

Санкт-Петербургский государственный университет
Экономический факультет
Кафедра экономики предприятия и предпринимательства

АВЕРИН Илья Юрьевич

Выпускная квалификационная работа

**Совершенствование бизнес-процессов методом имитационного
моделирования**

Направление: 38.03.01 «Экономика»
Основная образовательная программа бакалавриата
«Экономика»
Профиль экономика фирмы и управление инновациями

Научный руководитель:
кандидат экономических наук,
доцент Кафедры экономики предприятия
и предпринимательства
СМИРНОВ Сергей Анатольевич

Рецензент:
Кандидат экономических наук,
доцент Кафедры экономики
исследований и разработок
ЛУКАШОВ Николай Владимирович

Санкт-Петербург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.....	3
1.1 Выделение инструментов совершенствования бизнес-процессов	5
1.2 Специфика организационных и количественных методов совершенствования бизнес-процессов.....	10
1.3 Особенности имитационного моделирования как инструмента совершенствования бизнес-процессов.....	20
ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ГИБКИХ МАРШРУТНЫХ СЕТЕЙ	26
2.1 Изменения в управлении цепями поставок под воздействием имитационного моделирования.....	26
2.2 Выбор стратегии смягчения последствий сбоев	29
2.3 Алгоритм построения имитационной модели в контексте стратегии «гибкого» маршрута и стратегии избыточной гибкости.	34
ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОСТАВКИ МАТЕРИАЛОВ ООО «НИССАН МЭНУФЭКЧУРИНГ РУС».....	38
3.1 Постановка задачи имитационного моделирования	39
3.2 Методология построения имитационной модели.....	46
3.3 Экспериментальные исследования модели	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Наша работа посвящена построению маршрутных гибких логистических сетей при помощи имитационного моделирования.

На сегодняшний день имитационное моделирование как технология предиктивной аналитики, позволяющая предприятиям строить цифровых двойников своих процессов и отслеживать их функционирование как в обычных условиях, так и в стрессовых сценариях, обладает высоким потенциалом применения в управлении логистическими процессами. Основные причины наиболее эффективного применения имитационного моделирования в логистике заключаются в цифровой трансформации цепей поставок, способствующей увеличению количества данных о процессе, а также в наблюдаемой тенденции к сокращению запасов на случай сбоев и минимизации ущерба за счёт создания более гибких маршрутных сетей. При этом на данный момент отсутствует чёткий механизм действий по улучшению гибкости маршрутной системы, что подтверждает актуальность исследования.

Цель данного исследования заключается в обобщении особенностей методов совершенствования бизнес-процессов, в анализе существующих стратегий смягчения последствий сбоев в цепи поставок, разработке и практической реализации алгоритма построения гибкой маршрутной сети при помощи имитационного моделирования.

Для достижения обозначенной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выделить основные современные концепции, задающие направление применения подходов к развитию бизнес-процессов
2. Охарактеризовать применение основных методов в рамках существующих подходов к развитию бизнес-процессов
3. Выделить особенности имитационного моделирования как инструмента совершенствования бизнес-процессов
4. Обозначить перспективы применения имитационного моделирования в управлении цепями поставок, в частности при реализации стратегий смягчения последствий сбоев.
5. Разработать алгоритм реализации гибкой стратегии смягчения последствий сбоев в цепи поставок при помощи имитационного моделирования
6. Построить имитационную модель, соответствующую поставленной задаче
7. Провести анализ функционирования системы в обычных условиях и при реализации стресс-сценария

Объект исследования: методы совершенствования бизнес-процессов

Предмет исследования: имитационное моделирование

Методологической основой исследования послужили научные труды преподавателей Санкт-Петербургского государственного университета. В качестве теоретической базы были использованы публикации российских и иностранных авторов, посвященные изучению подходов к оптимизации бизнес-процессов, имитационного моделирования. Практической базой послужил эмпирический опыт разработчиков сред имитационного моделирования, авторов практико-ориентированных учебных пособий по его специфике. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

В первой главе работы рассматриваются основные подходы к развитию бизнес-процессов, современные концепции, в рамках которых реализуются эти подходы в наши дни. Также выделяются основные инструменты совершенствования бизнес-процессов и определяется в рамках какого подхода может быть применен тот или иной инструмент. Выделяются классификации организационных и количественных методов в зависимости от источника данных, обобщенная классификация методов в зависимости от подходов, совершенствования и реинжиниринга. Особое внимание уделяется специфике применения имитационного моделирования при совершенствовании бизнес-процессов.

Во второй главе анализируется проблематика современных исследований логистических процессов с использованием имитационного моделирования. Отдельное внимание уделяется трансформации управленческих решений при работе с имитационной моделью процесса. Авторы выявляют предпосылки выбора компанией стратегии минимизации последствий транспортных сбоев в цепи поставок и предлагают алгоритм построения гибкой маршрутной сети в условиях ограниченных финансовых ресурсов фирмы.

В третьей главе апробируется выделенный алгоритм построения гибкой маршрутной сети на примере процесса доставки комплектующих авиатранспортом на автомобильный завод. Кроме того, систематизируются положительные эффекты от использования стратегии гибкого маршрута как в стандартных условиях, так и в случае реализации транспортных сбоев.

ГЛАВА 1. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

1.1 Выделение инструментов совершенствования бизнес-процессов

Процессный подход рассматривает предприятие как совокупность взаимосвязанных бизнес-процессов, выполнение которых делает его ориентированным на результат, имеющий ценность для потребителя. Основная идея подхода заключается в том, что потребитель готов платить исключительно за операции, добавляющие стоимость продукту и не желает оплачивать потери и простои. Удовлетворение подобных интересов потребителя невозможно без проведения бизнес-анализа.

Основная цель бизнес-анализа по Агилару-Савену заключается в выделении бизнес-процессов их изучении и принятии решений относительно их улучшений.¹ Также анализ бизнес-процессов позволяет оценить эффект от гипотетических изменений, оценить альтернативные издержки, которые несет компания. Таким образом, бизнес-анализ, методология которого подробно разобраны в статье Д. Земгулиене и М.Валукониса², выступает основой для развития подходов к совершенствованию бизнес-процессов.

На основе подходов к оценке эффективности процессов была выстроена концепция BPM, рассматривающая бизнес-процессы как особые ресурсы предприятия, непрерывно адаптируемые к постоянным изменениям.

Концепция BPM основана на следующих принципах:

- понятность и видимость бизнес-процессов в организации за счёт их моделирования с использованием формальных нотаций
- использование программного обеспечения моделирования, симуляции, мониторинга и анализа бизнес-процессов
- возможность динамического перестроения моделей бизнес-процессов силами участников и средствами программных систем³

¹ Aguilar-Saven R.S. 2004. Business process modelling: Review and framework, International Journal of Production Economics. 90: 129– 149

² : Zemguliene, J.; Valukonis, M. 2018. Structured literature review on business process performance analysis and evaluation, Entrepreneurship and Sustainability Issues 6(1): 226-252.

³ BPM (business process management) (англ.). IT Definitions and Glossary. Gartner (13 May 2011)

Концепция BPM, является основой распространенных современных концепций управления бизнес-процессами, которые на данном этапе развития можно рассматривать как самостоятельные. Среди них выделяются автоматизация бизнес-процессов, заключающаяся в передаче рутинных операций автоматизированным помощникам, в качестве которых могут использоваться компьютерные системы (BPMS) или роботы (RPA). Другой современной концепцией управления бизнес-процессами выступает бережливое производство (lean manufacturing), которая подразумевает приобщение к оптимизации процессов всех сотрудников фирмы. В основе концепции лежит непрерывное устранение потерь производства и оценка ценности продукта конечным потребителем. Бережливое производство направлено на создание продукта высокого качества с наименьшими издержками.

Кроме того, необходимо учитывать набирающую популярность концепцию устойчивого развития (sustainable development). По данным Statista⁴ мировые инвестиции в области развития «зеленой» энергии в последние 15 лет растут со средним темпом прироста 14,15% и в 2018 году составили 288,3 млрд. долларов. Использование экологически чистых энергоресурсов, которые в текущих условиях могут быть не выгодны для предприятий, лоббируется рядом контролирующих отраслевых органов. К примеру, в области транспортной логистики Международная морская организация (ИМО) устанавливает лимиты содержания серы в топливе, используемом морскими судами, а также проводит политику декарбонизации. Благодаря, применяемым мерам удается ежегодно сокращать количество выбросов углерода на 2,7%, несмотря на ежегодный прирост объемов морских транспортировок в натуральном выражении на 2,8%⁵.

Можно сделать вывод, что совершенствование бизнес-процессов требует использования взвешенных управленческих решений и инструментов, которые должны не только учитывать экономическую целесообразность в текущих условиях, но и соответствовать требованиям будущего. Направленность на соответствие концепции устойчивого развития подробно описана в монографии⁶. Авторы подробно рассматривают аспект организации «зеленых» рабочих мест и его роль в будущем. Этот аспект необходимо учитывать при совершенствовании бизнес-процессов предприятия.

⁴ Clean technology investments globally: отчет Statista, 2019

⁵ Рассчитано на основе Green maritime shipping worldwide: отчет Statista, 2020.

⁶ Занятость и экономический рост / под ред. К. Писсаридеса, О.Л. Маргания, С.А. Белозерова. – СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2018. – 306 с. ISBN 978-5-288-05802-8

Перечисленные концепции не являются методами совершенствования бизнес-процессов, а выступают фундаментом, который задаёт правила и направления применения основных подходов и методов к совершенствованию бизнес-процессов, которым в свою очередь посвящена первая глава.

В рамках концепции BPM в существующей литературе, в том числе Ю.В. Ляндау, М.А. Пономарев⁷, выделяют два базовых подхода к совершенствованию бизнес-процессов: пошаговый и кардинальный. Пошаговый подход подразумевает непрерывность и последовательность оптимизации процессов и влечет несущественные затраты в рамках действующей организационной структуры управления. Кардинальный подход или реинжиниринг, напротив влечет значительные изменения как процесса, так и организационной структуры управления.

Несмотря на то, что оба подхода базируются на процессуальном аспекте в методологии управления процессами и имеют единую направленность относительно обнаружения дублирования функций участников, поиска «узких мест» процесса и оценки качества единичных операций, очевидно их характерное различие, сужающее область нашего исследования.

Принципиальное различие между непрерывным совершенствованием и реинжинирингом бизнес-процессов заключается в изначальных условиях. Так, если при совершенствовании имеется сложившийся процесс, эффективность которого надо оценить, и принять соответствующие меры по оптимизации, то в случае реинжиниринга перед нами проект того, как «должно быть» и необходимость внесения кардинальных изменений, значительно меняющих процесс.

В дальнейшем мы выделим методы развития бизнес-процессов, реализуемые в рамках этих двух подходов. А пока подытожив, мы имеем два различных подхода к развитию бизнес-процессов: реинжиниринг и совершенствование. В наши дни эти подходы реализуются в условиях, которые задаются описанными выше концепциями. Данная взаимосвязь отражена автором на рисунке 1.

В рамках данной работы мы преимущественно концентрируемся на пошаговом подходе. Так как имитационное моделирование в большинстве случаев является

⁷ Ю.В. Ляндау, М.А. Пономарев Два подхода к совершенствованию бизнес-процессов // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. 2013. № 4 (35)

инструментом именно этого подхода и применяется нами при оптимизации процесса доставки авиатранспортом в третьей главе.

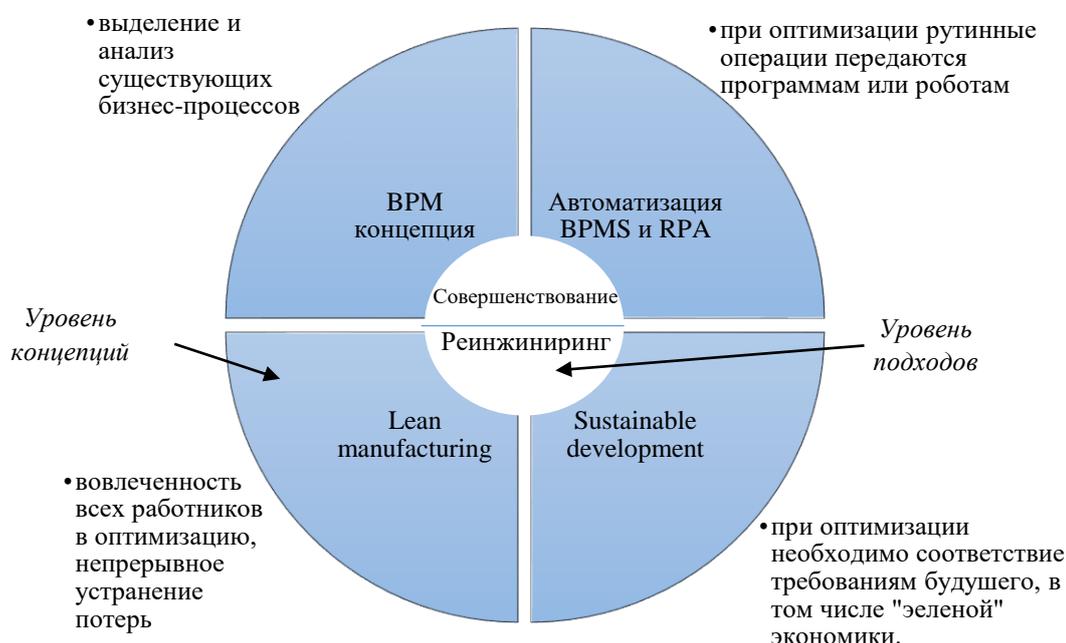


Рисунок 1. Взаимосвязь современных концепций и подходов к развитию бизнес-процессов предприятия. Составлено автором.

Анализ научной литературы показал, что ключевой общепринятый критерий выбора инструмента совершенствования бизнес-процесса – соответствие используемого метода поставленной цели. В частности, профессор Норвежского университета науки и технологии Бьерн Андерсен⁸ отмечает, что эта цель зависит от специфики процесса, ситуации и конкретного предприятия, однако при этом все инструменты могут быть разделены на 6 групп (границы между которыми, по мнению самого автора, весьма условны), в зависимости от фазы совершенствования бизнес-процессов. Андерсен выделяет следующие фазы и соответствующие им инструменты:

1. задание приоритетов для усилий по совершенствованию (самооценка, анализ тренда, диаграмма «паутина», матрица показателей, тестирование критериев, СФК)
2. понимание процесса и проблемы (картирование связей, блок-схема, критический инцидент, контрольный листок, диаграмма Парето)

⁸ Андерсен Бьёрн. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования /Пер. с англ. С.В. Ариничева /Науч. ред. Ю.П. Адлер. - М.: РИА «Стандарты и качество», 2003.- 272 с, илл.. - (Серия «Практический менеджмент»). ISBN 5-94938-012-6

3. анализ проблемы (диаграмма причин и результатов, анализ коренной причины, граф связей, матричная диаграмма)
4. генерация идей (мозговой штурм, мозговой штурм в письменном виде, метод анкетирования Кроуфорда, метод номинальных групп, диаграмма средств)
5. предложения по совершенствованию (упрощение, идеализация, СФК, анализ рабочей ячейки, статистическое управление процессами, реинжиниринг бизнес-процесса, бенчмаркинг)
6. внедрение (диаграмма-дерево, схема процесса принятия решений, А дельта Т анализ, анализ поля сил)

Как мы видим, существует большое количество методов управления бизнес-процессом. При этом возникает вопрос: какие из этих методов можно считать инструментами совершенствования бизнес-процессов?

С целью дальнейшей детализации объекта исследования – необходимо дать определения инструмента совершенствования бизнес-процесса в узком смысле.

Итак, в рамках данной работы, инструментом совершенствования бизнес-процесса в узком смысле будем считать *набор приемов, механизм или методику непрерывного анализа процесса*, преимущественно направленных на *выработку задач улучшения, детальное видение результата, с возможностью его оценки*. Сформулированное нами определение является более детализированным последствием определений, встречающихся в статьях российских авторов^{9,10}, трактующих совершенствование бизнес-процессов как ряд логически взаимосвязанных действий, выполняемых для достижения определенного результата деятельности.

Выделим инструменты, удовлетворяющие данному определению: статистическое управление процессами, бенчмаркинг процесса, анализ рабочих ячеек, структурирование функции качества, идеализация, упрощение, планирование эксперимента, моделирование с использованием сетей Петри, аналитическое моделирование, имитационное моделирование

⁹ Громов А. И., Фляйшман А., Шмидт В. Управление бизнес-процессами: современные методы: монография; под редакцией А. И. Громова. М.: Издательство Юрайт, 2016. 368 с

¹⁰ Пегушина А. А Бенчмаркинг и реинжиниринг: особенности методов в совершенствовании бизнес-процессов // Проблемы современной науки, 2017, №1 (32-36)

В следующем параграфе мы рассмотрим специфические особенности данных методов, позволяющие им соответствовать данному определению. В соответствии со спецификой их можно разделить на организационные и количественные.

В этой работе мы не рассматриваем инструменты, меняющие организационную структуру предприятия такие как создание межфункциональных команд, кружков качества, команд решения проблем. В свою очередь мы концентрируемся на подходах, затрагивающих организацию наиболее эффективного хода процесса.

1.2 Специфика организационных (качественных) и количественных инструментов совершенствования бизнес-процессов

Основной задачей этого раздела работы является обобщение особенностей выделенных методов с целью подтвердить соответствие этих методов определению понятия «инструмент совершенствования бизнес-процесса», сформулированному авторами в предыдущем пункте.

Мы рассмотрим особенности 5 организационных и 5 количественных методов и представим их классификации. На основе выделенных характеристик методов и промежуточных классификаций в дальнейшем будет выделена и представлена обобщенная классификация данных методов улучшения процесса.

Организационные методы. Бенчмаркинг процесса

В операционном смысле под бенчмаркингом понимают постоянное измерение и сравнение отдельно взятого процесса с эталонным процессом ведущей организации с целью сбора информации, которая поможет рассматриваемому предприятию определить цель своего совершенствования и провести мероприятия по улучшению работы.

Одним из ключевых аспектов в данном определении является нацеленность на результат, что позволяет нам отнести бенчмаркинг к инструментам совершенствования бизнес-процессов. Однако данный метод может использоваться и при реинжиниринге.

В работе Н. А. Кулагиной и В. В. Исайчевой¹¹ отмечено, что для сравнения целесообразно выбирать процессы в зависимости от их эффективности. В частности,

¹¹ Кулагина Н. А., Исайчева В. В. Методология комплексной оценки стратегической позиции фирмы на основе оптимизации бизнес-процессов // Экономика и предпринимательство, 2015. № 5. С. 1157-1162

выбираются те процессы, важность, эффективность и конкурентоспособность которых велики.

