

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра дифференциальных уравнений и системного анализа

КЛЕВЕЦ

Татьяна Владимировна

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК

Дипломная работа

Научный руководитель:
кандидат физ.-мат. наук,
доцент О.А.Лаврова

Допущена к защите

«___» _____ 2015 г.

Зав. кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа

доктор физ.-мат. наук, профессор В. И. Громак

Минск, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	3
РЭФЕРАТ	4
РЕПОРТ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	9
1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	9
1.2 ВИДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	12
1.3 АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	14
ГЛАВА 2 АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК	17
2.1 ОПИСАНИЕ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК	17
2.2 АГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК.....	19
2.2.1 <i>Модель 1. Двухуровневая цепочка поставок с постоянным спросом.</i>	<i>19</i>
2.2.2 <i>Модель 2. Двухуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.....</i>	<i>21</i>
2.2.3 <i>Модель 3. Трёхуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.</i>	<i>22</i>
2.3 РЕАЛИЗАЦИЯ.....	23
2.3.1 <i>Модель 1. Двухуровневая цепочка поставок с постоянным спросом.</i>	<i>25</i>
2.3.2 <i>Модель 2. Двухуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.....</i>	<i>27</i>
2.3.3 <i>Модель 3. Трёхуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.</i>	<i>30</i>
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	31
3.1 АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЗАПАСОВ.....	31
3.1.1 <i>Модель 1.</i>	<i>31</i>
3.1.2 <i>Модель 2.</i>	<i>33</i>
3.1.3 <i>Модель 3.</i>	<i>35</i>
3.2 УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ИЗДЕРЖЕК.....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	42
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРЕЗЕНТАЦИЯ МОДЕЛИ 1.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДОКУМЕНТАЦИЯ К МОДЕЛИ 2	45
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ДИАГРАММА ДЕЙСТВИЙ МОДЕЛИ 3.....	49

РЕФЕРАТ

В дипломной работе 36 страниц, 9 рисунков, 4 таблицы, 14 источников, 3 приложения.

МОДЕЛЬ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЦЕПОЧКА ПОСТАВОК, АГЕНТ, АГЕНТНЫЙ ПОДХОД

Целью работы является иллюстрация возможностей агентного подхода к имитационному моделированию бизнес-процессов на примере цепочки поставок, а также проведение анализа динамики движения продукта в линейной цепочке поставок на основе агентного моделирования.

Объектом исследования является линейная цепочка поставок, состоящая из нескольких звеньев.

Пояснительная записка к дипломной работе содержит введение, три главы, заключение, список используемой литературы и три приложения.

Результатом работы является анализ динамики движения продукта в линейной цепочке поставок с двумя и тремя звеньями, а также с постоянным и стохастическим спросом на основе агентного моделирования. Показано, что изменение уровня запаса товара имеет волновой характер. Проведен оптимизационный эксперимент для цепочки поставок со стохастическим спросом для определения значений параметров, минимизирующих издержки на хранение и транспортировку товара. Выполнено сравнение полученных результатов.

Реализованные модели цепочки поставок можно использовать на практике для оценки издержек и изучения динамики изменения уровня товара в магазине, складе, фирме и т.д.

РЭФЕРАТ

У дыпломнай працы 36 старонак, 9 малюнкаў, 4 табліцы, 14 крыніц, 3 прыкладання.

МАДЭЛЬ, ІМІТАЦЫЙНАЕ МАДЭЛІРАВАННЕ, ЛАНЦУЖОК ПАСТАВАК, АГЕНТ, АГЕНТНЫ ПАДЫХОД

Мэтай работы з'яўляецца ілюстрацыя магчымасцей агентнага падыходу да імітацыйнага мадэлявання бізнес-працэсаў на прыкладзе ланцужка паставак, а таксама правядзенне аналізу дынамікі руху тавару ў лінейным ланцужку паставак на аснове агентнага мадэлявання.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца лінейны ланцужок паставак, які складаецца з некалькіх звён.

Тлумачальная запіска да дыпломнай працы ўтрымлівае ўводзіны, тры часткі, заключэнне, спіс выкарыстанай літаратуры і тры прыкладанні.

Вынікам працы з'яўляецца аналіз дынамікі руху прадукту ў лінейным ланцужку паставак з двума і трыма звёнамі, а таксама з нязменным і стахастычным попытам на аснове агентнага мадэлявання. Паказана, што змяненне ўзроўня запаса тавару мае хвалявы характар. Праведзены аптымізацыйны эксперымент для ланцужка паставак са стахастычным попытам для выяўлення значэнныў параметраў, якія прыводзяць к мінімальнаму выдатку на захоўванне і транспартціроўку тавару. Выканана параўнанне атрыманых вынікаў.

Реалізаваныя мадэлі ланцужка паставак можна выкарыстоўваць на практыцы для ацэнкі выдаткаў і назіраць за дынамікай змены ўзроўню тавару ў краме, складзе, фірме і г.д.

REPORT

Graduation project consists of 36 pages, 9 illustrations, 4 tables, 14 sources, 3 appendices.

MODEL, SIMULATION MODELING, SUPPLY CHAIN, AGENT, AGENT APPROACH

The aim is to show the ways of agent approach possibilities to business processes simulation modeling by the example of supply chain. Also, an analysis of the dynamics of movement of the product in a linear supply chain on the basis of agent-based modeling.

The object is a linear supply chain that composes of several links.

The description note consists of introduction, three heads, conclusion, literature sources list and three appendices.

The result of the degree work is the dynamics analysis of the product movement in the linear supply chain with two or three links and with a constant and stochastic demand on the basis of agent-based modeling. It is shown that the goods level change is a wave-like behavior. The optimization experiment for supply chain with stochastic demand was carried out to determine parameters values that minimize goods storage and its transportation costs. The comparison of the results obtained.

We can apply the models for evaluate costs and research the dynamics of the goods level change in a store, warehouse, corporation and etc.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время всё больше компаний сталкиваются с необходимостью полной перестройки или реинжиниринга бизнес-процессов. Нужно отметить, что создание модели размещения производства, его функционирования и производительности с первого до последнего звена цепочки поставок может быть ключом к повышению конкурентоспособности.

Поставщики и потребители готовой продукции и услуг выступают основными субъектами рыночной активности. В общем случае они представляют собой две системы, связанные каналом сбыта или так называемым логистическим каналом. Канал сбыта, представлен на рынке некоторым множеством различных звеньев, через которые проходит движение материального потока от места его происхождения и до места назначения.

При разработке имитационной модели бизнес-процессов можно повысить эффективность работы компании.

Выделим следующие задачи, которые должны решаться посредством модели цепочки поставок: каким образом уменьшить себестоимость цепочки поставок, как ускорить движение товара в цепочке, как добиться увеличения точности доставки в заданный срок, сведя к минимуму случаи дефицита товара и издержки.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью дипломной работы является иллюстрация возможностей агентного подхода к имитационному моделированию бизнес-процессов на примере цепочки поставок. Рассмотреть линейную цепочку поставок, состоящую из нескольких агентов, со стохастическим спросом. Провести анализ динамики движения продукта в линейной цепочке поставок.

Предметом исследования являются следующие методы:

- Имитационное моделирование
- Агентное моделирование

Объектом исследования является линейная цепочка поставок, состоящая из нескольких звеньев.

В соответствии с поставленной целью в работе были сформулированы и решены следующие задачи:

- определить теоретические основы имитационного моделирования, цепочки поставок
- описать систему движения продукта от поставщика к потребителю на различных уровнях цепочки поставок
- реализовать модель линейной цепочки поставок в AnyLogic
- провести серию экспериментальных расчётов с целью подбора параметров для минимизации издержек.

Результатом работы является анализ динамики движения продукта в линейной цепочке поставок с двумя и тремя звеньями, а также с постоянным и стохастическим спросом на основе агентного моделирования. Проведен оптимизационный эксперимент для цепочки поставок со стохастическим спросом для определения значений параметров, минимизирующих издержки на хранение и транспортировку товара.

Актуальность

Управление запасами в звеньях цепочки поставок – это вопрос, который остро стоит на предприятиях и в организациях, связанных с движением материальных потоков. Модель цепочки поставок позволяет увидеть слабые места и, возможно, подсказать решение возникающих проблем. Важным условием эффективного функционирования цепочки поставок является как снижение логистических

издержек товародвижения, так и удовлетворить запрос конечного потребителя. Верное управление поставками представляет собой сэкономленные средства, а, следовательно, дополнительные инвестиции, привлекаемые из оборота самой организации.

Имитационное моделирование логистических сетей различного назначения является в индустриально развитых странах вполне обычной составной частью проектов, направленных на создание новых или реконструкцию существующих логистических систем. В Западной Европе и США имеется достаточно много фирм, которые предлагают такое моделирование как основной или дополнительный вид услуг, выполняемых в рамках консалтинговых или проектных работ. [4]

Пояснительная записка состоит из введения, трёх глав, заключения, списка используемой литературы, приложений.

Первая глава посвящена методологическим основам имитационного моделирования. Рассматриваются виды имитационного моделирования, области их применения.

