

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»**

---

Институт ИТАСУ

Кафедра инженерной кибернетики

Направление подготовки: «01.03.04 Прикладная математика»

Квалификация: бакалавр

Группа: БПМ-17-1

**ОТЧЕТ**  
**ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ**  
**«ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»**

на тему: «Имитационная модель работы службы такси в городе  
Энгельс»

Студентка \_\_\_\_\_ / Куликова Дарья Михайловна /

Руководитель \_\_\_\_\_ / профессор, к.т.н., доцент Крапухина Н.В. /

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата защиты: \_\_\_\_\_

---

Москва 2020

---

## Содержание

Введение .....	3
1 Цель построения модели, актуальность, особенности предметной области .....	5
2 Постановка задачи исследования .....	7
2.1 Содержательная постановка задачи .....	7
2.2 Исходные данные .....	8
2.3 Принятые гипотезы .....	12
3 Критерии оценки функционирования объекта .....	13
4 Структура модели.....	14
4.1 Общие сведения.....	14
4.2 Характеристика очередей.....	18
4.3 Визуализация .....	19
5 Характеризация и верификация модели .....	23
6 Результаты моделирования.....	25
6.1 Исходная система .....	25
6.2 Рассматриваемые изменения .....	27
6.3 Изменение 1. Уменьшение времени оформления заявки.....	28
6.4 Изменение 2. Введение нового тарифа .....	29
6.5 Изменение 3. Увеличение числа автомобилей .....	31
6.6 Работа системы при увеличении нагрузки.....	33
6.7 Сравнение исходной и итоговой моделей.....	35
Заключение .....	36
Список использованных источников .....	37

## **Введение**

С каждым годом услуги рынка такси пользуются все большей популярностью. Все большее число людей регулярно пользуются такси при поездках на работу или при поездках за город по выходным. Данный способ передвижения является более экологичным и зачастую более доступным, чем личный автомобиль, при этом предоставляет лучший уровень комфорта и меньшие временные затраты по сравнению с общественным транспортом. Особенно актуальны службы такси в маленьких и средних городах с плохо развитым общественным транспортом, не способным удовлетворить нужды населения. Таким образом, службы такси имеют влияние на качество жизни миллионов россиян. Тем не менее, в связи с ограничениями бюджета и влиянием на работу такси множества внешних факторов, повышение эффективности такой системы достаточно сложна.

Проведение реальных экспериментов может иметь сильное негативное влияние на бюджет компании. С другой стороны, данная система достаточно сложна для построения аналитической модели. В качестве комплексного подхода, позволяющего учесть воздействие внешних факторов, случайных переменных, изменение модели во времени было выбрано имитационное моделирование. Данный подход не требует больших временных и материальных затрат, при этом позволяет довольно точно промоделировать поведение системы в различных ситуациях и оценить целесообразность различных изменений.

В качестве программного продукта для разработки имитационной модели был выбран пакет AnyLogic, предоставляющий широкий спектр возможностей. AnyLogic содержит обширный набор графических объектов для создания 2D и 3D-моделей, набор отраслевых библиотек, а также поддерживает интеграцию с ГИС-картами. Все вышеперечисленные преимущества данного пакета позволяют создать более точные и наглядные модели.

В работе рассмотрена задача поиска методов повышения эффективности работы службы такси в городе Энгельс, путем построения имитационной модели в среде AnyLogic и анализа полученных результатов.

## **1 Цель построения модели, актуальность, особенности предметной области**

Цель построения модели – оценить текущие показатели работы службы такси, а также найти методы, улучшающие показатели системы, и провести анализ их эффективности.

В 2019 году объем рынка вырос на 5.6% и достиг 709 миллиардов рублей, от деятельности такси зависит более 1,5 миллионов человек [1]. Согласно комплексному наблюдению условий жизни населения [2][3][4], доля лиц, регулярно пользующихся такси с 2014 до 2018 гг. выросла на 3.4%. Такси все больше выполняет роль общественного транспорта, особенно в малых городах, так как общественный транспорт там развит хуже и не способен удовлетворить нужды населения. Также для большей части населения такси является единственной альтернативой при сбоях в работе общественного транспорта, этот показатель изменяется от 15.5 до 45.7% в зависимости от размера города [1].

Таким образом, эта тема является особенно актуальной для небольших городов, где доля населения, регулярно пользующегося услугами служб такси, в 2 раза превышает данный показатель для больших городов. Зависимость рассмотренного показателя от размера города и года представлена на рисунке 1 [2][3][4].

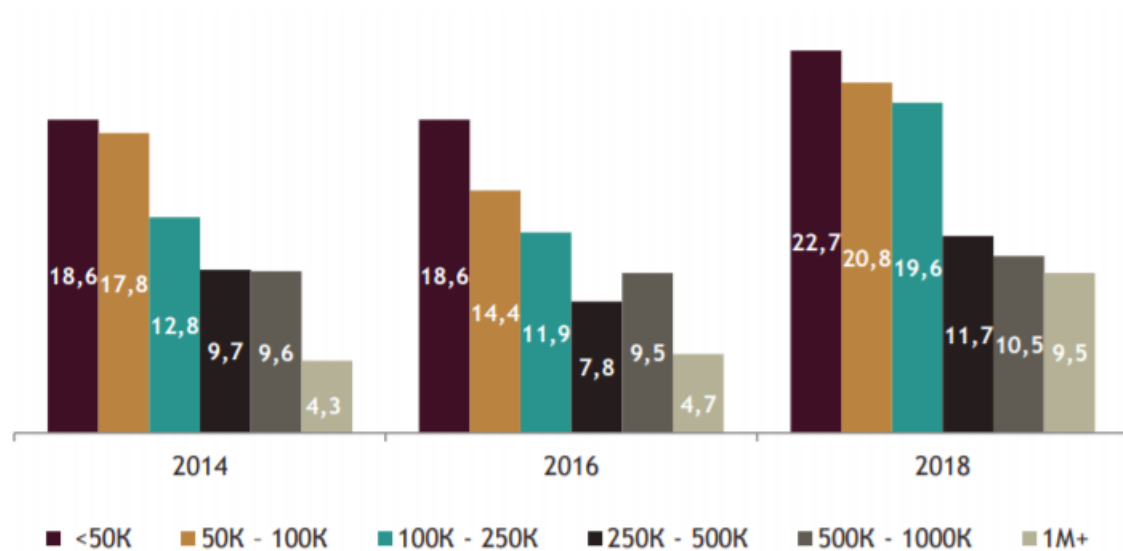


Рисунок 1 - Доля городского населения, регулярно пользующихся такси, в городах разного размера, %

В данной работе рассмотрена служба такси «Салют» в городе Энгельс, с населением 226176 человек на 2018 год.

К особенностям предметной области можно отнести такие факторы, как время года, погодные условия, дни недели, время суток, часы пик, аварии на дорогах, большой поток автомобилей, проведение массовых мероприятий, влияющие на количество заказов и длительность поездок.

## **2 Постановка задачи исследования**

### **2.1 Содержательная постановка задачи**

Исходная система поддерживает заказы 3 типов – «Эконом», «Комфорт», «Бизнес». Автомобили классифицируются согласно этим 3 типам. Клиент может оформить заказ с помощью мобильного приложения или позвонив оператору колл-центра. После оформления заявки подбирается ближайший свободный автомобиль класса, совпадающего с типом заявки, чем класс заявки, для осуществления заказа.

В случае, если все автомобили на линии заняты клиенту приходится ждать освобождения машины. Также заявки делятся на 4 группы, согласно убыванию приоритетов, – поездки по городу, поездки из города загород, из пригорода в город и поездки по пригороду.

В рамках задачи исследования необходимо разработать имитационную модель, моделирующую работу службы такси, выявить зависимость числа отказов от характеристик системы и найти варианты улучшения работы системы как путем изменения параметров, так и изменяя структуру модели.

## 2.2 Исходные данные

Согласно «Исследованию рынка такси» Аналитического центра при правительстве Российской Федерации за 2019 год [1], учитывая население города Энгельс, ежедневно около 44000 человек совершают поездки на такси. Данные о частоте, с которой граждане пользуются услугами такси представлены на рисунке 2. Также, согласно данному исследованию, в Поволжском Федеральном округе на 1000 жителей приходится 2,3 машины такси, следовательно, около 520 автомобилей на весь город. Учитывая количество и размеры служб такси в городе, а также то, что водители такси в среднем работают 11 часов в день, будем считать, что ежедневно в службу такси приходит 6000 заявок и одновременно на линии находится 80 автомобилей.



Рисунок 2 – Частота использования такси, %

Информация о распределении заказов между тремя тарифами – «Эконом», «Комфорт», «Бизнес» - взята из исследования Яндекса по данным Яндекс.Такси [6]. Услугами машин типа «Эконом» готовы воспользоваться около 69% клиентов, «Комфорт» - 28%, «Бизнес» - 3%.