Таблица 1. Специфика бенчмаркинга процесса

Приемы метода (алгоритм)	Поиск партнера для бенчмаркинга, сбор информации, анализ полученных данных, адаптация и внедрение, оценка полученных результатов
Механизм функционирования метода	В зависимости от вида (внутренний, конкурентный, функциональный, общий) могут применяться различные техники, однако суть всегда будет сводиться к основным приемам. На этапе анализа собранных данных принимается решение относительно принятия или отказа от внедрения. Возможные кардинальные изменения зачастую рождают этот метод с реинжинирингом, однако ключевое отличие в данном случае заключается в параллельном проведении оценки эффективности собственного процесса и принятии в расчёт этих сведений.
Направленность задач улучшения	Задачи улучшения ставятся в соответствии с ожидаемым результатом и с ключевым показателями
Возможность оценки предполагаемого результата	Непосредственная видимость и измеримость результата партнера, является основой для проведения бенчмаркинга. На основе этих данных могут быть спрогнозированы плановые показатели оптимизируемого процесса.

Составлено автором

Анализ рабочих ячеек

Под ячейкой понимается группа объектов, выполняющая ряд постоянных заданий и имеющая хорошо определенные входы и выходы¹². Анализ рабочих ячеек тесно связан с организационными принципами. Но имеет свою специфику, позволяющую считать его инструментом совершенствования бизнес-процессов.

В частности, основой метода является непрерывный анализ изменяющихся требований поставщиков и потребителей процесса и внесение корректив в соответствии с ними.

Таблица 2. Специфика анализа рабочих ячеек

Приемы метода (алгоритм)	Выделение рабочих ячеек, анализ взаимных требований, выработка улучшений и корректировка процессов внутри ячейки на основе характеристик входа и выхода
Механизм функционирования метода	Анализ рабочих ячеек начинается с идентификации требований потребителя с учётом базовых

¹² Aune, Asbjorn. Kvalitetsstyrte bedrifter (The title translates to Quality-Managed Companies). Ad Notam, Oslo, Norway, 1993

	(подразумеваемых) требований. Для анализа процессов, происходящих внутри ячейки, зачастую используют блок-схему процесса. Для эффективного мониторинга качества работы ячейки вводится ограниченный набор ключевых показателей.
Направленность задач улучшения	Задачи улучшения направлены на удовлетворение требований потребителя процесса (которые и выступают ожидаемым результатом), а также с ключевыми показателями эффективности процесса
Возможность оценки предполагаемого результата	Осознание требований потребителя выступает эталонным результатом работы ячейки, соответствие данным требованиям может быть оценено как качественно так и количественно, при помощи оценки текущих показателей процесса

Составлено автором

Структурирование функции качества (СФК)

Этот метод, зарекомендовавший себя как незаменимый при разработке продукции, находит свое применение и в совершенствовании бизнес-процессов. Особенность СФК состоит в том, что он позволяет идентифицировать взаимосвязи между требованиями и средствами их удовлетворения, а также дает метод анализа этих взаимосвязей. Эта особенность реализуется путем построения специальной таблицы, «дома качества».

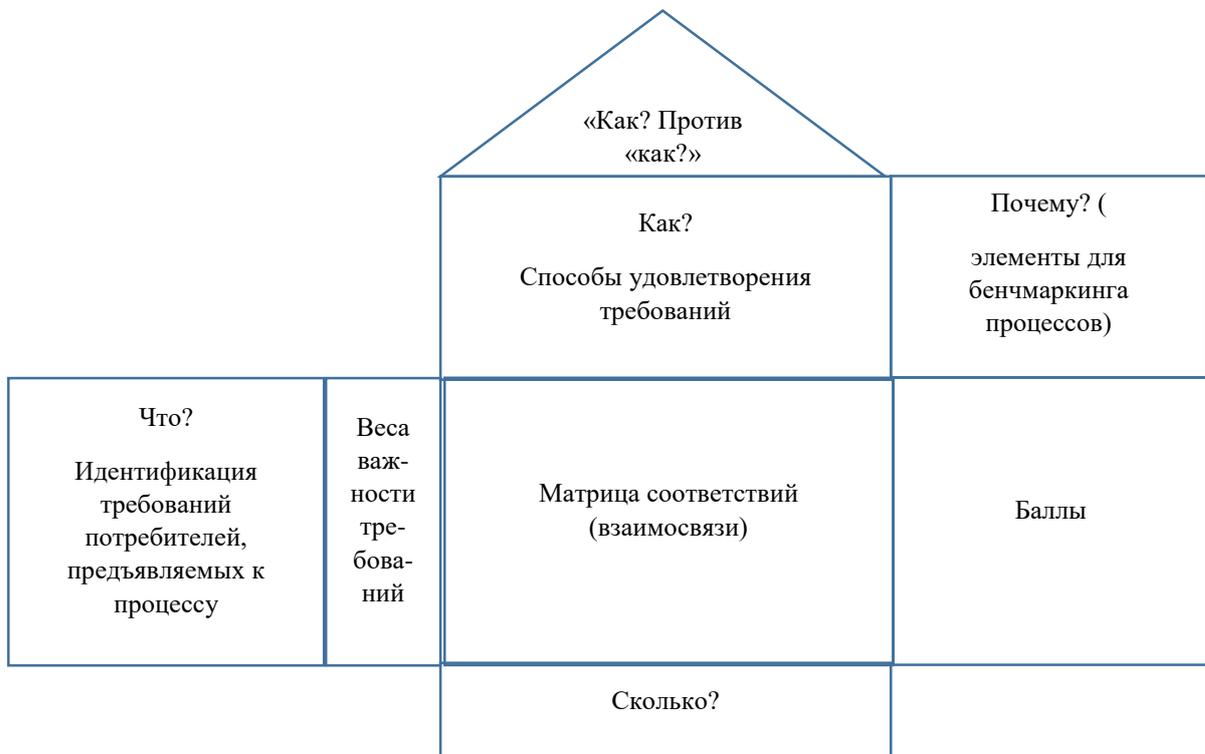


Рисунок 2. «Дом качества» с точки зрения совершенствования процессов.
Составлено автором.

Возможность оценки предполагаемого результата в методе реализуется за счёт поля «сколько», в котором указывается суммарная значимость требований, которое может удовлетворить та или иная инициатива.

Идеализация

Под идеализацией понимается попытка группы заинтересованных в оптимизации лиц, знающих текущий процесс, абстрагироваться от реальности и представить идеальный процесс. Хотя идеальный процесс нельзя реализовать на практике, понимание различий между идеальным и фактическим процессами может стать основой для планирования проектов по совершенствованию.

Таблица 3. Специфика идеализации

Приемы метода (алгоритм)	«Мозговой штурм», техника номинальной группы, дельфийский метод; анализ предложенных инициатив, внедрение, анализ результатов, адаптация под потребителей
Механизм функционирования метода	Вспомогательный прием инструмента может являться сопоставление блок-схем текущего и идеального процесса, на основе него можно будет принимать решения по трансформации
Направленность задач улучшения	Задачи улучшения направлены на достижение идеального результата
Возможность оценки предполагаемого результата	Мера трансформации процесса в идеальный может выступать характеристикой достигнутой цели

Составлено автором

Упрощение

Основное назначение метода упрощения заключается в том, чтобы исключить потери и лишние избыточные расходы элементов бизнес-процесса. Упрощенный процесс идет легко, без сопротивления, не снижая уровня показателей ни внутри самого процесса, ни в своем взаимодействии с внешней средой, внутри которой он существует. Для достижения эффекта упрощения существует несколько приемов, которые можно использовать по отдельности. Но, когда они объединяются, эффект получается гораздо большим.

Метод упрощения, основная цель которого заключается в постепенном и непрерывном совершенствовании процесса через поиск наиболее оптимальных решений и устранении проблемных мест, в случае глобального распространения может позволить организации поддерживать в состоянии развития все процессы, что в долгосрочной

перспективе снижает вероятность возникновения «узких» мест. Неслучайно данные подходы активно применяются в компаниях, исповедующих кайдзен.

Таблица 4. Специфика упрощения

Приемы метода (алгоритм)	Анализ процесса на добавленную ценность методом Харингтона ¹³ , использование методов хронометража, фотографии рабочего дня
Механизм функционирования метода	Исключение бюрократии подразумевает сокращение объемов излишнего бумаготворчества, отказ от операций, не добавляющих ценности. Также из процесса исключаются излишки, в том числе дублирующие операции. Сокращение времени цикла может быть достигнуто по средствам: выполнения действий параллельно, а не последовательно; смены порядка действий; уменьшения времени простоев.
Направленность задач улучшения	Задачи улучшения направлены на улучшение качественных характеристик процесса за счёт более эффективного использования рабочего времени
Возможность оценки предполагаемого результата	Результат может быть заранее спрогнозирован с точки зрения сокращения времени процесса

Составлено автором

В научной литературе мы находим классификацию представленных организационных методов в зависимости от стадий жизненного цикла бизнес-процесса. Миняев¹⁴ считает, что если упрощение и идеализация применимы на стадии развития процесса, то бенчмаркинг будет актуален при снижении эффективности процесса.

В нашей работе мы не рассматриваем жизненный цикл бизнес-процесса и хотели бы представить другую классификацию организационных методов, основанную на сопоставлении источника информации, на основе которого задаются требования к оптимизации, с радикальностью методов улучшения процессов.

Таблица 5. Классификация в зависимости от источника информации организационных методов совершенствования процесса

Радикальность улучшения	Источник информации для оптимизации		
	Конкурент	Потребитель	Видение участников
Улучшение		Анализ рабочих ячеек	Упрощение
Перестройка	Бенчмаркинг	Структурирование функции качества	Идеализация

¹³ Harrington, H. James. Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness. McGraw-Hill, New York, USA, 1991.

¹⁴ Миняев Е.В. Методы совершенствования бизнес-процессов // Вестник Омского университета. Серия «Экономика», 2010, №1 (25-29)

Составлено автором

Количественные методы. Статистическое управление процессами

Характерной спецификой аналитических (количественных) методов является уклон в сторону расчёта количественных показателей, построение на их основе моделей хода процесса и их анализ.

Таким образом, источником информации для всех количественных методов выступают данные получаемые из процесса.

Метод статистического управления позволяет не только идентифицировать проблему и влияющий фактор, но и количественно оценить наносимый ущерб, и предсказать состояние процесса после его оптимизации.

По мнению Е.В.Миняева управление процессами на основе статистических показателей, инструмент, позволяющий выявлять факторы негативно воздействующие на эффективность протекания процесса, отлично подходит для оценки и принятия решений по оптимизации в случае устойчивого стабильного функционирования бизнес-процесса.¹⁵

Таблица 6. Специфика статистического управления процессами

Приемы метода (алгоритм)	Наблюдение (хронометраж, сбор данных), оценка состояния процесса, анализ отклонений
Механизм функционирования метода	Суть метода заключается в определении среднего значения показателя процесса, границ колебаний этого показателя процесса (вариации) и реализации мероприятий для исключения выхода показателей за допустимые пределы. Иными словами, если отклонение принимает значение больше стандартного, то появляется необходимость его корректировки через поиск факторов, повлиявших на данное отклонение. Если процесс протекает в заданных пределах, то вмешательства не требуется.
Направленность задач улучшения	Задачи улучшения ставятся в соответствии с ключевым показателем
Возможность оценки предполагаемого результата	Математически может быть рассчитан количественный вклад причинных факторов на общее отклонение, следовательно зачастую есть возможность с предельной точностью предсказать изменение оцениваемого показателя в случае исключения данных факторов

Составлено автором

¹⁵ Миняев Е.В. Методы совершенствования бизнес-процессов // Вестник Омского университета. Серия «Экономика», 2010, №1 (25-29)

Планирование эксперимента

Совершенствование бизнес-процессов аналитическими методами следует из математического определения оптимизации.

В математическом определении оптимизация — это нахождение экстремума (минимума или максимума) целевой функции в некоторой области конечномерного векторного пространства. В свою очередь, в теории планирования эксперимента область конечномерного векторного пространства представлена совокупностью факторов, варьируемых по воле экспериментатора величин, существенно влияющих на исследуемый объект (процесс).¹⁶ Под планированием эксперимента мы имеем ввиду процедуру выбора числа и условий проведения опытов (физических или расчётных), необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Области применения метода: поиск оптимальных условий, построение интерполяционных формул, выбор существенных факторов, оценка и уточнение констант теоретических моделей, выбор наиболее приемлемых из некоторого множества гипотез о механизме явлений, исследование диаграмм параметр-свойство.

Основным препятствием применения этого метода является зачастую многовариантность состояний процесса, в таких условиях проведение физического эксперимента становится невозможным, а расчётного затруднительным.

Таблица 7. Специфика планирования эксперимента

Приемы метода (алгоритм)	Статистические методы, математическое моделирование
Механизм функционирования метода	Проведение эксперимента начинается теоретического обоснования целей и задач, планирования алгоритма проведения исследований, выбора методов математической статистики для обработки опытных данных, а также с выбора оптимизируемых переменных. Для классификации параметров оптимизации в предлагается выделить следующие типы ¹⁷ : - экономические; - технико-экономические; - технико-технологические; - прочие (психологические, эстетические, экологические, социальные и др.). Параметр оптимизации должен быть количественным и однозначным, универсальным и полным.
Направленность задач улучшения	Задачи улучшения ставятся в соответствии с обобщенным показателем оптимизации

¹⁶ Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар.гос. техн. ун-т, 2016 – 131 с.: ил.

¹⁷ Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. М.: Наука, 1976.

Возможность оценки предполагаемого результата	Вытекает из требований предъявляемых к ключевому параметру оптимизации
---	--

Составлено автором

Аналитическое моделирование

Модель есть материально или теоретически созданная система, предназначенная заменить или представлять объект исследования в процессе познания. Моделирование целесообразно, когда у модели отсутствуют признаки оригинала, препятствующие его исследованию. Простота модели и ее адекватность исследуемой системе – компромисс, который должен быть достигнут в ходе моделирования.¹⁸

Использование данного метода наиболее целесообразно, в случае исследования сложных систем, в которых несущественные изменения параметров могут привести к критическим последствиям.

Таблица 8. Специфика аналитического моделирования

Приемы метода (алгоритм)	математическое моделирование, корреляционный, регрессионный анализ
Механизм функционирования метода	Вводится система ограничений. Обычно предполагается наличие однозначной вычислительной процедуры получения точного решения уравнений. Язык аналитического описания содержит следующие основные группы семантических элементов: критерий, неизвестные, данные, математические операции, ограничения. Наиболее существенно то, что аналитическая модель, вообще говоря, не является структурно подобной объекту моделирования. Под структурным подобием понимается однозначное соответствие элементов и связей модели элементам и связям моделируемого объекта. К аналитическим моделям относятся модели, построенные на основе аппарата математического программирования, корреляционного, регрессионного анализа.
Направленность задач улучшения	Направлены на расчёт эффектов, которые могут быть получены, в случае изменения процесса.
Возможность оценки предполагаемого результата	Наиболее точная количественная оценка результата

Составлено автором

¹⁸ Петухов О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое: учеб. пособие / Петухов О.А., Морозов А.В., Петухова Е.О. – Спб.:Изд-во СЗТУ, 2008.

Моделирование процессов с использованием сетей Петри

Данная теория, описанная в докторской диссертации Карла Адама Петри, лежит в основе дискретно-событийного имитационного моделирования, которое мы применяем в третьей главе данной работы.

Сеть Петри представляет собой математический аппарат, подходящий для моделирования динамических дискретных систем. Сама сеть представляет собой граф, состоящий из вершин двух типов позиций и переходов. По сети перемещаются объекты, изображенные на схеме в виде точек или маркеров. При этом переходы могут быть заданы временем задержки, стохастическими величинами. Функционал сетей позволяет учитывать ограничения в продвижении объекта по сети, вызванные невозможностью принять объект следующей позицией. Также существует возможность задать циклический повтор действия, таким образом цепь будет работать бесконечно.

Метод сетей Петри наилучшим образом подходит для оптимизации параллельных и асинхронных производственных процессов¹⁹. Их особенностью является большое количество «узких мест», на устранение которых направлен механизм анализа с использованием сетей Петри.

Таблица 9. Специфика моделирования с использованием сетей Петри

Приемы метода (алгоритм)	Графическая формализация процесса, моделирование поведения системы, анализ ограничений
Механизм функционирования метода	В программе выполняется графическая иллюстрация бизнес-процесса, в качестве объектов могут быть использованы продукты в производстве, клиенты или нематериальные объекты ²⁰ , например, информация или управленческое решение. Объекты в соответствии с заданными условиями и ограничениями перемещаются по сети. Наблюдающий за экспериментом получает информацию о функционировании системы и генерирует инициативы по оптимизации процесса.
Направленность задач улучшения	Направлены на выявление «узких мест» процесса, оценка совместного хода параллельных и асинхронных процессов.
Возможность оценки предполагаемого результата	Результат оптимизации представляет собой отлаженный процесс, характеризующийся минимальным временем ожиданий и задержек.

Составлено автором

¹⁹ А.А. Лескин, П.А. Мальцев, А.М. Спиридонов «Сети Петри в моделировании и управлении» Л.: Наука, 1989.-133с.

²⁰ Tsvetkov V.Ya. Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009. – № 2 . – p 99-100.

Теория сетей Петри отражает общие современные тенденции анализа и моделирования²¹: применение графических обозначений для формализации процессов и состояний систем²², применение информационных единиц как основы построения информационных моделей²³.

Обобщением особенностей описанных количественных методов может служить классификация, представленная на рисунке 3. Можно выделить три уровня количественных методов совершенствования процессов: использующие данные из процесса, использующие данные из физических или математических абстракций процесса, использующие данные из объединенной, математической и физической, абстракции процесса.

Классификация иллюстрирует суть имитационного моделирования, представляющего собой математико-статистическую оптимизацию воссозданной абстракции физического процесса.