Во второй главе приводится описание структуры цепочки поставок. Выделяются уровни линейной цепочки поставок, описывается построение агентных моделей.

В последней главе приводятся результаты работы реализованных моделей, проводится анализ уровня запасов, описывается эксперимент расчёта параметров с целью оптимизации модели.

ГЛАВА 1

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

1.1 Основные понятия и определения

Система – это упорядоченное множество структурно взаимосвязанных и функционально взаимодействующих однотипных элементов любой природы, объединенных в целостный объект, состав и границы которого определяются целями системного исследования. [9]

Моделирование – исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя. [8]

Модель – это искусственно созданный объект, дающий упрощенное представление о реальном объекте, процессе или явлении, отражающий существенные стороны изучаемого объекта.

Имитационное моделирование – это разработка и выполнение на компьютере программной системы, отражающей структуру и функционирование (поведение) моделируемого объекта или явления во времени. Такую программную систему называют имитационной моделью этого объекта или явления. Объекты и сущности имитационной модели представляют объекты и сущности реального мира, а связи структурных единиц объекта моделирования отражаются в интерфейсных связях соответствующих объектов модели.

Таким образом, имитационная модель – это упрощенное подобие реальной системы, либо существующей, либо той, которую предполагается создать в

будущем. Имитационная модель обычно представляется компьютерной программой, выполнение которой можно считать имитацией поведения исходной системы во времени. [8]

Моделирование необходимо для того, чтобы рассмотреть большое предприятие с различных сторон, оценить возможности, риски.

Имитационную модель обычно строят тогда, когда:

- реальные эксперименты над объектами дороги, невозможны или опасны
- невозможно построить аналитическую модель: в системе присутствует время, причинные связи, различные последствия и нелинейности, стохастические (случайные) переменные
- существует потребность в моделировании поведения системы на протяжении промежутка времени
- если необходимо контролировать протекание процессов в системе путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации.

Основная цель имитационного моделирования состоит в том, чтобы описать поведение исследуемой модели (системы), ссылаясь на результаты статистических анализов наиболее важных связей между её частями. Имитационное моделирование не решает оптимизационных задач, а скорее представляет собой технику оценки значений функциональных характеристик моделируемой системы.

В настоящее время во многих случаях имитационные модели строятся не вместо аналитических, а параллельно с ними, поскольку они относительно просты для создания и позволяют исследовать такие параметры реальных систем, которые невозможно отобразить в аналитических моделях.

В имитационном моделировании есть устоявшиеся понятия: «процесс», «работа», «событие», «транзакт». [9]

Работа (активность) - это единичное действие системы по обработке (преобразованию) входных данных. В зависимости от природы моделируемой системы под входными данными могут пониматься информационные данные или какие-либо материальные ресурсы.

Под процессом понимают логически связанный набор работ. Некоторые процессы могут рассматриваться как работы в процессе более высокого уровня.

Событие представляет собой мгновенное изменение некоторого элемента системы или состояния системы в целом.

Транзакт или сущность — это некоторое сообщение (заявка на обслуживание), которое поступает извне на вход системы и подлежит обработке.

Таким образом, имитационное моделирование – это высокоуровневая информационная технология с применением компьютеров и чаще всего используется при моделировании сложных систем.

Основные преимущества имитационного моделирования:

- свободный выбор уровня детализации отображения процессов в модели (действует принцип: могу отобразить в модели всё то, что доступно моему пониманию и что соответствует целям моделирования);
- отсутствие ограничений на сложность логики моделируемых процессов и воспроизводимых в модели алгоритмов управления;
- отсутствие ограничений на структуру и объём исходных данных моделирования.

Трудности, связанные с применением имитационного моделирования:

- большие затраты времени и финансовых средств:
- на приобретение программных пакетов для имитационного моделирования;
- на подготовку детальных исходных данных;

- на разработку и проверку (верификацию и валидацию) модели;
 - на планирование и проведение имитационных экспериментов;
 - на привлечение экспертов в области имитационного моделирования.
- модель в значительной мере отражает субъективные представления разработчика модели о моделируемой системе (действует принцип: сколько разработчиков, столько и моделей);
- модель, как правило, может быть эффективно применена для исследования только одной системы-оригинала. [4]

Логистическая сеть – совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых центров логистических действий, которые, если они существуют, образуют некоторую сетевую структуру. Составной частью логистической сети является цепочка поставок.

Логистическая система – это относительно устойчивая совокупность звеньев (структурных/функциональных подразделений компании, а также поставщиков, потребителей и логистических посредников), взаимосвязанных и объединенных единым управлением корпоративной стратегии организации бизнеса.[6]

1.2 Виды имитационного моделирования

Имитационное моделирование делится на несколько видов:

- Дискретно-событийное моделирование
- Системная динамика
- Агентное моделирование

Дискретно-событийное моделирование

В дискретно-событийном моделировании функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий.

В дискретно-событийном моделировании выделяются состояния системы и описываются действия, которые переводят ее из одного состояния в другое. Состояние системы может меняться только в моменты свершения событий.

Этот подход используется для описания функционирования системы (процесса) из одного состояния в другое дискретным образом в виде события.

Термин "дискретно-событийное моделирование", однако, обычно используется в более узком смысле для обозначения "процессного" моделирования, где динамика системы представляется как последовательность операций над некими сущностями. Эти сущности пассивны, они сами не контролируют свою динамику, но могут обладать определёнными атрибутами, влияющими на процесс их обработки или накапливающими статистику. Процессное моделирование используется на среднем или низком уровне абстракции: каждый объект моделируется индивидуально, как отдельная сущность, но множество деталей "физического уровня" опускается [12].

Этот вид моделирования чаще всего используется для производственных процессов, где динамика системы может быть представлена как последовательность операций [9]. Используется так же для решения задач связанных с логистикой и системой массового обслуживания.

Системная динамика

Системная динамика – парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере. [9]

При моделировании учитываются причинно-следственные взаимосвязи между элементами системы, особое внимание уделяется обратной связи между ними. При этом очень важным моментом является то, что модель не только должна воспроизводить поведение системы в реальных условиях, но делать это на основе тех же причин, которые существуют в реальности. [12].

Данный способ моделирования главным образом используется в долгосрочных стратегических моделях и принимает высокий уровень абстракции. Люди, продукты, события и другие дискретные элементы представлены в этих моделях не как отдельные элементы, а как система в целом. [12].

Агентное моделирование

Агентное моделирование – метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики, аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов. [5]

1.3 Агентное моделирование

Элементами агентной модели являются агенты, которыми могут быть: люди, транспорт, организации, нематериальные вещи. К примеру, агент может представлять собой компанию со своим капиталом, стратегией развития.

Общепризнанного определения агента не существует. Есть много суждений о том, какими качествами и характеристиками должен обладать объект, чтобы ему можно было дать название агент.

Таким образом, существует множество определений понятия агента. Общим во всех этих определениях является то, что агент – это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, а также может изменяться (эволюционировать).

Агент располагается среде, которая представляет собой некоторое пространство, характеризуемое своими состояниями и факторами. Агенты находятся в определённом месте этого пространства, с возможностью ориентирования и передвижения в нём.

Агентное моделирование является одним из методов, который позволяет решать задачи управления сложными объектами. Данный вид моделирования применим для решения задач коммуникативного характера – потребительский рынок. Решаются задачи связанные с логистикой, производством, цепями поставок.

Суть агентного моделирования состоит в том, что локальное поведение агентов, работающих по своим собственным правилам, формирует глобальное поведение системы в целом. Таким образом, агентное моделирование называют также моделированием «снизу вверх». Это отличается от традиционных подходов проектирования имитационной модели «сверху-вниз», когда заданы глобальные законы функционирования системы, на базе которых работают её элементы. Глобальное функционирование системы заведомо неизвестно исследователю. Два-три простейших правила уже могут привести к весьма разнообразным формам поведения в группе агентов. [1]

Цель агентных моделей – получить представление об общем поведении системы исходя из знаний о поведении её отдельных активных объектов и

взаимодействии этих объектов в системе. Агентная модель может содержать десятки и даже сотни тысяч активных агентов.

Агентный подход позволяет исследовать задачи коллективного взаимодействия, эффективно решать задачи прогнозирования. Агентные системы позволяют исследовать процессы самоорганизации, дают возможность естественного описания сложных систем, обладают высокой гибкостью. [9]

ГЛАВА 2

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК

2.1 Описание цепочки поставок

Объектом исследования в дипломной работе является цепочка поставок. Цепочка поставок – сложная и динамичная система спроса и предложения.

Цепочка поставок – это совокупность организаций, людей, технологий, процессов, информации и ресурсов, задействованных в продвижении продукта или услуги от поставщика к потребителю.

В сетях поставок производится перевозка грузов и товаров между различными географическими пунктами с применением обычных средств транспорта: автомобильного, железнодорожного, речного, морского и воздушного транспорта.

