

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра математической экономики

АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 441 группы
направления 09.03.03 — Прикладная информатика
механико-математического факультета
Шнайдера Ильи Андреевича

Научный руководитель
профессор, д.э.н., профессор _____

В.А. Балаш

Заведующий кафедрой
зав. каф., д.ф.-м.н., профессор _____

С.И. Дудов

Саратов 2020г.

Введение. Имитационное моделирование — это деятельность по разработке программной модели реальной или гипотетической системы, отражающей структуру и поведение моделируемой системы, проведение компьютерных экспериментов по исследованию поведения этой модели, а также анализ полученных результатов компьютерных экспериментов. Новым в имитационном моделировании является агентный подход, который обладает рядом преимуществ, основывается на индивидуальном поведении Агентов и применении компьютерного моделирования для анализа и оптимизации моделей бизнес-процессов экономических систем.

Агент-ориентированное моделирование — направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот, когда эти правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы.

Наиболее широкое распространение агент-ориентированный подход получил в моделировании логистических процессов. С развитием интегральной логистики и концепции управления цепями поставок процессы управления и оптимизации значительно усложнились, поэтому моделирование перевозок, процессов логистики и цепей поставок сейчас являются самым востребованным направлением в имитационном моделировании в мире.

Цель данной работы — ознакомиться с парадигмой агент-ориентированного моделирования; изучить его применение в моделировании логистических процессов, в частности цепей поставок. Рассмотреть программные средства создания таких моделей, провести их сравнительный анализ и с их помощью построить агентную имитационную модель цепи поставок транспортной компании в условиях динамического изменения заказов, полностью отвечающую требованиям современной логистики.

Основное содержание работы:

В первой части работы рассматривается понятие агент-ориентированного моделирования, преимущества и недостатки этого подхода, а также сферы применения и примеры наиболее удачных агент-ориентированных моделей.

Во второй части приводятся теоретические основы логистики и концепции управления цепями поставок, описаны цели и задачи современной логистики.

В третьей части работы рассматриваются программные пакеты, позволяющие создавать агентные модели, производится их сравнительный анализ и выбирается наиболее подходящий из них.

В четвертой части описан процесс разработки агент-ориентированной модели цепи поставок транспортной компании и результаты моделирования.

В заключении подводятся итоги проделанной работы.

Агент-ориентированное моделирование (АОМ) — относительно новая парадигма имитационного моделирования, появившаяся в конце 20го века, в связи с необходимостью моделирования поведения человека в социально-экономической среде. Основной идеей, лежащей в основе АОМ, является построение некоего вычислительного инструмента, позволяющего провести симуляцию реальных процессов и явлений, и представляющий собой совокупность агентов, обладающих некоторым набором свойств и каким-либо образом взаимодействующих друг с другом и окружающей средой. Агентами могут быть любые социально-экономические субъекты – отдельные люди, организации, такие как фирмы или государственные органы, различные социальные институты и государства. Агент-ориентированное моделирование применяется при решении множества коммерческих и технологических задач, таких как: оптимизация сети поставщиков и логистика, моделирование поведения потребителей (в том числе соц. сети), распределенные вычисления, менеджмент трудовых ресурсов, управление инвестиционными портфелями, управление транспортными системами. Поскольку логистика является

направлением, в котором наиболее востребовано имитационное моделирование, Агент-ориентированная парадигма нашла широкое применение в моделировании логистических сетей и процессов логистики.

Логистика — междисциплинарное научное направление, непосредственно связанное с поиском новых возможностей повышения эффективности материальных потоков. Как наука логистика ставит и решает следующие цели и задачи: разработка моделей функционирования логистических систем; разработка методов управления запасами в системе товародвижения; разработка методов управления перегрузочными процессами и транспортно-складскими операциями при продвижении материального потока; разработка методов совместного планирования, снабжения, производства, складирования, сбыта и отгрузки готовой продукции; прогноз спроса и планирование запасов на его основе.

