

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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-16-2

ОТЧЕТ
ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ
«ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»

на тему: Имитационное моделирование работы троллейбусного маршрута №1 г.
Калуги с целью повышения эффективности обслуживания пассажиров.

Студенты
Малынковский Олег Витальевич / _____ /
(ф.и.о. полностью)
подпись

Руководитель _____ /Проф. Крапухина Н.В. /
подпись должность, уч. степ. Фамилия И.О.

Оценка: _____

Дата защиты: _____

Оглавление

Введение	3
Поставленные задачи	4
Цель построения модели.....	4
Особенности предметной области	5
Постановка задачи исследования.....	7
Исходные данные	9
Открытые данные	9
Данные, полученные эмпирически.....	9
Когнитивная модель	10
Исследование зависимости выходных переменных от входных переменных.....	12
Законы распределения:	12
Структура модели.....	13
Моделирование в среде AnyLogic	15
Результаты моделирования.....	19
Улучшение конфигурации работы троллейбусного маршрута	21
Структурный синтез.....	21
Параметрический синтез.....	22
Заключение.....	24

Введение

В Калуге в настоящее время остро стоит вопрос оптимизации маршрутной сети. Она многие годы не подвергалась научному исследованию и, явно, перегружена дублирующими маршрутами и частным транспортом особо малого класса. Работа калужского общественного транспорта вызывает справедливые нарекания у жителей, в этой сфере уже давно назрела оптимизация.

В настоящее время соблюдает режим работы и график перевозок только муниципальное предприятие – Управление калужского троллейбуса. Принадлежащие МУП «УКТ» троллейбусы и автобусы работают по графику, стараются соблюдать установленные интервалы движения. Все остальные перевозчики – частные компании, на мой взгляд, лишь создают видимость соблюдения графиков и интервалов, на самом деле они стараются работать в часы пиковой нагрузки, собирая основной пассажиропоток, тем самым нанося ущерб экономике муниципального предприятия.

Для построения модели был выбран отечественный профессиональный инструмент имитационного моделирования AnyLogic. Учитывая актуальность работы, но также сложность её выполнения и ограничения бесплатной версии AnyLogic для моделирования был выбран только один из маршрутов – троллейбусный маршрут №1, так как он входит в число самых загруженных, и поэтому его исследование наиболее важно.

Поставленные задачи

- Анализ существующей ситуации
- Сбор данных об интенсивности потока
- Создание имитационной модели в среде AnyLogic
- Изменение параметров для улучшения эффективности
- Анализ измененной модели
- Изменение структуры модели
- Анализ измененной модели

Цель построения модели

Исследовать организацию работы троллейбусного маршрута и определить способ улучшения показателей его работы.

Особенности предметной области

Основной способ транспортировки пассажиров в пределах большинства российских городов – маршрутизированный транспорт. В последнее время увеличивается количество маршрутов и интенсивность движения транспорта, что способствует лучшему обслуживанию пассажиров и в конечном итоге делает жизнь города более ритмичной. Однако увеличение интенсивности движения транспорта приводит к ухудшению экологической обстановки, повышает опасность перегрузки дорог, а увеличение количества маршрутов приводит к излишней конкуренции между автобусами за пассажиров, что снижает безопасность движения. Поэтому необходим взвешенный подход к рынку пассажирских перевозок и контроль городских органов власти над транспортом общего пользования.

Система городского пассажирского транспорта крупного города – это сложная система, включающая в себя большое число взаимосвязанных и взаимодействующих между собой компонентов. Управление такой большой системой с каждым годом все усложняется в связи с ростом городов, уровнем автомобилизации, меняющимися потребностями граждан в обслуживании. Отечественный и зарубежный опыт доказал эффективность применения имитационного моделирования для принятия грамотных управленческих решений в сфере городского транспорта.

Для решения задачи определения интенсивности движения транспорта, интервалов между транспортными средствами на каждом маршруте требуется следующая информация: набор остановочных пунктов, по которым движутся транспортные средства и перемещаются пассажиры; определение для каждого

маршрута, между какими остановочными пунктами он может перевести пассажиров; потребность пассажиров в перевозке с каждой остановки на другую (количество пассажиров, поступающих на каждый остановочный пункт, чтобы переместиться на другой остановочный пункт в единицу времени); средняя стоимость единицы времени, потерянной пассажиром на остановочном пункте в ожидании транспорта; возможность перевозки льготных категорий населения; себестоимость одного рейса транспортного средства на каждом маршруте.

Рассмотрим улучшение работы городского пассажирского транспорта в условиях существования двух важных факторов: пробки на дорогах и конкурент- перевозчики в автобусах малого класса. Ввиду особенностей нашего города уменьшить влияние первого фактора на качество перевозок весьма проблематично, хотя бы потому что почти везде в Калуге по две полосы в каждую сторону. Поэтому вводить выделенную полосу для общественного транспорта муниципалитет не станет, а остальные косвенные пути приращения скорости троллейбуса (например, обновления автомобильного парка современными моделями или обновление контактных сетей) не могут повлиять на дорожную ситуацию сильно. Со вторым фактором действенное бороться на законодательном уровне, но и без них возможны шаги к улучшению, часть из которых мы опробуем на нашей имитационной модели.

