование надёжности автомобилей. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.
92. Лукинский В. С, Лукинский В. В. Практические области использования модифицированных вариантов формулы Уилсона оптимального размера заказа // Логистика и управление цепями поставок. – 2007. – № 4(21). – С. 56–73.
93. Лукинский В.В. Актуальные проблемы формирования теории управления запасами: монография. – СПб: СПбГИЭУ, 2008. – 213 с.
94. Лукинский В.В. Управление запасами в цепях поставок: оптимальный размер заказа: монография. – Ставрополь: Сев. Кав. ГТУ, 2007. – 118 с.
95. Лукинский В.С. и др. Логистика в примерах и задачах: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 288 с.
96. Лукинский В.С., Бережной В.И., Кукушкин В.В., Бережная Е.В. Методические основы управления снабжением запасными частями автотранспортных предприятий. – Ставрополь: Интеллект-сервис, 1997. – 69 с.
97. Лукинский В.С., Зайцев Е.И. Прогнозирование надежности автомобилей. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.
98. Лукинский В.С., Чурилов Р.С. Оценка надежности цепей поставок // Логистика. – 2013. – №4. – С. 36-39.

99. Малевич Ю. В., Шурпатов И. Г. Повышение надежности транспортно-терминальных операций в цепях поставок // Вестник ИНЖЭКОНа. Сер. Экономика. – 2011. – Вып. 1 (44). – С. 175-182.
100. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие. 2-е изд. / Под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
101. Нагловский С. Н. Экономика и надежность логистических контейнерных систем: монография. – Ростов н/Д.: РГЭА, 1996. – 139 с.
102. Некрасов А.Г. Основы менеджмента безопасности цепей поставок: учеб. пособие / А.Г. Некрасов. – МАДИ. – М., 2011. – 130 с.
103. Некрасов А.Г., Мельников Д.А. Безопасность цепей поставок в авиаиндустрии: монография. – М.: Издательство ГУП МТС ГА «Авиатехснаб», 2006. – 260 с.
104. Нерман А.А. Логистические методы и технологии организации и планирования работы контейнерного терминала: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Нерман Арво Андреевич. – СПб., 2009. – 19 с.
105. Нестеров В. Ф. Нормы и нормативы в планировании и управлении. Рига: Авотс, 1990. – 149 с., С. 19
106. Основы логистики: учебник / Под ред. В.В. Щербакова. – СПб: Питер, 2009. – 432 с.
107. Плетнева Н.Г. Аналитические методы управления логистическими системами: монография / Н.Г. Плетнева. – СПб.: СПбГИЭУ, 2007. – 211 с.
108. Плетнева Н.Г., Лукинский В.В., Пластунок И.А. Моделирование производственных процессов на транспорте: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГИЭУ, 2009. – 127 с.
109. Плоткин Б.К. Математические выражения логистики и управления цепями поставок (Дополнительные фрагменты). – СПб.: Изд-во Инфо-да, 2015. – 91 с.
110. Плоткин Б.К. Экономика: предпринимательство, логистика и цепи поставок. – СПб.: Изд-во Инфо-да, 2015. – 131 с.

111. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с., с. 37-40
112. Попова Л.В., Маслова И.А., Ханенко М.Е. Аналитическая система материальных запасов на предприятиях промышленности // Финансовый менеджмент, 2003. – № 3.
113. Пославский О.Ф. Методы расчета числа запасных частей. М.: Знание, 1997. – 48 с.
114. Проблемы формирования прикладной теории логистики и управления цепями поставок / Под общ. ред. В. С. Лукинського и Н. Г. Плетнёвой : монография. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – 287 с.
115. Пузанова И.А. Интегрированное планирование цепей поставок / И.А. Пузанова; под ред. Б.А. Аникина. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 320 с.
116. Резер С.М., Родников А.Н. Логистика. Словарь терминов. – М.: ВИНТИ РАН, 2007.
117. Родников А.Н. Логистика: Терминологический словарь. – М.: Экономика, 1995. – 251 с.
118. Рубин М.С. Этюды о законах развития техники [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.temm.ru/ru/section.php?docId=3432>
119. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управления запасами. - СПб.: Питер, 2001. –384 с.
120. Салматов Ю.П. Система законов развития техники: основы теории развития технических систем [Электронный ресурс]: – 2-е изд., испр. и доп. – Красноярск: INSTITUTE OF INNOVATIVE DESIGN, 1996 г. – Режим доступа: <http://www.trizminsk.org/e /21101000.htm#toc>
121. Сергеев В.И. Рекомендуемая модель операций в цепях поставок – SCOR-модель // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – №1(6). – С. 56-71.
122. Сергеев В.И. Управление цепями поставок: учебник для бакалавров и магистров / В.И. Сергеев. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 479 с.