Данные о средней длительности поездки были взяты из исследования аналитического центра «Левада-Центр» [5]. Результаты исследования представлены на рисунке 3. Среднее время поездки в городах с населением от 100 до 500 тысяч человек составляет 20 минут.



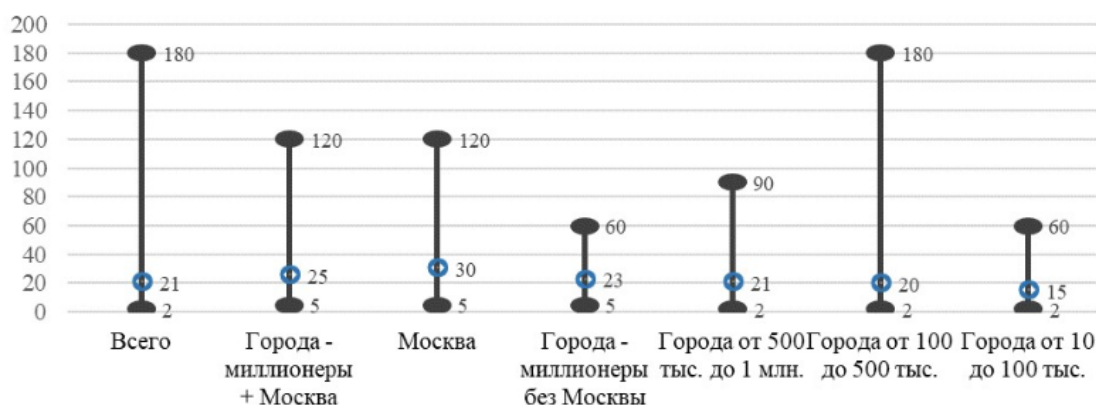


Рисунок 3 – Средняя, минимальная и максимальная длительность поездки на такси в городах разного размера, мин

Средняя длительность поездки загород, из пригорода в город и по пригороду были получены эмпирическим путем и равны 40, 40 и 70 минут соответственно. Минимально возможная длительность поездки – 2, 15, 15, 30 минут для поездок по городу, из города в пригород, из пригорода в город и по пригороду, соответственно.

В процессе анализа распределения длительности поездки была выдвинута гипотеза об экспоненциальном распределении. Для тестирования данной гипотезы был использован критерий частот, согласно которому гипотеза не была отвергнута с уровнем значимости  $\alpha = 0.05$ . Данные, использованные для проверки гипотезы представлены на рисунке 4 [7].

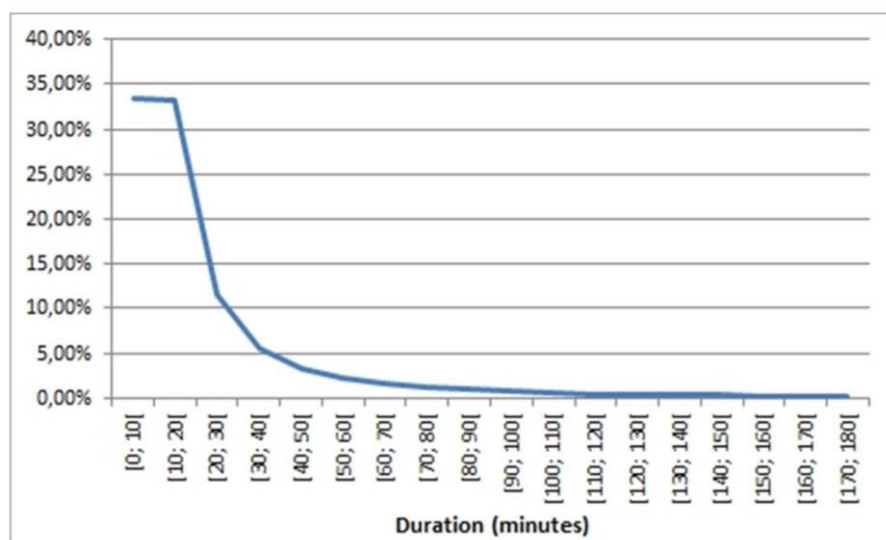


Рисунок 4 – Эмпирические частоты длительностей поездок на такси

Следующие данные были получены эмпирически:

- 70% клиентов заказывают такси, используя услуги колл-центра, 30% - приложение;
- В колл-центре одновременно работают 2 оператора;
- Максимальное время, которое клиенты готовы потратить на звонок в колл-центр, в среднем равняется 5 минутам;
- На совершение заказа в среднем необходимо 40 секунд;
- Максимальное время, которое клиенты, находящиеся в пределах города, готовы ждать машину, в среднем равняется 15 минутам. Для клиентов за городом данный показатель равен 40 минутам.
- В таксопарке 70% машин являются машинами «Эконом» класса, 27% - «Комфорт» класса, 3% - «Бизнес» класса;
- Начальное и целевое расположения с вероятностью 95% находятся в пределах города.

Описание системы может быть формализовано следующим образом:

- Вход системы: количество заявок каждого типа в единичный момент времени.

- Выход системы: количество обслуженных клиентов и количество отказов каждого типа.
- Состояния системы: количество свободных автомобилей, автомобилей с клиентами, число свободных операторов, длины очередей к операторам и на получение автомобиля.
- Параметры: среднее время всех типов поездок и обработки заказов, количество автомобилей и операторов.

## 2.3 Принятые гипотезы

В процессе анализа данных и постановки задачи были приняты следующие гипотезы:

- Система имеет входной стационарный пуассоновский поток заявок.
- Перед колл-центром и на назначения автомобиля могут скапливаться очереди.
- Максимальное время, которое готовы ждать клиенты, для всех очередей в данной модели подчиняется экспоненциальному закону. Причем минимальное значение данного показателя равно 30 секундам и 5 минутам для очереди перед колл-центром и назначением автомобиля соответственно.
- Каждый оператор одновременно может обрабатывать только 1 заявку, причем время обработки заявки подчиняется экспоненциальному распределению.
- Время совершения заказа через мобильное приложение также подчиняется экспоненциальному закону, однако одновременно совершать заказ может неограниченное число клиентов.
- Автомобиль может обслуживать только заявки, тип которых совпадает с классом автомобиля.
- Скорость движения автомобиля в явном виде задается лишь на этапе следования автомобиля к клиенту. На этом участке будем считать скорость константой равной 30 км/ч.
- Начальная и целевая точки заявок случайным образом выбираются из заданного множества локаций в пределах выбранной области (город или пригород);
- После окончания поездки машины, находящиеся в пределах города, остаются на месте, в свою очередь автомобили, находящиеся за городом, возвращаются в стартовую точку (точку, выбранную случайным образом в пределах города в начальный момент времени).

### **3 Критерии оценки функционирования объекта**

За критерий оценки функционирования объекта принят процент отказов во всей системе и в отдельных ее частях.

В рамках работы исследуются зависимости данных индикаторов от внутренних структуры и параметров системы. Осуществляется подбор значений параметров и возможных изменений структуры, улучшающих данные показатели. Также производится тестирование системы при увеличении нагрузки для исследования рассматриваемых характеристик в экстренных ситуациях.

## 4 Структура модели

### 4.1 Общие сведения

Данная система представляет из себя последовательность операций, выполняемых с агентами, блок-схема данных операций представлена на рисунке 5. При этом сами агенты – клиенты и автомобили – взаимодействуют между собой согласно заданным правилам, а также имеют различное поведение в зависимости от типа. В связи с этим при реализации системы была использована комбинация дискретно-событийный и агентного подходов к моделированию.

Имитационная модель реализована с помощью инструментов пакета моделирования AnyLogic. Единица модельного времени – минута.

Автомобиль представлен агентом Car, имеющим параметр type, задающий класс автомобиля: «Эконом», «Комфорт», «Бизнес», и переменную busy, описывающую состояние машины: True – автомобиль едет с клиентом, False – автомобиль свободен или направляется к клиенту.

Клиенты, или заявки, представлены агентом Request. Агент имеет параметр type, задающий один из трех возможных типов заказа, и параметры fromTown и toTown, определяющие, находится ли первоначальное расположение агента в пределах горда или загородом и целевое расположение, соответственно. Переменная stage задает одно из 6 возможных состояний заявки:

- Заказ еще не оформлен – состояние 1;
- Заявка находится в процессе оформления – состояние 2;
- Агент ожидает назначения подходящего автомобиля – состояние 3;
- Автомобиль назначен, ожидается его прибытие – состояние 4;
- Клиент находится в автомобиле и совершает поездку – состояние 5;
- Поездка окончена – состояние 6.