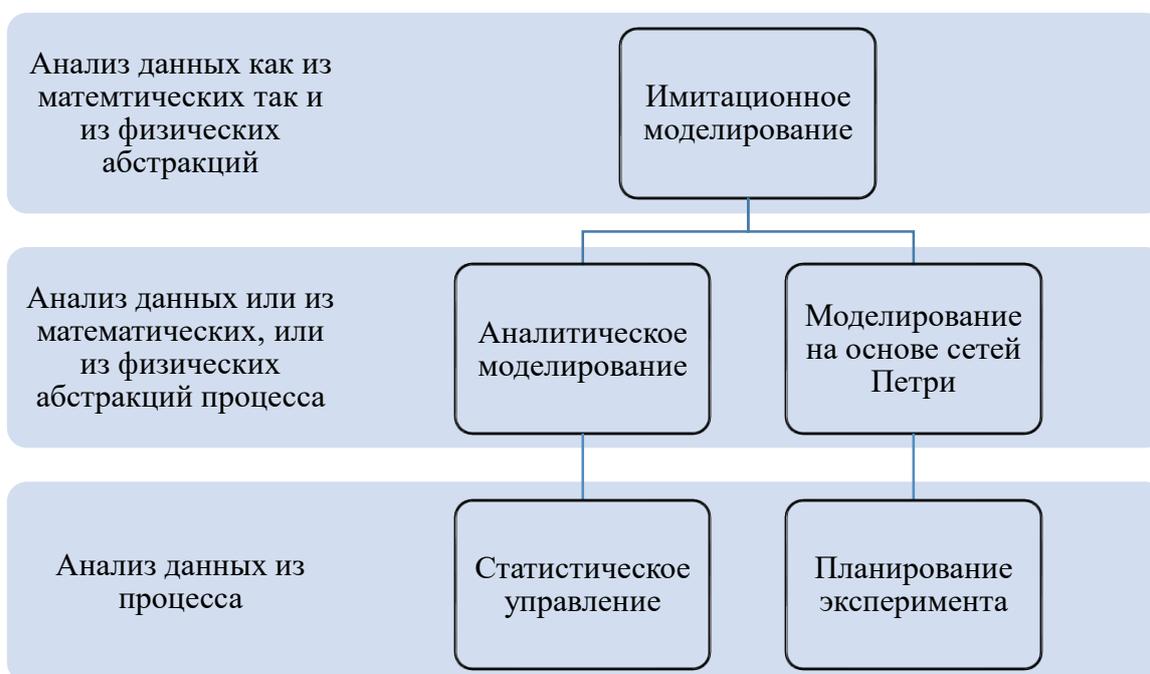


Рисунок 3. Классификация количественных методов совершенствования бизнес-процессов. Составлено автором.

²¹ Кудж С.А., Логинова А. С. Моделирование с использованием сетей Петри // Вестник МГТУ МИРЭА 2015 № 1 (6)

²² Fowler M. UML distilled: a brief guide to the standard object modeling language. – Addison-Wesley Professional, 2004.

²³ Breeden D., Viswanathan S. Why do firms hedge? An asymmetric information model //Fuqua School of Business, Working Paper. – 1998.

Из классификации мы можем сделать вывод, что оптимизация процесса при помощи имитационного моделирования невозможна без построения достаточно точной абстракции реального процесса. Однако воссоздать абстракцию процесса с абсолютной точностью зачастую невозможно, в таких случаях в имитационном моделировании возникает вопрос относительно необходимого уровня абстракции при построении модели. Следующий пункт работы посвящен в том числе ответу на этот вопрос и методологии оптимизации процесса при помощи имитационного моделирования. А также в нем приводится обобщенная классификация методов совершенствования бизнес-процессов.

1.3 Особенности имитационного моделирования как инструмента совершенствования бизнес-процессов

Имитационное моделирование заключается в эксперименте с математической моделью системы, в этом состоит его сходство с аналитическим моделированием. Как правило, имитационное моделирование применяется для сложных мульти-объектных процессов, при этом вычисления не требуют задействования огромного количества ресурсов.

Выделяют три аспекта классификации имитационных моделей²⁴:

- статические или динамические (в статических моделях время не играет существенной роли)
- детерминированными или стохастическими (имитационные модели, не содержащие случайных (вероятностных) параметров называются детерминированными)
- непрерывные или дискретные (в зависимости от переменных)

Дискретные, динамические и стохастические модели называют дискретно-событийными. Среди их специфических компонентов можно выделить следующие:

- состояние системы (совокупность переменных состояния, необходимых для описания системы в определенный момент времени)
- часы модельного времени (переменная, указывающая текущее значение модельного времени)
- список событий (содержит время возникновения каждого последующего типа событий)

²⁴ Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб: Питер; Киев:Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.: ил.

- статистические счётчики (переменные предназначенные для хранения статистической информации о характеристике системы)

Также среда моделирования как правило содержит ряд специальных подпрограмм: синхронизирующих, инициализации, обработки связей, библиотеки, генераторы отчётов. Все они интегрируются с основной подпрограммой, которая в том числе контролирует необходимость прекращения эксперимента.

В зависимости от сложности моделируемого процесса может возникнуть необходимость поддержки составных частей модели на нескольких процессорах, которые будут обмениваться друг с другом сообщениями в случае необходимости, исследования в этом направлении проводили ²⁵МакДональд, ван Акен, Рентес. В такой ситуации некоторые базисные переменные такие как часы модельного времени могут отходить на второй план, так как роль модельного времени смогут выполнять «тайм-метки» сообщений. Стоит отметить, что данное взаимодействие может обеспечиваться и при помощи сети Интернет.

Прежде чем перейти к рассмотрению этапов оптимизации процессов методами имитационного моделирования, представим схему-классификатор методов совершенствования, предложенную авторами.

На рисунке 4 отражены подходы к развитию бизнес-процессов и основные методы, которые могут быть использованы в рамках этих подходов. Мы считаем, что выделенные количественные методы могут быть использованы исключительно в рамках совершенствования существующих процессов, в то время как некоторые организационные методы (бенчмаркинг, структурирование функции качества, идеализация) применимы и при реинжиниринге.

²⁵ McDonald, T., Van Aken, E., & Rentes, A. (2002). Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. *International Journal of Logistics*, 5(2), 213-232.

Отсюда можно сделать вывод, что для построения качественных имитационных моделей на первом этапе необходимо задать набор результирующих переменных. Эти переменные должны количественно отражать основные требования управляющих к процессу. Без выполнения этого условия, выбор уровня абстракции и оптимизация невозможны.

Изучение существующей литературы позволило нам выделить алгоритм метода имитационного моделирования, который будет в дальнейшем использоваться для практико-ориентированных исследований.

Таблица 10. Алгоритм метода имитационного моделирования.

Этап	Цель	Задачи
Планирование исследования	Сформулировать основные положения	Определить глобальную цель, выбрать масштаб модели и программное обеспечение
Сбор данных	Обеспечить соответствие модели действительности	Определить параметры модели и входные распределения вероятностей, выбрать уровень детальности
Создание модели	Построить адекватную модель	Создание компьютерной программы и ее проверка
Проверка модели	Проверить соответствие модели действительности	Выполнение прогонов и по возможности сравнение с действительностью, использование метода анализа чувствительности для контроля за наиболее важными параметрами
Планирование экспериментов	Обеспечить значимость и точность проводимых экспериментов	Определение длительности и количества прогонов, построение доверительных интервалов
Анализ данных	Сопоставить различные конфигурации системы или определить абсолютные характеристики системы	Проведение всестороннего анализа полученных сведений при помощи статистических методов
Внедрение	Повышение эффективности процесса	При необходимости внедрить изменения в физический процесс
Контроль	Улучшить модель	Скорректировать модель в соответствии с новыми фактическими сведениями

Составлено автором

Выделенные этапы в первую очередь направлены на сокращение ошибок моделирования, которые зачастую нивелируют преимущества этого метода совершенствования процессов, среди которых:

- возможность описания сложных систем с большим количеством стохастических переменных
- оценка эксплуатационных ограничений существующей системы
- возможность прямого сравнения альтернативных вариантов процесса
- более эффективный контроль эксперимента
- возможность ускорения или замедления процесса, что облегчает его изучение

Существенным недостатком имитационного моделирования является трудоемкость, вызванная необходимостью создания модели в должной мере соответствующей действительности. Поэтому, в случае оптимизации процесса, когда не требуется сопоставление с альтернативными вариантами, зачастую прибегают к аналитическому моделированию.

Марвел и Стендридж указывают на то, что вне зависимости от используемого инструмента совершенствования процесса, проверка при помощи имитационной модели не будет лишней. Модель позволит предотвратить просчёты оптимизации, связанные с системными рисками²⁶, структурными изменениями²⁷, взаимозависимостью нескольких элементов системы.²⁸

Нами были выделены ошибки, которые могут помешать успешной оптимизации процесса методом имитационного моделирования, а также выделены решения, подразумевающие использование ранее описанных инструментов, для предотвращения такого рода ошибок.

Таблица 11. Инструменты предотвращения ошибок при имитационном моделировании.

Ошибка	Инструмент предотвращения
Неправильная постановка цели моделирования	На первом этапе нужно ответить на вопрос: «Что мы хотим усовершенствовать при помощи модели?». Для ответа уже необходимо осознавать идем ли мы по пути

²⁶ Mulazzani, L., Trevisi, R., Manrique, R. and Malorgio, G. (2016) 'Blue growth and the relationship between ecosystem services and human activities: the Salento artisanal fisheries case study', Ocean & Coastal Management, Vol. 134, pp.120–128.

²⁷ E. Romano* D. Iuliano A simulation/optimisation approach to support the resource allocation in service firms // Int. J. Procurement Management, Vol. 11, No. 1, 2018

²⁸ Jon H. Marvel, Charles R. Standridge A simulation-enhanced lean design process // Journal of industrial engineering and management. – 2019. - №2 (1). - 90-113 – ISSN: 2013-0953

	бенчмаркинга, реинжиниринга или совершенствования. Метод: личный опрос
Недостаточный уровень проработки деталей модели	В соответствии с целью необходимо определить допустимый уровень погрешности параметра для каждого элемента, выделить все факторы, влияющие на результат Метод: статистический анализ, дельфийский метод для оценки факторов, аналитическое моделирование для оценки параметров отдельных элементов
Недостаточная выборка данных	Методы сбора данных и подтверждение их достаточности методами математической статистики
Неверное определение источников случайных величин	Аналитическое моделирование, учёт влияния всевозможных факторов на систему
Использование произвольных распределений в качестве выходных параметров моделирования	Необходимо изучать специфику процесса при помощи аналитического моделирования
Неверное определение необходимого количества прогонов для достижения необходимого уровня значимости	Метод: статистические методы, анализ чувствительности

Составлено автором

Как видим, существует большое количество ошибок, которые могут быть решены при помощи использования аналитических (количественных) методов. Организационные методы позволят прийти к консенсусу относительно корректности понимания моделирования руководством, уместности анимации при имитационном моделировании, выбора подходящего программного обеспечения, интерпретации и анализа выходных данных.

Таким образом, имитационное моделирование в интеграции с количественными и организационными инструментами совершенствования бизнес-процессов выступает еще более эффективным методом.

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ГИБКИХ МАРШРУТНЫХ СЕТЕЙ

В первой главе мы охарактеризовали имитационное моделирование как метод совершенствования бизнес-процессов.

Основная цель второй главы заключается в разработке алгоритма построения гибкой маршрутной сети при помощи имитационного моделирования в условиях ограниченных финансовых ресурсов фирмы.

Мы будем отталкиваться от систематизации современной проблематики исследований логистических процессов при помощи имитационного моделирования и детального рассмотрения стратегий смягчения последствий сбоев в цепи поставок. Мы выделим факторы, влияющие на выбор компанией гибкой стратегии смягчения сбоев и предложим для таких компаний оптимальный алгоритм добавления гибкости в их логистические процессы.

2.1 Изменения в управлении цепями поставок под воздействием имитационного моделирования

Применение имитационного моделирования, предоставляя менеджерам более полную информацию о процессе, изменяет управление цепями поставок. Расширение информации в первую очередь связано с использованием возможностей предиктивной аналитики, то есть менеджеры могут всесторонне изучить будущий ход реального процесса при помощи имитационной модели и экспериментам с ней. Осуществление подобных экспериментов с реальным процессом может быть экономически нецелесообразно или невозможно.

Под оптимизационным экспериментом в имитационном моделировании понимается последовательное выполнение нескольких прогонов модели с различными значениями параметров и нахождении оптимальных для данной задачи значений параметров.²⁹

²⁹ AnyLogic Simulation Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://help.anylogic.ru>, свободный – (03.03.2020)

На данный момент накоплен внушительный опыт исследования логистических процессов при помощи имитационного моделирования. Данный раздел работы посвящен систематизации основных тенденций в этой области и выявлению характера трансформации управленческих решений с внедрением имитационного моделирования.

Изучив научную литературу по применению имитационного моделирования для совершенствования процессов в цепях поставок нам удалось выявить круг наиболее значимых проблем в этой области и способов их решения при помощи имитационного моделирования. Большинство из этих проблем проистекают из тенденций, выделенных Кристофером и Пеком³⁰: глобализация, зависимость от логистического аутсорсинга, увеличение цепей поставок ориентированных на сокращение запасов.

Таблица 12. Проблематика исследований логистических процессов при помощи имитационного моделирования:

Проблема	Способ решения
Выявление факторов, вызывающих неопределенности в цепи поставок	Основные факторы, оказывающие влияние на ход логистического процесса выделены в исследовании ³¹ : изменения в предложении, в ходе процесса, в спросе. Оценке влияния колебаний одного или нескольких из этих факторов посвящено большинство исследований логистических процессов с использованием имитационного моделирования.
Минимизация издержек из-за транспортных сбоев в цепи поставок	Разработка гибких сетей поставок в том числе с использованием различных видов транспорта. Гибкая логистическая стратегия требует изменения логистического планирования, использования предиктивной аналитики и имитационного моделирования. Традиционный подход к управлению логистикой заключается в том, чтобы сосредоточиться на соображениях эффективности, таких как стоимость и время обслуживания. Такой подход требует подбора оптимальных маршрутов отгрузки с учетом стоимости и дальности поездки, а также использования небольшого количества логистических объектов. Этот подход не рассматривает прочие варианты доставки на случай сбоев. Основная идея гибкой стратегии заключается в том, чтобы иметь больше объектов с меньшими областями обслуживания, чтобы в случае сбоя использовались альтернативные объекты. ³²
	Имитационные эксперименты с использованием коэффициента добавочной эффективности затрат (ICER) позволяют выбрать оптимальную стратегию смягчения транспортных сбоев. Более подробно это решение рассмотрено во втором пункте этой главы.

³⁰ Christopher, M., and H. Peck. Building the Resilient Supply Chain. *International Journal of Logistics Management* 15 (2): 1–13.

³¹ Angkiriwang, R., I. N. Pujawan, and B. Santosa. 2014. "Managing Uncertainty Through Supply Chain Flexibility: Reactive vs. Proactive Approaches." *Production & Manufacturing Research* 2 (1): 50–70

³² Ishfaq, R. 2012. "Resilience Through Flexibility in Transportation Operations." *International Journal of Logistics Research and Applications* 15 (4): 215–229.

	<p>Предиктивный анализ продолжительности нарушений, характер которых измеряется во времени (например, эпидемии), упрощается с использованием имитационного моделирования. В некоторых исследованиях³³ рассматриваются различные сценарии развития эпидемий и рассчитывается их влияние на цепи поставок.</p>
	<p>Планирование грузопотока через логистические узлы, опирающееся на оценку сезонной уязвимости этих узлов. К примеру, исследования³⁴ с применением математического моделирования показывают, что порты Китая наиболее уязвимы в августе из-за тайфуна. Дальнейшее проведение подобных исследований на имитационных моделях позволит разработать оптимальные стратегии планирования грузопотока портов в зависимости от сезонности.</p>
<p>Планирование частоты заказов и оптимального размера запаса и ёмкостей для его хранения</p>	<p>Сложность данной классической проблемы экономики предприятия заключается в необходимости интеграции параметров тактического (планирование расписания) и стратегического управления (планирование складских помещений). Имитационное моделирование позволяет отказаться от ограничения в виде ограниченной площади склада при аналитическом моделировании и оценить проблему более масштабно, разработав варианты оптимизации.³⁵</p>
<p>Определение оптимального маршрута доставки</p>	<p>Уилсон³⁶ при помощи системно-динамического имитационного моделирования выделил параметры, влияющие на выбор оптимального маршрута: необходимая доля выполненных заказов клиентов, максимально-возможное количество товаров в пути, максимальный и средний уровень запасов на складах. Так же им было рассмотрено влияние различных типов нарушений в цепи поставок на изменения запасов. Наиболее критичным нарушением по мнению Уилсона является сбой между производителем готового продукта и складом готовой продукции. Этот сбой приводит к наибольшему числу неудовлетворенных потребителей логистической сети.</p>

Составлена автором

Из таблицы 12 можно сделать вывод, что создание имитационной модели логистического процесса и работа с ней может изменить принимаемые управленческие решения. На рисунке представлены эксперименты с имитационной моделью цепи поставок и управленческие решения, которые могут быть сделаны на их основе.

³³ Ivanov D. Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case // *Transportation Research Part E* 136 (2020) 101922

³⁴ Zhang, Y., and J. S. L. Lam. 2015. "Estimating the Economic Losses of Port Disruption due to Extreme Wind Events." *Ocean and Coastal Management* 116: 300–310.

³⁵ Pujawan, N., M. M. Arief, B. Tjahjono, and D. Kritchanhai. 2015. "An Integrated Shipment Planning and Storage Capacity Decision under Uncertainty." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 45(9/10): 913–937.

³⁶ Wilson, M. C. 2007. "The Impact of Transportation Disruptions on Supply Chain Performance." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43 (4): 295–320.



Рисунок 5. Трансформация управленческих решений под воздействием имитационного моделирования. Составлено автором по таблице 12.

Анализ научной литературы показал, что компаниям целесообразно разрабатывать альтернативные варианты доставки грузов на случай возникновения транспортных сбоев. Мы считаем, что разработка альтернативных вариантов может быть эффективна и в обычных условиях. В частности, в зависимости от параметров груза, курса валюты (эти аспекты не рассматриваются в литературе) могут быть выгодны различные варианты доставки. Рассмотрению этих факторов посвящена третья глава настоящей работы.

Далее мы рассмотрим основные стратегии смягчения последствий сбоев в цепи поставок, так как некоторые из них подразумевают решения по разработке альтернативных маршрутов. Изучение данного вопроса позволит нам выделить алгоритм, следуя которому компания сможет начать построение гибкой маршрутной сети оптимальным способом.

2.2 Выбор стратегии смягчения последствий сбоев

Цифровизация сетей поставок, проявляющаяся в логистических цепях прежде всего в увеличении количества датчиков и «умных» сканеров, напрямую способствует увеличению количества разнородной информации о процессе. В таких условиях компании, внедряющие имитационное моделирование и владеющие инструментарием анализа больших данных, могут получить конкурентное преимущество за счёт более эффективного

управления запасами³⁷. Если раньше предприятия в случае отсутствия достаточной информации о процессе доставки предпочитали формировать избыточные запасы в конечной точке маршрута, то сейчас основной тенденцией является поиск компромисса между избыточным запасом и «гибким» маршрутом. Нахождение оптимума связано с необходимостью учёта риска критических сбоев в цепи поставок.