неограниченным. СМО является многоканальной, так как возможно прибытие более одного транспортного средства к остановочному пункту.

Переходя к формальному описанию, можно выделить несколько критериев эффективности, в общем виде представимых в виде целевых функций:

$$\begin{cases} T_{\Pi} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \rightarrow \min; \\ \Pi_{\text{УКТ}} = Q_{\Pi} * T - Z_{\text{э}} \rightarrow \max, \end{cases}$$

где T_{Π} – время, затраченное пассажирами на передвижение; T_1 – время, затраченное на посадку в транспорт; T_2 – время ожидания транспортного средства; T_3 – время поездки; T_4 – время, затраченное на выход из транспортного средства; $\Pi_{\text{УКТ}}$ – прибыль транспортной организаций МУП УКТ; $Z_{\text{э}}$ – эксплуатационные затраты транспортных организаций.

Необходимо определить, как что можно сделать в ходе структурного и параметрического синтеза, что улучшить следующие показатели:

- Среднее число заявок в очереди (людей, ожидающий транспорт на остановке)
- Среднее время пребывания заявки в очереди (время ожидания на остановочном пункте).
- Процент заявок, получивших отказ в обслуживании.

Исходные данные

Открытые данные

Используются открытые данные: Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок муниципального образования «Город Калуга», где представлен перечень всех маршрутов, количество транспортных средств, закреплённых за маршрутами, интервалы времени прибытия на остановки (только для маршрутов, обслуживаемых МУП УКТ), а также названия всех остановочных пунктов и их географические координаты (долгота и широта).

Ссылка на данные: <https://data.gov.ru/opendata/4027065041-reestrmunmarsh>

<https://www.bustime.ru/kaluga/#trolleybus>

<http://reklama40.org/marshruty-dvizheniya-gorodskogo-transporta/>

Количество мест для пассажиров в каждом троллейбусе будем считать равным 40 (данное получено эмпирически, так как число сидячих мест 26 во всех троллейбусах, но место для проезда стоя сложно измерить)

Данные, полученные эмпирически

Так как официальной статистики по пассажиропотоку нет, то *интенсивность прибытия людей на остановки, таймаут для покидания очереди, среднее время захода и выхода из троллейбуса и среднее время поездки* была вычислена мной эмпирически в ходе большого числа поездок на транспорте этого маршрута. *Интенсивность прибытия троллейбусов* будет получена на основании расписания.

Исходные данные (данные по количеству полос, интенсивность движения и загруженность) были получены с помощью сервиса *Яндекс.Карты* (и функции *Яндекс.Пробки*). Данные были представлены в виде гистограммы, со средним времени проезда машин на определенном участке пути в зависимости от времени суток.

Маршрут №1

От парка Циолковского до Калуга-1

Общее время движения: 23 мин | 24 мин

Без кондуктора
Фрагмент отправления
Бортной номер: ? 1
Время прибытия 16:13

Остановки	Зашло	Вышло	Время выхода	Время посадки	Полное время на остановке	Время движения до след. остановки
Парк им. Циолковского	+2+3 (2 было)	2х-2(3) было	6 сек 20 сек	30 сек 47 сек	1 мин 50 сек	1 мин 1 мин
Школа №6 (ул. Академика Королева)	+0 +3	-0 -0	0 0	23 сек	15 сек 33 сек	2 мин 1 мин 20 сек
Баумана	+0+2	-0-1	0 2 сек	23 сек	30 сек 38 сек	1 мин 45 сек
Каменный мост	+0 +0	-0 -0	0	-	3 сек 6 сек	35 сек 45 сек
пл. Старый торг	+3+2	-0-4	0 6 сек	12 сек 32 сек	28 сек 40 сек	3 мин 45 сек 3 мин 2 сек
Горуправа (ул. Ленина)	+2+1	-0-	0-	1 сек 14 сек	14 сек 18 сек	3 мин 8 сек 1 мин 38 сек
Кинотеатр Центральный (ул. Ленина)	+12+3 +3	-4-2	4 сек 5 сек	1 сек 46 сек	48 сек 1 мин 1 мин 44 сек	2 мин 10 сек 2 мин 26 сек
Филармония	+0+2	-3-5	9 сек 5 сек	4 сек 5 сек	17 сек 18 сек	1 мин 42 сек
Магазин Дружба	+0+1	-3-5	5 сек 2 сек	- 4 сек	8 сек 13 сек	1 мин 1 мин
Машзавод	+1+0	-2-7	6 сек 12 сек	3 сек	15 сек 15 сек	2 мин 15 сек
Калуга 1	+0	-10				

Рисунок 2. Пример одного из замеров пассажиропотока

Когнитивная модель

Факторы, представляющие наибольший интерес, назовем целевыми (на рис.3 они красного цвета). В данной модели было выделен четыре целевой фактор – бюджет города, удовлетворённость пассажиров, время пассажира в пути и загруженностью остановочных пунктов. Так же выделена совокупность так называемых управляющих факторов (синий цвет на рис.3), через которые

подаются управляющие воздействия в модель и определены факторы-индикаторы (желтый цвет на рис.3), которые отражают и объясняют развитие процессов в работа этого маршрута.