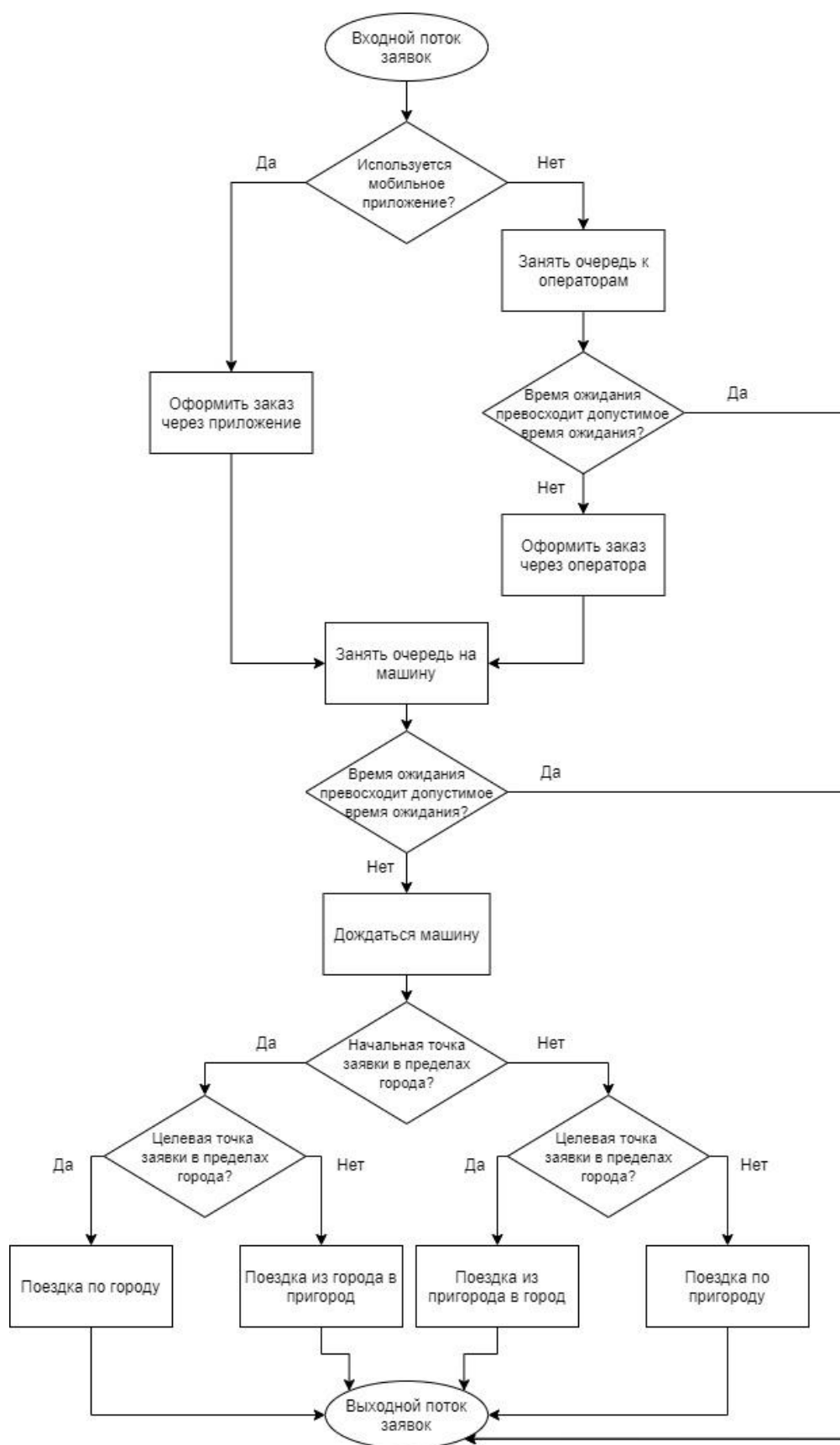


Рисунок 5 – Блок-схема операций, выполняемых с заявками

Также агент Request содержит переменную car, имеющую тип Car. Данной переменной присваивается значение назначенного автомобиля. Функция getStart в процессе инициализации заявки случайным образом с заданной вероятностью определяет значения параметров fromTown и toTown и возвращает точку на карте – начальное расположение агента – в соответствующей области. Функция getPriority возвращает приоритет заявки исходя из значений ее параметров. Функция getWaitingTime возвращает среднее значение времени, которое клиент готов ждать автомобиль, исходя из местоположения заявки.

В агенте Main содержатся популяции автомобилей cars и заявок requests, а также две коллекции точек на карте: townCollection, содержащая 73 точки, заданные на карте в пределах города Энгельс, и outOfTownCollection, содержащая 14 точек, расположенных в окрестностях города. Также здесь расположены 3 блока с ресурсами, по одному для каждого класса автомобилей, - economyCarPool, comfortCarPool, businessCarPool.

Схема модели в агенте Main представлена на рисунке 6. В блоке reqSource генерируется входящий поток заявок, далее с заданной вероятностью заявка отправится на оформление оператором (с очередью) либо через приложение. После оформления все заявки проходят в один из блоков для захвата ресурса (economyCarSeize, comfortCarSeize или businessCarSeize) в зависимости от типа заявки, где происходит назначение автомобиля. Далее заявка с захваченным ресурсом направляются в один из четырех блоков moveTo, в зависимости от областей начальной и целевой точек – в городе или за пределами. После этого происходит освобождение ресурса, и заявка отправляется в reqSink.



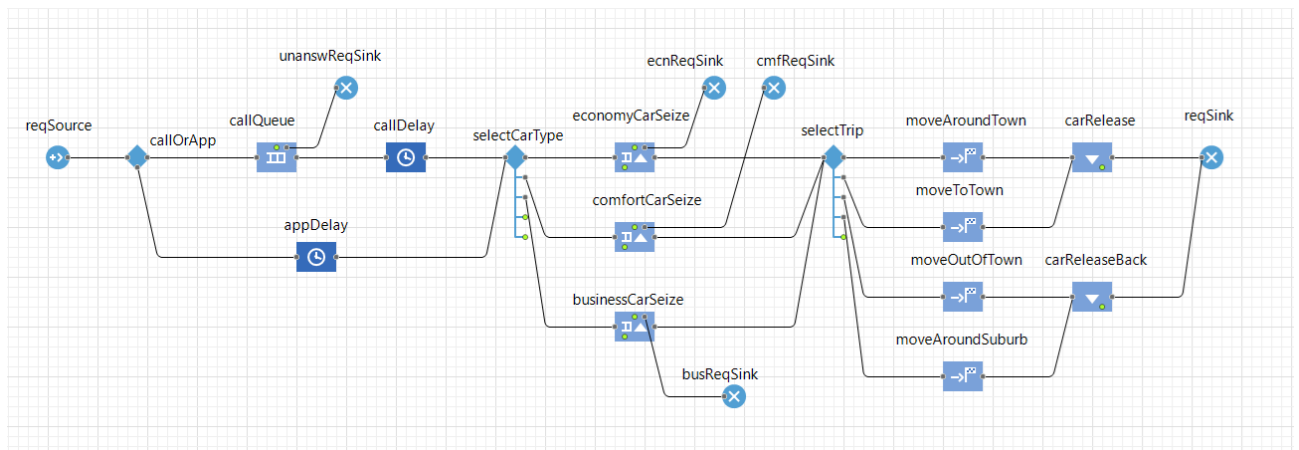


Рисунок 6 – Схема модели в агенте Main

Также в агенте Main расположены следующие функции:

- `getPlace` – возвращает случайный элемент заданной коллекции с точками на карте;
- `reqDistribution` – табличная функция для определения типа заказа с заданными вероятностями.

Количество доступных автомобилей задается параметром `numCars`.

## 4.2 Характеристика очередей

В моделируемой системе очереди возникают в двух местах:

- Перед соединением с оператором;
- Перед назначением автомобиля в каждом из блоков для захвата ресурса.

Все очереди в данной модели являются бесконечными, с ограниченным временем ожидания. Дисциплина обслуживания очереди, образующейся перед колл-центром, FIFO (First In First Out).

Очереди на захват ресурса, встроенные в блоки типа *Sieze*, являются очередями с приоритетом. Приоритет заявки зависит от ее начального и целевого расположений и рассчитывается по правилу (1).

$$priority = (fromTown == True) * 10 + (toTown == True), \quad (1)$$

где *priority* – приоритет заявки,

*fromTown* – параметр равный *True*, если заявка находится в пределах города, *False* иначе,

*toTown* – параметр равный *True*, если целевое расположение заявки находится в пределах города, *False* иначе.

Таким образом, заказы на перемещение в пределах города являются наиболее приоритетными. Далее следуют заявки из города в пригород, из пригорода в город и на последнем месте заявки по пригороду.