Шеффи³⁸ выделяет шесть типов нарушений цепочки поставок: предложение, спрос, транспорт, объекты, нарушения фрахта и коммуникаций. В рамках данной работы мы сконцентрируемся на анализе транспортной инфраструктуры. Под транспортным сбоем в цепи поставок будем понимать событие, которое прерывает материальные потоки в цепи поставок, приводя к резкому прекращению движения товаров. В то время как другие нарушения могут остановить производство товаров, нарушение транспортировки только останавливает поток товаров. Оно может быть вызвано стихийным бедствием, трудовым конфликтом, зависимостью от одного поставщика, банкротством поставщика, терроризмом, войной, политической или эпидемиологической нестабильностью.

На сегодняшний день среды имитационного моделирования обладают инструментарием для моделирования подобных событий в заданные распределением промежутки времени, тем самым позволяя оптимизировать поведение системы в случае возникновения подобных катаклизмов. В частности, при помощи данного инструмента можно запускать груз по альтернативному маршруту в случае непредвиденных обстоятельств.

В научной литературе выделяют 4 основные стратегии смягчения последствий транспортных сбоев в цепи поставок за исключением стратегии передачи риска³⁹:

- стратегия принятия риска. В данной ситуации компания в случае перебоев при транспортировке планирует нести потери в обслуживании клиентов при этом избежать затрат, связанных с сокращением риска.
- стратегия избыточного запаса. В данной ситуации компания на основе данных о предполагаемых сбоях в цепи поставок создает избыточный запас на этот случай в конечной точке маршрута.

³⁷ Schmitt A. J., Singh M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain // *Int. J. Prod. Econ.* 139 (1), 23-32, 2012

³⁸ Sheffi, Y., J. B. Rice, J. M. Fleck, and F. Caniato. Supply Chain Response to Global Terrorism : A Situation Scan. EurOMA POMS Joint International Conference, 1–6.

³⁹ Albertzeth G., Pujawan N. Mitigating transportation disruptions in a supply chain: a cost-effective strategy // *International Journal of Logistics Research and Applications* 2020, VOL. 23, NO. 2, 139–158

- стратегия гибкого маршрута. Предполагается использование альтернативных маршрутов поставки в случае перебоев на основном направлении.
- стратегия избыточной гибкости. Обеспечивает наибольшее удовлетворение требований заказчика путем создания запаса в конечной точке и развертывания гибкой системы маршрутов.

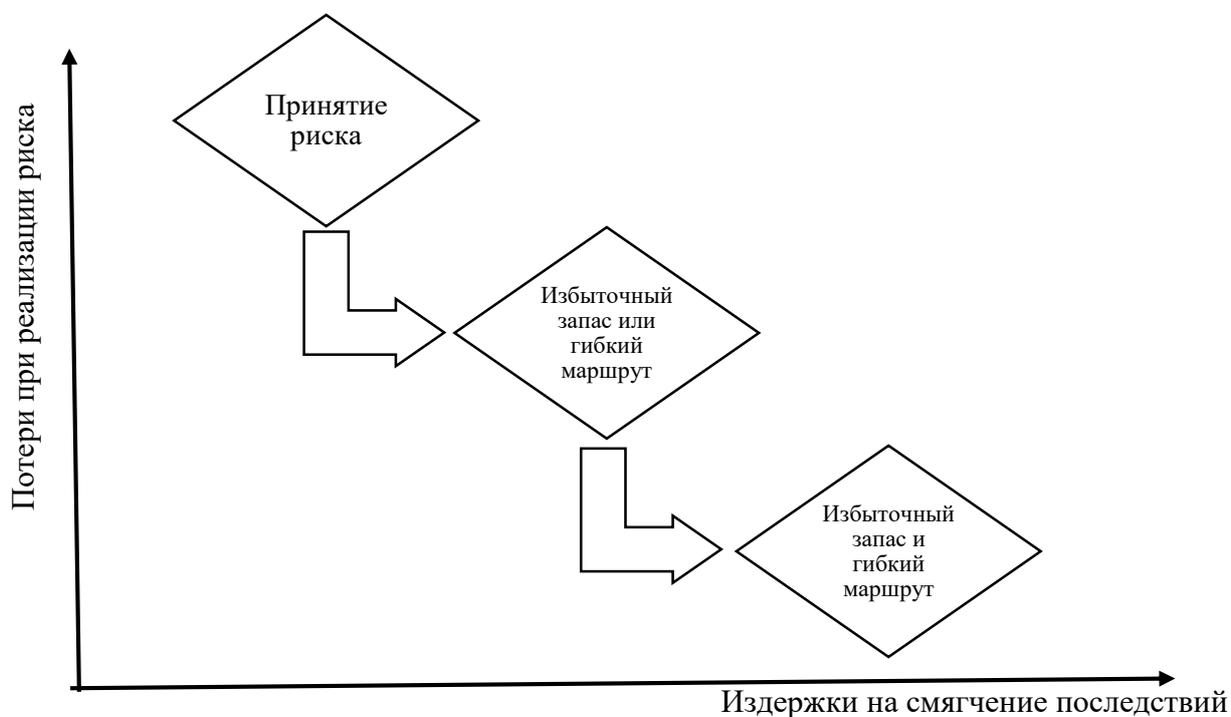


Рисунок 6. Сопоставление стратегий предотвращения сбоев в цепи поставок. Составлено автором.

Несмотря на то, что выбор оптимальной стратегии смягчения последствий транспортных сбоев уникален для каждого предприятия и зависит от специфики его деятельности, можно выделить основные факторы, влияющие на данное решение:

- издержки, которые несёт предприятия в случае отсутствия объекта транспортировки в конечной точке. Для производственных компаний они выражены в стоимости минут простоя ввиду отсутствия сырья или материалов на производственной линии. Для предприятий, поставляющих готовую продукцию, они будут измеряться потерями прибыли от неудовлетворенных потребителей и издержками потери репутации, расчёт которых наиболее сложен практически.
- наличие ресурсов для финансирования системы смягчения последствий рисков. В случае стратегии избыточного запаса необходимо инвестировать в создание складских помещений, финансировать дополнительную потребность в оборотных средствах в запасах, а также финансировать увеличившиеся затраты на хранение. В случае

стратегии гибкого маршрута необходимо нести издержки, связанные с увеличившейся стоимостью поставки из-за использования альтернативного маршрута, который как правило более продолжительный. Однако, как показывает практика, в частности процесс, рассмотренный нами в третьей главе этой работы, зачастую в сложных системах создание гибкой маршрутной сети при изменении некоторых параметров может сделать альтернативный вариант для компании выгоднее основного. Потому в долгосрочной перспективе разработка нескольких альтернативных вариантов поставки, в том числе с использованием имитационных моделей оказывается более эффективной.

- наличие соответствующей транспортной инфраструктуры. Для реализации требований гибкости в логистических операциях необходимо, чтобы транспортная система страны или региона базировалась на сетевой структуре, которая предлагает несколько видов транспорта (или связей) между основными точками спроса и предложения.
- Логистическая концепция предприятия. Системы по типу Just-In-Time («точно в срок») больше других подвержены рискам сбоев в цепи поставок, потому по мнению ученых требуют разработки более гибкой маршрутной сети для минимизации рисков.⁴⁰

На основе перечисленных факторов нами была создана таблица соответствий, которая может быть использована при проведении SWOT-анализа компании и выборе стратегии смягчения последствий сбоев. Таблица 13 основана на предпосылке, что стратегия «гибкого» маршрута оказывается для компании менее затратной, чем стратегия создания запасов в конечной точке на случай сбоев.

Таблица 13. Влияние факторов на выбор стратегии смягчения последствий сбоев в цепи поставок

	Издержки от потерь в случае сбоев меньше затрат на смягчение последствий	Ориентация логистической концепции на запасы; издержки от потерь в случае сбоев больше затрат на смягчение последствий
Неразвитая транспортная инфраструктура	Стратегия принятия риска	Стратегия избыточного запаса
Развитая транспортная инфраструктура региона; ориентация логистической концепции на доставку «точно в срок»	Стратегия «гибкого» маршрута	Стратегия избыточной гибкости

Составлено автором

⁴⁰ Simchi-Levi, D., Snyder, L., Watson, M., 2002. Strategies for uncertain times. Supply Chain Management Review 6 (1), 11–12.

Нахождение компромисса между перечисленными факторами и выбор оптимальной стратегии смягчения сбоев требуют наличия инструмента, на основе которого можно создать эффективную систему смягчения последствий сбоев в цепи поставок. В качестве такого инструмента может быть использован, зарекомендовавший себя в ряде исследований, коэффициент добавочной эффективности затрат ICER, характеризующий уровень дополнительных затрат, понесённых в каждой стратегии компанией для увеличения уровня обслуживания клиента на один процент:

$$ICER(i) = \frac{C(i) - C(i-1)}{E(i) - E(i-1)}$$

Где:

$C(i)$ – издержки, связанные с внедрением i -ой стратегии

$E(i)$ – доля клиентов, удовлетворенных компанией в случае сбоя

. Несмотря на возможность количественной оценки выбора той или иной стратегии у данного метода есть недостаток – трудоемкость. Для проведения исследования необходимо создать 4 имитационные модели для разных стратегий и сопоставить результаты, полученные в каждой из них.

Применяя данные методы менеджеры компании принимают решение относительно стратегии смягчения транспортных сбоев. Неэффективности стратегии принятия риска посвящено ряд исследований, данная стратегия в большинстве случаев уступает стратегии «гибкого» маршрута, затраты на реализацию которой могут быть незначительными. В современной практике компании стремятся отказаться от стратегии принятия риска. Многие компании ориентируются на запасы в конечной точке, этому вопросу посвящены вышеописанные исследования с применением имитационного моделирования.

В нашей работе мы концентрируемся на стратегиях гибкой маршрутизации и избыточной гибкости с точки зрения разработки альтернативных маршрутов, то есть мы не затрагиваем тему управления запасами хорошо освещенную в других исследованиях.

Актуальность проведенного исследования в период цифровой трансформации подкрепляется идеей того, что гибкость логистических процессов является одним из факторов, определяющих скорость реакции компании при реализации рыночных стратегических целей. Отражение этой идеи мы находим в научной литературе.⁴¹

⁴¹Управление бизнесом в цифровой экономике: вызовы и решения / под ред. И.А. Аренкова, Т.А. Лезиной, М.К. Ценжарик, Е.Г. Черновой. – СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2019. – 360 с. ISBN 978-5-288-05966-7

2.3 Алгоритм построения имитационной модели в контексте стратегии «гибкого» маршрута или стратегии избыточной гибкости

После принятия компанией решения об использовании стратегии «гибкого маршрута» или стратегии избыточной гибкости, перед компанией стоит вопрос о механизме построения гибкой логистической сети. В этом разделе мы представим алгоритм, который позволяет построить оптимальную гибкую логистическую сеть с использованием имитационного моделирования в условиях ограниченности финансирования. Этот алгоритм является обобщением применяемых подходов в разобранных исследованиях. Сразу отметим, что алгоритм построения модели для стратегии избыточной гибкости включает в себя алгоритм построения для стратегии гибкого маршрута с добавлением нескольких шагов.

Поскольку создание полностью гибкой маршрутной сети может требовать существенных инвестиций, при разработке гибких сетей может быть наиболее эффективным подход MVP (Minimum Viable Product). Особенность этого подхода для планирования альтернативных логистических потоков будет заключаться в создании на первых этапах альтернативных маршрутов для одного или нескольких поставщиков и подтверждение их на практике. Однако, при этом альтернативные варианты необходимо разработать для всех уязвимых мест в цепи поставок. Добавление гибкости для некоторых узлов может оказаться бесполезным по причине «узких» мест на других участках цепи.

Таким образом, на первом этапе необходимо определиться с участком логистической сети, с которого начнется добавление гибкости в систему. На этом этапе целесообразно будет *выбрать направление*, обладающее наилучшим соотношением по важности для оптимизации и в котором гибкость может существенно улучшить эффективность.

На следующем этапе необходимо *определимся с подходом к построению сети*, который будет проявляться в особенностях функционирования будущей имитационной модели. Выделяют два подхода к проектированию гибких логистических сетей: диверсификация и резервирование. Диверсификация предполагает изначальное разделение логистического потока на несколько маршрутов. В обычных условиях грузы движутся по нескольким вариантам, в случае перебоев на одном из них компания постепенно увеличит грузопоток на других маршрутах. При данном подходе альтернативные варианты изначально не планируются. Диверсификация подходит для сценариев, в которых отсутствуют

возможности изменения маршрута в случае сбоев. Недостаток этого подхода заключается в том, что стоимостные выгоды от использования наиболее экономичного маршрута для всех потоков отгрузки сводятся на нет из-за разделения потоков на несколько маршрутов. Резервирование фокусируется на выборе оптимального маршрута доставки для каждого груза и прибегает к использованию альтернативных вариантов только в случае сбоев по наиболее экономически выгодному направлению.

Имитационное моделирование позволяет строить модели с использованием резервирования, в частности этот подход используется нами при построении процесса поставки в третьей главе данной работы.

По завершении моделирования сети необходимо *выявить уязвимые логистические узлы и составить список нарушений*, с которыми может столкнуться каждый из этих объектов. Для этого используется метод интервью с оперативным персоналом предприятия. Для учета маловероятных, но значимых нарушений, о которых может не знать персонал, лучше воспользоваться литературой. При этом стоит разделять задержки и нарушения. Нарушение в отличие от задержки полностью останавливает логистический поток через этот узел. Имитационное моделирование предусматривает возможности использования различных блоков для данных событий: Delay (для задержки) Stop (для нарушения). В случае возникновения нарушения, в имитационной модели запускается груз по альтернативному маршруту. При задержке логистического потока, необходимо оценить вероятность того, что груз не успеет к назначенному времени и в случае необходимо так же запустить груз по альтернативному маршруту.

На следующем этапе совместно с менеджерами, контролирующими процесс, необходимо *спрогнозировать частоту возникновения указанных нарушений* (например, 1 раз в 5 лет), а также определить *продолжительность* остановки логистического потока после данного нарушения. Ввиду невозможности предсказания точного времени остановки исследователи⁴² используют треугольные распределения случайной величины в имитационной модели.

Параллельно с этим этапом может производиться оценка издержек из-за отсутствия груза в конечной точке цепи. Издержки могут выражаться в стоимости простоя производственной линии, количестве неудовлетворенных заказов. Данный анализ осуществляется при помощи соответствующих руководителей функциональных подразделений предприятия. На этом этапе необходимо определить желаемый процент

⁴² Schmitt A. J., Singh M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain // Int. J. Prod. Econ. 139 (1), 23-32, 2012

удовлетворенных заказов в случае критического сбоя в цепи поставок. Необходимо сопоставлять этот процент с издержками, которые будет нести компания на избыточное хранение запасов. Этот анализ уже мог быть сделан и на этапе выбора стратегии.

Далее происходит построение имитационной модели с учетом возможных альтернативных маршрутов. При разработке альтернативных логистических маршрутов необходимо удостовериться в возможности их реализации на практике. В том числе необходимо согласовать координацию действий с другими участниками цепи поставок. В этот момент появляются основные ограничения имитационной модели. Построение гибкой логистической сети невозможно без вовлеченности всех участников.⁴³ В практической части мы убедились, что создание гибкой маршрутной сети с точки зрения координации проще всего начинать с разработки наименее затратных вариантов как экономически так и практически. В рассматриваемом случае у компании имелась договоренность с контрагентом, который использовал в своей текущей деятельности альтернативный маршрут и ему не пришлось уделять время разработке данного направления.

При реализации стратегии избыточной гибкости ставит вопрос об оптимальном расположении запасов на случай сбоев. Наличие запасов в конечной точке цепи поставок гарантирует наибольшую устойчивость, однако содержание такого запаса обойдется дороже из-за более высокой себестоимости груза в этой точки и не всегда возможно. В таких условиях имитационное моделирование сбоев позволяет найти компромисс в этом вопросе и определить лучшее расположение для запасов.

Итоговой алгоритм построения гибкой маршрутной сети представлен на рисунке 7.

⁴³ Angkiriwang, R., I. N. Pujawan, and B. Santosa. 2014. "Managing Uncertainty Through Supply Chain Flexibility: Reactive vs. Proactive Approaches." *Production & Manufacturing Research* 2 (1): 50–70

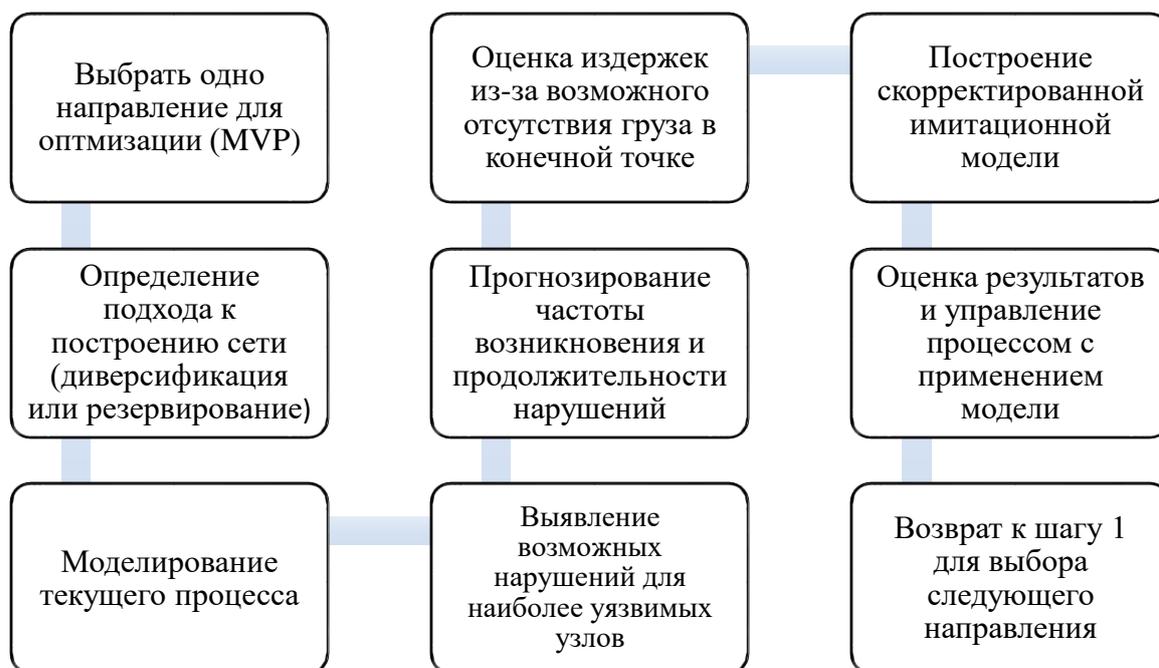


Рисунок 7. Алгоритм построения гибкой маршрутной сети. Составлено автором.