Основной задачей логистики является проектирование и моделирование логистических систем. В настоящее время, в современной логистике, наряду с понятием логистическая система стали широко применяться термины «логистическая цепь» и «цепь поставок». Логистическая цепь — линейно-упорядоченное множество физических и/или юридических лиц (поставщиков, логистических посредников), непосредственно участвующих в доведении до конкретного получателя необходимых материалов или продукции. Цепь поставок же определяется как объединение всех видов бизнес-процессов, необходимых для удовлетворения спроса на продукцию или сервис — от начального момента получения сырья или информации до доставки конечному потребителю. Управление цепями поставок включает в себя больше функций, чем классическая логистика. К таковым относят: управление взаимоотношениями с потребителями; управление обслуживанием потребителей; управление спросом; управление выполнением заказов; управление производственным потоком; управление снабжением; управление

продуктом; управление возвратными потоками. Для моделирования цепей поставок используют агент-ориентированное моделирование.

AnyLogic – программное обеспечение для создания и исследования имитационных моделей, обладающее полной поддержкой всех парадигм имитационного моделирования, созданное российской компанией The AnyLogic Company. Обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык Java для разработки моделей.

В качестве моделируемой цепи поставок выбрана цепь поставок транспортной компании, осуществляющей автомобильные перевозки по крупным городам в центральной части России.

Описание логистических процессов модели:

Клиент компании оформляет заказ перевозки товара со склада. Для каждого заказа подбирается транспортное средство — выбирается автомобиль, с ближайшим расположением, при этом не занятый в данный момент доставкой груза. Автомобиль начинает движение на склад, забирает указанное количество товара со склада, при этом количество товара на складе уменьшается на это число. Если устанавливаемое время заказа превышено, то клиенту выплачивается фиксированная неустойка в размере 1000 рублей. Далее происходит процесс погрузки товара, при этом также происходит проверка превышения времени выделяемого на исполнение заказа, если время превышено, то автомобиль отправляется выполнять другой заказ. После погрузки, автомобиль доставляет товар клиенту, при этом также проверяется время исполнения заказа, если время исполнения превышает, то на стоимость доставки начинает действовать скидка. Далее происходит процесс разгрузки, и автомобиль отправляется исполнять следующий заказ. Для выплаты заработной платы водителям грузовиков используется тариф 200 рублей в час. Все перечисленные действия происходят для каждого транспортного средства, принадлежащего компании.

Описание агентов модели:

Агент Main.

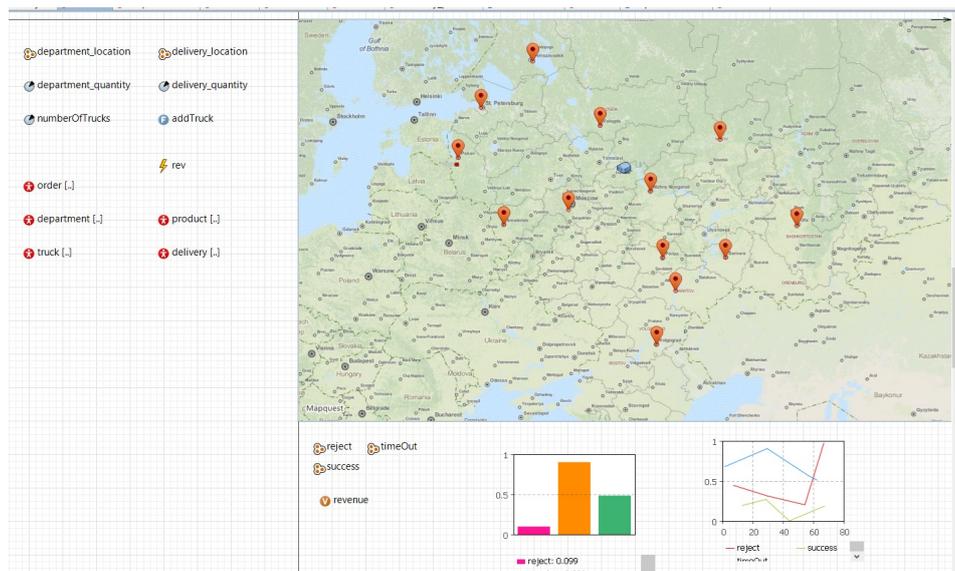


Рис.1 Изображение агента Main.

Представляет собой GIS-карту, на которой изображены остальные агенты модели. Иллюстрация работы модели также происходит на этом агенте. GIS-точками отмечены пункты доставки — крупные города России. Маршруты автомобилей выстраиваются с помощью информации с сервера AnyLogic.

При запуске модели каждый склад заполняется случайным числом товаров в диапазоне $[0; 200]$, генерация числа происходит с помощью равномерного распределения.