Структуру цепочки поставок можно представить в виде песочных часов (Рисунок 2.1). У любой цепочки поставок выделяются уровни, их может быть неограниченное количество. Одному уровню принадлежат элементы, которые выполняют типичные функции и имеют похожую структуру. На центральном уровне располагается производитель. Движение сырья, деталей происходит по нижней части (на нижних уровнях), а готовая продукция проходит свой путь к потребителю по верхним уровням. Это представление не является строгим описанием любой цепочки поставок, а просто показывает её структуру. Две половинки песочных часов демонстрируют различное динамическое поведение. Во входной (нижней) половине песочных часов, производитель распространяет прогноз спроса на поставщиков. На верхних же уровнях нет такого

централизованного источника спроса, что принуждает производителя оценивать спрос, используя статистический анализ.

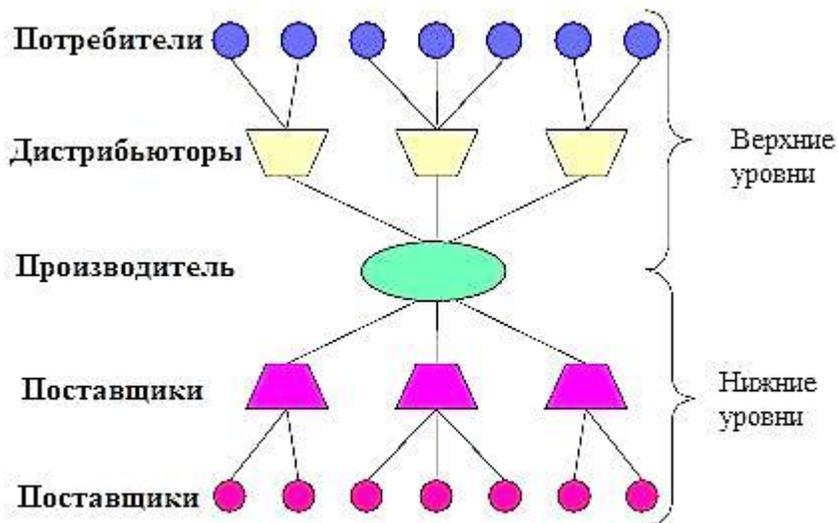


Рисунок 2.1 Схема цепочки поставок

В цепочке поставок выделяют два потока: информационный и материальный. Информационный поток идет с верхних уровней цепочки поставок к нижним в качестве спроса на товары, «несет» информацию об актуальности и качестве данного товара. Материальный поток отображается в направлении верхних уровней, он характеризует движение самого товара к потребителю.

Процессы в цепочке поставок трансформируют природные ресурсы, сырье и комплектующие в готовый продукт, который затем поставляется конечному потребителю.

Имитационная модель цепочки поставок описывает, как цепочка поставок компании или её часть будет функционировать через определенное время в зависимости от изменения параметров.

Агентное моделирование является более сложным типом моделирования в отличие от дискретно-событийного и системной динамики. Оно исследует поведение децентрализованных агентов и его влияние на поведение всей

системы в целом. Участники цепочки поставок могут быть представлены как агенты со своими индивидуальными целями и правилами.

Линейная цепочка поставок представляет собой цепочку из последовательных звеньев, каждое звено которой принадлежит отдельному уровню (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 Линейная цепочка поставок

Рассматриваемая в работе цепочка поставок принадлежит верхней части песочных часов, охватывает три уровня: потребитель, дистрибьютор и поставщик.

В процессе исследования было построено три имитационные модели цепочки поставок. Каждая следующая представляет собой расширение функциональности предыдущей. Это позволило более детально изучить влияние параметров управления запасами в цепи поставок на производительность цепи. Начальной моделью являлась модель, состоящая из двух звеньев: потребитель и дистрибьютор.

2.2 Агентные модели линейной цепочки поставок

2.2.1 Модель 1. Двухуровневая цепочка поставок с постоянным спросом.

Первая модель представляет собой модель, состоящую из двух звеньев цепочки: потребитель и дистрибьютор (Рисунок 2.3). Они в модели и являются агентами. Далее будем называть звено Потребитель как Розничная точка.

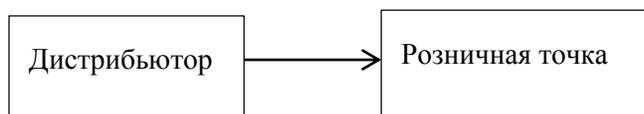


Рисунок 2.3 Схема модели 1

У розничной точки и дистрибьютора есть текущий уровень запаса (количества товара) и пороговый уровень запаса. Пороговый уровень запаса представляет собой некоторое количество товара, и при достижении текущего уровня этого значения, т.е. у розничной точки возникает потребность в запасе, происходит размещение заказа у дистрибьютора. Кроме того, отрицательный уровень запаса в модели недопустим. После этого происходит мгновенное пополнение запаса розничной точки, что влечёт уменьшение запаса дистрибьютора. Аналогичный процесс и у дистрибьютора, когда текущий уровень запаса достигает порогового значения, происходит мгновенное пополнение запаса дистрибьютора. Спрос у розничной точки, который она должна удовлетворить, генерируется один раз в период и он постоянен. Спрос дистрибьютора определяется размером заказа товара розничной точки.

В моделях заказ может принимать три состояния:

1. заказ не может быть выполнен
2. заказ может быть выполнен
3. заказ может быть выполнен, но уровень запаса меньше порогового уровня.

Проанализировав данную модель можно выделить два вида событий:

1. запас уменьшается на величину спроса;
2. если текущий уровень запаса меньше порогового значения, то выполняется пополнение запасов.

2.2.2 Модель 2. Двухуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом

Первая модель от этой отличается тем, что добавляется новый агент «транспортное средство», спрос у розничной точки генерируется нормальным распределением (задаётся математическое ожидание и стандартное отклонение).

Розничная точка по-прежнему формирует заказ при достижении определенного порогового уровня запаса. С добавлением нового агента, в модели учитывается срок доставки. Срок доставки зависит от расстояния между дистрибьютором и розничной точкой, и от скорости движения транспортного средства.

В качестве критерия эффективности было решено выбрать значение общих издержек розничной точки, представляющих сумму издержек на транспортировку и затрат на хранение товара. Целью модели является минимизация этих издержек и сведение к минимуму дефицита товара розничной точки. Дефицит возникает в том случае, когда розничная точка не может удовлетворить спрос, что негативно сказывается на конкурентоспособности фирмы, магазина.

Дополнительные сложности в модели связаны со стохастической структурой спроса и ограничениями по допустимому уровню сервиса.

И так, в данной модели появились новые факторы:

1. учет времени выполнения заказа;
2. стохастическая структура спроса.

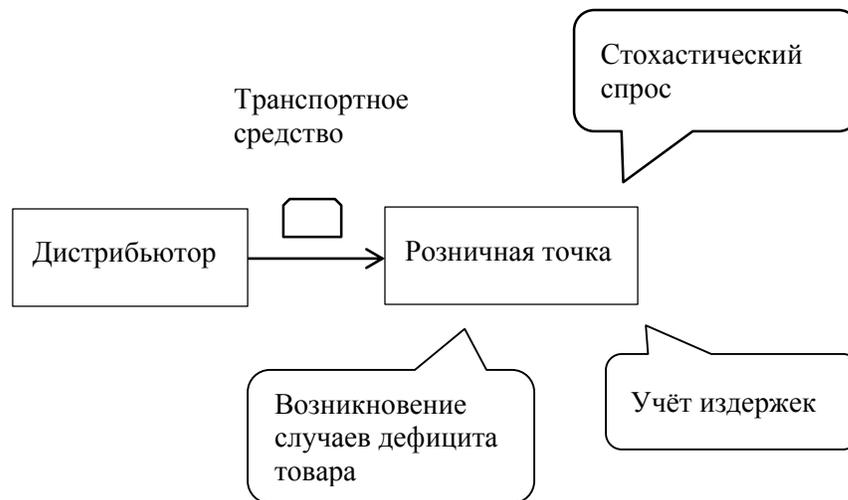


Рисунок 2.4 Схема модели 2

2.2.3 Модель 3. Трёхуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.

В модели цепочки поставок появилось два новых агента: поставщик и ещё одно транспортное средство, которое доставляет товар от поставщика до дистрибьютора. Если во второй модели запасы дистрибьютора пополнялись мгновенно, то сейчас учитывается время доставки товара от поставщика до дистрибьютора. Спрос у розничной точки по-прежнему генерируется нормальным распределением. Спрос у дистрибьютора является постоянным, так как уровень заказа нового товара у розничной точки одинаковый в каждый период. Предполагается, что запасы у поставщика не ограничены, а спрос поставщика определяется размером заказа нового товара дистрибьютора. В данной модели кроме издержек розничной точки учитываются издержки дистрибьютора. Запас поставщика предполагается неограниченным.

