



УДК 05.22.00

DOI: 10.31799/2007-5687-2020-3-73-81

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НЕЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА Г. ВЫБОРГ

Н. В. Мовчан, Ю. К. Полякова

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Развитие мегаполисов приводит к изменениям в существующих видах общественного транспорта и переоценке эффективности их организации. В работе приведена оценка эффективности современной организации городского транспорта в г. Выборг. Описана текущая транспортная инфраструктура и проанализирована возможность внедрения трамвайной сети «Чижик». Исследование основано на имитационном моделировании в среде AnyLogic. Исходными данными для моделирования являются существующие и прогнозируемые сети маршрутов, пассажиропоток и основные данные трамвая.

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, общественный транспорт, трамвайная сеть, Выборг.

Для цитирования:

Мовчан Н. В., Полякова Ю. К. Применение имитационного моделирования для решения проблемы неэффективной организации системы общественного транспорта г. Выборг // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(25), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 73-81. РИНЦ.

IMPLEMENTATION OF SIMULATION TO SOLVE THE PROBLEM OF VYBORG'S PUBLIC TRANSPORT SYSTEM INEFFICIENT ORGANIZATION

N. V. Movchan, Y. K. Polyakova

The development of mega-cities leads to changes in existing types of public transport and a reassessment of the effectiveness of their organization. The article provides evaluation of the effectiveness of urban transport organization in the city of Vyborg. It also includes the description of the current transport infrastructure and analysis of the possibility of introducing the «Chizhik» tram network. The study is based on simulation modeling in the AnyLogic environment. The source data for the simulation are predicted and already existing route networks, passenger flow and main tram figures.

Keywords: simulation, AnyLogic, public transport, tram network, Vyborg.

For citation:

Movchan N. V., Polyakova Y. K. Implementation of simulation to solve the problem of Vyborg's public transport inefficient organization // System analysis and logistics.: №3(25), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2020 – p. 73-81.

Введение

Общественный транспорт является одним из ключевых элементов современных транспортных систем и важной составляющей городской, региональной и международной логистики. Современный городской транспорт – это результат многолетних изменений, внедрения новых технологий, логистических инноваций, а также адаптация под потребности города и его стратегии развития [1, с. 445].

В целом транспортная система города является сложной системой, параметры функционирования которой оказывают влияние на экономическое развитие города, комфортность и безопасность его граждан. Не всегда городской транспорт успевает адаптироваться под потребности города с необходимой скоростью, в связи с чем отмечается недостаточность транспортного обеспечения. Наглядной иллюстрацией данной проблемы является транспортная система города Выборг, который представляет собой связующее звено между Россией и Финляндией. Согласно статье Череновой, В. А. в 2017 Выборг посетили 900 тыс. туристов, при этом население города



составляет всего 78 тыс. человек, количество посетителей города почти в 12 раз превышает его население [2].

В результате анализа текущей системы организации общественного транспорта в Выборге было принято решение о разработке двух новых маршрутных линий, а также о необходимости внедрения нового вида общественного транспорта – скоростного трамвая «Чижик». Его использование обусловлено высокой вместимостью данного трамвая, что позволяет снизить эксплуатационные затраты.

Данное преимущество подтверждается в отчёте о «Развитии транспорта г. Москвы» за 2017 г. На рисунке 1 представлено сравнение различных способов передвижения пассажиров г. Москвы [1].