Агент Product.

The screenshot displays the configuration window for the 'Product' agent in AnyLogic. The window includes the following fields and options:

- Имя:** product (with a checked box for 'Отображать имя' and an unchecked box for 'Исключить')
- Тип агента:** Одиночный агент, Популяция агентов
- Популяция:** Изначально пуста, Содержит заданное кол-во агентов, Загружается из базы данных
- Таблица:** product (dropdown menu)
- Условия выборки:** (buttons for selection conditions)
- Режим:** Один агент для каждой записи в БД, Несколько агентов по одной записи
- Соответствие параметров агента:**

Параметр	Столбец
name	name

Рис. 2 Представление агента Product.

Агент Product используется для учета указанных заказчиком товаров, наименование и количество товара хранится в базе данных, которой по умолчанию в AnyLogic является редактируемый файл excel, с каждым запуском модели данные в базе перезаписываются.

Агент Order.

Данный агент представляет собой стейтчарт, описывающий логику подбора оптимального автомобиля для исполнения заказа.

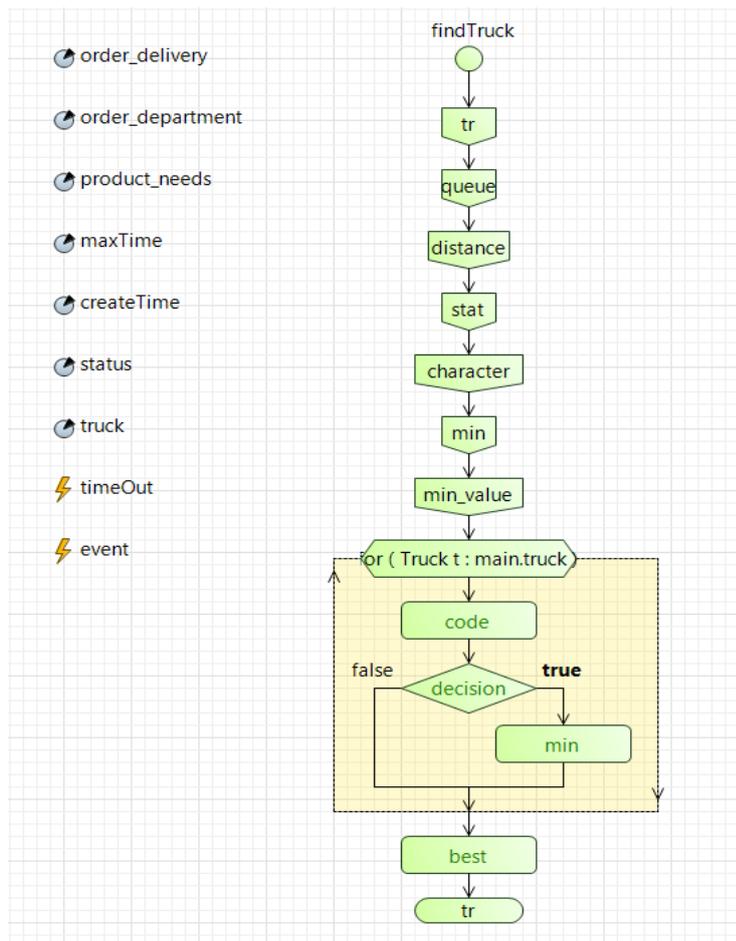


Рис. 3 Представление агента Order.

Поле tr хранит в себе значение конкретного экземпляра класса Truck. Поле queue хранит количество заказов, ожидающих доставки. Поле distance используется для учета расстояния автомобиля от ближайшего склада, stat хранит информацию о состоянии автомобиля — выполняет он заказ, или простаивает. С помощью character производится сравнение автомобилей при