### 4.3 Визуализация

Для того чтобы сделать модель более наглядной была создана 2D визуализация.

На рисунке 7 представлена визуализация автомобиля, 6 вариантов в зависимости от класса машины и состояния агента. В верхнем ряду представлены автомобили без клиентов, в нижнем ряду над автомобилями появляется зеленый шар – индикатор того, что в машине находится клиент. Цвет автомобиля указывает на его класс: желтый – «Эконом», черный – «Комфорт», белый – «Бизнес».

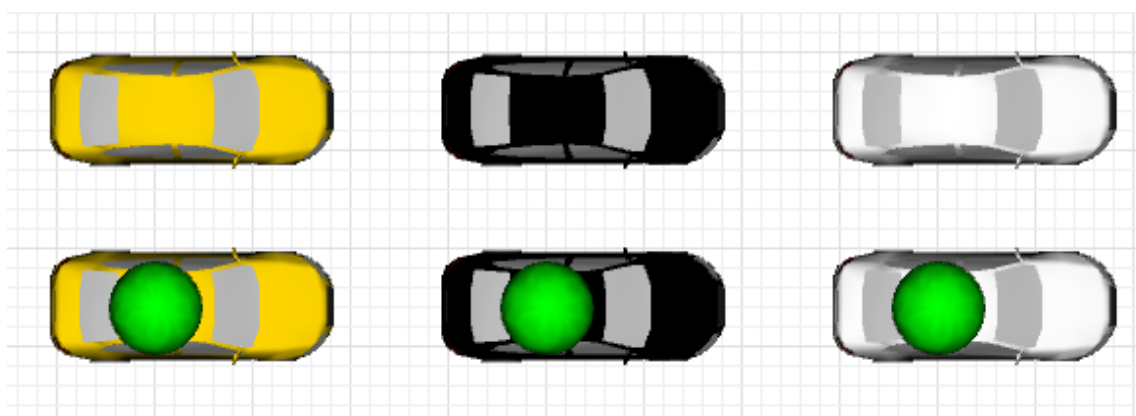


Рисунок 7 – Визуализация автомобиля

Визуализация заявки также зависит от ее типа и состояния. Графические объекты для визуализации заявки на двух первых этапах показаны на рисунке 8. Пока клиент пытается дозвониться до операторов, то есть находится в очереди перед соответствующим блоком, на 2D визуализации модели отображаются часы. Как только клиент смог дозвониться до оператора либо в случае, если заявка оформляется посредством мобильного приложения, изображение сменяется телефонной трубкой.

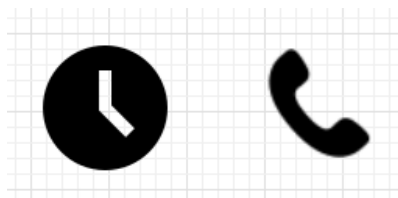


Рисунок 8 – Визуализация заявки в режиме ожидания и оформления

Графические объекты, используемые для визуализации заявки на следующем этапе – ожидании назначения подходящего свободного автомобиля, представлены на рисунке 9. На этом этапе заявки различаются визуально по их типам. Мужчина в светлой одежде слева изображает клиента тарифа «Эконом», женщина в красной юбке по центру – клиент тарифа «Комфорт», мужчина в черном костюме справа – клиент тарифа «Бизнес».

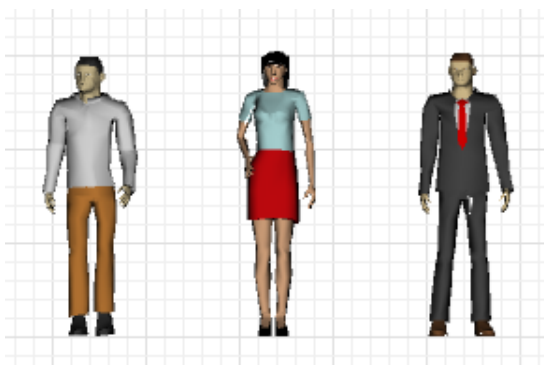


Рисунок 9 – Визуализация заявки в процессе назначения автомобиля

После назначения заявке ресурса, во время ожидания пока автомобиль придет, заявки изображаются такими же графическими объектами, но над людьми так же появляется парящий зеленый шар, изображенный на рисунке 10.

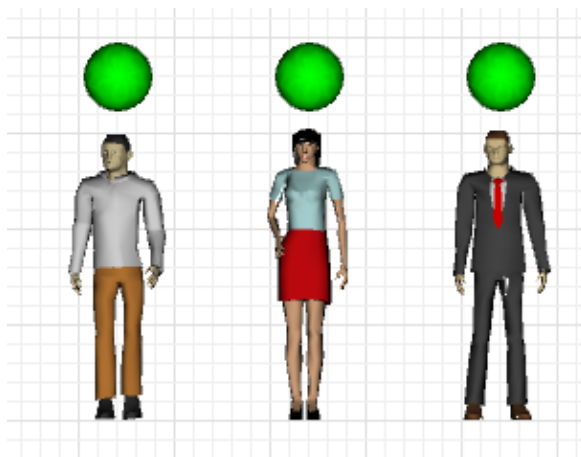


Рисунок 10 – Визуализация заявки во время ожидания автомобиля

На следующих этапах заявки никак не визуализированы, так как теперь клиенты находятся внутри автомобиля и не видны со стороны.

Для визуализации модели также используется возможность пакета AnyLogic интеграции с ГИС-картой. Таким образом, все действия происходят на карте города Энгельс, представленной на рисунке 11.



Рисунок 11 – ГИС-карта города Энгельс

На карте задано 87 ГИС-точек внутри города и в пригороде, информация о которых так же хранится в коллекциях `townCollection` и `outOfTownCollection`.

Расположение ГИС-точек представлено на рисунке 12. Начальное и конечное расположение каждой заявки, а также начальное расположение автомобилей, случайным образом выбираются из данных точек. Все перемещения машин между точками происходят исключительно по автомобильным дорогам.

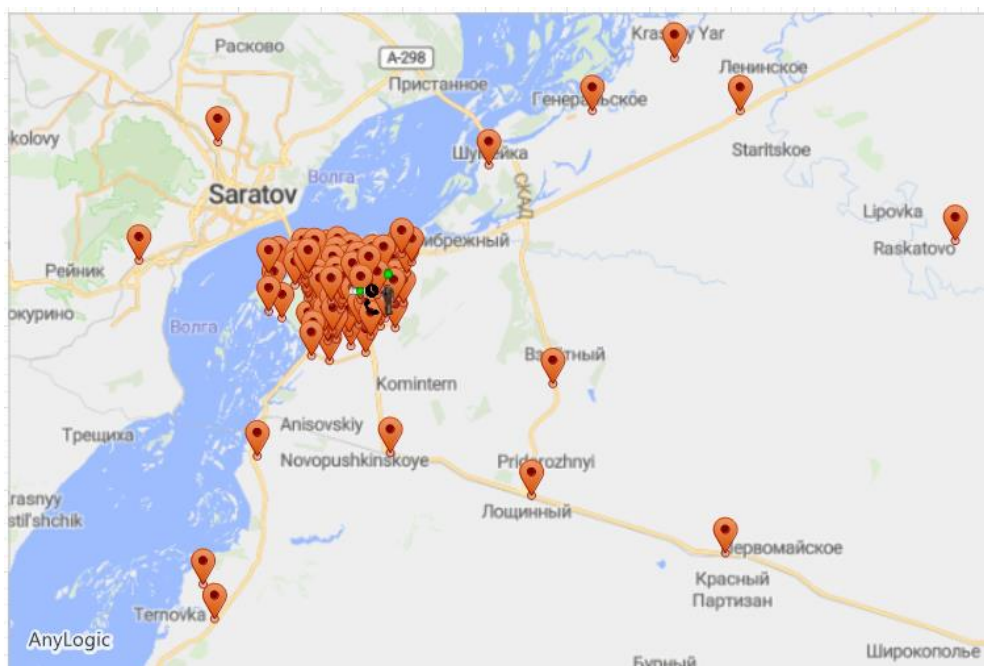


Рисунок 12 – расположение ГИС-точек на карте

## 5 Характеризация и верификация модели

Так как в модели присутствует влияние случайных величин, необходима проверка ее адекватности.

Посредством косвенных методов верификации был проведен контроль соответствия имитационной модели реальной системе. Помимо сопоставления структуры моделируемой системы реальной, также были проверены известные численные характеристики. В процессе построения и моделирования модели использовались реальная ГИС-карта города Энгельс, карта представлена на рисунке 11. Все перемещения на автомобиле происходили по размеченным на карте дорогам с учетом реальных расстояний между объектами и направлением дорог. Ошибок в построении модели выявлено не было.