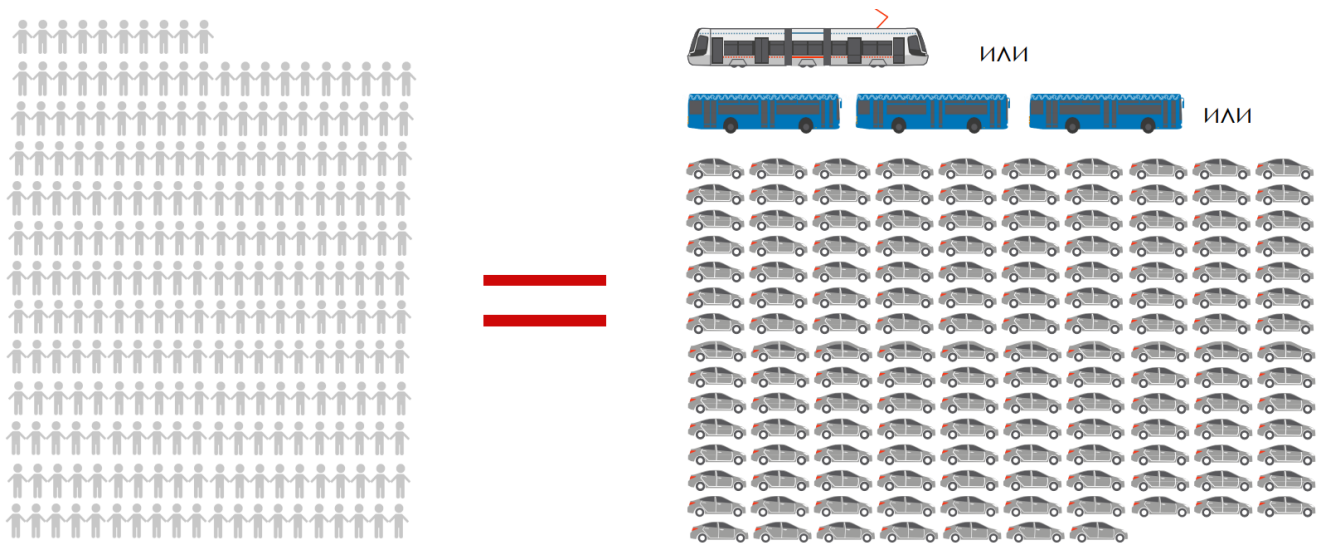


Рис. 1. Сравнение эффективности различных способов передвижения жителей г. Москвы

Из рисунка 1 можно сделать вывод о том, что трамваи нового поколения являются наиболее эффективным видом транспорта, поскольку для перевозки 250 пассажиров требуется 1 трамвай нового поколения или 3 автобуса большой вместимости или 147 личных автомобилей.

При проектировании новой системы общественного транспорта было принято решение создать имитационную модель, включающую в себя два новых маршрута, обслуживаемых трамваем «Чижик».

Одним из инструментов для эффективной организации общественного транспорта является транспортное моделирование. В данной работе используются методы теоретического анализа и инструменты моделирования в имитационной среде Anylogic.

Для создания модели использовалась библиотека моделирования процессов, которая поддерживает дискретно-событийный подход моделирования. Данная библиотека позволяет моделировать системы, как последовательность операций, выполняемых агентами, обладающими различными атрибутами. Создание модели в среде Anylogic состояло из нескольких этапов работы:

1. Создание визуальной составляющей модели

Первым этапом стала визуализация модели в системной среде. В качестве основы для создания модели использовалось изображение г. Выборг, взятое из Google.Карт, на которое были нанесены иконки, обозначающие основные достопримечательности города. Также, на данную подложку были нанесены сами маршруты, окрашенные разными цветами, для удобства их распознавания.

При помощи элемента «Путь» оба маршрута были нанесены на базовое изображение. Элементы «Точечный узел» использовались для обозначения местонахождения остановочных пунктов данных маршрутов.