Управление ходом бизнес-процесса с использованием имитационной модели при минимизации последствий нарушений в цепи поставок обладает следующими характерными особенностями:

- управление связано с принятием решения о необходимом запасе в конечной точке с учётом потерь от неполучения выручки от неудовлетворенных клиентов в случае реализации сбоя в цепи поставок
- управление учитывает финансовые потери в излишних запасах на случай реализации сценария сбоя
- управление основано на информации о времени задержки поставки.

Другим важным аспектом управления гибкой маршрутной сетью является её эксплуатация в обычных условиях, когда нарушения не происходят. В литературе не затрагивается вопрос относительно оптимального использования альтернативных маршрутов и определения условий в зависимости от которых стоит сменить путь доставки. Как правило, основная предпосылка учёных заключается в том, что альтернативный вариант изначально является убыточным для компании и будет использоваться только в случае возникновения транспортных сбоев. Рассмотрению ситуации, при которой альтернативный вариант может стать для компании экономически целесообразным и в обычных условиях его на конкретном примере посвящена третья глава настоящей работы.

ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОСТАВКИ МАТЕРИАЛОВ ООО «НИССАН МЭНУФЭКЧУРИНГ РУС»

Основной целью практической части работы являлась апробация выделенного алгоритма построения гибкой маршрутной сети (п. 2.3) и систематизация эффектов, получаемых компанией при переходе к стратегии гибкого маршрута. Мы исходили из гипотезы о том, что положительный эффект будет получен компанией не только в случае реализации транспортного сбоя, но может иметь место и в стандартных условиях, когда сбой не возникают.

В соответствии с целью был решен ряд задач:

1. Выявить и описать факторы, колебания которых могут делать альтернативный маршрут экономически более выгодным чем основной (п. 3.1)
2. Описать текущий процесс и выбрать одно направление для оптимизации (п. 3.1)
3. Выявить причины неэффективности принимаемых решений и обозначить механизмы, за счёт которых имитационное моделирование сможет повысить эффективность (п. 3.1)
4. Предложить результирующую переменную компромисса, учитывающую выделенные факторы. При помощи этой переменной менеджеры смогут выбрать оптимальный маршрут для каждого отдельно взятого груза (п. 3.1)
5. Описать методологию построения имитационной модели гибкой маршрутной сети, обозначить информационную составляющую необходимую для построения модели (п. 3.2)
6. Проанализировать зависимость результирующей переменной от ранее выделенных факторов при помощи экспериментов с имитационной моделью (п. 3.3)
7. Рассчитать и систематизировать положительные эффекты от применения стратегии гибкого маршрута в стандартных условиях и при реализации транспортных сбоев. (п. 3.3)

Реализация поставленных задач стала возможной благодаря данным о процессе доставки автокомпонентов, которые были предоставлены ООО «Ниссан Мэнуфэкчуринг Рус», а также использованию инструментария среды имитационного моделирования AnyLogic.

3.1 Постановка задачи имитационного моделирования

Для начала представим выделенные нами на практике и заложенные в имитационную модель факторы, которые необходимо учитывать при выборе оптимального маршрута доставки. В дальнейшем мы более подробно сосредоточимся на этих факторах при обосновании результирующей переменной имитационной модели.

На рисунке 8 показано, что выбор маршрута доставки из ряда альтернатив связан с необходимостью учета: особенностей внешней среды, проявляющейся в относительной стоимости транспортировки килограмма груза; особенностей груза, проявляющихся в весе и габаритах груза; особенностей процесса, проявляющихся прежде всего в его продолжительности для каждого из вариантов, а также в среднеквадратических отклонениях времени доставки.

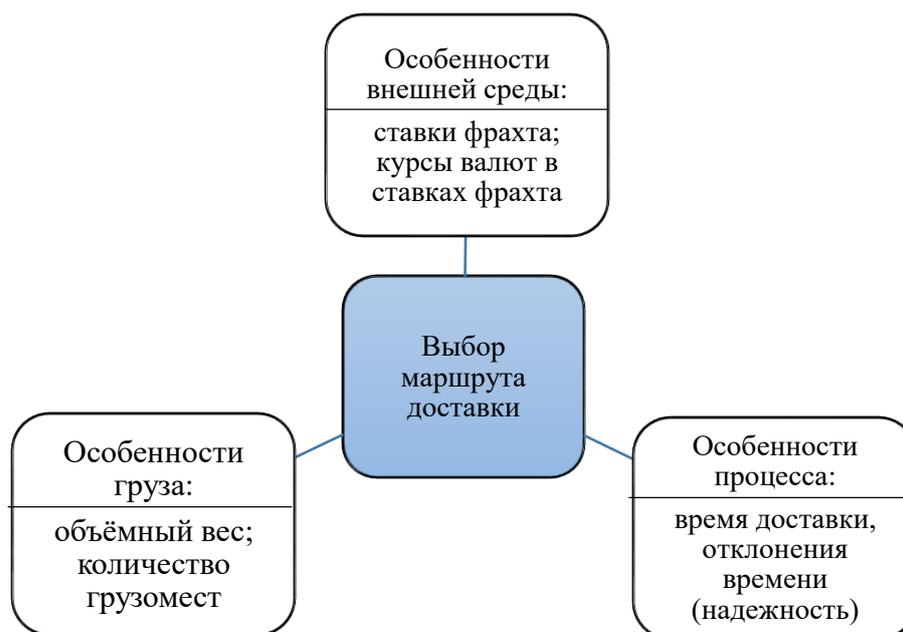


Рисунок 8. Факторы, влияющие на выбор маршрута доставки. Составлено автором по итогам прохождения практики в отделе производственного контроля ООО «Ниссан Мэнуфэкчуринг Рус».

Решение задачи оптимальной маршрутизации зачастую является краеугольным камнем в планировании грузопотоков компании. Характерная особенность этой проблемы для предприятий, импортирующих товары или материалы из-за рубежа воздушным транспортом, заключается в необходимости учёта *курса мировых валют*. Это связано с тем, что стоимость

доставки в международных цепях поставок на разных участках может быть выражена в различных валютах.

Как правило, российская специфика заключается в том, что импортёр использует ряд логистических посредников, среди которых может быть зарубежная авиакомпания, ставки фрахта которой выражены в валюте, и российская компания, предоставляющая услуги по экспедированию груза в аэропорту и доставке его заказчику. В такой ситуации у фокусной компании в случае снижения курса рубля, может возникнуть вариант оптимизации маршрута поставки за счёт удлинения плеча российской компании и сокращения плеча зарубежной. То есть несмотря на то, что компания заплатит больше за доставку груза из аэропорта в рублях, ей удастся сэкономить благодаря более низким валютным ставкам фрахта в другой аэропорт прибытия.

Одной из таких компаний является ООО «Ниссан Мэнюфэкчуринг Рус». Для сборки автомобилей завод Ниссан в Санкт-Петербурге использует автокомпоненты, производство которых осуществляется за рубежом. Основным способом доставки этих комплектующих являются морские контейнерные перевозки. Ввиду значительной географической удаленности ряда поставщиков имеет место длительный срок заказа автокомпонентов (5 – 14 недель до предполагаемой даты запуска в производство). Непредвиденные обстоятельства в процессе морской транспортировки могут привести к «опозданию» груза. В такой ситуации, чтобы предотвратить риск отсутствия необходимого количества материала на производственной линии, менеджеры отдела производственного контроля используют доставку «проблемного» автокомпонента авиатранспортом.

Подобно другим организациям компания имеет несколько вариантов доставки с использованием различных аэропортов прибытия.

На рисунке 9 представлена блок-схема текущего процесса (доставка через аэропорт Пулково) и альтернативного варианта (доставка через аэропорт Шереметьево) для поставщика, расположенного в США.

В текущих условиях, компания поставляет все материалы исключительно через аэропорт Пулково в Санкт-Петербурге. Как будет показано дальше, ввиду отсутствия гибкости в данном вопросе предприятие несёт альтернативные издержки по целому ряду поставщиков.

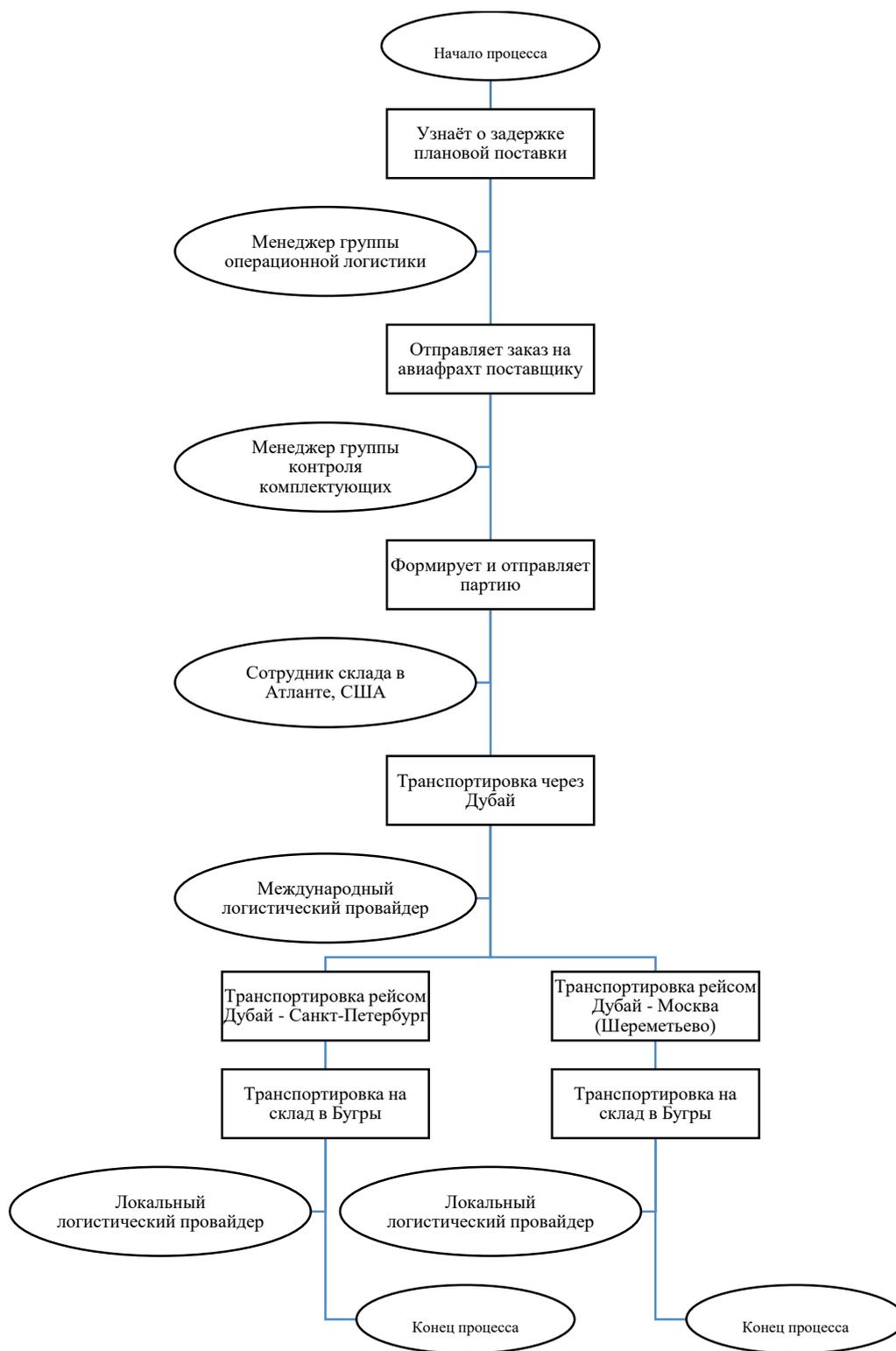


Рисунок 9. Упрощенная блок-схема текущего и альтернативного процесса доставки груза авиафрахтом. Составлено автором на основе данных ООО «Ниссан Мэнюфэкчуринг Рус».

В рамках первого шага выделенного нами алгоритма во второй главе мы выбрали для совершенствования процесс доставки из США, поскольку, как показали линейные расчёты,

это направление сулило компании наибольшие возможные выгоды в результате повышения гибкости.

Можно выделить ряд факторов, по причине которых в подобных ситуациях менеджеры российских компаний бездействует или принимают несвоевременные управленческие решения относительно перехода на альтернативный вариант поставки:

1. Недостаточная полнота информации о процессе, особенно об альтернативных вариантах, что увеличивает неопределенность и риск возникновения непредвиденных убытков.
2. Незрелость российского рынка по части предоставления комплексных логистических услуг, следствием чего является большое количество посредников в цепи поставок, предоставляющих узкоспециализированный сервис. В таких условиях, чтобы не содержать большой штат сотрудников, занятых работой со множеством контрагентов, менеджмент фокусных компаний прибегает к использованию аутсорсинга по части некоторых подпроцессов. В результате чего зачастую теряется целостное представление о процессе и, как следствие, о возможностях его оптимизации.
3. Низкий уровень координации участников цепи поставок. Логистические посредники нацелены на улучшение деятельности в своем подпроцессе, при этом улучшения всей цепочки поставок не происходит ввиду отсутствия взаимодействия.⁴⁴

Применение имитационного моделирования может нивелировать ряд вышеупомянутых сложностей за счёт следующих преимуществ:

1. Возможность настройки времени моделирования, в том числе установки конкретной даты и времени начала движения груза, можно заранее проанализировать несколько альтернативных вариантов. Таким образом можно сделать управление процессом более гибким.
2. Повсеместное распространение «индустрии 4.0» в логистике, проявляющееся прежде всего в использовании цифровых меток и сканеров существенно увеличивает количество информации о процессе, делает его более прозрачным. Тем самым создаются дополнительные возможности для развития имитационного моделирования в этой отрасли.
3. Возможность учёта расписаний. Этот критерий имеет первостепенную значимость для процессов, в которых объект (товар, материальная ценность) проходит несколько этапов обслуживания, на каждом из которых применительно к нему используется ресурс (сотрудник, автомобиль, самолет), каждый из которых доступен только в моменты

⁴⁴ Лишнев К. О. Логистическая координация в цепях контейнерных поставок автокомпонентов: диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.05: - Санкт-Петербург, 2017

времени, определяемые расписанием. Изменения расписания доступности одного из ресурсов могут оказать существенное влияние на общее время подобного процесса.

4. Применение инструментария моделирования участников системы (агентного моделирования) позволяет спланировать и запрограммировать в модели координацию логистических посредников, что может способствовать разработке решения по улучшению взаимодействия на практике.

Среди основных требований менеджеров фокусных компаний к процессу доставки груза можно выделить следующие:

- сокращение продолжительности процесса
- сокращение стоимости процесса
- прозрачность процесса, заключающаяся в достаточности информации для принятия управленческого решения

Подробный анализ этих требований в зависимости от стадий процесса авиафрахта представлен в приложении 3.

Основная сложность оптимизации логистических маршрутов заключается в проблеме разнонаправленного изменения значимых переменных. Как правило, сокращение затрат на поставку связано с увеличением времени поставки и наоборот. В таких условиях необходимо вводить результирующую переменную «компромисса», учитывающую несколько факторов.

На рисунке 10 проиллюстрирована зависимость результирующей переменной от стоимости и продолжительности поставки. На стоимость влияют ряд входных параметров, среди которых помимо внешних факторов - ставок фрахта и курса валют есть и внутренние - *количество грузомест и объемный вес груза*. На практике количество грузомест многими транспортными компаниями соотносится с количеством европаллетов (размерности: 800/1200/145 мм). В соответствии с данными размерностями рассчитывается стоимость доставки груза на автомобиле из аэропорта на склад.

Объемный вес груза используется при расчёте стоимости авиаперевозки и рассчитывается по формуле:

$$\text{Chargeable Weight} = \frac{\text{Gross Weight}}{V_3 \text{ (м3)}}$$

Где:

Chargeable Weight – объёмный вес груза в кг.

Gross Weight – фактический вес в кг

Предельным значением является 167 кг «объемного веса» за кубический метр. Если объемный вес оказался меньше этого значения, то для исчисления ставок фрахта используют вес, рассчитанный произведением 167 кг и объема груза. В противном случае используют фактический вес.

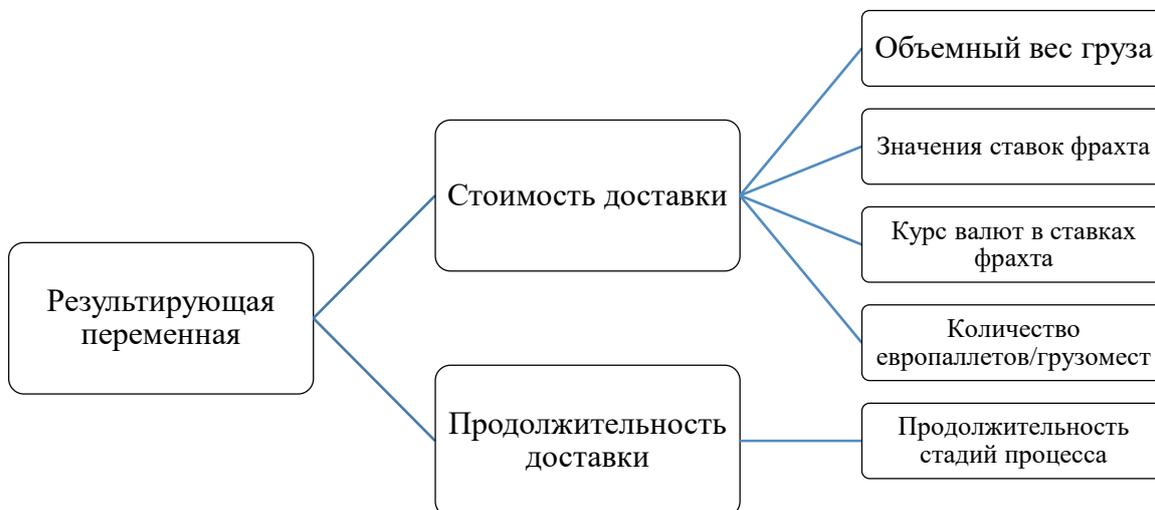


Рисунок 10. Зависимость результирующей переменной от прочих параметров системы. Составлено автором.

В качестве такой переменной может быть выбрана предельная стоимость минуты поставки. Продолжительная и относительно более выгодная по стоимости поставка для компании может оказаться невыгодной в двух случаях.

Во-первых, обслуживание замороженных оборотных средств в запасе в виде груза «в пути» оказывается больше выгоды от экономии на ставках фрахта. Подразумевается, что компания финансирует запасы за счёт кредита. Если груз, находящийся в пути считается собственностью грузополучателя, то срок «заморозки» оборотных средств в запасе «в пути» увеличивается ввиду большей продолжительности поставки, так как грузополучателю придется раньше «купить» груз.