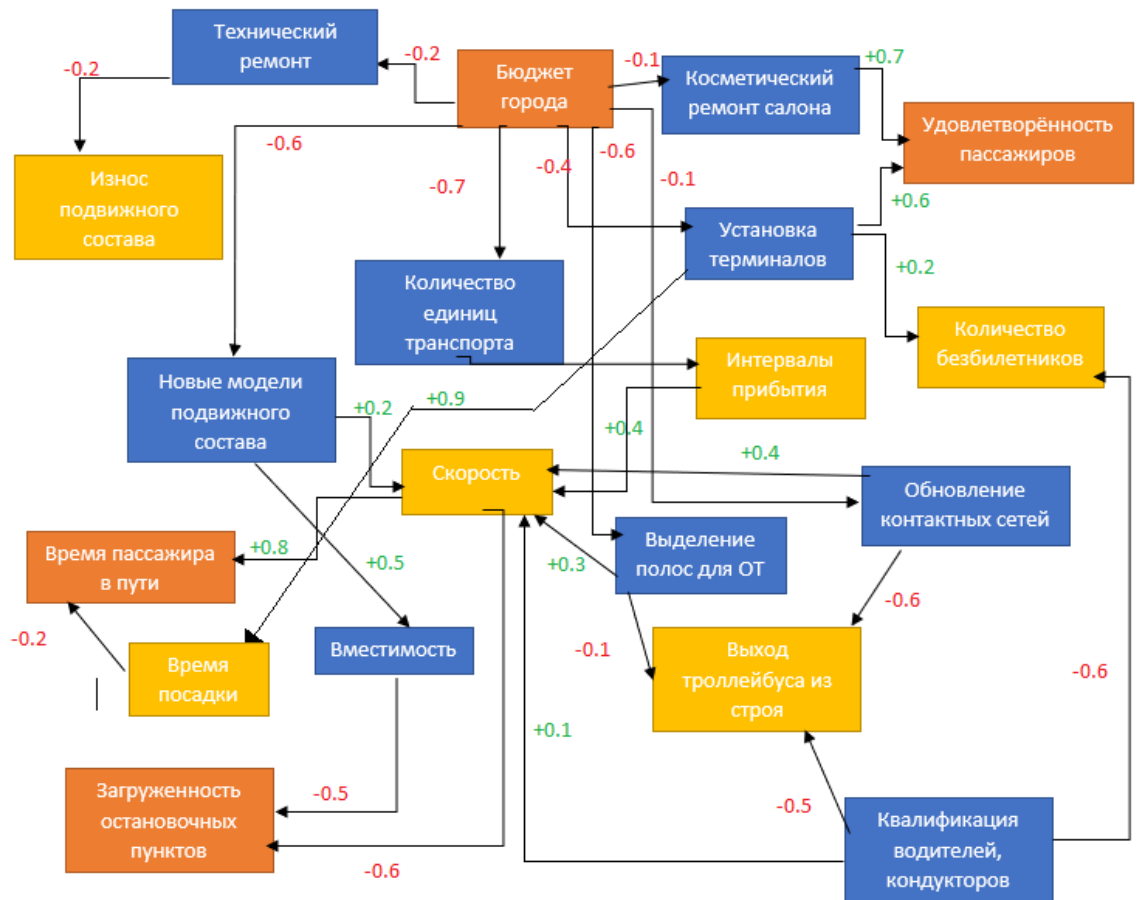


Рисунок 3. Когнитивная модель

Исследование зависимости выходных переменных от входных переменных

В качестве входных параметров задаются интенсивность прибытия троллейбусов, интенсивности появления пассажиров на остановочных пунктах, допустимое время ожидания в очереди, место назначения пассажира, интенсивность движения на дороге между остановочными пунктами.

На выходе имитационная модель возвращает среднее число заявок в очереди(людей, ожидающий транспорт на остановке), среднее время пребывания заявки в очереди (время ожидания на остановочном пункте), процент заявок, получивших отказ в обслуживании.

Исследуются изменения параметров работы троллейбусов, при которых пассажиры будут более удовлетворены уровнем пассажирских перевозок.