Прямые методы верификации применялись после запуска имитационной модели и включали в себя проверку закона распределения длительности выполнения заказа. Проверка проводилась путем сравнения эмпирических данных [7] и полученных в результате работы модели с помощью критерия частот (2).

$$\chi^2 = \sum \frac{(g_i - f_i)^2}{f_i} \leq \chi_{d-1, \alpha}^2, \quad (2)$$

где  $g_i$  – эмпирические частоты,

$f_i$  – теоретические частоты,

$d$  – число степеней свободы,

$\alpha$  – уровень значимости.

Здесь под теоретическими данными подразумеваются известные частоты, эмпирические – полученные в процессе моделирования. Согласно результатам анализа, при уровне значимости  $\alpha \leq 0.2$  гипотеза об одинаковом распределении длительностей моделируемых и реальных поездок не отвергается.

В связи с нехваткой реальных данных, остальные распределения и значения проверить невозможно. Однако, удовлетворение имитационной

модели указанным выше критериям не дает оснований для опровержения ее адекватности.



## 6 Результаты моделирования

### 6.1 Исходная система

В рамках задачи был промоделирована 1 неделя (10080 минут) работы службы такси. Пример анимации при запуске модели с визуализацией заявок и автомобилей в нескольких стадиях представлен на рисунке 13.

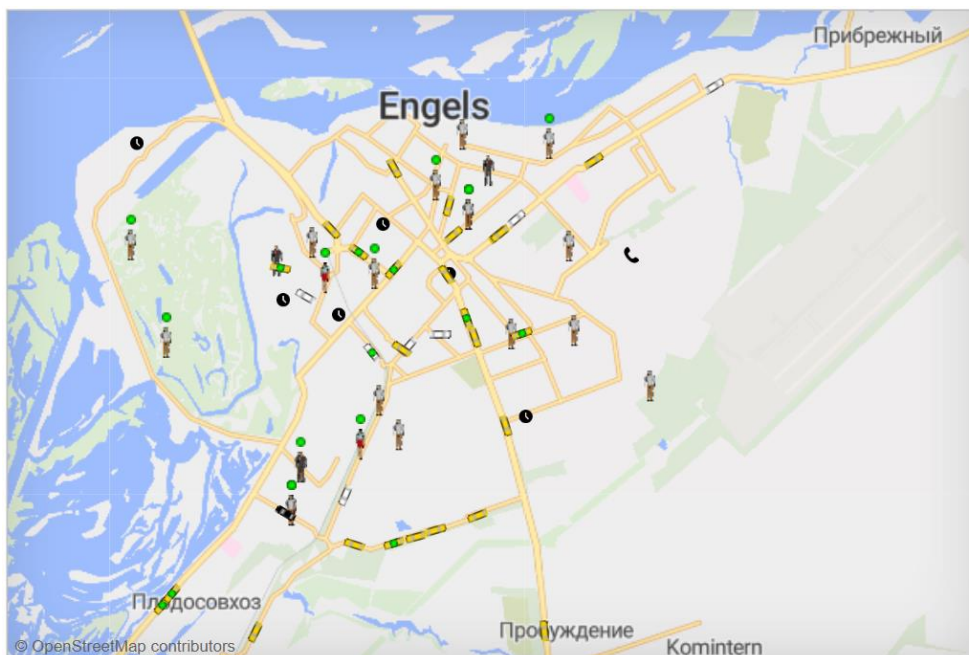


Рисунок 13 – Визуализация заявок и автомобилей на карте

Сбор статистических данных, построение графиков и гистограмм осуществлялось с помощью встроенной библиотеки AnyLogic Analysis.

В исходной системе за заданной время было сгенерировано 42239 заявок. 15% клиентов не были обслужены, из них 55% не дозвонились до оператора, 22% не дождались машину класса «Эконом», 17% не дождались автомобиль «Комфорт» и 6% не дождались машину по тарифу «Бизнес». Подробнее результаты моделирования исходной системы представлены на рисунке 14.

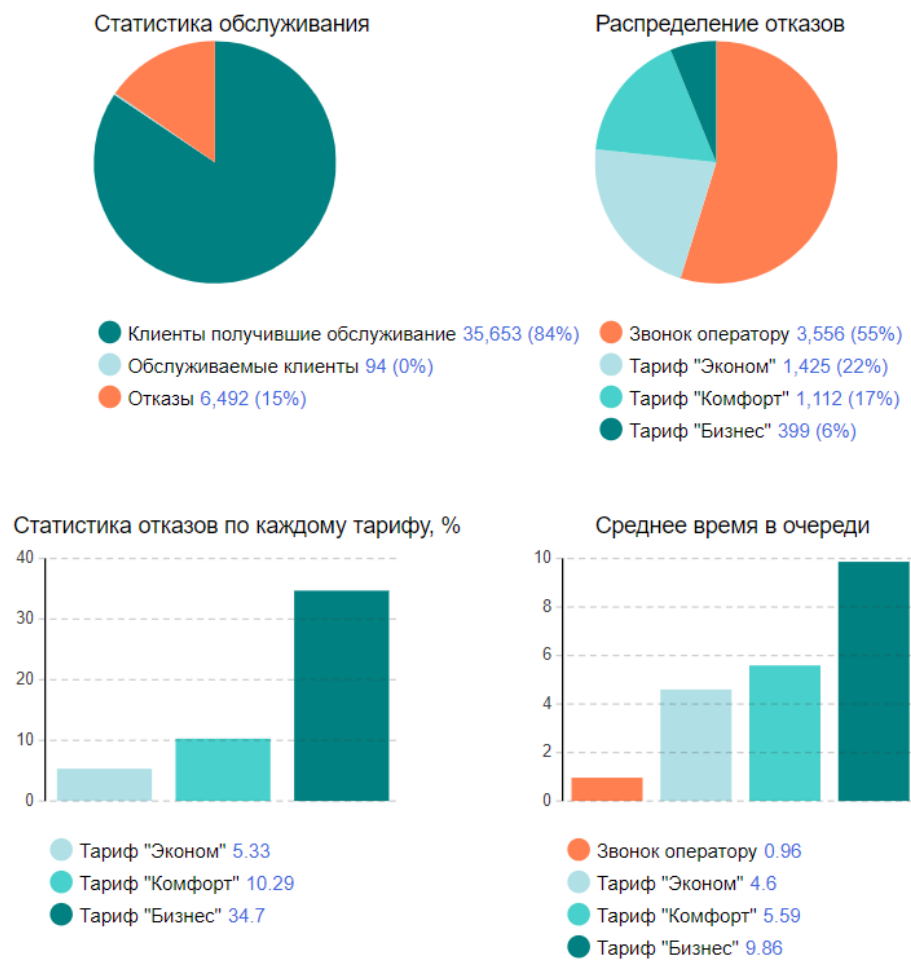


Рисунок 14 – Результаты моделирования исходной системы

## **6.2 Предлагаемые изменения**

По результатам моделирования видно, что больше половины клиентов не могут оформить заявку из-за занятости операторов. Среди отказов на этапе ожидания машины, большая часть приходится на тариф «Эконом». Чуть меньше отказов происходит при ожидании автомобиля класса «Комфорт». Исходя из полученных результатов, предлагаются следующие улучшения модели:

- a) Повышение квалификации операторов колл-центра. Таким образом, среднее время обработки заявки понизится до 20 секунд.
- b) Введение нового тарифа, позволяющего клиентам совершать совместные поездки. В результате этого изменения один автомобиль сможет исполнять 2 заказа одновременно.
- c) Увеличения числа автомобилей в таксопарке.

### 6.3 Изменение 1. Уменьшение времени оформления заявки

Для его уменьшения времени обработки заявки было изменено время задержки в блоке callDelay, представленном на рисунке 6. Результаты реализации изменения представлены на рисунке 15. Количество отказов из-за занятости операторов снизилось с 8,42% от всех заявок до 0,27%, однако, число клиентов, не дождавшихся автомобиля, возросло 6,95% до 10,65%, в связи с увеличившимся потоком в данной области.