Таким образом, результирующая переменная должна учитывать стоимость груза и банковский процент. Тогда стоимость предельной минуты для компании будет высчитываться по следующей формуле:

$$p = \frac{C_M \cdot r\%}{t}$$

Где:

p – стоимость предельной минуты доставки груза

C_m – стоимость материалов в грузе

r - годовая процентная ставка под финансирование оборотных средств

$t = 60 \cdot 24 \cdot 365 = 525600$ – количество минут в году

На следующем этапе необходимо сравнить параметр k , характеризующий выгоду от каждой дополнительной минуты доставки, со стоимостью предельной минуты доставки груза (p):

$$k = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Где:

Δs – выигрыш стоимости между альтернативными вариантами поставки

Δt – разница во времени в минутах между альтернативными вариантами поставки

Таким образом, мы сравниваем выгоду, которую каждую минуту будет получать компания ввиду использования варианта с более низкими ставками фрахта с потерями, которые она несёт каждую минуту ввиду заморозки оборотных средств под запасы «в пути».

Если $k > p$, то компании при прочих равных целесообразно выбрать более продолжительные, но менее затратный вариант

Если $k < p$, то компании при прочих равных целесообразно выбрать менее продолжительный, но более затратный вариант

Во-вторых, при выборе более продолжительного варианта необходимо сравнивать его продолжительность с оставшимся временем до планируемой даты ввода материала в производство. То есть может оказаться, что мы используем более экономически целесообразный маршрут, но практически это абсолютно нецелесообразно, так как главная цель любой поставки – доставить к указанному сроку не будет выполнена.

Из доказанного следует, что результирующая переменная является «ядром» имитационной модели, поскольку именно от неё зависит выполнение основной задачи построения. В частности, в зависимости от неё задаются базовые элементы моделирования, такие как модельное время и уровень абстракции.

После введения основной результирующей переменной и набора, влияющих на неё параметров, можно переходить к построению качественной имитационной модели,

представляющей необходимое количество информации для принятия взвешенного управленческого решения.

3.2 Методология построения имитационной модели

При выборе наиболее подходящей среды имитационного моделирования в целях выбора оптимального маршрута доставки следует обратить внимание на следующие факторы:

- Общецелевые среды (MatLab, Arena, AnyLogic, GPSS), характеризующиеся наличием встроенных библиотек, упрощающих и сокращающих процесс моделирования, являются наиболее подходящими для бизнеса в современных динамичных условиях. Кроме того, использование таких сред не требует глубинных знаний в области программирования и написания служебных процедур. Компании не придется нанимать дополнительных сотрудников, работе с системой можно обучить действующий персонал знакомый с процессом.
- Предпочтителен выбор среды с инструментами как дискретно-событийного, так и «агентного» моделирования. Данное условие подразумевает возможность смоделировать не только ход процесса, но и объекта, в качестве которого в логистических потоках выступает груз.
- Наличие визуального конструктора, предоставляющего возможности анимации и запуска модели на любой стадии готовности. Это условие существенно важно по двум причинам. Во-первых, доказательство целесообразности принятия управленческого решения в случае необходимости можно наглядно презентовать. Во-вторых, инструмент заметно упрощает построения модели для начинающих пользователей.

Для моделирования рассматриваемого процесса нами была выбрана бесплатная учебная версия среды AnyLogic. Заслуживающий внимания сравнительный анализ общецелевых сред имитационного моделирования представлен в исследовании С.А. Даденкова и Е.Л. Кона⁴⁵. Полученные ими результаты в виде итоговой таблице отражены в приложении 5.

В отличие от физических объектов при моделировании бизнес-процессов недостаточно с максимальной точностью воссоздать цифровую копию. При имитации бизнес-процесса

⁴⁵ С.А. Даденков и Е.Л. Кона. Выбор среды имитационного моделирования информационно-управляющих сетей // Вестник Пермского Университета. - №1. - 2019

необходимо выбрать наиболее подходящий с точки зрения задач моделирования уровень абстракции.

Это означает, что модель должна включать элементы, управление которыми будет приводить к значимым изменениям переменных, отражающих эффективность процесса. В то же время при моделировании стоит отказаться от избыточных блоков, то есть блоков, не оказывающих существенного влияния на результирующую переменную

Ключевыми блоками в случае моделирования в целях выбора оптимального маршрута поставки являются следующие:

1. Блок *source* – источник основного объекта, в случаях логистических потоков в качестве которого выбирают груз. Параметры груза могут быть заданы при помощи переменных или по средствам базы данных.

В случае необходимости может быть задан подпроцесс обработки заявки на авиапоставку. В таком случае будет два источника. Основной источник будет запускать груз в модель после обработки заявки менеджерами поставщика по средствам функции *inject* (). Дополнительный источник может запускать заявку в указанное время, согласно некоторой интенсивности или расписанию, или нажатием оператора, работающего с системой, на специальную кнопку со встроенной функцией *inject* ().

2. Блок *split* создает копию объекта и позволяет ей двигаться по альтернативному маршруту. В модели для «ООО Ниссан Мэнүфэчуринг Рус» мы использовали его в аэропорту Дубай, так как именно после этого момента появляется альтернативный вариант, основной объект движется через Санкт-Петербург, а его копия через Москву.

В этом же блоке для объекта и его копии могут быть заданы коды, позволяющие рассчитать стоимость их поставки. Этот код может быть задан линейно или при помощи системной динамики (зависимостей нескольких переменных друг от друга). В нем необходимо отразить особенности расчёта для каждого конкретного случая. Например, в рассматриваемом случае имели место разные ставки авиафрахта в зависимости от объёмного веса груза.

3. Блоки измерений времени, в которые закладывается формула расчёта времени. Накопленную информацию этих блоков можно демонстрировать при помощи графика.
4. Блоки перемещений и задержек, в которых задаётся время согласно выбранному распределению случайной величины
5. Блоки захвата и высвобождения ресурса, в которых происходит обслуживание объекта ресурсами согласно расписанию доступности ресурсов

Также в модели процесса поставки необходимо использовать многочисленные переменные ставок фрахта и курсов валют. При этом их следует указывать в специальных текстовых полях, для возможности мгновенной корректировки в момент запуска модели.

Помимо ключевых блоков и переменных необходимых для построения маршрутных сетей стоит учитывать индивидуальные особенности каждого конкретно процесса. К примеру, в рассматриваемой ситуации анализ информации о реальном процессе, предшествующий построению модели, показал, что 20% грузов в аэропорту Пулково отправляются на повторный таможенный досмотр. Было принято решение воспользоваться блоком SelectOutput, распределяющим объектов по разным маршрутам согласно заданным вероятностям. Подобная ситуация происходит с транспортной компанией, готовой доставлять груз из Шереметьево. Из коммерческого предложения которой следует, что вывоз груза в составе более двух европаллетов будет производиться в этот же день, а менее двух - в течении одного, двух дней. При такой формулировке так же целесообразным является использование блока SelectOutput.

Более подробный список блоков, используемых нами в имитационной модели процесса завода Ниссан представлен в приложении 4.

При построении модели для выбора оптимального маршрута поставки возникает вопрос относительно информационной составляющей блоков модели.

Информацию о расписаниях доступности транспорта, работы таможенной службы можно найти в открытых источниках.

Проектирование некоторых блоков модели невозможно без использования внутренней логистической информации фирмы. В качестве наиболее ценных в этом вопросе будут:

- Трейсинг – хронологический набор данных о прохождении логистического пути различными грузами
- Биллинг счета, в которых отражена стоимость той или иной поставки.
- Номинационные листы – документы, в которых отражены ставки авиафрахта, используемые логистическими посредниками в конкретный временной период.

Таблица 14. Блоки модели, проектируемые с использованием внутренней информации

Наименование блока	Документ	Информация
Переменные – ставки фрахта	Номинационный лист	Значение переменной по умолчанию совпадает со ставкой в номинационном листе. При этом желательно оставить возможность изменения переменной в ходе

		запуска модели для анализа различных сценариев.
Источник объекта	Трейсинг	При запуске эксперимента в целях среднесрочного анализа (например, 1 год), может быть использована информация об объекте и об интенсивности его выхода из трейсинга
Время обслуживания на таможне	Трейсинг	Позволяет оценить минимальное, максимальное и среднее время обслуживания груза на таможне в аэропорту и заложить его в модель, например в виде треугольного распределения
Время ожидания в аэропорту прибытия	Трейсинг, коммерческие предложения конкурентов	Позволяет оценить работу транспортной службы на предмет того, как быстро посредник забирает растаможенный груз из аэропорта. Для альтернативных вариантов поставки могут быть использованы коммерческие предложения конкурентов.

Трейсинг может быть полезен и на завершающем этапе построения. Когда модель готова, при помощи сопоставления контрольных запусков модели с трейсингом можно определить её адекватность.

3.3 Экспериментальные исследования на основе имитационной модели

Под «гибким» выбором оптимального маршрута поставки будем понимать возможность выбора маршрута для каждого отдельного груза в зависимости от обстоятельств, численные характеристики которых мы получаем из имитационной модели.

Как было показано в пункте 3.1 ключевым при гибком выборе оптимального варианта доставки является анализ результирующей переменной. В качестве такой переменной нами была предложена выгода от каждой дополнительной минуты доставки (k). Также была доказана необходимость её сопоставление со стоимостью предельной минуты доставки груза (p).

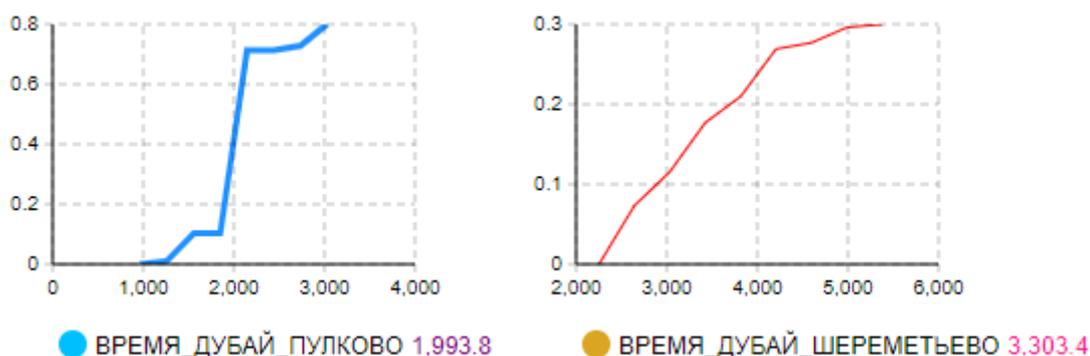
При помощи имитационной модели мы проанализировали параметры, которые влияют на результирующую переменную – время доставки и стоимость доставки для рассматриваемого примера.

Анализ разницы во времени между альтернативными маршрутами

При этом для оценки показателя Δt (характеризует разницу во времени между альтернативными вариантами) были сделаны допущения:

1. Количество евро-паллетов задано распределением вероятностей на основе данных о предыдущих 140 заказах из США (46 (32,9%) из них состояли более чем из двух паллетов).
2. Для более точной оценки и отражения особенностей расписания, было решено запускать груз в течении недели, каждый час, каждый 2 часа и каждые 3 часа. Таким образом, вывод делается на основе 56, 84 и 168 наблюдений соответственно.

Далее было сопоставлено среднее время доставки по двум альтернативным вариантам (Дубай – Москва Шереметьево – Склад Бугры и Дубай – Санкт-Петербург Пулково – Склад Бугры). Для 168 наблюдений получились следующие значения:



Среднеквадр. отклонение 387.52 Среднеквадр. отклонение 721.296
 Доверит. интервал для среднего 80.596 Доверит. интервал для среднего 150.015

	«через Пулково»	«через Шереметьево»
Коэффициент вариации	19,44%	21,84%

Рисунок 11 Сопоставления среднего времени поставки по двум альтернативам. Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

Как видим из графика, среднее время доставки через Пулково на 1304 минуты (21,7 часа) меньше среднего времени доставки через Шереметьево (Δt). Сопоставление коэффициентов вариации указывает на то, что время доставки через Пулково стабильнее, это связано с зависимостью времени доставки из Москвы в зависимости от количества евро-паллетов (вводные данные имитационной модели).

Анализ выигрыша в стоимости поставки и выбор оптимального варианта

На следующем этапе необходимо сделать оценку параметра Δs , характеризующего различие в стоимости доставки по альтернативным вариантам. Как было показано, этот параметр зависит от 4-х независимых переменных: объемного веса груза, курса иностранной валюты, количества паллетов, ставок авиафрахта.

Сначала проанализируем зависимость стоимости от объемного веса груза. Для этого возьмем все прочие переменные по среднегодовым значениям: количество паллетов – 1, курс доллара – 66,95 рублей, ставки авиафрахта по умолчанию из номинационного листа.

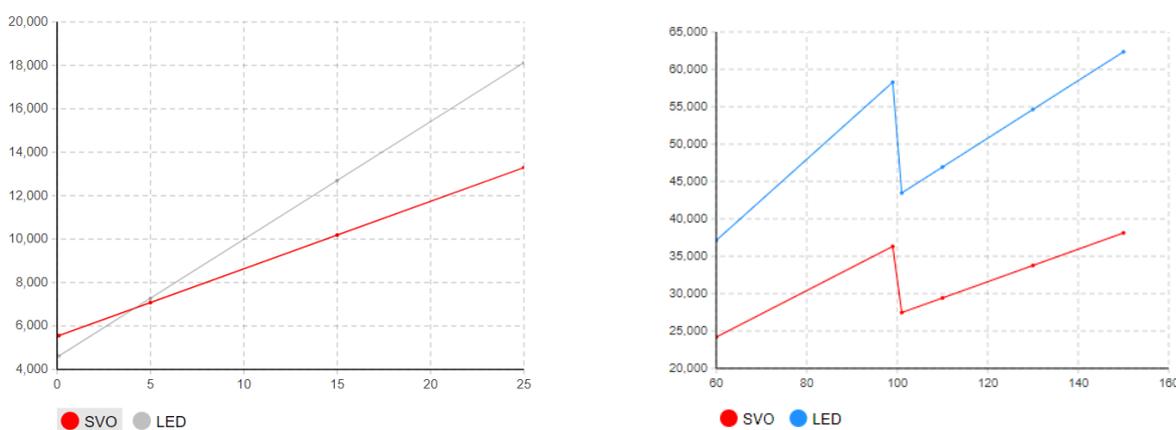


Рисунок 12. Зависимость стоимости доставки от объемного веса груза. Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

Анализ данной зависимости полезен для принятия управленческого решения по двум аспектам: определение объемного веса груза, начиная с которого выгоднее использовать альтернативный вариант; определение оптимального веса для текущих ставок. К примеру, из данного графика видно, что при текущих ставках авиафрахта доставка груза через Москву выгоднее при объемном весе свыше 4 кг. При этом в случае, если вес больше 70 кг, то выгоднее увеличить его до 100 кг. Данный парадокс происходит по причине существенного изменения ставки авиафрахта при весе более 100 кг.

На следующем этапе можно проанализировать влияние курса иностранной валюты на выбор альтернативного варианта. Наиболее наглядными в этом случае будут:

- график для среднего объемного веса поставки для определения курса валюты при котором вести груз по альтернативному варианту становится выгоднее. В нашем случае для среднего объемного веса поставки 430 кг получилось 6 руб. за доллар.

- график линии отсечения, характеризующей объемный вес и курс доллара при которых стоимость поставки по сравниваемым вариантам одинакова.

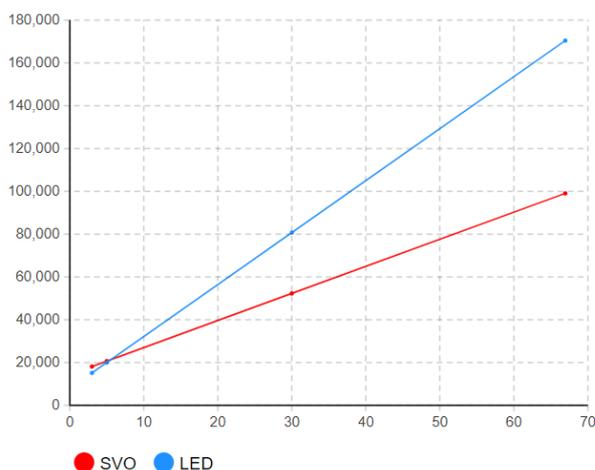


Рисунок 13. Зависимость стоимости доставки от курса иностранной валюты. Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

На завершающем этапе подобным образом проанализируем зависимость стоимости от количества европаллетов в грузе. В рассматриваемом примере для среднего груза получилось значение 22 паллета. Стоимость доставки через Пулковое не зависит от количества европаллетов, потому что изображена горизонтальной линией. В этом случае так же будет уместен график линии отсечения.

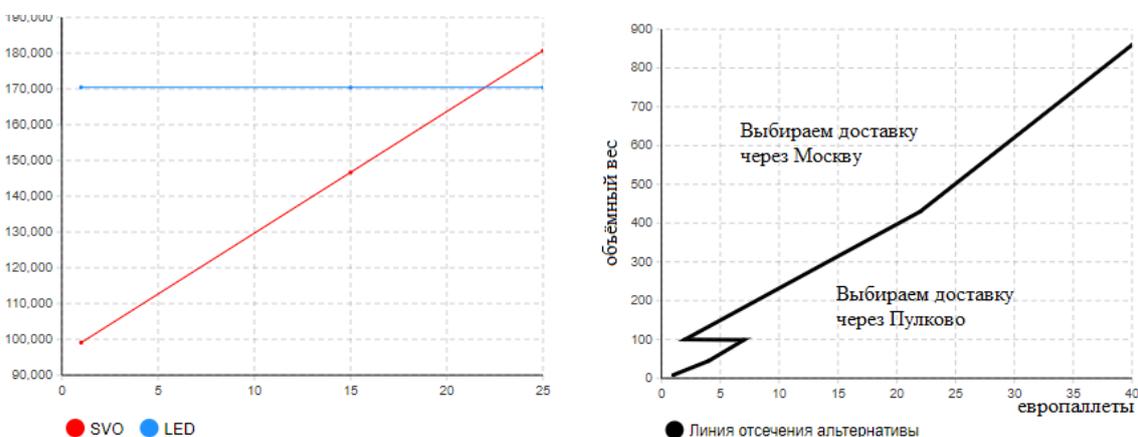


Рисунок 14. Зависимость стоимости доставки от количества грузомест. Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

В зависимости от 4-х независимых переменных переменная стоимости поставки может принимать различные значения. При проведении исследования стоит настроить расчёт этого показателя в имитационной модели. В случае запуска груза со средним объёмным весом 430,6 кг в рассматриваемом примере показатель Δs (выигрыш в стоимости поставки от использования альтернативного варианта) составил 71 366 рублей.