подборе, в `min` хранится порядковый номер автомобиля. Цикл `for` используется для прохода по всем экземплярам класса `Truck`. В процессе выполнения цикла полю `queue` присваивается значение количества заказов, полю `distance` присваивается значение расстояния до ближайшего склада в км. Если автомобиль находится на складе, либо происходит разгрузка, в случае, когда после комплектования заказа было обнаружено, что время заказа превышено, то полю `stat` присваивается значение 1, если же грузовик после разгрузки возвращается на склад, то полю присваивается значение 2; в случае разгрузки заказа для покупателя полю `stat` присваивается значение 3. Во всех остальных случаях (когда автомобиль движется от текущего склада, к нужному, где имеется товар; когда автомобиль находится в состоянии погрузки; когда автомобиль движется к месту доставки) поле `stat` имеет значение 4. После этого полю `character` присваивается сумма значений `stat` и `distance` и проверяется, меньше ли оно минимального значения, принадлежащего другому автомобилю. Если условие выполняется, то полю `min` присваивается порядковый номер этого автомобиля, а `min_value` - значение параметра `character` данного грузовика. Поскольку это происходит в цикле, будет выбран грузовик с наименьшим значением `character`. Ссылка на этот автомобиль будет передана в поле `tr`, которая является возвращаемым значением. Таким образом, для исполнения заказа будет подбираться наиболее оптимальный для этого автомобиль

Агент Delivery.

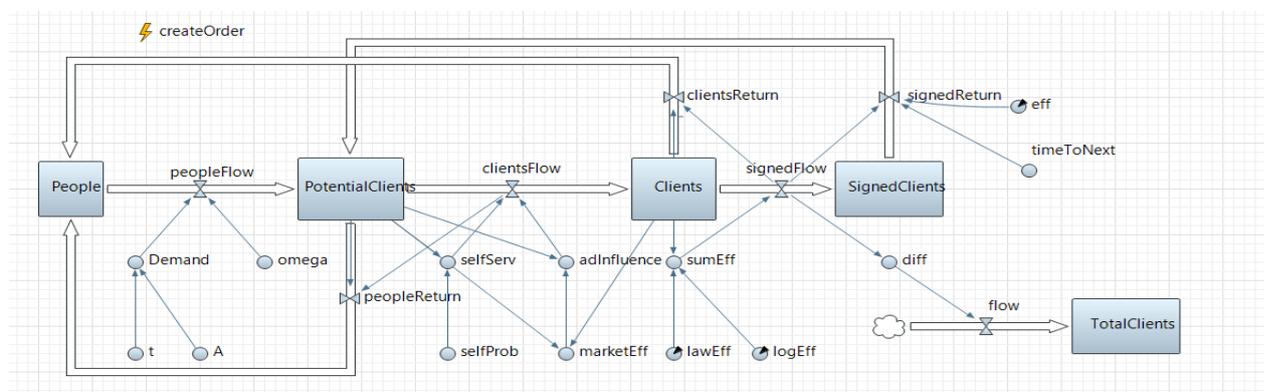


Рис. 4 Представление агента Delivery.

Агент Delivery описывает пункты доставки и представляет собой дискретно-событийную диаграмму.

Начальная численность людей полагается равной 100000 человек. Очевидно, что не каждый из них обратится за услугами компании, поэтому вводится переменная Demand, описывающая спрос. Поскольку спрос не является постоянной величиной, вводится функция для его описания -

$$1000 + X * \sin\left(\frac{pi}{2} * t\right) , \text{ где } A - \text{случайное число из диапазона } [-40;40].$$

Для определения вероятности обращения в компанию вводится переменная Omega, вероятность обращения согласно нормальному распределению колеблется в диапазоне 0,7-2%. Произведение данной переменной на спрос формирует поток потенциальных клиентов. Потенциальные клиенты могут обратиться самостоятельно с вероятностью от 2,5 до 5%, заданную также нормальным распределением переменной selfProb. Произведение этой переменной на количество потенциальных клиентов задает переменную selfServ=PotentialClients*selfProb. Кроме этого на потенциальных клиентов оказывает влияние маркетинг. Переменная marketEff вычисляется по формуле $\text{delay}(\text{Clients}/\text{PotentialClients}, 1, 0.8)$ - отношение числа клиентов к потенциальным клиентам с задержкой 1 модального времени, в первый момент времени значение переменной равно 0,8. Переменная adInfluence формирует объем людей, привлеченных рекламой.

Поток clientsFlow формируется суммой самостоятельно обратившихся клиентов и привлеченных маркетингом. Эффект логистического и юридического отделов рассчитывается по следующей формуле: $\text{sumEff} = (\text{Clients} * \text{lawEff} * \text{logEff})$. Данный показатель формирует поток signedFlow, который определяет базу клиентов компании, сделавших заказ - SignedClients. Далее формируются возвратные потоки клиентов, решивших повторно обратиться в компанию. Переменная timeToNext является задержкой

перед повторным обращением клиента. Параметр *Eff* определяется отношением числа подписавших контракт клиентов к числу клиентов. Окончательное число клиентов *TotalClients* формируется за счет переменной *diff*, которая рассчитывается как разница *SignedClients* и его предыдущего значения. Также переменная *diff* является условием создания заказа, когда ее значение становится положительным, срабатывает событие *createOrder*. Заказ заполняется позициями возможных товаров, количество товара определяется с помощью равномерного распределения из диапазона [1:20].