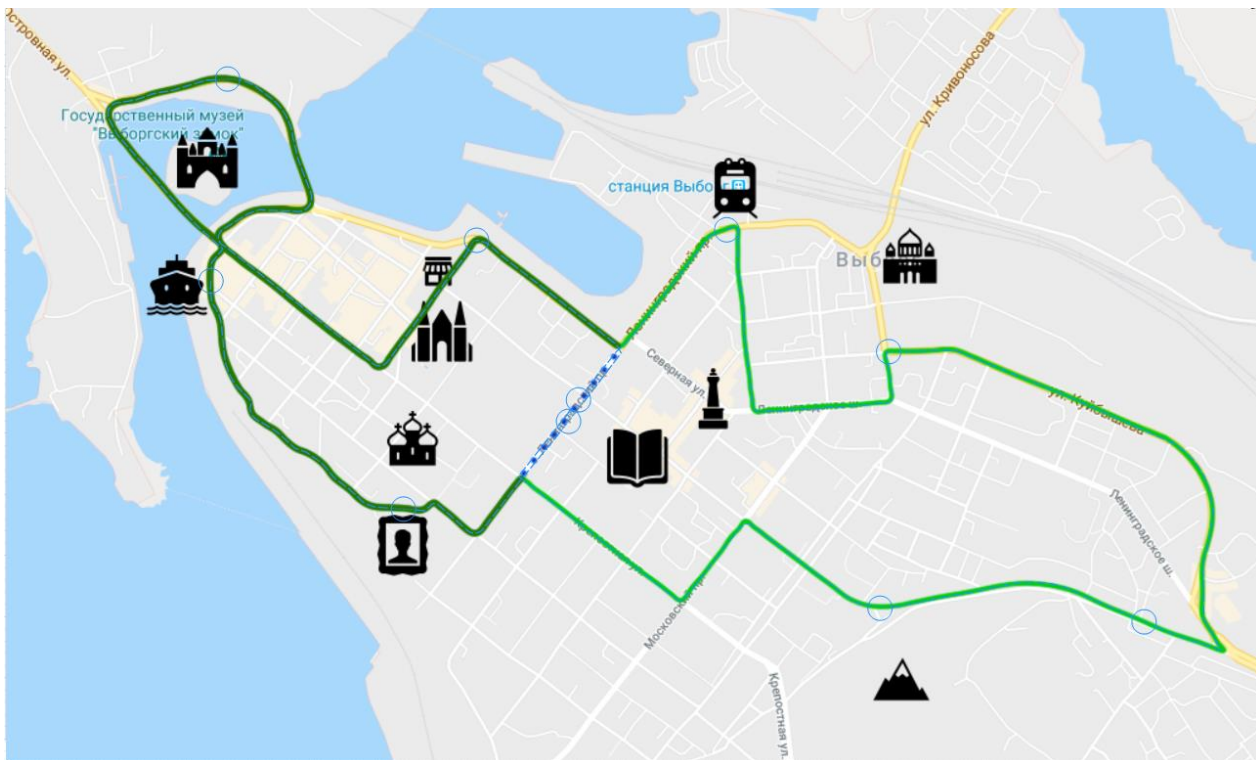


Рис. 2. Визуализация маршрута и остановочных пунктов в среде Anylogic

На рисунке 2 представлена визуальная составляющая модели, состоящая из базового изображения, маршрутных линий, отображаемых синими пунктирными линиями и остановочных пунктов, изображённых в виде кругов с контуром синего цвета.

Из рисунка 2 следует, что модель состоит из двух маршрутов, они отмечены на карте линиями светло- и тёмно-зелёного цвета. На рисунке 2 также отображено пересечение маршрутов на Ленинградском проспекте, оно отображено синей пунктирной линией. Также модель включает в себя 10 остановочных пунктов, расположенных вблизи различных точек притяжения пассажиропотока, другими словами – достопримечательностей города, отмеченных на карте чёрными иконками.

2. Создание агентов

Для отображения анимации движения транспортного средства создан одиночный агент названный «tram». В качестве его отображения на карте было выбрано изображение автобуса, поскольку в библиотеке Anylogic отсутствуют изображения трамваев. Для агента задаётся начальная скорость. Поскольку в качестве вида общественного вида транспорта, курсирующего по данному маршруту, был выбран трамвай «Чижик», начальная скорость агента составляет 20 км/ч.

3. Создание алгоритма движения агентов по маршрутной сети

Дискретно-событийное моделирование позволяет представить моделируемую систему в виде процесса или последовательность выполняемых с агентом операций [4, с. 141].