Таким образом показатель k (выгода от каждой дополнительной минуты доставки) для груза средних размеров:

$$k = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{71366 \text{ рублей}}{1304 \text{ минуты}} = 54,73 \frac{\text{руб.}}{\text{мин.}}$$

На завершающем этапе необходимо сравнить полученное значение с потерями от «замораживания» оборотных средств в запасе в пути (p). Этот параметр так же индивидуален для каждого груза и высчитывается при установке значений при запуске модели. Для наглядности предположим, что наш груз со средним объемным весом имеет стоимость 1 млн. рублей и компания финансирует эту покупку за счёт кредиторской задолженности под 12% годовых. Тогда дополнительные потери от более продолжительной «заморозки» оборотных средств в запасе составят:

$$p = \frac{C_M \cdot r\%}{t} = \frac{1\,000\,000 \cdot 12\%}{525600} = 0,23 \frac{\text{руб.}}{\text{мин.}}$$

Далее ответственный за процесс сравнивает показатели k и p и принимает решение о выборе оптимального маршрута поставки. К примеру, в нашем случае для груза с объемным весом в 430,6 кг выигрыш в стоимости превышает потери от заморозки средств, потому при прочих равных условиях целесообразно выбрать более продолжительный, но более дешевый вариант – доставка через Москву

Оценка экономического эффекта, который будет получен после внедрения гибкой маршрутизации в учебных условиях функционирования системы

Экономический эффект от предложенной инициативы будет зависеть от производственного плана завода ООО «Ниссан Мэнюфэкчуринг Рус» в Санкт-Петербурге. В случае увеличения объёмов производства автомобилей авиапоставки будут использоваться чаще и экономический эффект будет количественно более значительным.

Отталкиваясь от данных по количеству заказов и весу заказов за три года (2017,2018, 2019), мы спрогнозировали количество заказов на следующий год для трех сценариев: пессимистического (сокращение количества заказов на 20% относительно среднего), планового (сохранение среднего показателя за 3 года) и оптимистического (увеличение показателя на 20% относительно среднего) при использовании текущих ставок фрахта. При моделировании использовался средний курс доллара за прошедший год – 66,95 рублей. Количество грузомест задаётся распределением на основе статистики за три года. Вес каждого конкретного груза задается в модели нормальным распределением со средним значением 437

кг и стандартным распределением 371 кг, на основе данные за прошедшие 3 года. Данные о количестве заказов представлены в таблице.

Таблица 15. Данные по доставкам в Санкт-Петербург из США с 2017 по 2019 год.

Год	Количество авиапоставок из США	Средний объемный вес авиапоставки
2019	70	503
2018	79	428
2017	80	388

Составлено автором на основе данных ООО «Ниссан Мэнюфэкчуринг Рус»

Таблица 16. Входные данные эксперимента имитационной модели для различных сценариев

Сценарий	Количество заказов	Распределение, задающее объёмный вес заказа	Курс доллара в имитационной модели	Распределение, задающее количество грузомест
планоавый	76	normal (437; 371)	66,95	1 – 53%, 2 – 14% 3 – 11%, 4 – 9% 5 – 7%, 6 – 6%
оптимистический	91			
пессимистический	60			

Составлено автором на основе данных ООО «Ниссан Мэнюфэкчуринг Рус»

Результатом проведенного эксперимента является сопоставление затрат на доставку только через Санкт-Петербург с затратами при использовании «гибкого» маршрута.

Эффект от использования «гибкого маршрута» состоит из двух составляющих.

Первая заключается в том, что альтернативный вариант может оказаться в большинстве случаев выгоднее, чем используемый компанией ранее. Например, так оказалось в рассматриваемом случае. Сопоставление затрат между вариантами «доставка только через Москву (SVO)» и «только через Петербург (LED)» представлено на рисунках.

dataCostLED		dataCostSVO	
Кол-во	76	Кол-во	76
Среднее	165,172.348	Среднее	100,036.011
Мин	8,358.064	Мин	7,696.091
Макс	338,570.016	Макс	193,903.361
Среднеквадр. отклонение	92,731.21	Среднеквадр. отклонение	52,455.214
Доверит. интервал для среднего	21,167.629	Доверит. интервал для среднего	11,973.881
Сумма	12,553,098.421	Сумма	7,602,736.818

Рисунок 15. Результаты эксперимента. Затраты на доставку через Пулково и Шереметьево при плановом сценарии. Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

dataCostLED		dataCostSVO	
Кол-во	60	Кол-во	60
Среднее	173,403.803	Среднее	104,815.05
Мин	8,358.064	Мин	7,696.091
Макс	338,570.016	Макс	193,903.361
Среднеквадр. отклонение	94,028.482	Среднеквадр. отклонение	53,520.74
Доверит. интервал для среднего	24,278.05	Доверит. интервал для среднего	13,818.996
Сумма	10,404,228.199	Сумма	6,288,903.006

Рисунок 16. Результаты эксперимента. Затраты на доставку через Пулково и Шереметьево при пессимистическом сценарии. Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

dataCostLED		dataCostSVO	
Кол-во	91	Кол-во	91
Среднее	164,679.694	Среднее	100,492.874
Мин	6,187.742	Мин	6,452.039
Макс	338,570.016	Макс	193,903.361
Среднеквадр. отклонение	88,561.795	Среднеквадр. отклонение	50,337.832
Доверит. интервал для среднего	18,419.057	Доверит. интервал для среднего	10,469.248
Сумма	14,985,852.146	Сумма	9,144,851.496

Рисунок 17. Результаты эксперимента. Затраты на доставку через Пулково и Шереметьево при оптимистическом сценарии. Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

Как видно из рисунков, если рассматриваемая компания будет доставлять все грузы через Москву, то ее годовые затраты сократятся в плановом сценарии на 4,95 млн. рублей.

Вторая составляющая эффекта от использования стратегии «гибкого» маршрута заключается в возможности использования для разных грузов различных вариантов доставки. К примеру, в эксперименте для планового сценария это было выгодно для 4-х из 76 грузов (то есть эти грузы было выгоднее доставлять через Пулково в отличие от других), что сократит затраты компании еще на 17 144 рубля.

Безусловно в зависимости от конкретных параметров задачи: ставок фрахта, курса валюты, веса и объёма доставляемых грузов величины составляющих будут меняться. Однако мы можем утверждать, что переходя к использованию стратегии «гибкого» маршрута, компании будут наблюдать две составляющие положительного эффекта.

Таблица 17. Результаты проведенного эксперимента

Сценарий	Затраты через Санкт-Петербург	Стратегия «гибкого» маршрута	Абсолютное сокращение затрат	Относительное сокращение затрат
плановый	12 553 098	7 585 592	4 967 506	39,6%
оптимистический	14 985 852	9 127 707	5 858 145	39,1%
пессимистический	10 404 228	6 288 903	4 115 325	39,6%

Составлено автором

Как видно из таблицы 17, экономический эффект перехода к стратегии «гибкого» маршрута в плановом сценарии составит 4,97 млн. рублей.

Анализ функционирование системы в случае транспортных сбоев

Следующий положительный эффект, который будет получен компанией после перехода к стратегии «гибкого» маршрута, будет заключаться в возможности быстрого восстановления запасов в случае транспортных сбоев за счёт использования альтернативного маршрута.

В рамках исследования мы выделили уязвимые транспортные узлы и вероятность возникновения на них различных транспортных сбоев, а также определили продолжительность транспортных сбоев.

Таблица 18. Входные данные имитационной модели относительно транспортных сбоев и уязвимых узлах.

Узел модели, который не может покинуть груз	Риск	Частота возникновения	Продолжительность
Доставка рейсом Дубай – Санкт-Петербург			
Аэропорт Пулково ЖДЁТ_ПИТЕР 	Временно не принимает рейсы либо отмена рейса авиакомпанией	1 раз в 5 лет	Triangular («минимально» -1; «в среднем» - 5; «максимально» - 60) в днях
Аэропорт Пулково ТАМОЖНЯ_LED 	Проблемы с прохождением таможни грузами в Пулково	1 раз в 3 года	Triangular («минимально» -1; «в среднем» - 15; «максимально» - 30) в днях
Доставка рейсом Дубай - Москва			
Аэропорт Шереметьево ЖДЁТ_МОСКВУ 	Временно не принимает рейсы либо отмена рейса авиакомпанией	1 раз в 5 лет	Triangular («минимально» -1; «в среднем» - 5; «максимально» - 60) в днях
Аэропорт Дубай  ТАМОЖНЯ_SVO	Потеря груза, направляющегося в Шереметьево	1 раз в год	Triangular («минимально» -3; «в среднем» - 6; «максимально» - 9) в днях

Дорога Москва – Санкт-Петербург ПУТЬ_ИЗ_SVO 	Временное отсутствие транспортного сообщения или проблемы с таможней в Шереметьево	1 раз в 2 года	Triangular («минимально» -1; «в среднем» - 15; «максимально» - 30) в днях
---	--	----------------	---

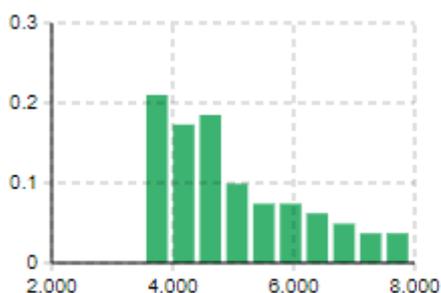
Составлено автором при помощи сотрудников отдела производственного контроля ООО «Ниссан Мэнюфэкчуринг Рус»

Далее нами был проведен эксперимент, и мы определили среднее время задержки поставки для каждого из случаев при использовании альтернативного маршрута.

Таблица 19. Результаты проведенного эксперимента

Транспортный сбой	Оставшееся среднее время до прибытия в конечную точку на момент сбоя	Среднее время доставки аналогичного груза альтернативным маршрутом	Среднее дополнительное время ожидания в результате транспортного сбоя
Груз не может быть отправлен из Дубая в Пулково	1994 минуты	6122 минуты	4128 минут
Груз не может быть отправлен из Пулково на завод	120 минут	6122 минуты	6002 минуты
Груз не может быть отправлен из Дубая в Шереметьево	3304 минуты	5012 минут	1708 минут
Груз не обнаружен в Шереметьево	1500 минут	5012 минут	3512 минут
Груз не может быть отправлен из Шереметьево в Санкт-Петербург	600 минут	5012 минут	4412 минут

Составлено автором в результате эксперимента в среде AnyLogic



● СРЕДНЕЕ_ВРЕМЯ_ПУЛКОВО 5,012.14

Среднеквадр. отклонение 435.156
Доверит. интервал для среднего 90.504

Рисунок 18. Среднее время доставки груза через Пулково (от отправления заявки до прибытия груза на завод). Составлено средой моделирования AnyLogic в результате эксперимента автора.

Так как отсутствие комплектующих на производственной линии ввиду транспортных сбоев может привести к её остановке и к существенным финансовым потерям компании, менеджеры, отвечающие за поставку материалов, должны учитывать при заказе запас во времени на случай возникновения транспортного сбоя. В нашем случае как показывает эксперимент этот запас должен быть равен самому большому дополнительному времени доставки груза, то есть 6437 минут с учетом среднеквадратического отклонения, если груз изначально доставляется через Пулково и 4847 минут для доставки через Шереметьево.

Если условие обеспечения максимально уровня обслуживания сформулировано не так строго, то есть компания несет издержки пропорционально количеству неудовлетворенных заказов, то необходимо сопоставить потери в избыточных запасах в обычных условиях с потерями от неудовлетворенных клиентов в момент возникновения транспортного сбоя.

Анализ полученных результатов и дискуссия

Проведённые эксперименты и расчёты подтвердили нашу гипотезу о том, что альтернативный маршрут может быть более эффективным чем основной не только в случае возникновения сбоев, но и в стандартных условиях. В таблице систематизированы положительные эффекты от использования стратегии гибкого маршрута

Таблица 20. Систематизация положительных эффектов от использования стратегии гибкого маршрута

Эффекты	Стандартный сценарий	Сценарий возникновения сбоя
Основной	Использование альтернативного маршрута для всех грузов, если он в среднем в данных условиях выгоднее основного маршрута	В случае транспортного сбоя на основном направлении появляется возможность доставки резервного груза альтернативным маршрутом
В примере для процесса ООО «Ниссан Мэнюфэкчуринг Рус»	Затраты на доставку сократятся на 4, 95 млн. рублей, если доставлять все грузы через Москву.	Доставка через Шереметьево займет 6122 минуты, доставка через Пулково 5012 минут.
Дополнительный	Использование оптимального маршрута в зависимости от индивидуальных параметров груза. Выбор маршрута производится на основе результирующей переменной компромисса, в качестве которой может использоваться выделенная нами предельная стоимость минуты доставки (п. 3.1)	Появляется возможность создать запас в конечной точке на случай сбоя или запас во времени при заказывании. Этот запас должен быть достаточным для удовлетворения потребностей следующего процесса (или клиента) на протяжении времени необходимого для доставки груза альтернативным маршрутом. Для случаев, когда при возникновении сбоя в цепи поставок можно

		допустить некоторое количество неудовлетворенных клиентов в целях сокращения запасов в конечной точке, целесообразно использовать показатель ICER (п. 2.2)
В примере для процесса ООО «Ниссан Мэнуфэкчуринг Рус»	Затраты на доставку сократятся на 4, 97 млн. рублей. Если доставлять грузы по оптимальному маршруту в зависимости от их индивидуальных особенностей.	Учитывая специфику деятельности автомобилестроительного завода, задержка груза не допускается, следовательно запас во времени заказа должен быть равен самому большому дополнительному времени доставки груза, то есть 6437 минут с учетом среднеквадратического отклонения, если груз изначально доставляется через Пулково и 4847 минут для доставки через Шереметьево.

Составлено автором

Данная систематизация позволяет нам выйти за рамки рассмотрения процесса доставки исключительно как результата воздействия спроса и предложения и сосредоточить большее внимание на внутренних особенностях процесса: используемом транспорте, тарифах фрахта, курсе валют в тарифах, параметрах груза.

Анализируя более комплексную картину, мы сможем максимально использовать прикладные возможности метода имитационного моделирования. В работе показано как избавление от допущения об экономической нецелесообразности альтернативного варианта в стандартных условиях, позволяет нам оптимизировать процесс с использованием результирующей переменной компромисса, в качестве которой мы предложили предельную стоимость минуты доставки.

Систематизация положительных эффектов от внедрения стратегии гибкого маршрута может быть полезной для дальнейших исследований внедрения стратегии избыточной гибкости и оптимального расположения запасов в цепи поставок с использованием коэффициента ICER.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы выделили BPM, lean manufacturing, sustainable development и автоматизация (BPMS, RPA) как основные современные концепции, задающие направления применения основных подходов к развитию бизнес-процессов, реинжинирингу и совершенствованию. Впоследствии мы дали определение метода совершенствования бизнес процессов, определив его как набор приемов, механизм или методику непрерывного анализа процесса, преимущественно направленных на выработку задач улучшения, детальное видение результата, с возможностью его оценки. После этого, мы выделили 5 организационных и 5 количественных методов совершенствования, которые удовлетворяют данному определению и описали их характерные особенности. Впоследствии мы сопоставили выделенные методы с подходами, в рамках которых они реализуются. Так, выделенные нами количественные методы, в том числе имитационное моделирование, применимы исключительно при совершенствовании процессов, в то время как ряд организационных методов (бенчмаркинг, структурирование функции качества, идеализация) можно использовать и при реинжиниринге.

Определив имитационное моделирование как метод совершенствования бизнес-процессов и описав основные этапы совершенствования процесса в рамках этого метода, нам удалось выделить основные ошибки, которые могут возникнуть на пути совершенствования процесса этим методом. Практическая значимость этих шагов отразилась в практической части работы, при построении имитационной модели процесса.

Дальнейший ход исследования был направлен на анализ актуальной научной проблематики в области совершенствования логистических процессов при помощи имитационного моделирования. Основной вывод, сделанный в данной части, заключается в том, что эксперименты с имитационными моделями логистических процессов предоставляют дополнительную информацию для принятия управленческих решений при планировании оптимального размера запаса, оптимальной частоты заказов и выбора стратегии смягчения последствий сбоев.

Сосредоточившись на стратегиях минимизации последствий сбоев, мы выделили факторы, влияющие на выбор стратегии минимизации последствий сбоев в цепи поставок: издержки, которые несёт предприятия в случае отсутствия объекта транспортировки в конечной точке; наличие ресурсов для финансирования системы смягчения последствий рисков; наличие соответствующей транспортной инфраструктуры; логистическая концепция предприятия (матрица соответствия перечисленных факторов стратегиям представлена в п. 2.2)

В нашем исследовании мы сосредоточились на стратегии гибкого маршрута в рамках минимизации последствий сбоев. Мы выдвинули гипотезу, что гибкий маршрут может быть экономически выгоден не только при реализации сбоев, но и в обычном сценарии. Подтверждению этой гипотезы и определению влияющих факторов посвящена практическая часть работы.

В результате проделанной работы была достигнута основная цель исследования – был разработан и реализован на практике алгоритм построения гибкой маршрутной сети с использованием имитационного моделирования в условиях ограниченных финансовых ресурсов фирмы.

В ходе анализа научной литературы и выполнения практической части работы мы пришли к выводам, в которых заключается научная новизна работы и имеющим научное и прикладное значение:

1. Алгоритм построения гибкой маршрутной сети в условиях ограниченных ресурсов включает следующие шаги: выбор одного исходного направления (поставщика) для оптимизации, определение подхода к построению гибкой системы (резервирование или диверсификация), построение имитационной модели текущего процесса, выявление уязвимых логистических узлов, составление списка вероятных нарушений, прогнозирование частоты и продолжительности указанных нарушений, оценка издержек отсутствия груза в конечной точке, добавление альтернативных маршрутов доставки в имитационную модель, оценка результатов, выбор следующего направления (поставщика) для построения модели.
2. Целесообразность разработки альтернативных маршрутов доставки с использованием имитационных моделей заключается не только в смягчении последствий сбоев, но и в получении эффекта от использования более оптимального варианта доставки в зависимости от характеристик груза. (подтверждению этой гипотезы и систематизации эффектов от использования стратегии гибкого маршрута при реализации различных сценариев посвящена практическая часть данной работы)
3. Выбор оптимального маршрута доставки груза не может быть сделан без внедрения и анализа результирующей переменной «компромисса», в качестве которой была предложена выгода от каждой дополнительной минуты доставки (k). Необходимо сопоставлять её с потерями, заключающимися в стоимости предельной минуты доставки груза (p) и вызванными необходимостью более длительного обслуживания оборотных средств в запасе «в пути».