Далее определяются склады с достаточным количеством товара и формируется их список, из списка выбирается склад с кратчайшим расстоянием до клиента. С помощью метода *findTruck* в список заказов найденного грузовика добавляется текущий заказ. Если складов с достаточным количеством товара нет, то заказ добавляется в коллекцию *reject*.

Агент Truck.

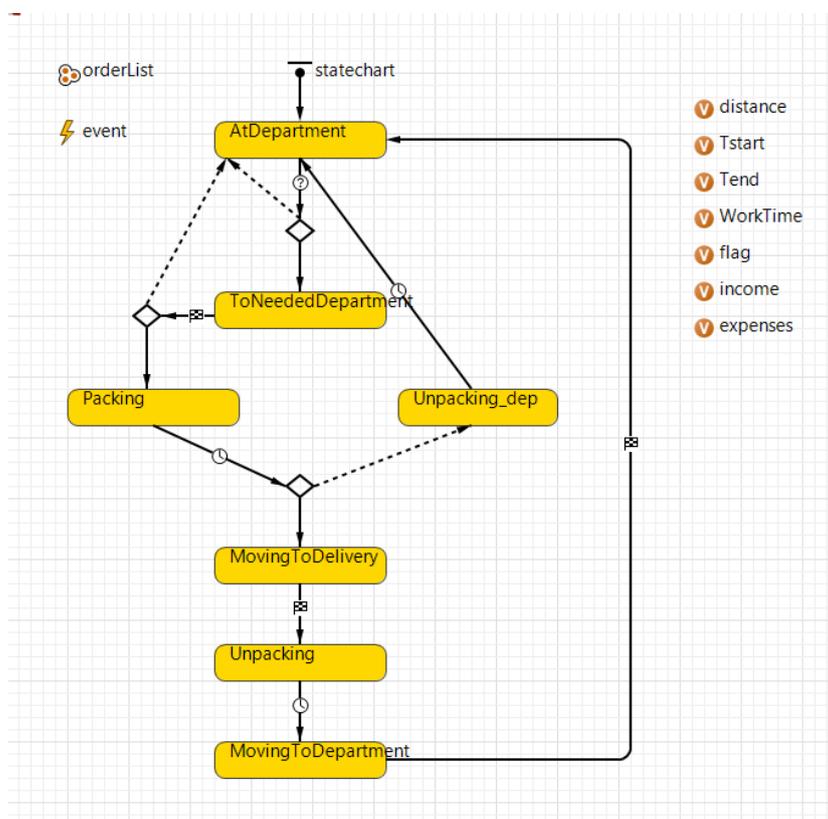


Рис. 5 Представление агента Truck.

Представляет собой стейтchart, в котором описывается логика изменения состояния автомобиля. Начало и конец движения описывается состоянием нахождения на складе — `AtDepartment`. При начале движения происходит фиксация времени отбытия автомобиля, для отслеживания факта исполнения доставки, либо превышения времени таймера используется поле типа Булева переменная `flag`. Далее происходит проверка наличия заказа в списке заказов, если условие выполняется, то проверяется проверка статуса заказа. В случае невыполнения условия, товар, списанный со склада, возвращается, и к затратам добавляется штраф в размере 1000 руб. Если условие выполняется, то рассчитывается расстояние до склада, и автомобиль отправляется на нужный склад, при этом состояние меняется на `ToNeededDepartment`. При этом проводится проверка превышения времени заказа, если сроки не превышены, то рассчитывается расстояние от склада до заказчика, и состояние меняется на `MovingTodelivery`. Если автомобиль прибыл к месту доставки с опозданием, процесс разгрузки и доставки продолжится, однако со штрафом для компании. Происходит переход в состояние разгрузки, по окончании разгрузки переменная `distance` получает новое значение, учитывающее еще и расстояние до склада. После разгрузки происходит переход по времени, зависящий от количества товара, также пополняется коллекция успешно выполненных заказов. Из списка заказов данного автомобиля удаляется выполненный заказ, и происходит поиск не просроченных заказов. При прибытии автомобиля на склад рассчитывается заработная плата водителя за поездку. Переменная `Tend` фиксирует окончание поездки, `WorkTime` рассчитывает время, затраченное на доставку грузов, происходит расчёт затрат `expenses` из ставки 200 р/ч за труд водителя, если груз был доставлен `flag==true`, то переменная доходов `income` увеличится из расчёта стоимости одного километра движения в 20 рублей. Поле `distance` обнуляется. Производится расчет суммарного дохода по всем автомобилям, вычитаются все переменные издержки и расходы на содержание складов. Расходы на содержание складов полагаются равными 1000 рублей в