Законы распределения:

Представление пассажиропотока как простейшего потока событий является разумным. Реально пассажиры на остановочном пункте появляются поодиночке и независимо друг от друга примерно с одинаковой интенсивностью в отдельные периоды суток. Отсюда следует, что поток обладает свойствами ординарности, отсутствием последствия и стационарности. В таком потоке интервалы между событиями имеют показательное распределение, а вероятности их числа за поездной интервал имеют распределение Пуассона. Если N - случайная величина (число пассажиров на пункте), то вероятности ее значений n определяют по формуле:

$$P_n = P\{N = n\} = \frac{a^n}{n!} e^{-a}$$

где a - параметр распределения.

Меж троллейбусные интервалы в принципе являются случайными величинами, что вполне согласуется со статистическими данными наблюдений. Потоки поездов на маршрутах можно считать простейшими, если интервалы более 5 мин (что верно в нашем конкретном случае), т. е. отсутствует последствие. В соответствии с этим интервалы между транспортными средствами распределены по показательному закону вида:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t},$$

где λ - средняя интенсивность потока троллейбусов.

Закон распределения выбора конечного пункта поездки пассажиром не подчиняется известным законам распределения, поэтому выбор будет основан лишь на эмпирических данных.

Структура модели

Канальность характеризуется количеством мест в троллейбусе, работающих на маршруте. Поток пассажиров выстраивается в очередь, время ожидания для каждого человека задано. Число мест в очереди неограниченно. Пассажиры обслуживаются по правилу «первый пришел – первый ушел».

Возможные состояния системы:

S_0 (все каналы свободны),

S_1 (один канал занят, остальные свободны),
 S_2 (два канала заняты, остальные свободны),
 \dots
 S_n (все каналы заняты),
 S_{n+1} (все каналы заняты, в очереди одна заявка),
 S_{n+2} (все каналы заняты, в очереди две заявки),
 \dots

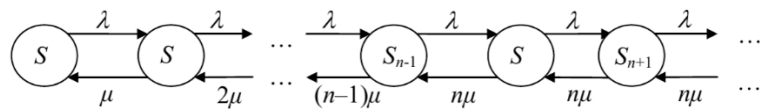


Рис. 4. Граф состояний участка системы

Рассмотрим подробнее структуру и основные составляющие полученной модели.

Верхним уровнем иерархии в модели является корневой активный объект Main. Он содержит в себе GIS-карту, на которой проставлены все точки остановок транспорта. Они соединены GIS-маршрутами.

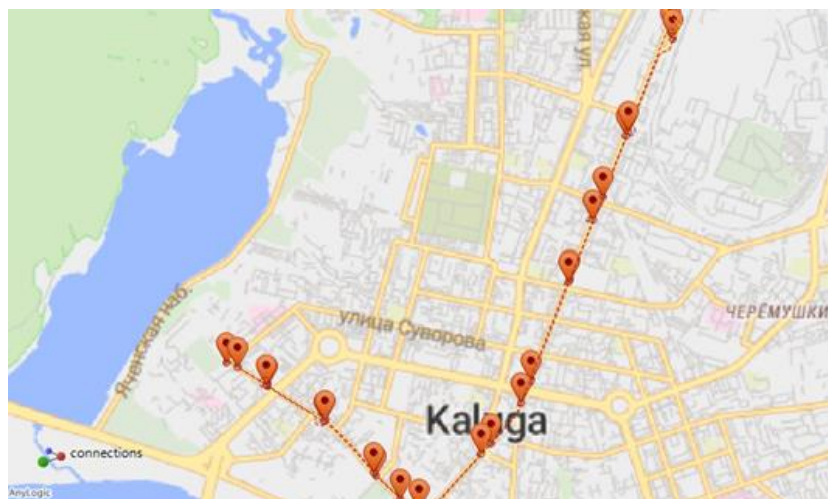


Рисунок 5 GIS-карта модели

В Main содержатся все остановочные пункты. Для наглядности они также наложены на карту в виде GIS-регионов.

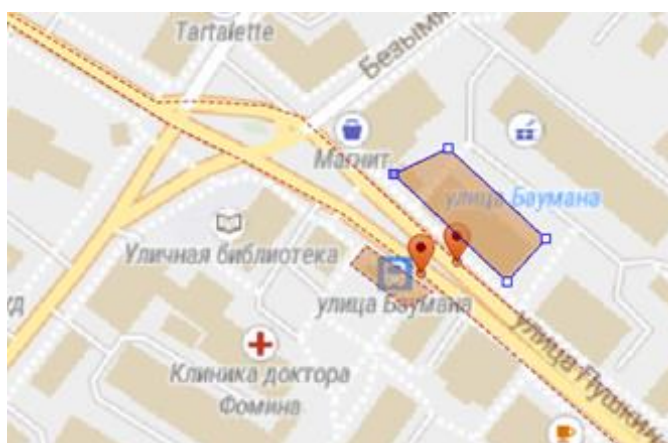


Рисунок 6. Вид остановочного пункта

Агент типа Station представляет собой схему остановочного пункта(см. рис 7). Через блок enter1 прибывают троллейбусы, после чего с помощью блока dropoff реализуется высадка пассажиров, которые хотели доехать до этой остановки. С помощью delay имитируется время на выход из транспорта. Затем с помощью pickup в троллейбус садятся пассажиры до тех пор, пока все остановка не останется пуста, или не закончатся полностью сидячие и стоячие места в транспорте. С помощью delay1 имитируется время потраченное на посадку. После посадки через блок moveTo троллейбус уезжает к следующей остановке. Через enter2 приходят пассажиры на остановку и становятся в очередь в блоке queue.