На рисунке 3 представлено графическое отображение модели в виде диаграммы процесса.

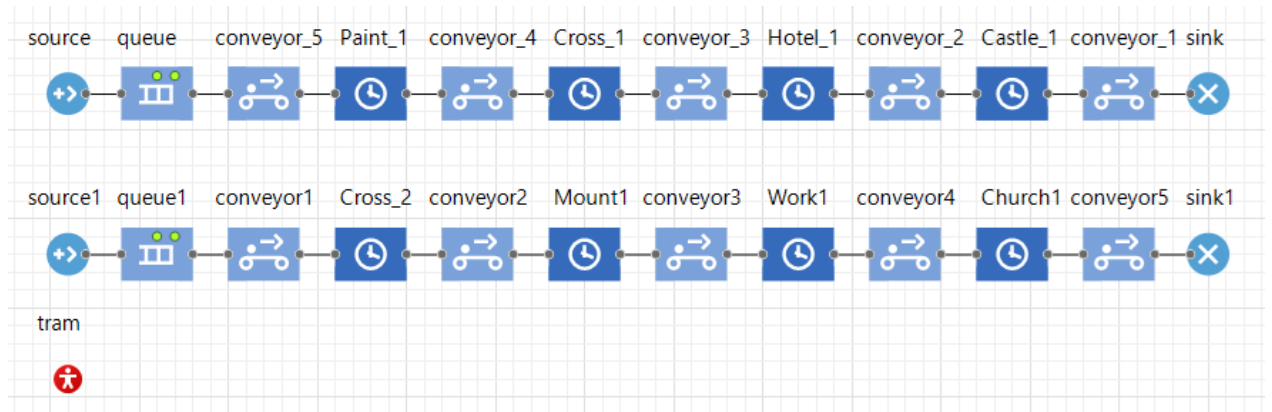


Рис. 3. Диаграмма процесса модели в среде Anylogic

Из диаграммы процесса, изображённой на рисунке 3, следует, что оба маршрута состоят из начального блока-источника, генерирующего агентов, в данном случае – трамваи. При создании данной модели для указания интенсивности использовалось время между прибытиями, однако вместо фиксированного значения используется треугольный закон распределения: «=triangular(x₁, x₂, x₃)», где переменные x₁-x₃ являются временными показателями продолжительности задержки.

После создания агента этот блок передаёт его далее по диаграмме в последующие блоки, в данной модели это «Конвейер» и «Задержка», имитирующие движение транспортного средства с остановками в определённых пунктах. В данной модели используется задержка на определённое время без указания определённого промежутка, но с использованием треугольного закона распределения. Завершается диаграмма процесса блоком, уничтожающим созданных ранее агентов.

Финальным этапом создания модели является добавление статистики. Данный пункт не является необходимым для корректного функционирования модели, однако позволяет отслеживать правильность и эффективность работы, а также собирать статистическую информацию в виде графиков. Для отслеживания параметра загруженности участка дороги был использован блок «Временной график» из раздела «Статистика».

Для получения результатов было проведено два эксперимента на базе созданной модели маршрутной сети г. Выборг. Эксперименты различались между собой значениями интенсивности пассажиропотока и другими параметрами, изменяющиеся в зависимости от данного показателя. Для повышения точности эксперимента были проведены расчёты этих параметров, определяющих потребность транспортных средств на маршруте, в зависимости от интенсивности прибытия пассажиров.

Согласно статье Яценко, С. А. для расчёта потребности транспортных средств на маршруте требуются следующие параметры: напряжённость пассажиропотока, длина маршрута, эксплуатационная скорость, пассажироместимость ТС, время оборота подвижного состава на маршруте [5, с. 195].