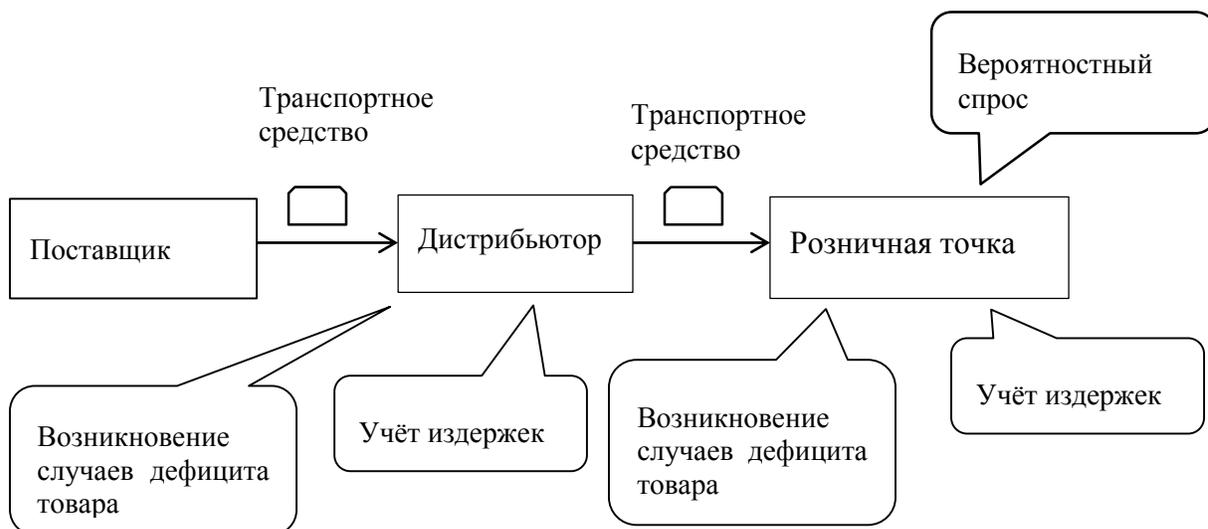


Рисунок 2.5 Схема модели 3

2.3 Реализация

Для построения моделей использовался программный продукт AnyLogic (Personal Learning Edition). Данный продукт предназначен для построения имитационных моделей, поддерживает все три вида моделирования: системная динамика, дискретно-событийное и агентное, и все их комбинации.

В AnyLogic две фазы имитационного моделирования: разработка модели и ее анализ явно разделены. Разработка модели выполняется в среде редактора AnyLogic, а анализ модели происходит в среде исполнения. В каждой фазе существуют свои средства управления. Переход из одной фазы в другую производится очень легко. Можно многократно использовать переход между фазами редактирования и исполнения модели при разработке модели. [8]

AnyLogic является надстройкой над языком Java. И при разработке модели используются конструкции языка Java, полная программа в данном случае не

разрабатывается, а вставляются фрагменты кода в специально предусмотренные для этого поля окна Код и окон свойств объектов модели.

Создание моделей производилось «с нуля», без использования шаблонов AnyLogic. Периодом в моделях является один день, т.е. каждый новый день генерируется новый спрос у розничной точки. Единицами модельного времени являются секунды.

Для оптимизации модели с целью минимизации издержек я воспользовалась возможностью оптимизации в AnyLogic.

Оптимизация модели AnyLogic заключается в последовательном выполнении нескольких прогонов модели с различными значениями параметров и нахождении оптимальных для данной задачи значений параметров.

В AnyLogic встроен оптимизатор OptQuest. Оптимизатор OptQuest автоматически находит лучшие значения параметров модели с учетом заданных ограничений. Оптимизация состоит из нескольких последовательных прогонов модели с различными значениями параметров. Комбинируя эвристики, нейронные сети и математическую оптимизацию, OptQuest позволяет находить значения параметров модели, соответствующие максимуму или минимуму целевой функции, как в условиях неопределенности, так и при наличии ограничений.[12]

Процесс оптимизации представляет собой итеративный процесс, который состоит в том, что:

- Оптимизатор OptQuest выбирает допустимые значения оптимизационных параметров и запускает модель с этими значениями.
- Завершив "прогон" модели, OptQuest вычисляет значение целевой функции на момент завершения.

- Оптимизатор анализирует полученное значение, изменяет значения оптимизационных параметров в соответствии с алгоритмом оптимизации и процесс повторяется заново.

Первоначально при создании модели создаётся главный активный класс Main для описания высокоуровневого объекта – цепи поставок. В него включены объявленные агентами классы нижнего уровня Розничная точка, Дистрибьютор, Поставщик, Транспортные средства.

2.3.1 Модель 1. Двухуровневая цепочка поставок с постоянным спросом.

Описанная модель имеет два агента (участника цепи): розничная точка и дистрибьютор. Каждый агент принадлежит определённому типу агентов. Типы агентов в AnyLogic задаются пользователем.

В данном случае создаётся популяция агентов, т.е. определяется один тип, а количество агентов этого типа можно указывать любое. И так, имеем две популяции агентов по одному агенту в каждой: розничная точка (Retailer) и дистрибьютор (Distributor). Для каждого из типов агента в AnyLogic создаётся класс Java.

В модели создано шесть параметров и две переменные.

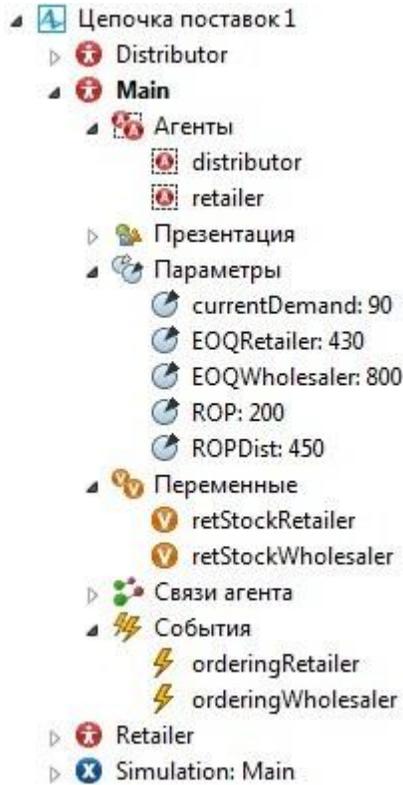
В AnyLogic нет строгих различий между переменными и параметрами при работе модели. Параметры обычно используются для задания статических характеристик объекта, а переменные – для моделирования изменяющихся характеристик объекта или для хранения результатов работы модели.

Каждый из агентов имеет характеристики:

- текущий уровень запаса
- уровень спроса

- величина оптимального размера заказа
- пороговое значение.

Изменяющейся характеристикой является текущий уровень запаса, его определяю переменной, остальные характеристики – параметрами.



На рисунке 2.6 изображено дерево модели. Можно видеть все параметры, переменные, которые объявлены. События, которые описывают действия агентов. Числовые значения рядом с параметром – это их установленные значения.

currentDemand – текущий спрос розничной точки;

EOQRetailer – величина заказа розничной точки;

EOQWholesaler – величина заказа дистрибьютора;

ROP, ROPDist – пороговое значение розничной точки и дистрибьютора соответственно.

Переменные:

retStockRetailer – текущий уровень запаса розничной точки;

retStockWholesaler – текущий уровень запаса дистрибьютора.

В orderingRetailer и orderingWholesaler на языке Java написаны события, которые происходят в модели.

Как указывалось в п.2.2.1 с каждым из агентов происходит два события:

1. каждый день запас уменьшается на величину спроса;

2. если текущий уровень запаса равен нулю, то выполняется пополнение запасов.

Запустив построенную модель, мы увидим окно презентации. На ней отображается презентация, созданная для этого эксперимента. (Приложение А)

При выполнении модели динамически формируются графики значений параметров `retStockRetailer` и `retStockWholesaler`.

Результатом модели является график, который отображает изменение уровня запаса розничной точки и дистрибьютора за 100 дней.

2.3.2 Модель 2. Двухуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.

В работе модели задействованы три объекта: розничная точка – *Retailer*, дистрибьютор – *Distributor* и транспортное средство – *Truck*. Модель имеет соответствующие три типа агентов и по одному агенту каждого типа. Розничная точка и дистрибьютор размещены на презентации в соответствии с указанными координатами. Координаты транспортного средства совпадают с координатами дистрибьютора, во время анимации доставки товара по маршруту «дистрибьютор – розничная точка», происходит движение транспортного средства к точке назначения – розничная точка.

В модели добавились новые параметры, переменные, динамическое событие.

Здесь я опишу ключевые действия, которые были реализованы и совершаются в модели.

При построении этой модели используется диаграмма действий, инструмент для более удобного визуального представления алгоритмов. Модули диаграммы действий реализованы в рамках нотации языка графического описания UML. Нет никакой разницы в обработке кода написанного внутри События и кода,

реализованного в диаграмме действий. Но диаграмма действий позволяет визуально проследить события, которые происходят в модели.

Для каждой модулей диаграммы принятия решения, переменных, динамических событий разработан и прописан код на языке Java.

Спрос генерируется ежедневно. Сначала проверяется условие, может ли заказ быть выполнен. Если спрос превышает запас, то записываются данные о дефиците. Проверяется условие, что заказ не находится в пути. Если оно выполняется, формируется заказ дистрибьютору в размере величины EOQ. Если запас позволяет обслужить спрос, то величина запаса уменьшается на величину спроса. После этого проверяется условие, не достигнут ли пороговый уровень запаса ROP. Если текущий запас ниже величины ROP и заказ уже не находится в пути, формируется новый заказ в размере величины EOQ. Проверка нахождения заказа в пути нужна потому, что срок доставки заказа больше, чем интервал между генерациями спроса. И если не учитывать нахождение заказа в пути, то каждый новый день при возникновении дефицита будет происходить заказ, и это чревато позже переполнением склада товаром, что влечёт собой увеличение издержек.