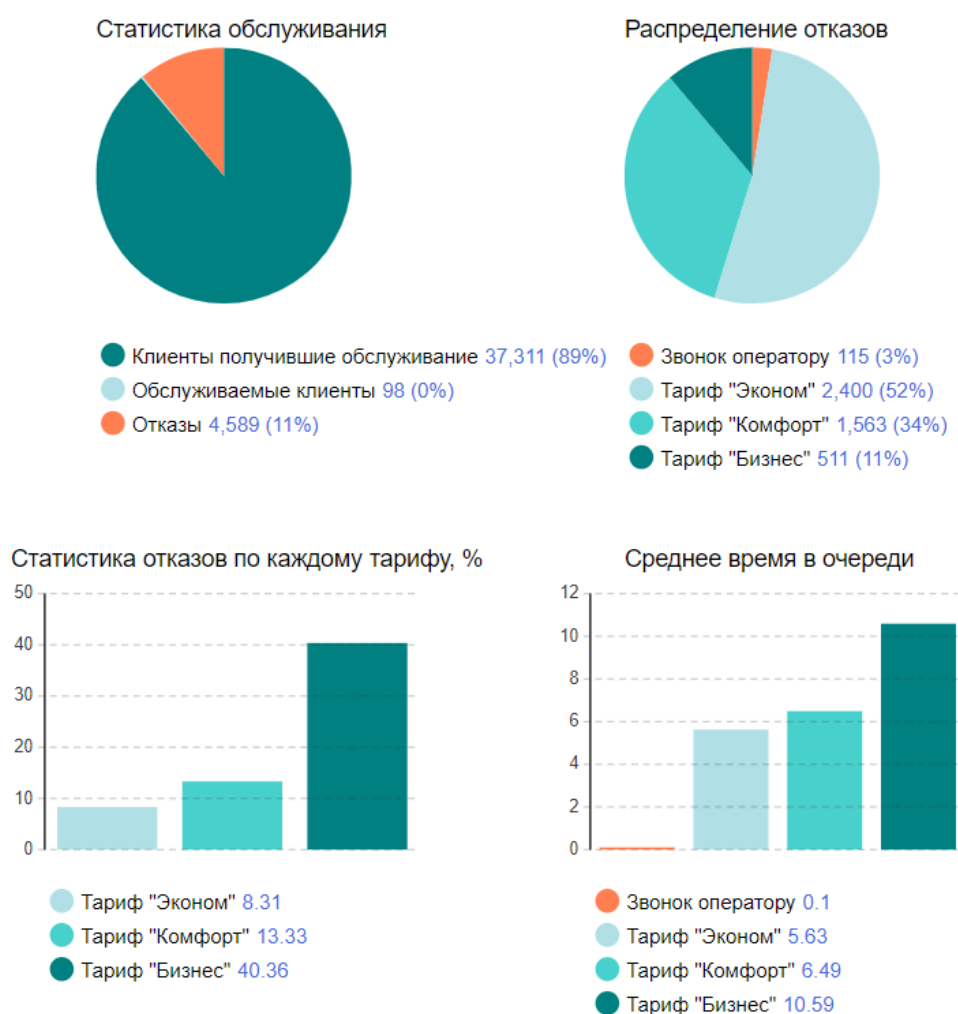


Рисунок 15 – Результаты моделирования «Уменьшения времени обработки заявки»

## 6.4 Изменение 2. Введение нового тарифа

На данном этапе преобразования был введен новый тариф, позволяющий клиентам совершать совместные поездки. В случае, если за 5 минут для клиента не была найдена пара, его тариф автоматически меняется на «Эконом».

Для реализации данного изменения необходимо произвести структурные преобразования модели. Измененная модель представлена на рисунке 16. Для объединения агентов в группы были добавлены очередь *matchReqs*, источник *groupSource* и блок *pickup*. Когда новая заявка прибывает в очередь, происходит попытка сгруппировать ее с одной из заявок, находящихся в очереди. Две заявки группируются с вероятностью 10%. В этом случае в источнике генерируется группа для объединения заявок с помощью *pickup* и отправляется в блок для захвата ресурса. Объединенные заявки имеют приоритет. Данный тариф доступен только для поездок по городу. Клиенты выбирают совместный тариф с вероятностью 23% в ущерб тарифу «Эконом».

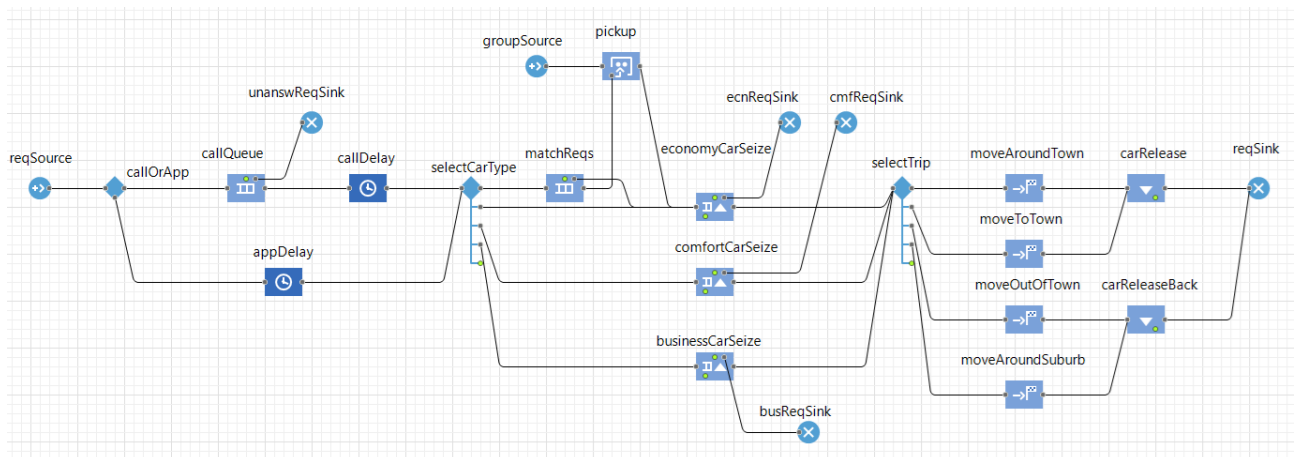
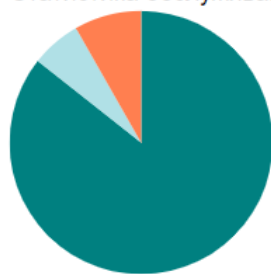


Рисунок 16 – Структура измененной модели

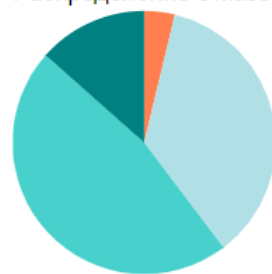
Результаты моделирования измененной системы представлены на рисунке 17. На диаграммах статистические данные по совместному тарифу добавлены к данным по тарифу «Эконом», так как образовавшиеся группы занимают очередь на машины данного класса. В результате структурного преобразования процент отказов упал на 3%. Среди заявок только данного тарифа отказы уменьшились с 8,31% до 4,7%.

Статистика обслуживания



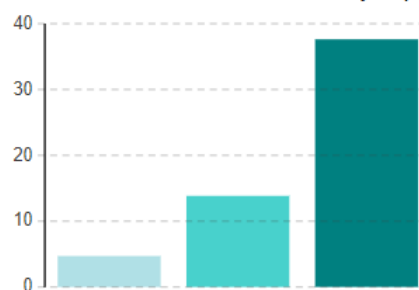
Клиенты получившие обслуживание 35,687 (86%)  
 Обслуживаемые клиенты 2,547 (6%)  
 Отказы 3,432 (8%)

Распределение отказов



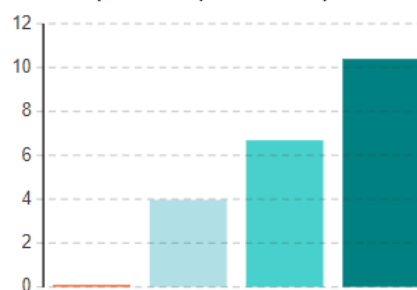
Звонок оператору 129 (4%)  
 Тариф "Эконом" 1,233 (36%)  
 Тариф "Комфорт" 1,608 (47%)  
 Тариф "Бизнес" 462 (13%)

Статистика отказов по каждому тарифу, %



Тариф "Эконом" 4.7  
 Тариф "Комфорт" 13.84  
 Тариф "Бизнес" 37.62

Среднее время в очереди



Звонок оператору 0.1  
 Тариф "Эконом" 3.97  
 Тариф "Комфорт" 6.68  
 Тариф "Бизнес" 10.39

Рисунок 17 – Результаты моделирования «Совместного тарифа»

### 6.5 Изменение 3. Увеличение числа автомобилей

Последним этапом изменений является увеличение числа автомобилей в таксопарке. Для исследования зависимости числа отказов от количества машин была проведена серия экспериментов, результаты которой представлены на рисунке 18.