Особое внимание в работе уделено рекомендациям по построению наиболее подходящей имитационной модели для процесса доставки груза авиатранспортом. В частности, были рассмотрены преимущества использования общецелевых сред моделирования для данного процесса, выделены необходимые блоки построения имитационной модели, а также указаны наиболее ценные источники информации при моделировании данного процесса.

При помощи построенной имитационной модели мы проанализировали параметры, которые влияют на результирующую переменную – время доставки и стоимость доставки, а также проанализировали поведение системы в обычных условиях для трех сценариев деловой активности предприятия и в случае возникновения сбоя. Нами был рассчитан запас во времени после предполагаемого прибытия груза на завод до ввода в производство необходимый для смягчения последствий транспортных сбоев.

Представленный механизм создания гибких маршрутных сетей с применением имитационного моделирования был подтвержден на практике и может эффективно использоваться предприятиями, оптимизирующими логистические процессы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андерсен Бьёрн. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования /Пер. с англ. С.В. Ариничева /Науч. ред. Ю.П. Адлер. - М.: РИА «Стандарты и качество», 2003.- 272 с, илл.. - (Серия «Практический менеджмент»). ISBN 5-94938-012-6
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. М.: Наука, 1976.
3. Громов А. И., Фляйшман А., Шмидт В. Управление бизнес-процессами: современные методы: монография; под редакцией А. И. Громова. М.: Издательство Юрайт, 2016. 368
4. Даденков С. А. и Кон Е. Л. Выбор среды имитационного моделирования информационно-управляющих сетей // Вестник Пермского Университета. - №1. - 2019
5. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.: ил.
6. Кудж С.А., Логинова А. С. Моделирование с использованием сетей Петри // Вестник МГТУ МИРЭА 2015 № 1 (6)
7. Кулагина Н. А., Исайченко В. В. Методология комплексной оценки стратегической позиции фирмы на основе оптимизации бизнес-процессов // Экономика и предпринимательство, 2015. № 5. С. 1157-1162
8. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов М.А. «Сети Петри в моделировании и управлении» Л.: Наука, 1989.-133с.
9. Лишнев К. О. Логистическая координация в цепях контейнерных поставок автокомпонентов: диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.05: - Санкт-Петербург, 2017
10. Ляндау Ю.В., Пономарев М. А. Два подхода к совершенствованию бизнес-процессов // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. 2013. № 4 (35)
11. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар.гос. техн. ун-т, 2016 – 131 с.: ил.
12. Миняев Е.В. Методы совершенствования бизнес-процессов // Вестник Омского университета. Серия «Экономика», 2010, №1 (25-29)
13. Пегушина А. А Бенчмаркинг и реинжиниринг: особенности методов в совершенствовании бизнес-процессов // Проблемы современной науки, 2017, №1 (32-36)
14. Петухов О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое: учеб. пособие / Петухов О.А., Морозов А.В., Петухова Е.О. – Спб.:Изд-во СЗТУ, 2008.
15. Занятость и экономический рост / под ред. К. Писсаридеса, О.Л. Маргания, С.А. Белозерова. – СПб: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2018. – 306 с. ISBN 978-5-288-05802-8
16. Управление бизнесом в цифровой экономике: вызовы и решения / под ред. И.А. Аренкова, Т.А. Лезиной, М.К. Ценжарик, Е.Г. Черновой. – Спб: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2019. – 360 с. ISBN 978-5-288-05966-7
17. Aguilar-Saven R.S. 2004. Business process modelling: Review and framework, International Journal of Production Economics. 90: 129– 149
18. Albertzeth G., Pujawan N. Mitigating transportation disruptions in a supply chain: a cost-effective strategy // International Journal of Logistics Research and Applications 2020, VOL. 23, NO. 2, 139–158
19. Angkiriwang, R., I. N. Pujawan, and B. Santosa. 2014. “Managing Uncertainty Through Supply Chain Flexibility: Reactive vs. Proactive Approaches.” Production & Manufacturing Research 2 (1): 50–70
20. AnyLogic Simulation Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://help.anylogic.ru>,

21. Aune, Asbjorn. Kvalitetsstyrte bedrifter (The title translates to Quality-Managed Companies). Ad Notam, Oslo, Norway, 1993
22. Breeden D., Viswanathan S. Why do firms hedge? An asymmetric information model //Fuqua School of Business, Working Paper. – 1998.
23. Christopher, M., and H. Peck. Building the Resilient Supply Chain. International Journal of Logistics Management 15 (2): 1–13.
24. Fowler M. UML distilled: a brief guide to the standard object modeling language. – Addison-Wesley Professional, 2004.
25. Harrington, H. James. Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness. McGraw-Hill, New York, USA, 1991
26. Ishfaq, R. 2012. “Resilience Through Flexibility in Transportation Operations.” International Journal of Logistics
27. Ivanov D. Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case // Transportation Research Part E 136 (2020) 101922 Research and Applications 15 (4): 215–229.
28. Jon H. Marvel, Charles R. Standridge A simulation-enhanced lean design process // Journal of industrial engineering and management. – 2019. - №2 (1). - 90-113 – ISSN: 2013-0953
29. McDonald, T., Van Aken, E., & Rentes, A. (2002). Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. International Journal of Logistics, 5(2), 213-232.
30. Mulazzani, L., Trevisi, R., Manrique, R. and Malorgio, G. (2016) ‘Blue growth and the relationship between ecosystem services and human activities: the Salento artisanal fisheries case study’, Ocean & Coastal Management, Vol. 134, pp.120–128.
31. Pujawan, N., M. M. Arief, B. Tjahjono, and D. Kritchanchai. 2015. “An Integrated Shipment Planning and Storage Capacity Decision under Uncertainty.” International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 45(9/10): 913–937.
32. E. Romano, D. Iuliano A simulation/optimisation approach to support the resource allocation in service firms // Int. J. Procurement Management, Vol. 11, No. 1, 2018
33. Schmitt A. J., Singh M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain // Int. J. Prod. Econ. 139 (1)., 23-32, 2012
34. Sheffi, Y., J. B. Rice, J. M. Fleck, and F. Caniato. Supply Chain Response to Global Terrorism : A Situation Scan. EurOMA POMS Joint International Conference, 1–6.
35. Simchi-Levi, D., Snyder, L., Watson, M., 2002. Strategies for uncertain times. Supply Chain Management Review 6 (1), 11–12.
36. Tsvetkov V.Ya. Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009. – № 2. – p 99-100.
37. Wilson, M. C. 2007. “The Impact of Transportation Disruptions on Supply Chain Performance.” Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 43 (4): 295–320.
38. Zemguliene, J.; Valukonis, M. 2018. Structured literature review on business process performance analysis and evaluation, Entrepreneurship and Sustainability Issues 6(1): 226-252.
39. Zhang, Y., and J. S. L. Lam. 2015. “Estimating the Economic Losses of Port Disruption due to Extreme Wind Events.” Ocean and Coastal Management 116: 300–310.
40. BPM (business process management) (англ.). IT Definitions and Glossary. Gartner (13 May 2011)
41. Clean technology investments globally: отчет Statista, 2019
42. Green maritime shipping worldwide: отчет Statista, 2020

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Задание

на преддипломную практику

1. Выдано студенту 4 курса, обучающемуся по профилю «Экономика фирмы и управление инновациями»
2. Место практики: ООО «Ниссан Мэнупэкчуринг Рус»
3. Руководитель практики от организации: Лишнев Константин Олегович
4. Руководитель практики от СПбГУ: Смирнов Сергей Анатольевич
5. Перечень заданий, подлежащих выполнению во время прохождения преддипломной практики:
 - 6.1. Ознакомление с процессом поставки комплектующих
 - 5.2. Участие в подготовке оптимизации процесса, в сравнении альтернативных вариантов, применяя изученные качественные и количественные методы.
 - 5.3. Рассчитать эффект от сокращения затрат, рассмотреть возможности применения имитационного моделирования для оценки временных затрат
6. Дата начала практики 1.07.2019. Дата окончания практики 25.08.2019.
7. Дата выдачи задания 1.07.2019.
8. Форма представления выполненного задания: письменный отчет.
9. Даты сдачи отчета по преддипломной практике руководителю практики от организации: 23.08.2019; и руководителю практики от СПбГУ: 1.10.2019.
10. Дата защиты отчета по практике _____
11. Руководитель практики от СПбГУ _____ Смирнов С.А.
12. Задание принял к исполнению _____ 1.07.2019.

**План-график выполнения работ
и консультаций с руководителем практики**

Дата	Краткое содержание работ	Выполнение
1.07.2019- 2.07.2019	Ознакомление с процессом, имеющимися данными по этому процессу	Постановка задания руководителем практики в организации
3.07.2019- 25.07.2019	Работа с тарифными ставками, написание писем российским и зарубежным контрагентам для уточнения информации, проведение расчётов	Выведен и рассчитан показатель «Стоимость доставки килограмма объемного груза», который рассчитывался по каждому поставщику по разным весовым категориям и обновлялся в результате изменения курсов валют
25.07.2019- 10.08.2019	Анализ результатов, выявление поставщиков для которых доставка через Шереметьево выгоднее	Презентация полученных результатов руководителю практики в организации
10.08.2019- 23.08.2019	Разработка логистического калькулятора для расчёта стоимости авиафрахта в зависимости от заказываемого материала и его количества	Объединение нескольких баз данных и упрощенное программирование в Excel

Стадии процесса авиафрахта и их расчётные характеристики

	«Проблемные» характерные особенности		
Подпроцесс	Прозрачность	Экономичность	Продолжительность
Комплектование заказа в консолидационном центре	Упаковка составного заказа крупного размера может быть произведена при помощи паллета, вес которого является случайной величиной и может составлять до 10% веса заказа 2.Использование паллета влияет не только на физический, но и на объемный вес груза	1.В результате формирования груза может быть рассчитан его «объемный вес» (Chargeable weight), который используется при расчетах стоимости авиафрахта: $\text{ChargeWeight} = \frac{\text{Gross Weight}}{V_3 \text{ (m}^3\text{)}}$ Где Gross Weight – фактический вес в кг Предельным значением является 167 кг «объемного веса» за кубический метр (это значение используется в расчетах, если дробь меньше 167 кг, в противном случае используется фактический вес 2.Консолидационный центр принимает решение о тарифе, по которому будет доставляться груз. Факторы, влияющие на это решение неизвестны, мы можем использовать	Может варьироваться ввиду разницы в часовых поясах, у сотрудника в другой стране может быть не рабочее время.

		только вероятности по имеющимся данным.	
Доставка груза в аэропорт (Door to Airport)		<p>Консолидационный центр организует доставку до аэропорта и контролирует процедуры в аэропорту. Доставку и фрахт до аэропорта Пулково (LED) осуществляет один из двух партнеров компании Ниссан. В соответствии с договорными ставками, которые указаны в приложении для одного из направлений NNA (США), рассчитывается стоимость доставки.</p> <p>1.Сопряжено с первой ставкой в расчёте стоимости авиафрахта (Door to Airport)</p> <p>2.В случае выбора другого аэропорта прибытия компания может сменить контрагента по данному направлению</p>	Индивидуальна для каждого консолидационного центра зависит от расстояния до аэропрта
Ожидание в аэропорту отправления		Ожидание сопряжено с прохождением грузом процедур контроля и взиманием второй ставки (Origin Charge)	Этот момент индивидуален для каждого направления и зависит прежде всего от расписания рейсов.

			<p>Моделирование данного этапа, позволяющее учесть расписание самолетов, наиболее позитивно влияет на точность расчётов времени поставки.</p>
(Air Freight)		<p>1.Стоимость фрахта варьируется в зависимости от веса груза (есть 9 весовых категорий и ставки для них) 2.Для всех направлений ставки фрахта выражены в различных мировых валютах, колебания курса которых также сказываются на итоговой рублевой стоимости фрахта</p>	<p>Зависит от выбранного рейса, в основном используется не прямые рейсы, что увеличивает продолжительность доставки</p>
(Customs)		<p>В этот момент взимается пошлина за экспедирование в аэропорту стыковки</p>	<p>Таможенное оформление груза производится в рабочие часы, что также влияет на время доставки</p>
(Airport to Door)		<p>Эту часть маршрута контролирует логистический посредник компании Ниссан в Санкт-Петербурге,</p>	

		который взимает плату за каждый вывоз из аэропорта	
--	--	--	--

Составлено автором по итогам стажировки в группе OPL отдела производственного контроля

Блоки имитационной модели

Расписания			
<i>вылетыDXB</i> – расписание вылетов Emirates из Атланты в Дубай	ПН, СР, ПТ, ВС 18:00 ВТ,ЧТ,СБ 8:00	<i>вылетыLED</i> – расписание вылетов Emirates из Дубая в Санкт-Петербург	ПН, ВТ, СР, ПТ, СБ, ВС 15:30
<i>вылетыSVO</i> - расписание вылетов Emirates из Атланты в Москву	Ежедневно 9:15	<i>машины</i> – график доступности машин, доставляющих груз из аэропорта	Ежедневно 7:00 – 21:00
<i>графикработыСША</i> – рабочее время офисных сотрудников Ниссан в США	ПН – ПТ 15:00 – 23:59 (скорректировано на часовые пояса)		
Перемещения			
<i>ПУТЬ_В_ATL</i> – перемещение из консолидационного центра в аэропорт	Время пути в 188 миль от Дечерда до аэропорта Атланты задано треугольным распределением в часах: triangular(2.6, 3, 4)	<i>перелёт</i> – перемещение из аэропорта ATL в аэропорт DXB	В часах: triangular(17, 18, 19)
<i>перелёт1</i> – перемещение из аэропорта DXB в SVO	В часах: triangular(5.5, 5.75, 6)	<i>перелёт2</i> - перемещение из аэропорта DXB в LED	В часах: triangular(6, 6.5, 6.8)
<i>ПУТЬ_ИЗ_LED</i> – перемещение груза экспедиторской	В часах: triangular(0.5, 1, 1.5)	<i>ПУТЬ_ИЗ_SVO</i> – перемещение груза экспедиторской фирмой из	В часах: triangular(9, 10, 12)

фирмой из Пулково на склад Бугры.		Шереметьево на склад Бугры.	
Ожидания			
<i>ЖДЕТ_МАШИНУ</i> – ожидание подачи машины, сформированным грузом в консолидационном центре	В минутах: triangular(10, 20, 30)	<i>ждет_в_LED</i> – ожидание подачи машины грузом, прошедшим таможенное оформление в Пулково	В часах: triangular(0.5, 1, 3.5)
<i>ждет_в_SVO1</i> – ожидание подачи машины грузом в размере более двух евро-паллетов, прошедшим таможенное оформление в Шереметьево	Время рассчитано на основе уникального коммерческого предложения экспедиторской фирмы, которой был направлен запрос в ходе практики. В часах: triangular(6, 9, 12)	<i>ждет_в_SVO2</i> - ожидание подачи машины грузом в размере одного или двух евро-паллетов, прошедшим таможенное оформление в Шереметьево	В днях: triangular(0.5, 1, 2)
Обработка и обслуживание			
<i>ОБРАБОТКА_ЗАЯВКИ</i> – офисный работник консолидационного центра в рабочее время обрабатывает заявку в течение некоторого времени (бронирует место на воздушном судне, отдает распоряжение	Время задано треугольным распределением с учетом особенностей рабочего дня в минутах: triangular(5, 15, 90)	<i>ДОСМОТР_ГРУЗА</i> – процедура предполетного досмотра и регистрации груза в аэропорту Атланты	Время в часах: triangular(1.5, 2, 2.5)

по формированию заказа)			
ТАМОЖНЯ_LED – процедура таможенного контроля в Пулково	В часах: triangular(0.5, 1, 1.5)	ТАМОЖНЯ_SVO – процедура таможенного контроля в Шереметьево	В часах: triangular(0.5, 1, 1.5)
ДОСМОТР_LED – процедура дополнительного досмотра в Пулково, которой согласно расчётам в среднем подвергается 20% грузов	В часах: triangular(0.5, 1, 1.5)	ДОСМОТР_SVO – для процедуры дополнительного досмотра в Шереметьево по умолчанию аналогичная Пулково доля в 20%	В часах: triangular(0.5, 1, 1.5)

Составлено автором при построении имитационной модели в среде AnyLogic

Сравнительный анализ сред имитационного моделирования

Результаты оценки сред имитационного моделирования
информационно-управляющих сетей

Критерий	УООП		ОСИМ				ССИМ	
	Си	Java	MatLab	Arena	AnyLogic	GPSS	Opnet	NS-2
Возможности и проблемы научно-практического использования моделей								
Реализация экспериментов:								
• оценка	+	+	+	+	+	+	+	+
• варьирование	±	±	-	+	+	+	-	-
• оптимизация	-	-	-	+	+	±	±	-
Доступность СИМ	+	+	+	±	+	+	±	+
Создание приложения	+	+	-	-	+	-	+	-
Кросс-платформенность	+	+	+	-	+	-	-	+

Возможности и проблемы разработки корректных моделей								
Адекватность СИМ	±	±	+	+	+	±	+	+
Сложность и трудоемкость разработки модели:								
• визуальный конструктор	-	-	+	+	+	-	+	+
• программирование	-	-	-	+	+	±	±	±
• верификация (отладка)	-	-	-	±	+	+	-	-
• открытость	+	+	+	+	+	+	-	+
• ресурсоемкость	-	-	-	±	±	+	±	±
Гибкость разработки (подходы моделирования):								
• объектный	+	+	-	±	+	±	+	+
• процессный	-	-	+	+	+	+	±	-
• агентный	-	-	-	-	+	-	-	-
Масштабирование модели:								
• ручное	±	+	+	+	+	+	+	±
• программное	±	+	-	-	+	+	-	±
Визуализация функционирования	-	-	-	+	+	-	±	±
Модули и библиотеки системных элементов, алгоритмов, протоколов:								
• среды передачи	-	-	-	-	-	-	+	±
• алгоритмы случайного доступа	-	-	-	-	-	-	±	±
• адресация, маршрутизация	-	-	-	-	-	-	+	±
• сервисы и таймеры доставки	-	-	-	-	-	-	±	-
• приложения	-	-	-	-	-	-	±	-
Проблемы и целесообразность использования СИМ в образовательном процессе								
Сложность обучения (освоения)	-	-	±	+	+	±	-	-
Эффективность обучения	-	-	±	±	±	+	-	-
Перспектива применения полученных знаний и умений	±	±	-	-	+	-	±	-
Суммарная оценка (баллы)	11	11	10	16	21	15	18	15

С.А. Даденков и Е.Л. Кон Выбор среды имитационного моделирования информационно-управляющих сетей // Вестник Пермского Университета. - №1. - 2019