В приложении Б предоставлена документация модели, которая формируется встроенными функциями AnyLogic, где можно посмотреть какие действия происходят на каждом модуле диаграммы.

Для реализации движения транспортного средства задаются координаты розничной точки и дистрибьютора. Используется формула нахождения расстояния между двумя точками на плоскости. Вычисленное расстояние хранится в отдельной переменной *retDist*. Задаётся скорость движения агента (транспортного средства). Движение задаётся методом *moveToInTime(x,y,t)*. *x,y* – координаты розничной точки, *t* - время движения транспортного средства.

При генерации спроса используется следующий код:

```
retailer.get(0).currentDemand = round( max(normal(demandStd,demandMean),0));
```

В данном выражении используются три формулы. Нормальное распределение задается формулой $\text{normal}(x,y)$, где x – это стандартное отклонение, y – математическое ожидание. Функция $\text{max}()$ используется для сравнения сгенерированного нормальным распределением значения и нуля. Так как предполагается, что не может быть случай отрицательного спроса. Функция $\text{round}()$ используется для округления дробных значений. Таким образом, можно считать, что спрос рассчитывается как целые неотрицательные числа, сгенерированные нормальным распределением.

Для учёта издержек розничной точки в модели добавились параметры:

retholdingrate – цена хранения товара

rettrrate – цена транспортировки

И переменные:

totalCost – общие издержки

retHoldingcost – текущие издержки на хранение

retTrcost – текущие транспортные издержки

retStock – текущий уровень запаса

Издержки вычисляются по следующим формулам:

$\text{retHoldingcost} += \text{retStock} * \text{retailer.get}(0).\text{retholdingrate};$

$\text{totalCost} = \text{retHoldingcost} + \text{retTrcost};$

$\text{retTrcost} += \text{time} * \text{retailer.get}(0).\text{rettrrate};$

Учёт издержек проходит каждый день. Каждый новый день считаются издержки на хранение и суммируются с издержками за предыдущие дни. Транспортные издержки учитываются по факту доставки. Параметр *time* – параметр динамического события, который соответствует сроку доставки.

retailer.get(0) – обращение идёт к классу *Retailer*, где размещён параметр. *Retailer*, *Distributor*, *Truck* – вложенные классы класса *Main*.

2.3.3 Модель 3. Трёхуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.

В данную модель включены четыре типа агентов: розничная точка – *Retailer*, дистрибьютор – *Distributor*, поставщик – *Supplier*, транспортное средство – *Truck*.

В модели два агента типа *Truck*. Один из агентов этого типа доставляет товар от дистрибьютора до розничной точки (аналогично предыдущей в модели), другой агент – от поставщика до дистрибьютора.

Два верхних уровня данной цепочки поставок не отличается от предыдущей модели, но здесь добавляется третий уровень из одного звена.

Добавляются параметры агента *Distributor*: *DCEOQ* – размер заказа дистрибьютора у поставщика, *DCROP* – пороговый уровень запаса.

Для реализации событий используется диаграмма действий предыдущей модели, где изменяются модули «Обработка заказа дистрибьютором» и добавляются проверки наличия необходимого товара у дистрибьютора. Если запас дистрибьютора меньше порогового уровня запаса *DCROP* и заказ не находится в пути, то формируется заказ поставщику в размере *DCEOQ*. Если запас дистрибьютора не может удовлетворить спрос розничной точки *EOQ*, то записываются данные о дефиците. А если запас дистрибьютора позволяет удовлетворить спрос розничной точки, то величина запаса дистрибьютора уменьшается на величину спроса.

Диаграмма действий - приложение В.

Аналогично издержкам розничной точки учитываются дополнительно издержки дистрибьютора на хранение и на транспортировку товара. В модели добавлены соответствующие параметры. При необходимости можно просчитать суммарные издержки всей цепочки поставок.

ГЛАВА 3

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1 Анализ изменения уровня запасов

3.1.1 Модель 1.

Результат первой модели показывает идеальную работу цепочки поставок. Полученный график отображает динамику изменения уровня запаса розничной точки и дистрибьютора.

Модель выполняет работу на протяжении 100 дней. Можно убедиться, что результат удовлетворяет условиям, которые были оговорены перед построением модели (Рисунок 3.1). Значения параметров и начальные значения переменных указаны в таблице 3.1.

	Розничная точка	Дистрибьютор
Уровень запаса ед.тов.	400	1200
Размер заказа, ед.тов.	430	800
Текущий спрос, ед.тов.	90	430
Пороговый уровень, ед.тов.	150	450

Таблица 3.1 Значения модели 1

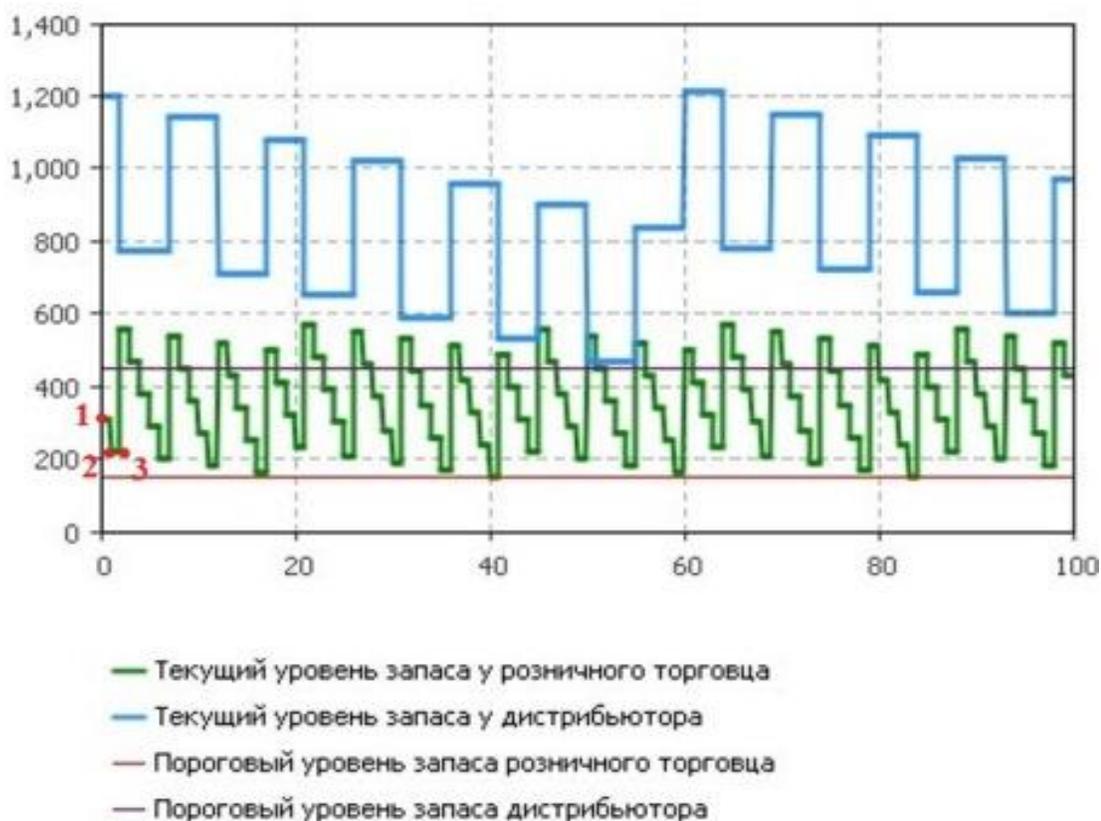


Рисунок 3.1 График уровня запаса товара

В верхней части графика отображается изменение уровня запаса дистрибьютора. В нижней – уровень запаса розничной точки. Вертикальной шкалой измерения является уровень запаса объекта, горизонтальной – время в днях.

Точками 1-3 показаны моменты генерации спроса. В третий день работы модели запасы розничной точки стали меньше порогового уровня (130 единиц), произошло мгновенное пополнение запасов на 430 единиц, что повлекло за собой уменьшение текущего уровня запасов у дистрибьютора. И из-за мгновенного пополнения запаса ступенька формирования спроса за третий день не отображается. Так же объясняется поведение уровня запаса дистрибьютора.

Наблюдается волновой характер изменения уровня товара.

В данной модели не может возникнуть дефицита товара, т.к. пополнение запаса происходит мгновенно. Эта модель использовалась в начале для построения следующих усложненных моделей.

3.1.2 Модель 2.

Результатом модели является график изменения уровня запасов розничной точки, количество состояний дефицита товара, издержки общие, издержки на транспортировку и на хранение.

Значения параметров и начальные значения переменных модели приведены в таблице 3.2.