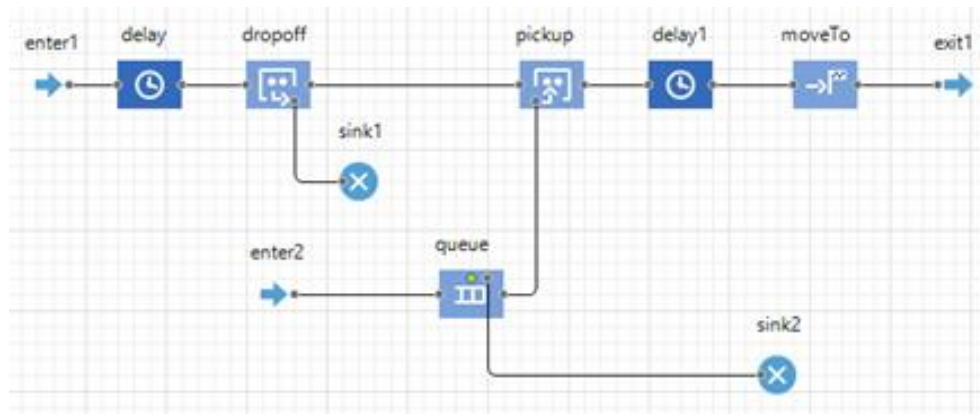


Рисунок 7. Устройство остановочного пункта

На рис.8 представлена схема устройства троллейбусного депо.

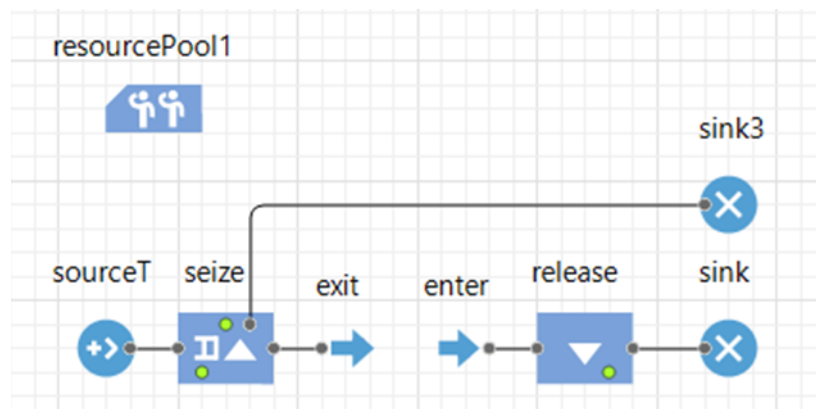


Рисунок 8. Троллейбусное депо.

Через блок sourceT на работу выходят кондукторы, которые в блоке seize садятся на водительское место (происходит захват ресурса Bus_1 из блока resourcePool1).

Driver (тип агента- водителя) обладает четырьмя свойствами:

Passanger- число пассажиров внутри троллейбуса

Circles- число оставшихся кругов до конца рабочей смены

Route_start- время начала очередного круга маршрута

Passengers_served-количество перевезенных пассажиров за данный круг маршрута

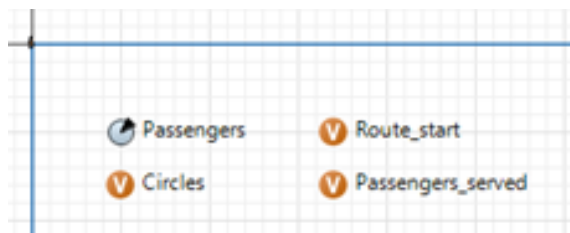


Рисунок 9 Агент Driver

Пассажир (тип Passanger) обладает параметром Bus_stop_want, где указан желаемый пункт назначения для данного человека.