день. Количество грузовиков полагается равным 7, количество складов — 6, количество мест доставки -12.

Результаты моделирования В результате моделирования была создана модель цепи поставок транспортной компании, отвечающая современным требованиям логистики и концепции управления сетями поставок. Происходит проверка наличия необходимого количества товара на складах, реализован подбор наиболее оптимального транспортного средства, выбор склада производится с учетом расстояния до потребителя. Предусмотрен функционал, действующий при отмене заказа либо невыполнении его в срок. При помощи встроенного функционала AnyLogic организован подбор кратчайших маршрутов к местам доставки, а также хранение данных заказов компании в базе данных.

Значения исходных параметров изначально устанавливались согласно общей информации касательно бизнес-процессов транспортной компании, после проведения тестовых прогонов значения подбирались таким образом, чтобы результаты работы модели выглядели реалистично. Функция спроса

$$1000 + X * \sin\left(\frac{pi}{2} * t\right), \text{ где } A - \text{случайное число из диапазона } [-40;40]$$

свидетельствует о наличии незначительных колебаний спроса. Оценки эффективности логистического и юридического отделов 0,6462 и 0,7252 определены при тестовых прогонах модели, при значении данных показателей происходит генерация реалистичного количества заказов в день. Количество складов, автомобилей и точек доставки взяты произвольно

После нескольких тестовых прогонов введено ограничение на время в размере 2 суток. В ходе нескольких экспериментов было установлено, что в целом компания имеет положительную прибыль, однако она существенно зависит от дальности перевозок. В среднем при заданных параметрах за 2 дня компания успевает доставить от 4 до 7 заказов, однако периодически возникают невыполненные заказы. Организован сбор данных о выполнении заказов, которые отражаются в виде графиков, иллюстрирующих количество

невыполненных заказов в следствии как отсутствия товара, так и несоблюдения сроков и выполненных заказов.