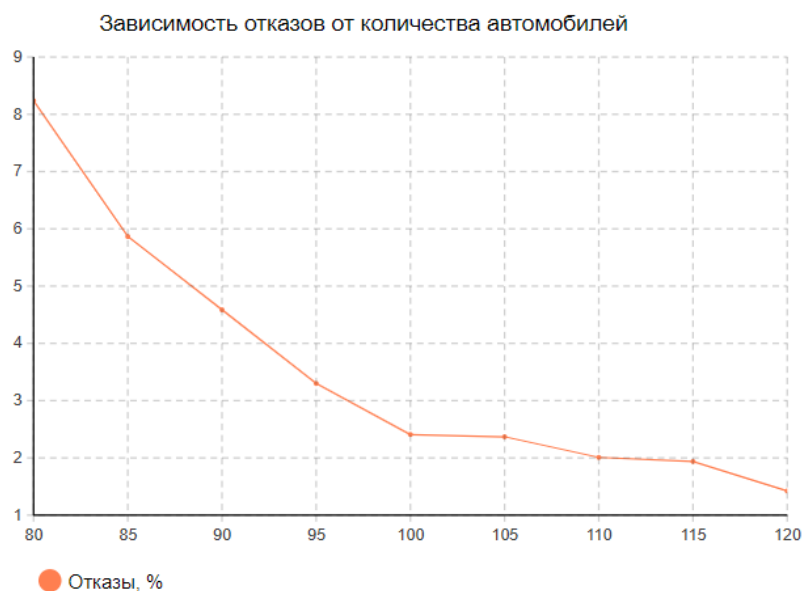


Рисунок 18 – Зависимость отказов от количества автомобилей

В результате экспериментов было выявлено, что уже при 100 автомобилях число отказов составляет меньше 3%. Более подробные данные по моделированию системы со 100 машинами представлена на рисунке 19. Таким образом, при расширении таксопарка на 20 автомобилей процент отказов упал на 6%.

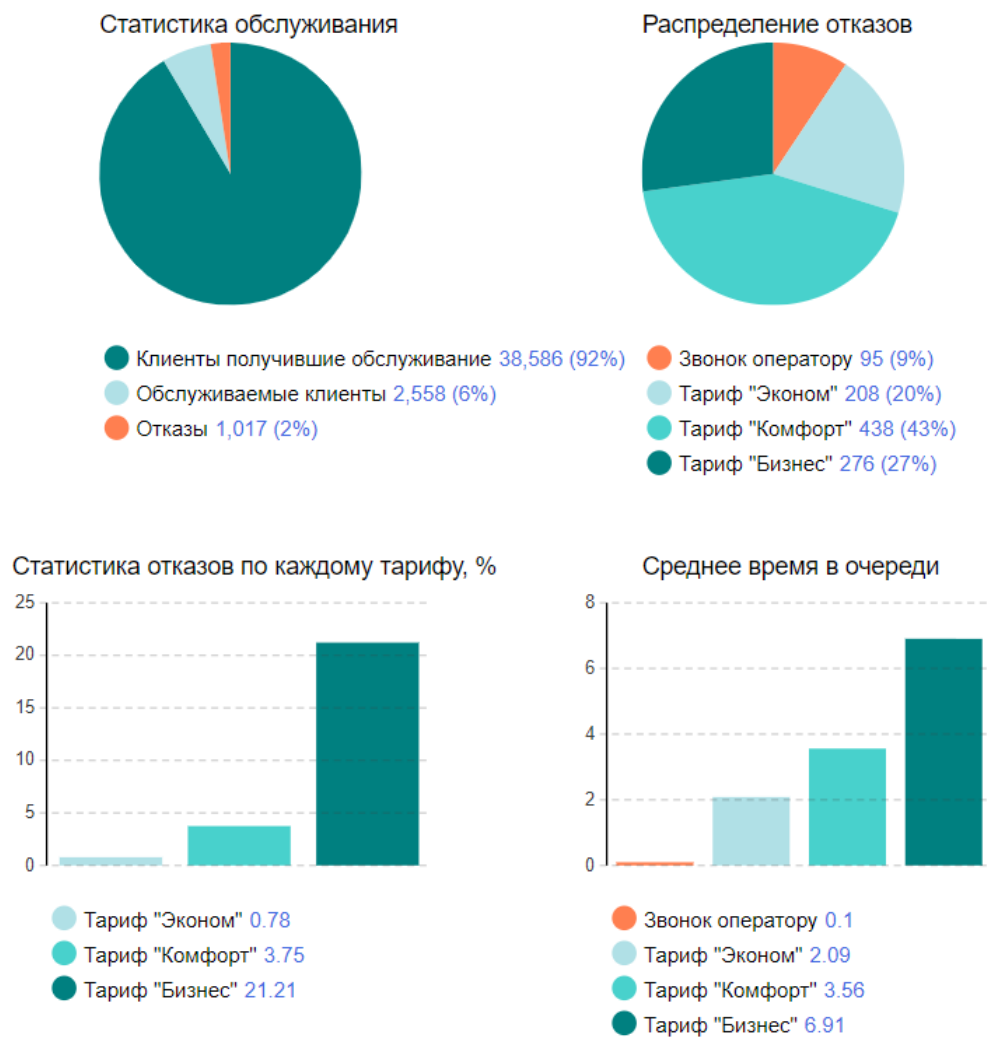


Рисунок 19 – Результаты моделирования «Увеличенного таксопарка»



## 6.6 Работа системы при увеличении нагрузки

Рассмотрим также показатели системы при увеличении нагрузки, например, в случае резкого ухудшения погоды количество клиентов сильно возрастет. Будем считать, что поток клиентов увеличиться в 1.5 раза. Моделирование производилось в течение 1 суток (1440 минут). Результаты моделирования для исходной и итоговой систем представлены на рисунках 20 и 21 соответственно. Даже при увеличении потока в 1.5 раза количество отказов лишь немного превосходит 15%, что соответствует числу отказов в исходной модели в штатной ситуации. Тогда как в исходной модели около трети клиентов остаются необслуженными.