Волков, С. В., Сурхаев Г. М. и Магомедов В. К. в своей работе отмечают, что расчётное количество необходимых для работы маршрута транспортных средств часто не соответствует существующим возможностям автотранспортного предприятия. Авторы также утверждают, что классический расчёт потребного числа ТС на маршруте производится на участке максимального пассажиропотока во время наибольшего спроса по формуле, представленной ниже [6, с. 1].

Необходимое количество транспортных средств для обслуживания маршрута рассчитывается по формуле (1):

$$A_M = \frac{Q_{\max} \cdot t_{об}}{g_n}, \quad (1)$$



где Q_{\max} – напряжённость пассажиропотока (максимальный часовой пассажиропоток на наиболее напряжённом участке маршрута), $t_{об}$ – время обратного рейса, g_n – пассажироместность транспортного средства.

Второй параметр, рассматриваемый в рамках данной модели, это интервал движения. Фомин Е. В. утверждает, что интервалом движения называют промежуток времени, между прибытиями транспортных средств на остановочный пункт. По мнению автора, данный показатель является определяющим при оценке качества организации транспортного обслуживания населения. Он также отмечает, что данный параметр определяет экономическую эффективность эксплуатации транспортного средства. При этом, для перевозчика желательна максимальная длина интервала, поскольку это позволяет обеспечить максимальную загрузку транспортного средства, а для пассажира оптимальна минимальная длина интервала, как наименьшее время ожидания транспортного средства [7, с. 117].

Интервал движения транспортных средств рассчитывается по следующей формуле (2):

$$I = \frac{t_{об}}{A_m}, \quad (2)$$

где $t_{об}$ – время обратного рейса, A_m – количество транспортных средств, необходимых для обслуживания маршрута.

Последним параметром необходимым для корректного функционирования смоделированной системы является частота движения транспортных средств. Под частотой движения понимается количество транспортных средств, проходящих через конкретный остановочный пункт за определённый промежуток времени.

Частота движения автобусов рассчитывается по следующей формуле (3):

$$N_a = \frac{Q_{\max}}{g_n} = \frac{A_m}{t_{об}}, \quad (3)$$

где Q_{\max} – напряжённость пассажиропотока (максимальный часовой пассажиропоток на наиболее напряжённом участке маршрута), g_n – пассажироместность транспортного средства, A_m – количество транспортных средств, необходимых для обслуживания маршрута, $t_{об}$ – время обратного рейса.

Таким образом, первый эксперимент основывался на текущих значениях количества пассажиров, прибывающих на железнодорожный и морской вокзал.

При анализе текущей интенсивности прибытия поездов на ж\д вокзал, был отмечен тот факт, что поезда прибывают неравномерно и с различной плотностью. Средний показатель прибытия составляет 1 поезд в час, при этом в промежуток с 7:26 по 8:26 утра на вокзал прибывает 3 поезда, в то время как в промежуток с 10:00 до 12:30 утра не прибывает ни одного поезда.

Говоря об интенсивности морского вокзала, следует уточнить, что данный показатель, по сравнению со значением железнодорожного вокзала, гораздо меньше. Это объясняется тем, что на данный момент курсирует только два теплохода – «Карелия» и «Камилла», отправление данных



теплоходов происходит раз в несколько дней, поскольку они двигаются по маршруту Выборг-Лаапеевранта-Выборг.

Для определения эффективности внедрения нового маршрута и организации работы общественного транспорта, необходимо рассчитать количество ТС, необходимых для каждого маршрута, по формулам, приведённым выше. Протяжённость первого маршрута составляет приблизительно 4,23 км, протяжённость второго маршрута – 5,2 км.

Расчётная скорость трамвая «Чижик» составляет 20 км\ч, при этом следует отметить, что текущая скорость данного трамвая 23 км\ч, но за расчётную величину было принято меньшее значение. Это объясняется тем, что во время тестирования маршрута скорость намеренно снижается, для обеспечения безопасности пассажиров и водителей других транспортных средств.

Время движения трамвая «Чижик» по маршруту может быть рассчитано по следующей формуле (4):

$$t = \frac{S}{V}, \quad (4)$$

где S – протяжённость маршрута, V – скорость транспортного средства.