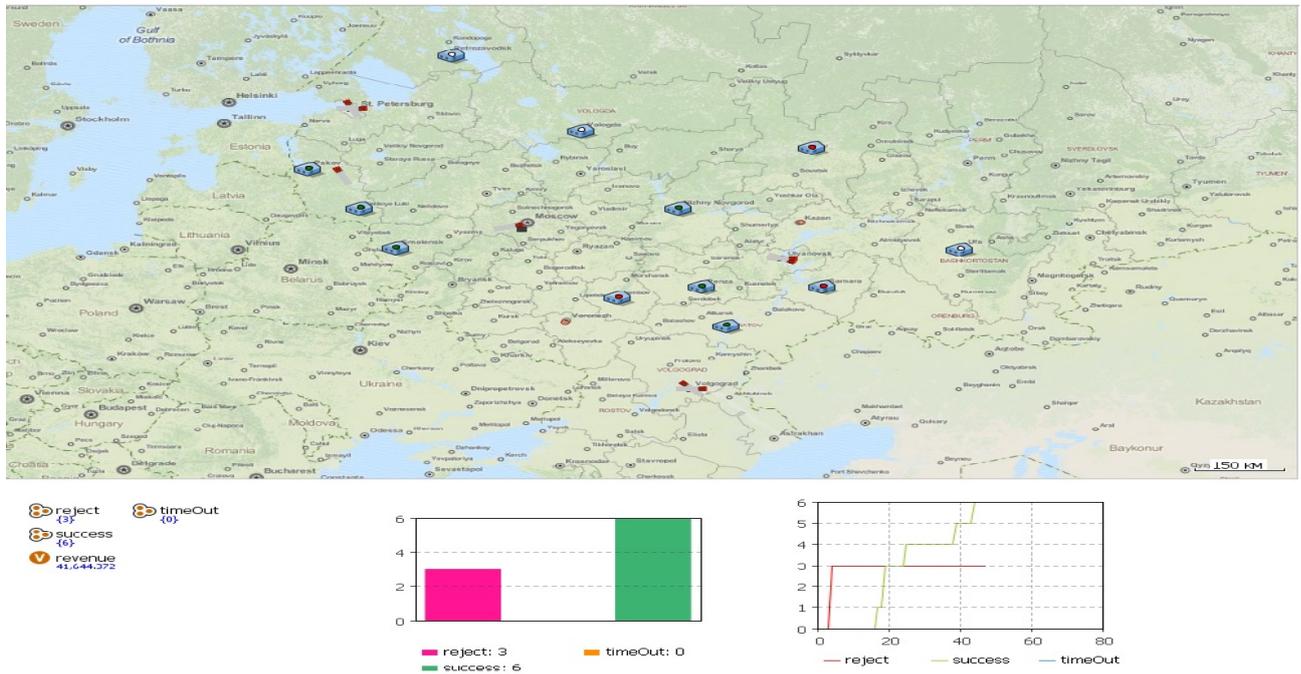


Рис. 6 Результаты моделирования.

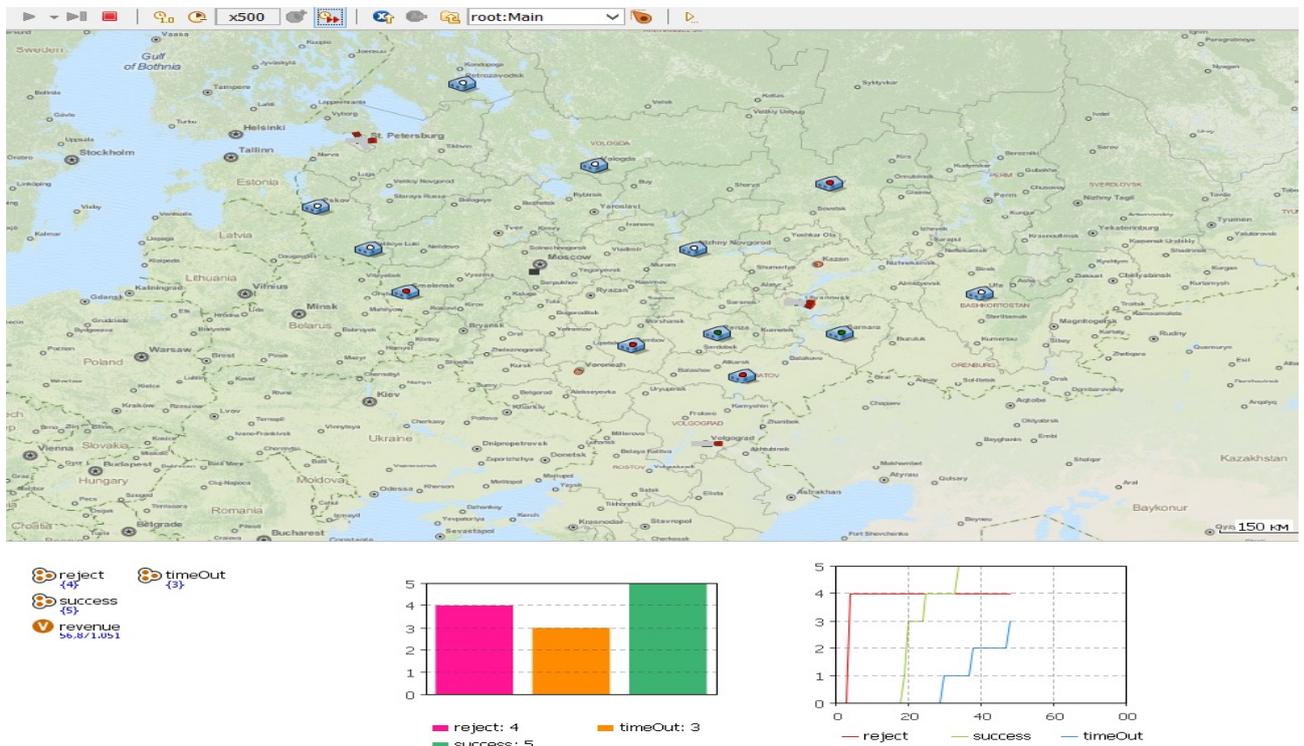


Рис. 7 Результаты моделирования.