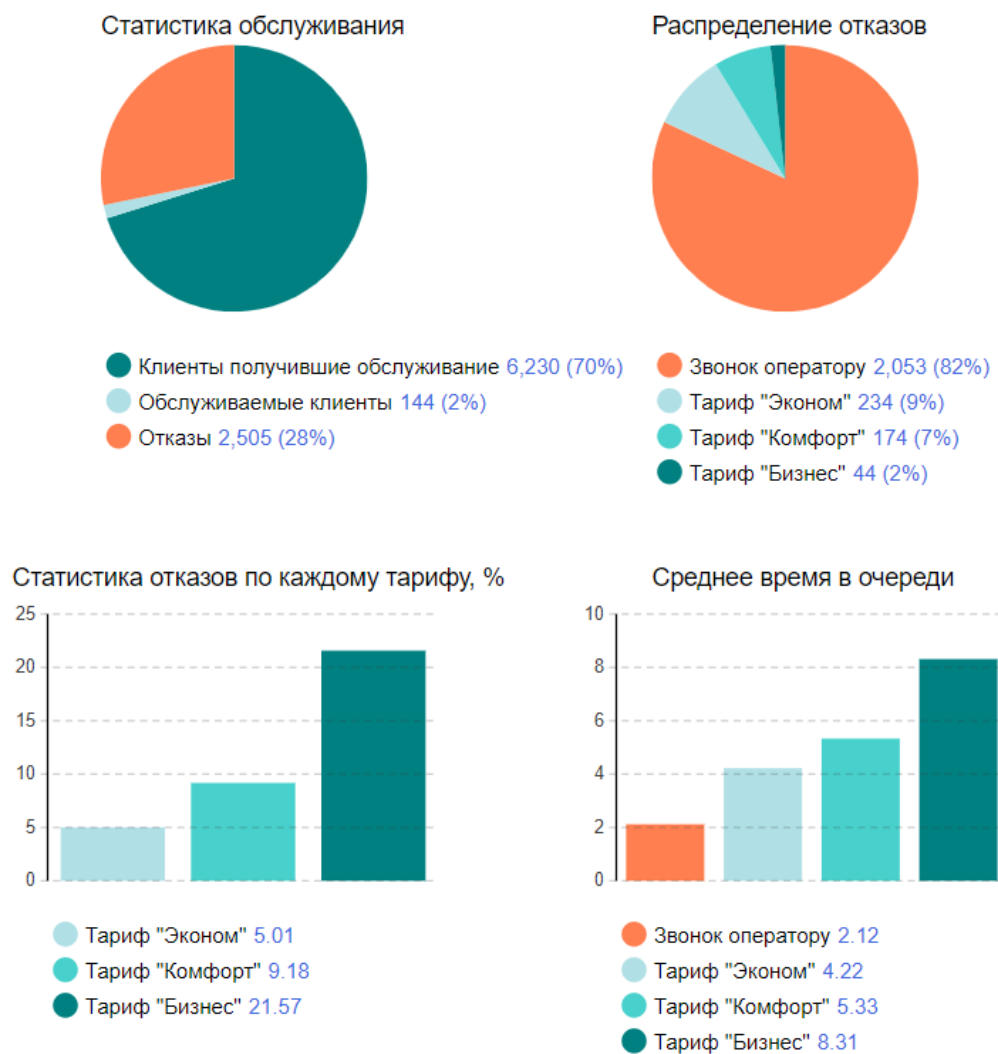


Рисунок 20 – Исходная модель при увеличении нагрузки

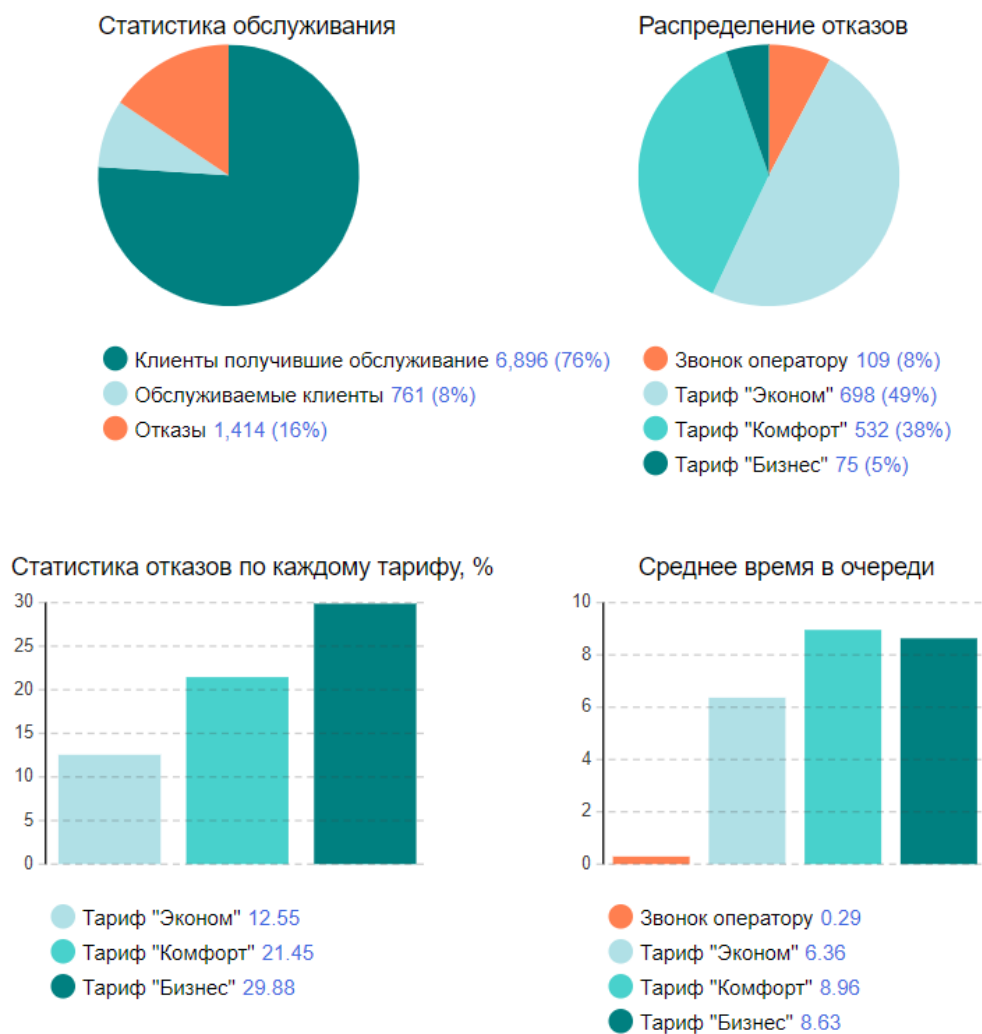


Рисунок 21 – Итоговая модель при увеличении нагрузки

## 6.7 Сравнение исходной и итоговой моделей

Сравнение числа отказов в исходной и итоговой системах представлено на рисунке 22. Процент отказов при звонке рассчитан от общего числа заявок, отказы по тарифам – от числа заявок по данному тарифу. По диаграмме видно, что в результате структурного и параметрического синтеза были улучшены все рассматриваемые показатели.

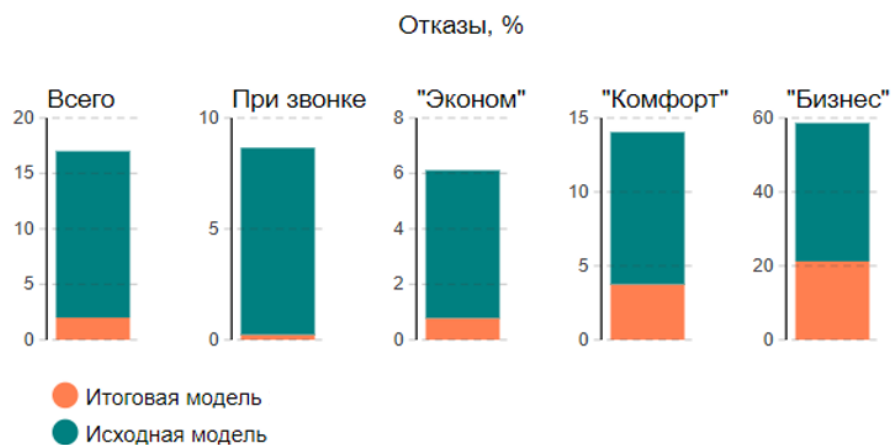


Рисунок 22 – Сравнение исходной и итоговой моделей

## **Заключение**

В данной работе была построена модель службы такси «Салют» города Энгельс. Использование пакета AnyLogic позволило наглядно визуализировать модель с использованием реальной карты города. В качестве критерия функционирования было выбрано количество отказов, как в целом в системе, так и в отдельных ее частях.

Было установлено, что главным узким местом системы является колл-центр. Также большая часть отказов приходится на время ожидания автомобилей класса «Эконом» и «Комфорт».

В качестве варьируемых параметров были выбраны время обработки заказов операторами и количество автомобилей в таксопарке. Изменение структуры модели было реализовано посредством введения нового тарифа, позволяющего клиентам объединяться в группы на время поездок, с целью уменьшения нагрузки на машины «Эконом» класса.

Варьирование параметров и структуры системы позволило установить зависимости между предложенными изменениями и основными характеристиками модели. В процессе экспериментов было установлено, что повышение квалификации операторов приводит к значительному уменьшению отказов в данном сегменте. Введение нового тарифа позволяет снизить число отказов по тарифу «Эконом», именно на него приходится большее число заявок. Увеличение количества машин в таксопарке привело к уменьшению отказов во всех тарифных планах.

## Список использованных источников

- 1 Аналитический центр при правительстве Российской Федерации «Исследование рынка такси», 2019 [электронный ресурс]. – URL: <https://ac.gov.ru/archive/files/content/24166/rynok-taksi-2019-pdf.pdf>
- 2 Федеральная служба государственной статистики «Итоги комплексного наблюдения условий жизни населения в 2014 году», 2015 [электронный ресурс]. – URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/KOUZ14/survey0/index.html](https://www.gks.ru/free_doc/new_site/KOUZ14/survey0/index.html)
- 3 Федеральная служба государственной статистики «Итоги комплексного наблюдения условий жизни населения в 2016 году», 2017 [электронный ресурс]. – URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/KOUZ16/index.html](https://www.gks.ru/free_doc/new_site/KOUZ16/index.html)
- 4 Федеральная служба государственной статистики «Итоги комплексного наблюдения условий жизни населения в 2018 году», 2018 [электронный ресурс]. – URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/KOUZ18/index.html](https://www.gks.ru/free_doc/new_site/KOUZ18/index.html)
- 5 Аналитический центр Юрия Левады «Левада-Центр» «Большинство пассажиров такси все еще платят за поездку наличными», 2019 [электронный ресурс]. – URL: <https://www.levada.ru/2019/10/01/bolshinstvo-passazhirov-taksi-vse-eshhe-platyat-za-poezdku-nalichnymi/>
- 6 Яндекс «Такси в Москве», 2013 [электронный ресурс]. – URL: [https://yandex.ru/company/researches/2013/ya\\_moscow\\_taxi\\_2013](https://yandex.ru/company/researches/2013/ya_moscow_taxi_2013)
- 7 Marco Veloso, Santi Phithakkitnukoon, Carlos Bento «Urban Mobility Study using Taxi Tracer», 2011 [текст]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/232318144\\_Urban\\_Mobility\\_Study\\_using\\_Taxi\\_Traces](https://www.researchgate.net/publication/232318144_Urban_Mobility_Study_using_Taxi_Traces)
- 8 Илья Григорьев «AnyLogic за три дня», практическое пособие по имитационному моделированию, 2017