Текущий уровень товара	800
Размер заказа	600
Пороговый уровень	200
Цена хранения товара	5
Цена транспортировки товара	5000
Математическое ожидание	20
Стандартное отклонение	90

Таблица 3.2 Значения модели

Цена хранения товара указывается как цена на хранение одной единицы товара за один день. Цена на транспортировку указывается как цена на транспортировку товара за один день.

На рисунке 3.2 изображена область анимации и график динамики количества товара, можно проследить соответствие графика и анимации движения транспортного средства от дистрибьютора до розничной точки. Когда текущий уровень товара достиг порогового значения (200), сработал модуль диаграммы действий «Обработка заказа дистрибьютором», произошёл заказ товара, транспортное средство начало движение.

Единовременно на графике отображается изменение уровня запаса розничной точки только на 30 дней.

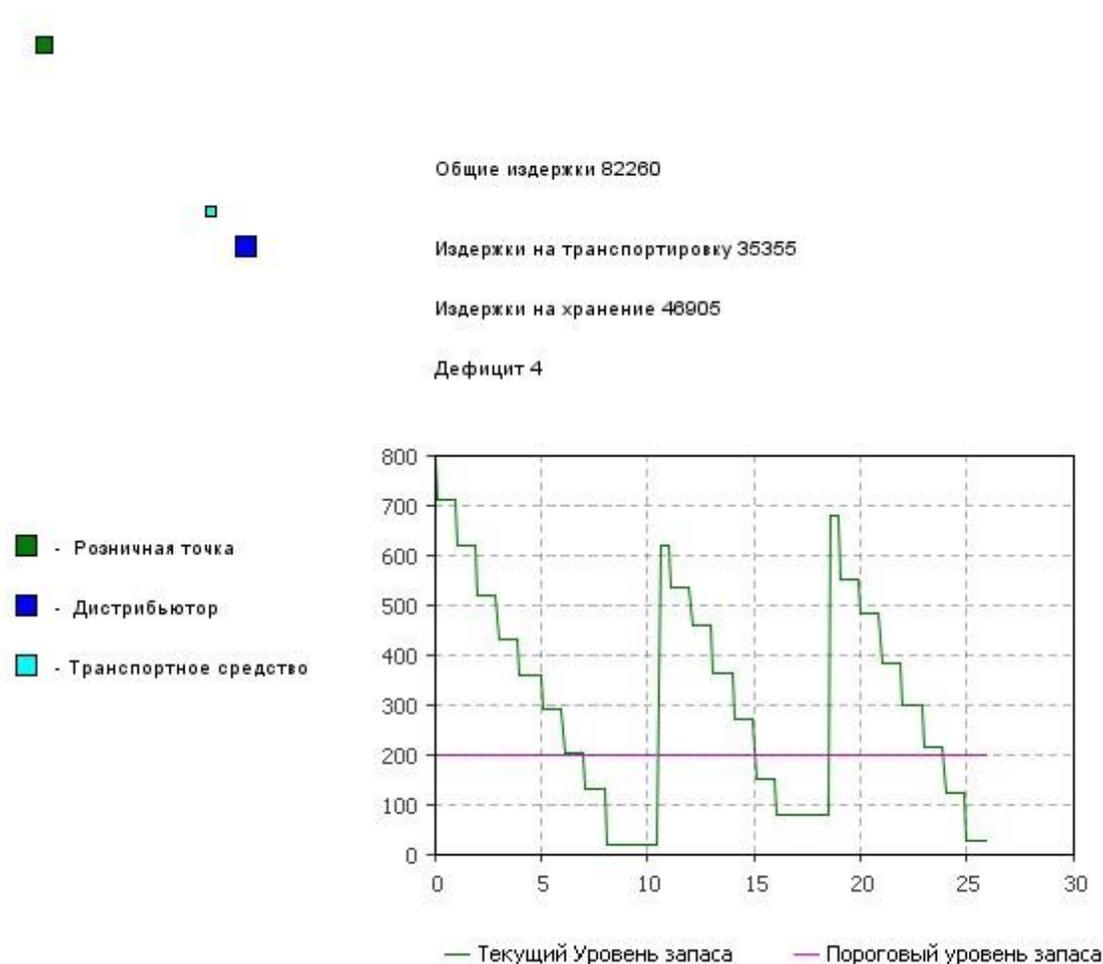


Рисунок 3.2 Промежуточный результат модели 2

Модель выполняет работу на протяжении 100 дней и за этот период возникло 18 случаев дефицита, общие издержки – 356299. Каждый раз во время доставки

товара возникает в среднем два случая дефицита. Количество возникающих случаев дефицита на время доставки товара зависит с одной стороны от величины спроса в момент, когда текущий уровень товара ниже порогового значения.

С введением стохастического спроса товара исчезла предсказуемость уровня товара, которая наблюдалась в первой модели.

В модели прямолинейное движение транспортного средства это условное обозначение, не отображающее реальную траекторию пути. Учитывая это и зная расстояние между дистрибьютором и магазином (длину пути по которому будет двигаться транспортное средство) можно адаптировать модель и применить её на практике. В результате можно будет оценить издержки и изучить динамику изменения уровня товара в магазине. Модель можно рассматривать для каждого типа товара в магазине, т.к. типы товара могут иметь разный спрос, цены на транспортировку и хранение. Аналогичное применение на практике может иметь и следующая модель, в которой рассматривается три уровня цепочки поставок.

3.1.3 Модель 3.

В модели результатом является два графика изменения уровня запасов розничной точки и дистрибьютора. Учитывается количество состояний дефицита товара, издержки общие, издержки на транспортировку и на хранение для двух объектов цепочки поставок (Рисунок 3.3).

На анимации модель отображает движение двух транспортных средств во время доставки товара. Условные обозначения розничной точки, дистрибьютора и транспортного средства не отличаются от предыдущей модели. В виде круга изображён поставщик. Вертикальной шкалой измерения является уровень запаса объекта, горизонтальной – время в днях.

В данной модели количество возникающего дефицита у розничной точки зависит от количества товара у дистрибьютора, зависит от того может ли дистрибьютор удовлетворить спрос. Спрос дистрибьютора совпадает с размером заказа розничной точки.

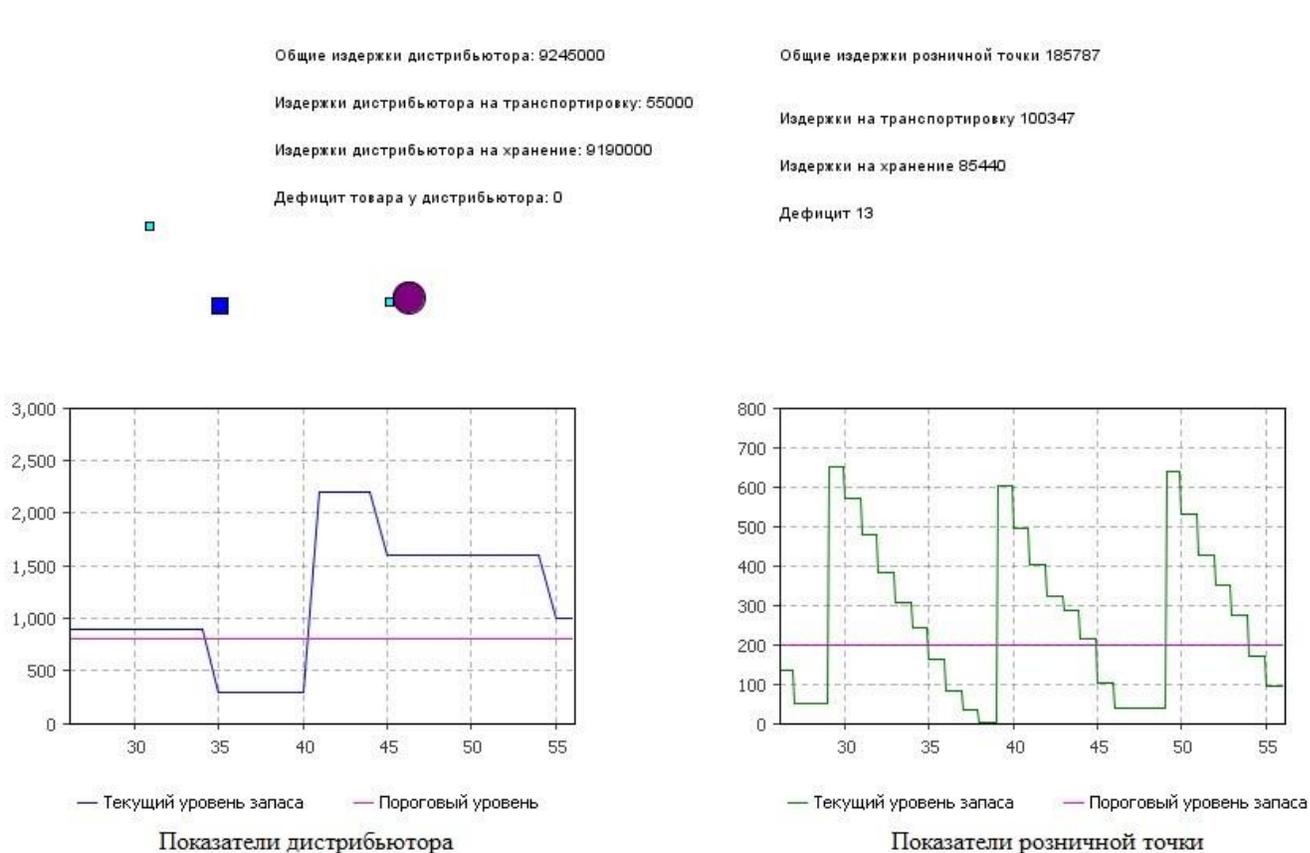


Рисунок 3.3 Промежуточный результат модели 3

Два графика имеют волновой характер, но в показателях дистрибьютора амплитуда больше за счёт крупного одновременного заказа нового товара. Дефицит товара дистрибьютора возникает значительно реже, чем розничной точки, но это всё зависит от значений параметров в модели.