Также в ходе моделирования была решена задача максимизации прибыли в условиях изменяемого размера автопарка. На рисунке 8 можно наблюдать

результаты подсчета оптимального числа автомобилей. Было получено оптимальное количество автомобилей в размере 10, при максимальном уровне прибыли в размере 66383 рублей.

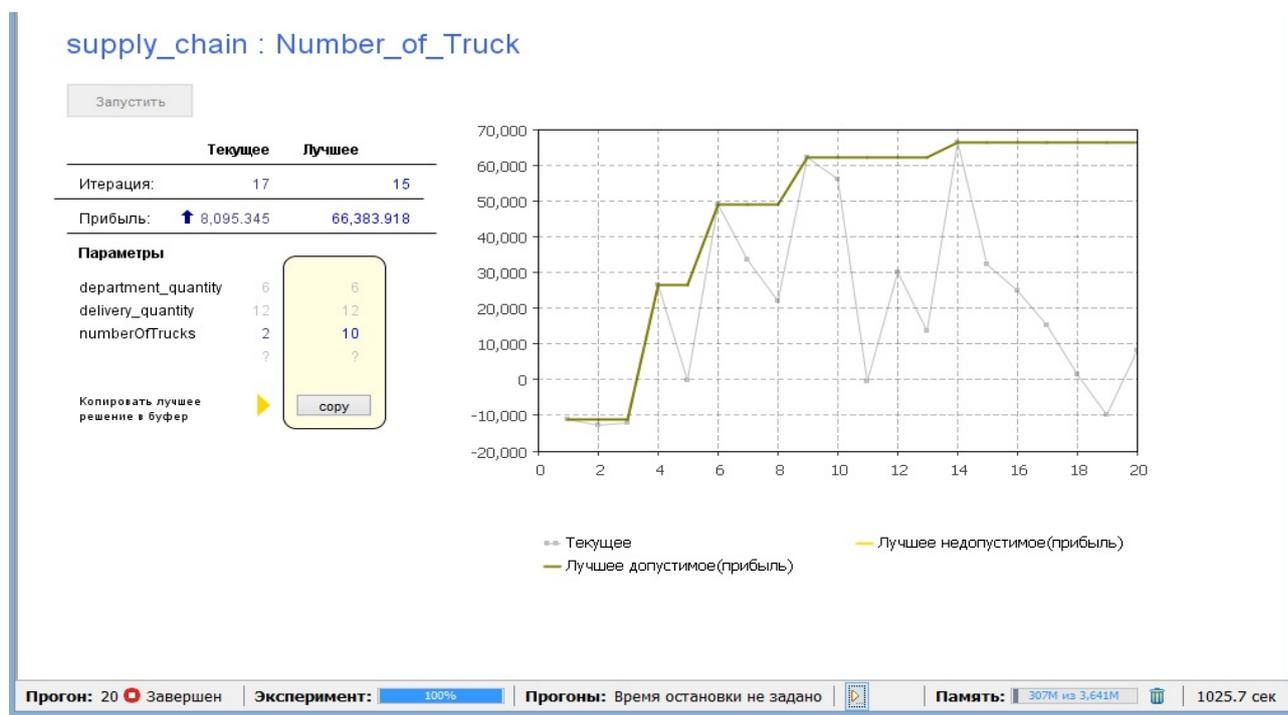


Рис. 8 Результаты оптимизации

Заключение Данная работа позволила в полной мере ознакомиться с такой парадигмой имитационного моделирования, как агент-ориентированное моделирование. Были изучены её принципы и основные особенности, преимущества и недостатки перед другими парадигмами имитационного моделирования, изучена история появления агентной парадигмы, рассмотрены случаи наиболее удачного применения и первые агентные модели. В ходе работы была разработана современная агентная модель цепочки поставок транспортной компании с учетом всех требований современной логистики. Также в работе проведен сравнительный анализ вариантов программного обеспечения, используемого для создания агент-ориентированных моделей, рассмотрены их особенности, преимущества и недостатки. При создании агентной модели был подробно рассмотрен функционал программного пакета AnyLogic и методы, предлагаемые данным решением для моделирования.