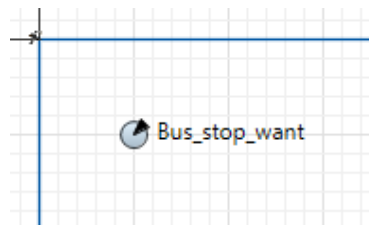


Рисунок 10 Агент Passanger

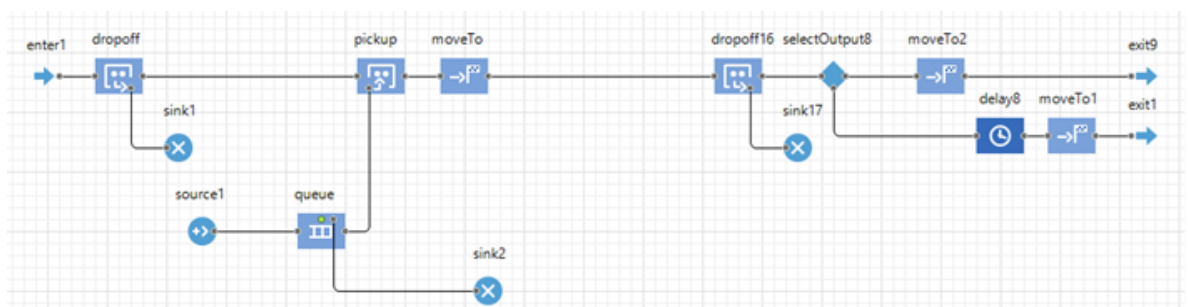


Рисунок 11. Предпоследняя и конечная остановки

На рис.11 представления схема двух последних остановок. Левая половина такая же по строению как и остальные остановки и вынесена отдельная только для удобства работы с индексацией. В правой части схема

работы конечной остановки. Через блок dropoff16 транспорт покидают все оставшиеся пассажиры. Затем в блоке selectOutput8 происходит выбор дальнейшего поведения, если смена водителя подошла к концу, то через moveTo2 он возвращается в депо, иначе ждет около 5 минут начинает движение по маршруту снова.

Расписание интенсивностей прибытия пассажиров на остановки реализовано через блоки Schedule(см. рис.12). Аналогично заданы интенсивности движения на дороге между остановками.

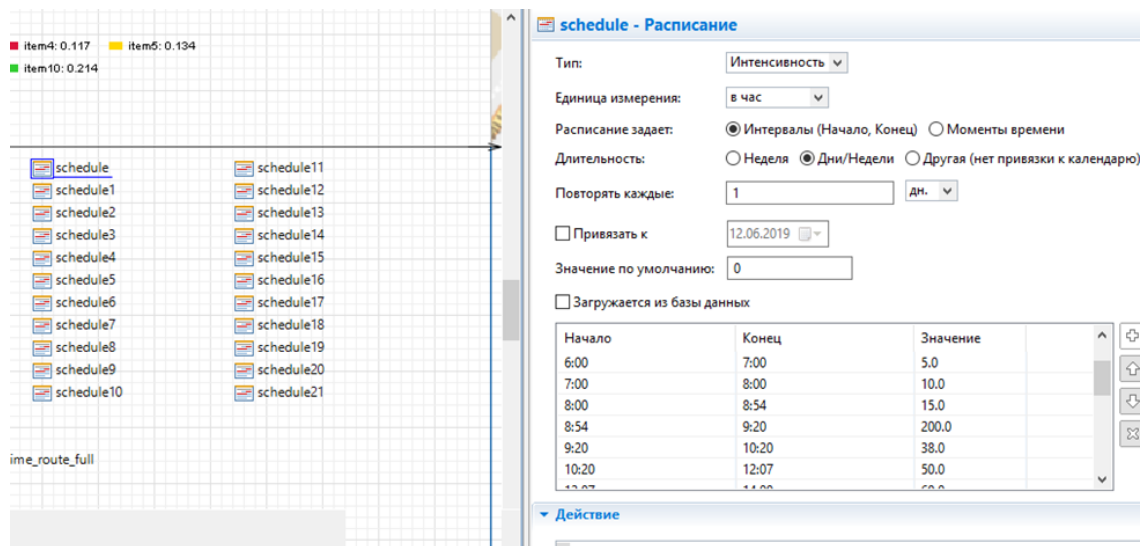


Рисунок 12. Задание расписания интенсивностей прибытия пассажиров

Результаты моделирования

На рисунках 13 и 14 представлена работа инициализированной модели: автобусы двигаются от остановки к остановке и сажают и высаживают пассажиров.