3.2 Управление параметрами для минимизации издержек

Для рассмотрения поведения модели при изменении параметров, было принято решение провести оптимизационный эксперимент. Эксперимент проводился на второй модели, уровень издержек рассматривался относительно розничной точки.

Целью оптимизации является свести к минимуму общие издержки при этом ограничить количество случаев дефицита.

Снижение общего уровня издержек зависит от двух параметров:

- Пороговый уровень запасов розничной точки
- Размер заказа розничной точки при пополнении запаса

Для поиска оптимальных значений параметров моделирования, при которых достигается наилучшее значение целевой функции – общих издержек, создан оптимизационный эксперимент в AnyLogic.

При проведении оптимизации установлены два ограничения:

- Дефицит $\leq n$, где $n \in \mathbb{N}$
- $EOQ - ROP \geq 0$

Для параметров, EOQ и ROP устанавливаются минимальное и максимальное значение, шаг дискретизации.

	min	max	Шаг
EOQ	100	2000	10
ROP	100	2000	10

Таблица 3.3 Пороговые значения параметров

Стоит обратить внимание, что при оптимизации предполагается, что максимальное количество товара, который может быть доставлен одновременно, равен 2000 единиц.

Реализованный оптимизационный эксперимент позволяет получить параметры размера заказа и порогового уровня для любого желаемого количества дефицита. Количество дефицита рассчитывается на 100 дней.

В таблице 3.4 приведены результаты экспериментов над моделью. Для трёх значений дефицита представлены параметры и размер общих издержек до и после оптимизационного эксперимента.

	Без оптимизации	После оптимизации	Без оптимизации	После оптимизации	Без оптимизации	После оптимизации
Дефицит	14	14	18	18	21	21
Размер заказа (EOQ)	500	960	600	800	660	770
Пороговый уровень (ROP)	250	150	200	160	150	110
Общие издержки	408077	365189	356299	339826	347507	325361

Таблица 3.4 Результаты экспериментов

По результатам экспериментов можно сделать выводы:

- при увеличении случаев дефицита общие издержки уменьшаются, но это не является приемлемым выходом для минимизации общих издержек.

- при уменьшении издержек размер заказа увеличивается, а пороговый уровень уменьшается

Розничная точка может быть сильно заинтересована в отсутствии дефицита товара. Проведя оптимизационный эксперимент, получим, что размер заказа должен составлять 730 единиц, пороговый уровень – 380, но общие издержки при этом увеличатся и достигают 448989.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведения теоретических и экспериментальных исследований в работе можно сделать следующее заключение:

- изучена теоретическая база необходимая для детального понимания исследуемой предметной области
- рассмотрены подходы к имитационному моделированию, их применимость и назначение
- детально изучен агентный подход имитационного моделирования
- рассмотрена структура цепочки поставок, система продвижения товара от поставщика к потребителю на различных уровнях
- описаны и построены три модели цепочки поставок используя агентный подход имитационного моделирования
- выполнен анализ моделей
 - наблюдается волновое поведение уровня запасов у всех звеньев цепочки реализованных моделей
 - частота волны на графике уровня запасов розничной точки больше, амплитуда – меньше в сравнении с другими уровнями цепочки, это связано с установленными значениями размера заказа и порогового уровня
 - количество случаев дефицита розничной точки зависит от возможности каждого звена цепочки удовлетворить спрос предшествующего
 - введение стохастического спроса в моделях приводит к усложнению алгоритма управления запасами, значительно уменьшается предсказуемость системы

- проведены оптимизационные эксперименты модели с целью сведения к минимуму издержек на хранение и транспортировку товара
 - незначительное изменение размера заказа или порогового уровня может привести к значительному изменению издержек и количества дефицита
 - при увеличении количества случаев дефицита, размер издержек уменьшается, но это не является оптимальным способом. Предлагается уменьшение уровня издержек путём управления параметрами уровня запасов и порогового значения. Тщательный анализ этих величин приведет к уменьшению поступления лишнего товара и уровня дефицита, и, как следствие, расходов на хранение.
 - при неизменном уровне дефицита увеличение размера заказа и уменьшение порогового уровня до определённых значений приводит к уменьшению издержек

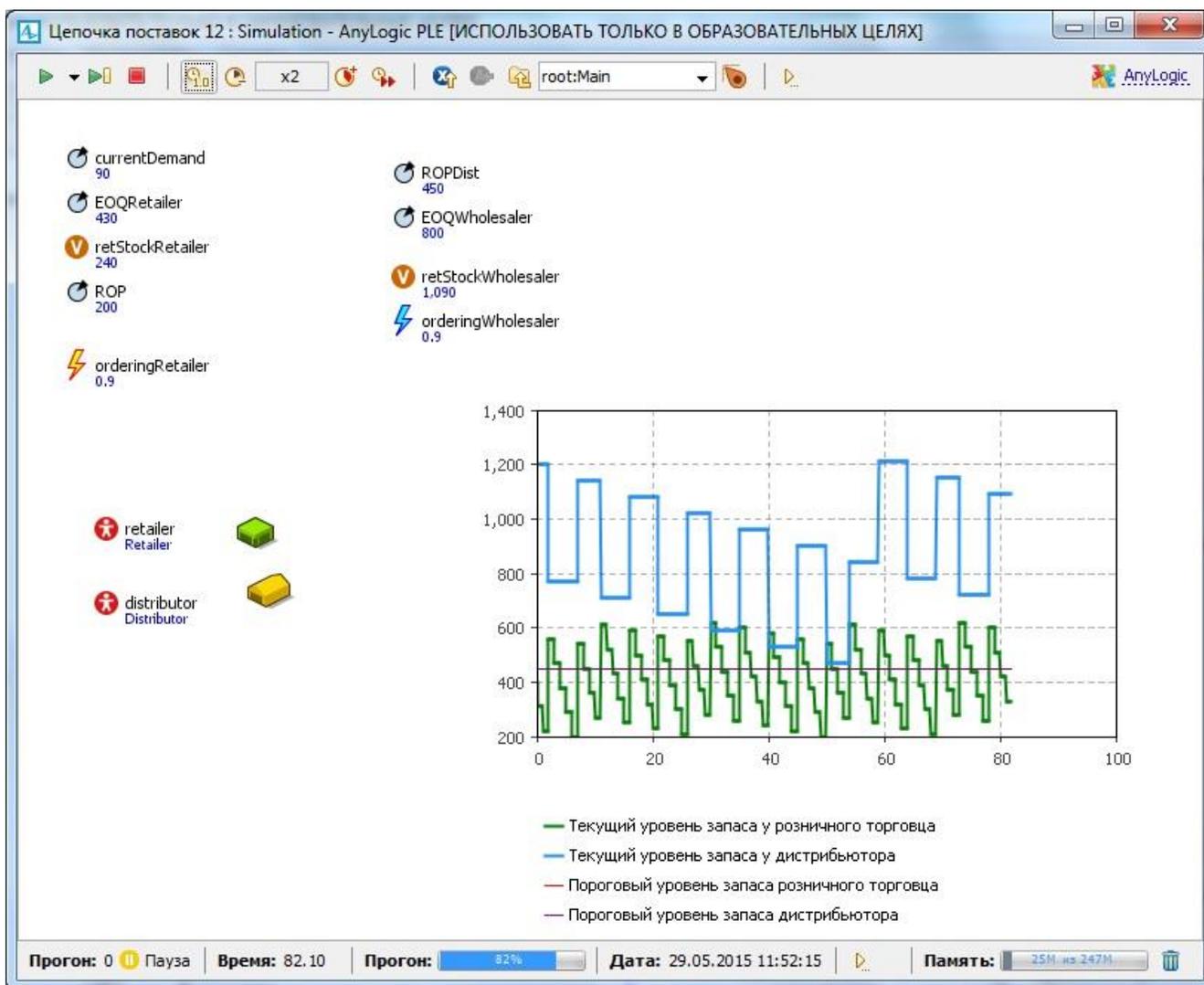
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замятина, Е.Б., Архитектура агентно-ориентированной системы имитации с агентами, основанными на нейронных сетях / Е.Б. Замятина, Д.Ф. Каримов, А.А. Митраков. // Информация и связь – Пермь: ПГНИУ, 2014.
2. Строгалев, В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. — МГТУ им. Баумана, 2008. — С. 697-737
3. Киселева, М. В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic : учебно-методическое пособие / М. В. Киселёва. Екатеринбург : УГТУ - УПИ, 2009. 88 с.
4. Толуев, Ю.И. Имитационное моделирование логистических систем. — Магдебург: Университет им. Отто фон Герике.
5. Боев, В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7:.. — СПб.: ВАС, 2014. — 432 с.
6. Савенкова, Т.И. Логистика : учеб. пособие / Т.И. Савенкова. — 5-е изд., стер. — М.: Издательство «Омега-Л», 2010.— Тема 1. Общая характеристика логистики и факторы ее развития
7. Толуев, Ю.И. Моделирование и симуляция логистических систем / Ю.И. Толуев, С.И. Планковский / – Курс лекций для высших технических учебных заведений. – Киев: «Миллениум», 2009. – 85 с.
8. Коровин, А.М. Моделирование систем: учебное пособие к лабораторным работам. / А.М. Коровин – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 47 с.