Таким образом, время прохождения маршрута является фиксированной величиной, для первого маршрута при расчёте по формуле (4) составит:

$$t = \frac{4,23}{20} = 0,21.$$

Для второго маршрута:

$$t = \frac{5,2}{20} = 0,26.$$

Далее, по формуле (1) рассчитаем количество транспортных средств, необходимых для обслуживания первого маршрута при текущей интенсивности:

$$A_m = \frac{370 \cdot 0,21}{250} = 0,31.$$

Для второго маршрута при текущей интенсивности пассажиропотока:

$$A_m = \frac{350 \cdot 0,26}{250} = 0,36.$$

Таким образом, при текущей интенсивности пассажиропотока загрузка транспортных средств является не эффективной, поскольку она составляет 40%. Как следствие, для повышения эффективности организации системы городского пассажирского транспорта, необходимо в первую очередь повысить количество кораблей, прибывающих в морской порт г. Выборг, а также повысить пассажирооборот железнодорожного вокзала.

Рассмотрим второй эксперимент, для него увеличим интенсивность пассажиропотока морского порта в 6 раз, а железнодорожного вокзала в 5 раз. На рисунке 4 представлена имитационная модель маршрутной сети г. Выборг в процессе проведения эксперимента в среде Anylogic.

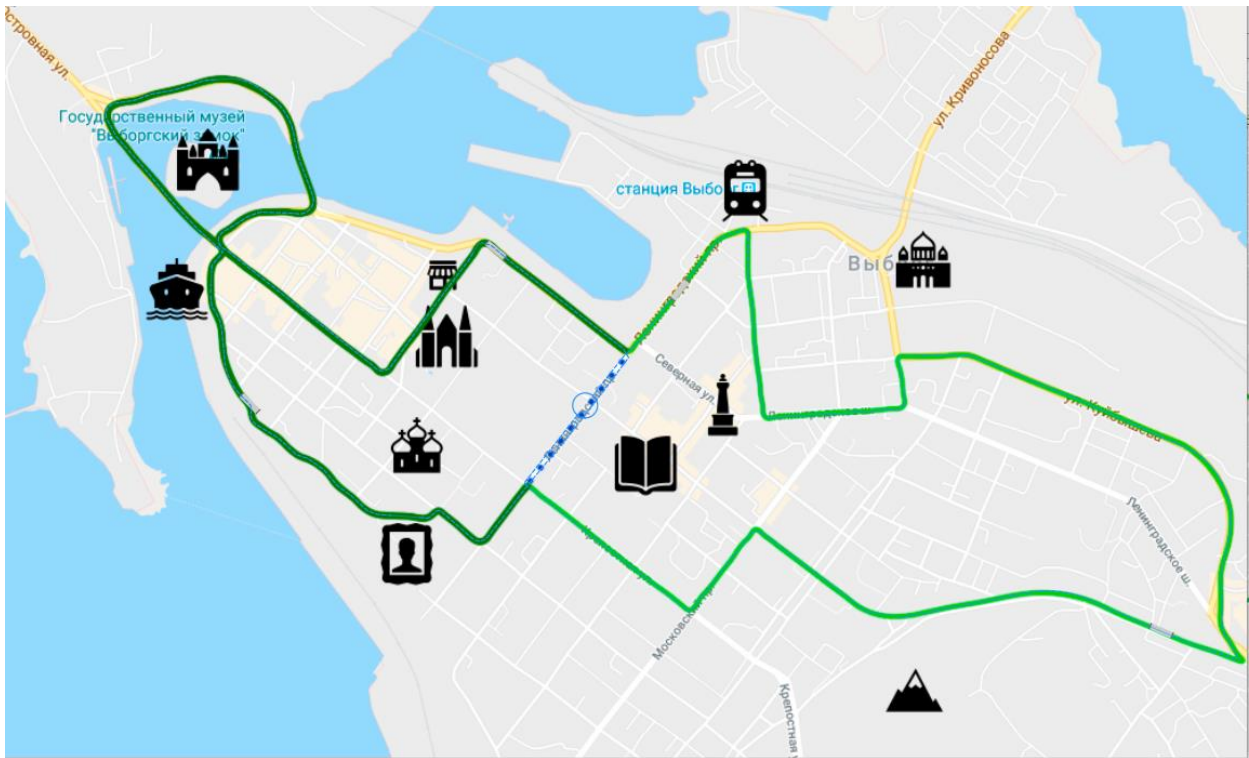