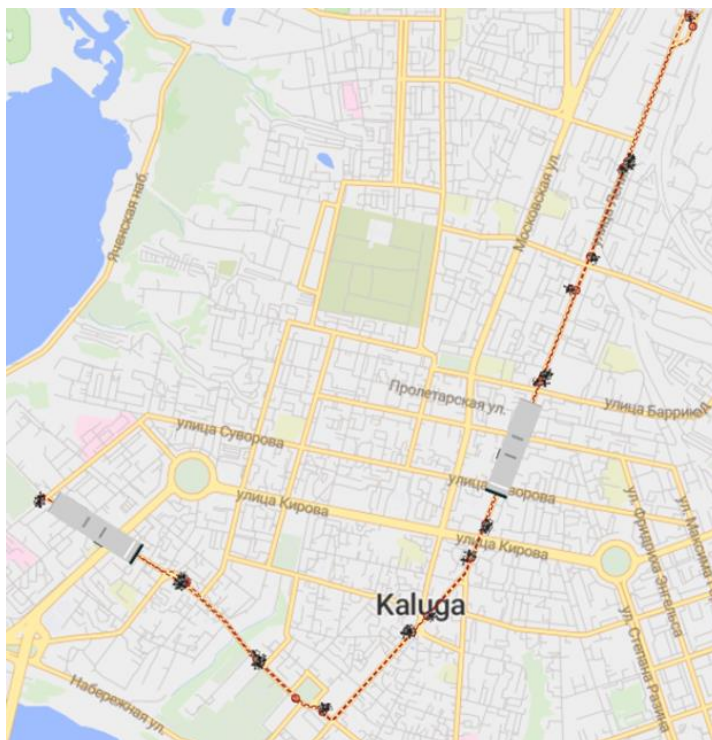


Рисунок 13. Имитационная модель в действии



Рисунок 14. Троллейбус подъезжает к остановочному пункту

Ниже представлены выходные параметры, которые мы хотели измерить.

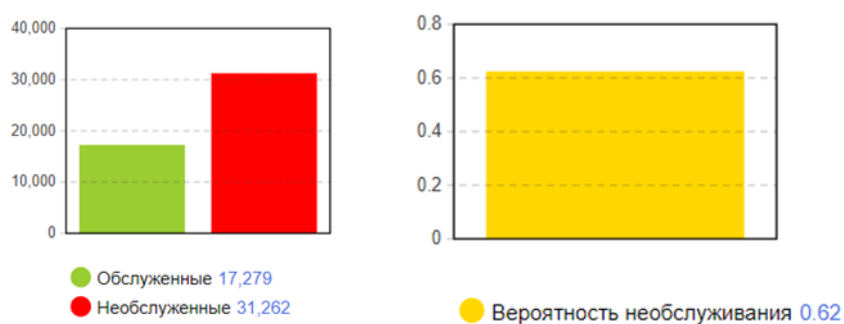


Рисунок 15. Соотношение числа обслуженных и не обслуженных пассажиров и вероятность необслуживания

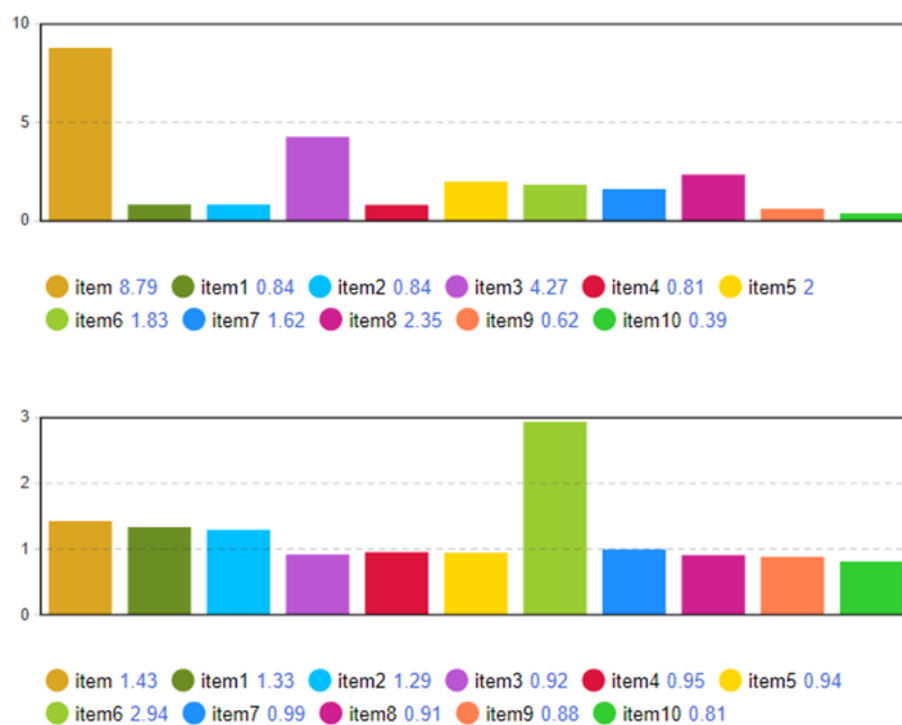


Рисунок 16. Среднее число человек, ждущих транспорт на каждой из остановок

Σ Avg_queue_time
27,438 измерений [10.035...19.971]. Среднее=15.771

Рисунок 17. Среднее время ожидания в очереди на остановке

Улучшение конфигурации работы троллейбусного маршрута

Структурный синтез

Попробуем повысить качество обслуживания пассажиров, изменив структуру нашей системы: увеличим на 2 количество троллейбусов, работающих на маршруте (один дополнительный пустим в 11:00, другой – в 16:30). В результате нам удалось уменьшить среднее время ожидания троллейбуса пассажирами почти на 4 минуты, а шанс быть необслуженным упал примерно на 21%.