9. Маликов, Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 : учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.
- 10.Рожков, М.И. Разработка имитационных моделей управления запасами в цепях поставок / М.И. Рожков – Москва, 2011. – 116 с.
11. Бабина, О.И. Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей/ О.И. Бабина – Красноярск, 2009.
- 12.Справочная система Anylogic. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/anylogic/help/index.jsp?nav=/0>
- 13.“Java For AnyLogic Users” [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.xjtek.com/files/book/Java_for_AnyLogic_users.pdf
- 14.Parunak H.V.D., Savit H.R., Riolo R.L. (1998) «Agent-Based Modeling vs. Equation-Based Modeling: A Case Study and Users’ Guide». – Berlin, Germany, pp. 10—25.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРЕЗЕНТАЦИЯ МОДЕЛИ 1

Презентация двухуровневой модели с постоянным спросом и мгновенным пополнением запаса.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДОКУМЕНТАЦИЯ К МОДЕЛИ 2

Модель: Двухуровневая цепочка поставок со стохастическим спросом.

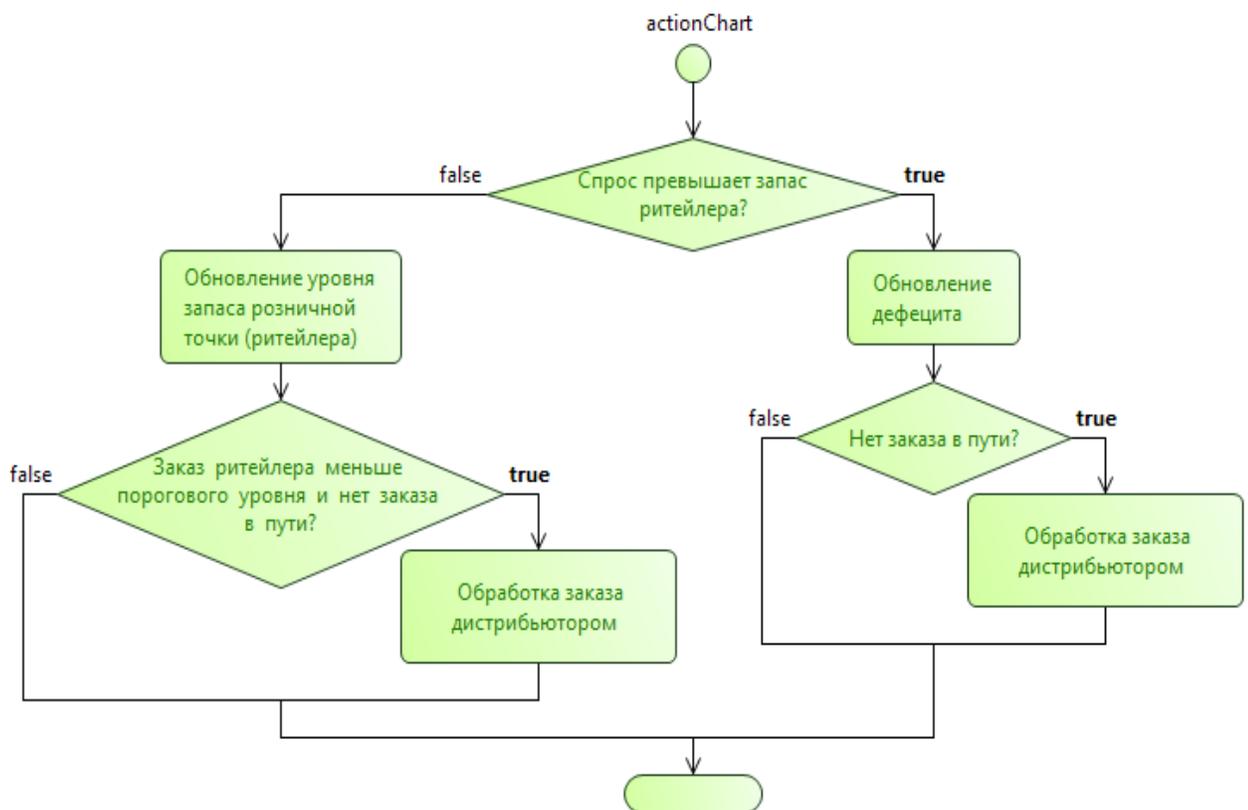
Имя	Значение
Основные	
Единицы модельного времени	секунды
Численные методы	
Метод решения дифф. ур-й	Эйлер
Метод решения алгебр. ур-й	Измененный Ньютон
Метод решения смешанных ур-й	RK45+Newton
Абсолютная точность	1.0E-5
Временная точность	1.0E-5
Относительная точность	1.0E-5
Фиксированный шаг по времени	0.001
Специфические	
Имя Java пакета	триАгента
Имя файла	D:\AnyLog icExe\итоговое\Цепочка поставок 3 агента\Цепочка поставок 3 агента.alp

Тип агента: Main

Имя	Значение
Действия агента	
Действие при запуске	<pre>Distributor b = add_distributor(); b.setXY(distrCoordx,distrCoordy); Retailer a = add_retailer(); retStock=EOQ+ROP; a.setXY(etailCoordx,etailCoordy); a.retDist = sqrt(pow(etailCoordx-distrCoordx,2)+pow(etailCoordy-distrCoordy,2)); Truck d = add_truck(); d.setXY(distrCoordx,distrCoordy); d.rectangle.setVisible(true);</pre>
Агент в диаграмме процесса	
Использовать в диаграммах процесса как	Агент
Движение	
Скорость	10 м/с
Поворачивать анимацию согласно направлению движения	true
Также наклонять и вертикально	false

Диаграмма действий: actionChart

Имя	Значение
Основные	
Тип возвращаемого значения:	Действие (не возвращает ничего)
На презентации	true
Отображать метку	true
Специфические	
Статическая	false
Уровень доступа	по умолчанию
Единицы измерения (сист. динамика)	false



Решение (If ... Else): decision

Имя	Значение
Основные	
Условие	retailer.get(0).currentDemand > retStock
Специфические	
Комментарий	Спрос превышает запас ритейлера?

Код: code2 (false1)

Описание: Запас розничной точки уменьшается на величину потребительского спроса.

Имя	Значение
Основные	
Действие	retStock -= retailer.get(0).currentDemand;
Специфические	
Комментарий	Обновление уровня запаса розничной точки (ритейлера)
Описание	
Описание	Запас розничной точки уменьшается на величину потребительского спроса.

Решение (If ... Else): decision2

Имя	Значение
Основные	
Условие	(truck.get(0).isMoving()==false)&&(retStock<ROP)
Специфические	

Имя	Значение
Комментарий	Заказ ритейлера меньше порогового уровня и нет заказа в пути?

Код: code3 (true2)

Описание: Задаётся движение транспортного средства

Имя	Значение
Основные	
Действие	create_RetReplenishment(retailer.get(0).retDist/10,retailer.get(0).retDist/10); truck.get(0).rectangle.setVisible(true); truck.get(0).moveToInTime(retailer.get(0).getX(),retailer.get(0).getY(),retailer.get(0).retDist/10);
Специфические	
Комментарий	Обработка заказа дистрибьютором
Описание	
Описание	Задаётся движение транспортного средства

Код: code (true1)

Имя	Значение
Основные	
Действие	retShortage++;
Специфические	
Комментарий	Обновление дефицита

Решение (If ... Else): decision1

Имя	Значение
Основные	
Условие	truck.get(0).isMoving()==false
Специфические	
Комментарий	Нет заказа в пути?

Код: code1 (true2)

Описание: Задаётся движение транспортного средства

Имя	Значение
Основные	
Действие	<pre>create_RetReplenishment(retailer.get(0).retDist/10,retailer.get(0).retDist/10); truck.get(0).rectangle.setVisible(true); truck.get(0).moveToInTime(retailer.get(0).getX(),retailer.get(0).getY(),retailer.get(0).retDist/10);</pre>
Специфические	
Комментарий	Обработка заказа дистрибьютором
Описание	
Описание	Задаётся движение транспортного средства

Вернуть значение (Return): returnStatement

ПРИЛОЖЕНИЕ В. ДИАГРАММА ДЕЙСТВИЙ МОДЕЛИ 3

Диаграмма действий трёхуровневой цепочки поставок со стохастическим спросом