Рис. 4. Модель маршрутной сети, полученная по результатам второго эксперимента в среде Anylogic

Снова рассчитаем количество ТС, необходимое для обслуживания маршрутов по формуле (1):

$$A_m = \frac{2220 \cdot 0,21}{250} = 1,88.$$

Для второго маршрута при новой интенсивности пассажиропотока:

$$A_m = \frac{1750 \cdot 0,26}{250} = 1,82.$$

Из рисунка 4 следует, что на каждом маршруте имеется по два трамвая, обслуживающих данный маршрут – они обозначены в виде серых прямоугольных фигур.

На рисунке 5 представлены графики интенсивности движения транспортных средств на различных участках маршрутной сети. Данные графики получены при помощи блока «Временной график» и созданы программой Anylogic на основе введенной функции.

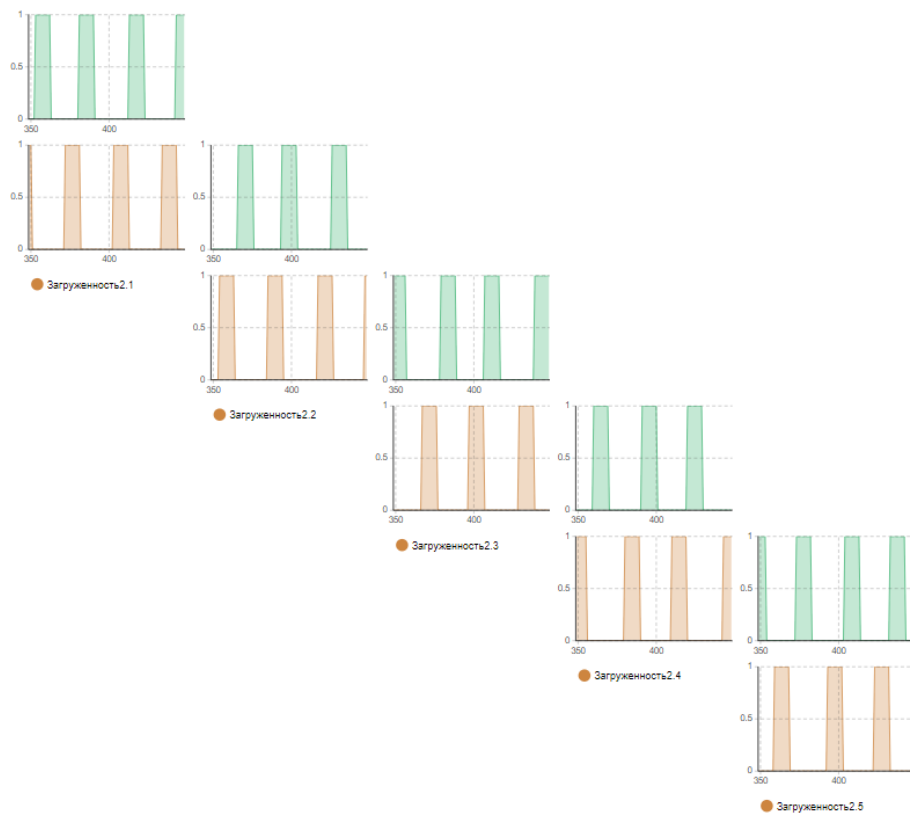


Рис. 5. Графики интенсивности движения ТС для второго эксперимента

На рисунке 5 верхний ряд диаграмм, обозначенный зелёным цветом, относится к первому маршруту, началом которого является морской вокзал г. Выборг. Второй ряд обозначен оранжевым цветом и относится к маршруту с началом у ж\д вокзала. Из графиков следует, что на каждый участок маршрута всегда приходится по одному транспортному средству, поскольку на каждом маршруте функционирует по 2 трамвая, при этом количество участков равно 5.