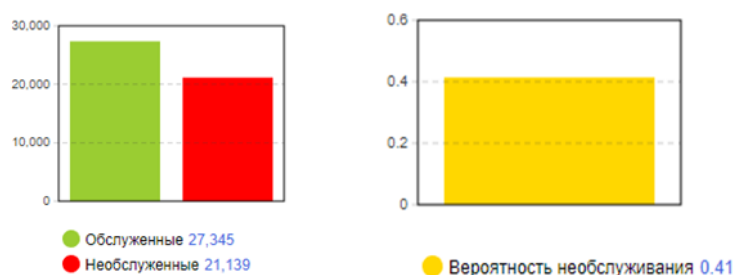


Рисунок 18. Соотношение числа обслуженных и не обслуженных пассажиров и вероятность необслуживания

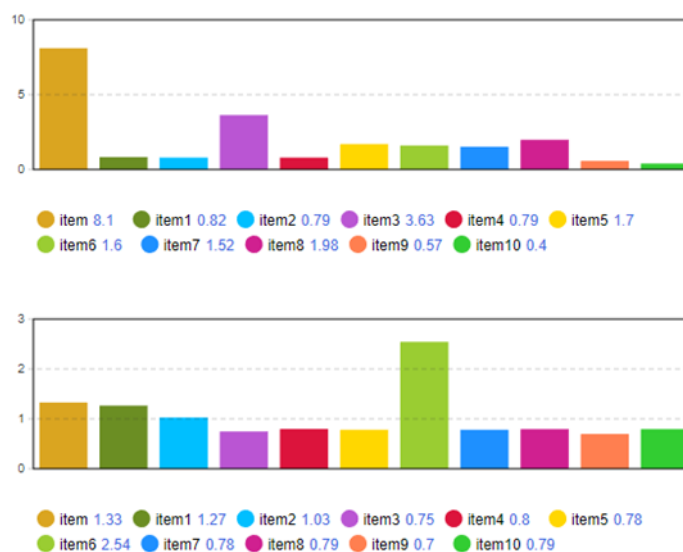


Рисунок 19. Среднее число человек, ждущих транспорт на каждой из остановок



Рисунок 20. Среднее время ожидания в очереди на остановке

Параметрический синтез

Попробуем повысить качество обслуживания пассажиров, скорректировав следующие параметры нашей системы: увеличим на 20 количество мест в троллейбусах, работающих на маршруте (например, такое возможно при покупке новой более вместительной модели), а также уменьшим времена на посадку на 10 сек (например, можно поставить кондуктора, так как конкретно этот маршрут на данный момент работает без кондуктора и проход осуществляется только через переднюю дверь) В результате нам удалось уменьшить среднее время ожидания троллейбуса пассажирами на 1 минуту, а шанс быть необслуженным упал примерно на 15%.

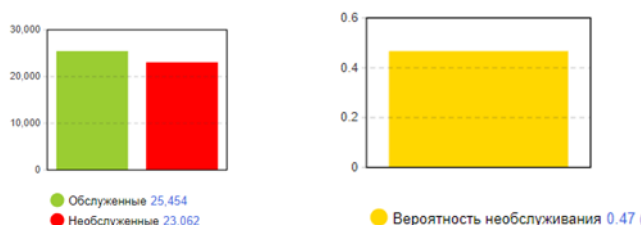


Рисунок 21. Соотношение числа обслуженных и не обслуженных пассажиров и вероятность необслуживания

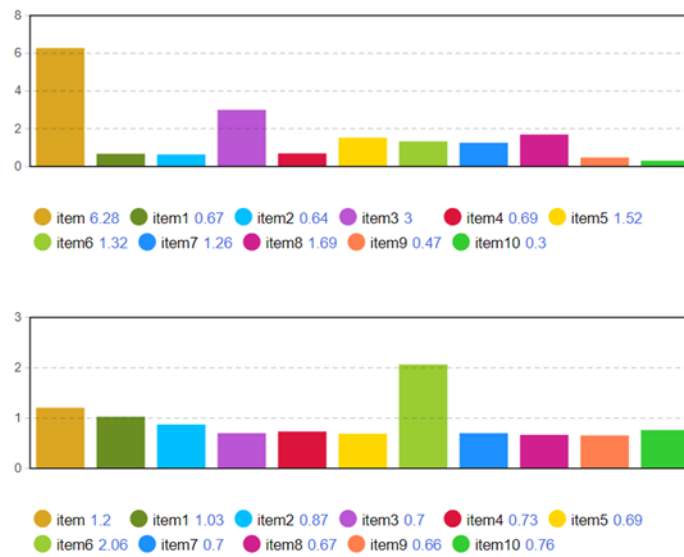


Рисунок 22. Среднее число человек, ждущих транспорт на каждой из остановок



Рисунок 23. Среднее время ожидания в очереди на остановке

Заключение

Для троллейбусного маршрута разработана имитационная модель движения общественного транспорта, которая обслуживает приходящих на остановки пассажиров. В ходе структурного и параметрического синтеза удалось улучшить показатели качества пассажирских перевозок.