123. Сергеев В.И., Черногорова А.В. Рекомендуемая модель операций в цепях поставок – SCOR-модель // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – №2(7). – С. 64-75.
124. Сергеев В.И., Дорофеева Е.А. Терминологические аспекты понятия «устойчивости» цепей поставок в фокусе логистической интеграции // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – №3(38). – С. 8–27.
125. Стерлигова А.Н. Процедуры оптимального распределения запасов в цепях поставок // Логистика сегодня. – 2005. – №4. – С. 20-30.
126. Сток Дж. Р., Ламберт Д. М. Стратегическое управление логистикой: Пер. с 4-го англ. изд. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797 с
127. Таха Хэмди. Введение в исследование операций. – 7-е изд., пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 912 с
128. Терентьев П.А. Управление возвратными потоками и бракованными товарами в цепях поставок торговых компаний // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – №4. – С. 55-59.
129. Техническое творчество: теория, методология, практика [Электронный ресурс]: Энциклопедический словарь-справочник. Под редакцией А.И. Половинкина, В.В. Попова. – Режим доступа: <http://doc.unicon.ru/tt/460.html>
130. Управление запасами в цепях поставок: учеб. пособие / О.В. Бадокин [и др.]; под общ. и науч. ред. В.С. Лукинского. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – 287 с.
131. Управление цепями поставок: Справочник издательства Gower / Под ред. Дж. Гаторны (ред. Р. Огулин, М. Рейнольдс); пер. с 5-го англ. изд. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 670 с.
132. Формирование логистического ИТ-сервиса для управления запасами на основе анализа и эксплуатационной надежности технических систем: отчет о НИР (заключ.) / Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет; рук. Лукинский В.С.; исполн.: Лукинский В.С., Бадокин О.В., Бочкарев А.А., Бочкарев П.А. [и др.]. – СПб., 2012. – 200 с.

133. Харрисон А. Управление логистикой: разработка стратегий логистических операций / Алан Харрисон, Ремко ван Хоук; пер. с англ. О.Е. Михейцева. – Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2007. – 368 с.

134. Хэндфилд Р. Б., Николс-мл. Э. Л. Реорганизация цепей поставок. Создание интегрированных систем формирования ценности. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 416 с.

135. Чернова Т.В. Экономическая статистика: учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 140 с.

136. Чейз Р. Производственный и операционный менеджмент / Р.Б. Чейз, Р.Ф. Джейкобс, Н.Дж. Аквилано; пер. с англ. – 10-е изд.: – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 1184 с.

137. Чурилов Р.Л. Методы оценки и повышения надежности цепей поставок: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Чурилов Ростислав Леонидович. – СПб., 2012. – 18 с.

138. Чурилов Р.Л. Методы оценки и повышения надежности цепей поставок: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Чурилов Ростислав Леонидович. – СПб., 2012. – 173 с.

139. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок / Пер. с англ. под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2006. – 720 с.

140. Шатт Д. Управление товарным потоком: руководство по оптимизации логистических цепочек / Джеффри Г. Шатт; пер. с англ. С.В. Кривошеин; науч. ред. А.Н. Тарашкевич. – Минск: Гребцов Паблишер, 2008. – 352 с.