Из графиков на рисунке 5 также следует, что несмотря на схожую протяжённость маршрута, одинаковую скорость и количество транспортных средств, трамваи двигаются не синхронно, что позволяет уменьшить ожидание ТС при пересадке с одного маршрута на другой.

Заключение

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что текущая организация сети общественного транспорта в г. Выборг не является эффективной. Приведённый анализ имитационной модели и проведённых экспериментов доказывает, что при предсказанном увеличении пассажиропотока внедрение новых маршрутов, а также нового вида транспорта – трамвая «Чижик», позволит повысить транспортное обеспечение города и улучшить его транспортную инфраструктуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникин, Б.А.* Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика. Основы логистики: учебное пособие / Б.А. Аникин, Т.А. Родкина, В.А. Волочиенко, Н.И. Заичкин, А.Д. Межевов, Л.С. Федоров, В.М. Вайн, В.И. Воронов, В.В. Водянова, М.А. Гапонова, И.А. Ермаков, В.В. Ефимова, М.В. Кравченко, С.Ю. Серова, Р.В. Серышев, Е.Е. Филиппов, И.А. Пузанова, М.Ю. Учирова, И.Л. Рудая; под ред. Б.А. Аникина, Т.А. Родкиной. – М.: Проспект, 2015. – 608 с.



2. *Черенева, В.А.* Ленинградская область намерена сделать туризм важной отраслью своей экономики [Электронный ресурс] // — Режим доступа: <https://rg.ru/2017/07/26/chisloturistov-v-leningradskoj-oblasti-prevysilo-chislo-zhitelej.html> (дата обращения: 05.04.2020).
3. Отчёт за 2017 г. «Развитие транспортной системы Москвы» [Электронный ресурс] // Московский транспорт — Режим доступа: http://transport.mos.ru/common/upload/public/Инфоцентр/транспортная%20система%20Москвы_rus.pdf (дата обращения: 18.03.2019).
4. *Григорьев, И.* Anylogic за три дня [Электронный ресурс] // Anylogic. — Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/> (дата обращения: 05.04.2020).
5. *Яценко, С.А.* Анализ методик расчета потребности автобусов для городских маршрутов / С.А. Яценко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. - № 5(112). – С. 193-202.
6. *Волков, В.С., Сурхаев, Г.М., Магомедов, В.К.* Управление транспортным ресурсом автобусов на линии кольцевого маршрута / В.С. Волков, Г.М. Сурхаева, В.К. Магомедов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. - № 4. – С. 1-7.
7. *Фомин, Е.В., Фадеев, А.И.* Методика определения пропускной способности остановочных пунктов городского пассажирского транспорта / Е.В. Фомин, А.И. Фадеев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. - № 4(63). – С. 117-123.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мовчан Надежда Владимировна —

студент магистратуры

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 3, корп. 1, лит. А.

E-mail: nmovchan@hse.ru

Полякова Юлия Константиновна —

студент магистратуры

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 3, корп. 1, лит. А.

E-mail: yuliapolyakova97@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Movchan Nadezhda Vladimirovna —

master student

National Research University Higher School of Economics
HSE, 3A, Kantemirovskaya str., Saint-Petersburg, 194100, Russia

E-mail: nmovchan@hse.ru

Polyakova Yulia Konstantinovna —

master student

National Research University Higher School of Economics
HSE, 3A, Kantemirovskaya str., Saint-Petersburg, 194100, Russia

E-mail: yuliapolyakova97@gmail.com