141. Шеффи Й. Жизнестойкое предприятие: как повысить надежность цепочки поставок и сохранить конкурентное преимущество / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 301 с.

142. Шрайбфедер Д. Эффективное управление запасами / Джон Шрайбфедер. – Пер. с англ. 2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 304 с.

143. Шульженко Т. Г. Актуальные проблемы управления терминально-логистическими комплексами в цепях поставок: монография. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – 279 с.

144. Шульженко Т. Г. Оценка надежности складских систем с использованием логических моделей отказов // Логистика и управление цепями поставок. – № 6 (41). – 2010. – С. 31–40.
145. Шульженко Т. Г., Шурпатов И. Г. Методы формирования модели надежности складских процессов // Вестник ИНЖЭКОНа. Сер. Экономика. 2010. Вып. 2 (37). С. 255-263.
146. Шурпатов И.Г. Модели и методы управления транспортно-терминальными операциями в цепях поставок с учетом надежности: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Шурпатов Илья Григорьевич. – СПб., 2011. – 18 с.
147. Щетина В.А., Лукинский В.С., Сергеев В.И. Снабжение запасными частями на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1988. – 112 с.
148. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования: Математические основы и практические задачи. – 3-е изд. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 320 с.
149. Axsäter S. Inventory control. Second Edition: Springer, 2006. – 332 p.
150. Berman F., Fox G., Hey T. Grid Computing. Marking the Global Infrastructure Realty. – Wiley, 2003.
151. Davenport T. H., Short J. E. The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign//Sloan Management Review, 1990, (Summer), 11–27 p.
152. Davenport T. H. Process innovation: reengineering work through information technology. – Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1993. – 337 p.
153. Deming W. E. Quality, productivity, and competitive position. – Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1982. – 373 p.
154. Desrochers Martin, Desrosiers Jacques, Solomon Marius. A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows // Operations Research, Vol. 40, No. 2. (Mar. - Apr., 1992), pp. 342-354.

155. Diks E.B., de Kok A.G., Lagodimos A.G. Multi echelon systems: a service measure perspective // Memorandum COSOR 96-21, Eindhoven University of Technology , 1996.
156. Hammer M., Champy J. Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution. – New York, NY: HarperBusiness, 1993. – 223 p.
157. Heinke D, Glyn W. Humphreys and Andrew Olson Connectionist Models in Cognitive Neuroscience/The 5th Neural Computation Psychology Workshop, Birmingham, 8-10, 1998.
158. Hafiz Ullah, Sultana Parveen. A Literature Review on Inventory Lot Sizing Problems // Global Journal of Researches in Engineering Vol.10 Issue5 (Ver. 1.0) October 2010. – pp 21-36.
159. Huvar Martin. Anwendungsentwicklung mit Enterprise SOA. – Bonn, Boston, Galileo Press.
160. Porter M. E., Millar V. E. How Information Gives You Competitive Advantage // Harvard Business Review, 1985, July–August, pp. 149-160.
161. Renald Witt. Anwendungsentwicklung fur das SAP Enterprise Portal 6.0 – Galileo Press, Bonn.
162. Robert Mayerhofer. Einstieg in SAP Business One. – Bonn, 2005.
163. Snyder L.V. Multi-echelon inventory management [Электронный ресурс]: // Operations Research Roundtable, Air Products and Chemicals (Allentown, PA, June 2006). – Режим доступа: <http://coral.ie.lehigh.edu>
164. Supply Chain Operations Reference-model. Version 10.0 [Электронный ресурс]. – The Supply Chain Council, Inc., August 2010. – 856 p. – Режим доступа: <http://cloud.ld.ttu.ee/idu0010/Portals/0/Harjutustunnid/SCOR10.pdf>.
165. Woarawichai Chirawat, Kullpattaranirun Tarathorn, Rungreunganun Vichai. Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection under Storage Space and Budget Constraints // IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, Issue 2, March 2011. – pp. 250-255.
166. Wagner H. M., Whitin T.M. Dynamic Version of the Economic Lot Size Model // Management Science, 9, 1, 1958. – pp 89-96.