



## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

**П. С. Сухарева, В. А. Манакова, В. Е. Таратун**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В современном мире, где города продолжают расти и развиваться, все большую актуальность приобретает вопрос эффективности городского пассажирского транспорта. С увеличением числа автомобилей и повышением спроса на транспортные услуги становится все более важным оптимизировать транспортные потоки, чтобы повысить эффективность работы пассажирского транспорта и обеспечить комфортную и безопасную мобильность горожан.*

*В рамках данного исследования предполагается разработка и анализ соответствующей имитационной модели, позволяющей оценить эффективность существующих моделей и подходов, а также предложить новые решения для оптимизации работы пассажирского транспорта в городе, учитывая различные факторы, такие как плотность движения, загруженность дорог и время ожидания транспорта.*

*Одним из ключевых аспектов исследования станет определение оптимальных интервалов движения транспорта, разработка эффективных стратегий управления пассажиропотоками, а также улучшение качества предоставляемых услуг. Для этого в ходе исследования будут использованы методы математического моделирования, компьютерного моделирования, а также анализ данных, полученных в результате экспериментов на разработанной имитационной модели.*

*Имитационные модели дадут возможность заинтересованным сторонам проверять гипотезы, оценивать альтернативные стратегии и принимать обоснованные решения, не нарушая существующие транспортные сети. Моделируя различные сценарии, исследователи могут оценить потенциальные выгоды от внедрения новых технологий, оптимизации маршрутов, корректировки расписаний.*

*Результаты исследования позволят значительно улучшить качество предоставляемых транспортных услуг, сделать движение более комфортным и безопасным для пассажиров, а также снизить нагрузку на окружающую среду за счет более эффективного использования ресурсов городского пассажирского транспорта.*

*Конечная цель этих исследований и разработок – создать инструмент, который может поддерживать обоснованное принятие решений в планировании городского транспорта. Точно моделируя сложности систем городского пассажирского транспорта, можно определить стратегии повышения эффективности, уменьшения заторов, улучшения доступности и содействия устойчивому развитию. Благодаря постоянному совершенствованию и проверке имитационная модель может служить ценным ресурсом для проектирования перспективных городских транспортных систем, отвечающих меняющимся потребностям городского населения.*

*Ключевые слова: пассажирский транспорт, имитационная модель, оптимальный маршрут, повышение эффективности, исследование, разработка.*

### **Для цитирования:**

*Сухарева, П. С. Исследование и разработка имитационной модели для анализа эффективности городского пассажирского транспорта / П. С. Сухарева, В. А. Манакова, В. Е. Таратун // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 2(40). – с. 114 – 122. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-2-114-122.*

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL FOR ANALYSIS OF EFFICIENCY OF URBAN PASSENGER TRANSPORT

**P. S. Sukhareva, V. A. Manakova, V. E. Taratun**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*In the modern world, where cities continue to grow and develop, the issue of efficiency of urban passenger transportation is becoming increasingly important. With the increasing number of cars and the growing demand for transportation services, it becomes more and more important to optimize traffic flows in order to improve the efficiency of passenger transport and ensure comfortable and safe mobility of city dwellers.*

*This study intends to develop and analyze an appropriate simulation model to evaluate the effectiveness of existing models and approaches, and to propose new solutions to optimize the operation of passenger transport in the city, taking into account various factors such as traffic density, traffic congestion and waiting time for transport.*



*One of the key aspects of the study will be to determine the optimal intervals of transportation, to develop effective strategies to manage passenger flows, and to improve the quality of services provided. For this purpose, the study will use mathematical modeling methods, computer simulation, and analysis of data obtained from experiments on the developed simulation model.*

*Simulation models will enable stakeholders to test hypotheses, evaluate alternative strategies, and make informed decisions without disrupting existing transportation networks. By simulating different scenarios, researchers can assess the potential benefits of implementing new technologies, optimizing routes, and adjusting schedules.*

*The results of the research will significantly improve the quality of transport services, make traffic more comfortable and safe for passengers, as well as reduce the burden on the environment through more efficient use of urban passenger transport resources.*

*The ultimate goal of this research and development is to create a tool that can support informed decision making in urban transportation planning. By accurately modeling the complexities of urban passenger transport systems, strategies can be identified to increase efficiency, reduce congestion, improve accessibility, and promote sustainability. Through continuous improvement and validation, the simulation model can serve as a valuable resource for designing future-proof urban transportation systems that meet the changing needs of urban populations.*

*Keywords: passenger transportation, simulation model, optimal route, efficiency improvement, research, development.*

**For citation:**

*Sukhareva, P. S. Research and development of simulation model for analysis of efficiency of urban passenger transport / P. S. Sukhareva, V. A. Manakova, V. E. Taratun // System analysis and logistics. – 2024. – № 2(40). – p. 114 – 122. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-2-114-122.*

**Введение**

Городской пассажирский транспорт играет жизненно важную роль в обеспечении мобильности и экономического развития городов. Однако управление и оптимизация таких транспортных систем сопряжены с многочисленными проблемами, включая перегруженность, задержки и низкую эффективность. Чтобы решить эти проблемы, необходимо комплексное понимание поведения и эффективности транспортных систем [1].

Имитационное моделирование зарекомендовало себя как мощный инструмент для анализа и прогнозирования транспортных систем. Имитационные модели позволяют исследователям воссоздать реальные транспортные системы и изучить их поведение в различных сценариях. Это позволяет им оценивать эффективность системы, выявлять узкие места и разрабатывать стратегии улучшения [2].

В этом исследовании мы стремимся разработать имитационную модель для анализа эффективности городского пассажирского транспорта. Модель будет использоваться для оценки текущей эффективности системы и моделирования будущих сценариев для выявления потенциальных улучшений. Цель исследования состоит в том, чтобы предоставить лицам, принимающим решения, инструмент для принятия обоснованных решений, направленных на повышение эффективности и удовлетворенности пассажиров городским пассажирским транспортом [3].

**Описание модели**

Имитационная модель – это компьютерная программа, которая представляет систему или процесс и имитирует, как они будут вести себя в различных условиях. Имитационные модели используются для анализа и прогнозирования поведения сложных систем, а также для тестирования различных стратегий и сценариев [4].

Имитационные модели могут быть разработаны с использованием различных инструментов и технологий, таких как системы моделирования, языки программирования, специализированные программы для создания моделей и т.д. Они могут быть использованы в различных областях, таких как бизнес-процессы, логистика, производство, социальные системы, здравоохранение и многих других. Моделируя различные сценарии, исследователи могут оценить потенциальные выгоды от внедрения новых технологий [5,6].

Реализуем имитационную модель работы городского пассажирского транспорта в Санкт Петербурге для анализа степени загрузки маршрута, а также для оценки



пассажиропотока на данном направлении движения с помощью программного обеспечения The AnyLogic Company [7,8].

Объектом исследования является трамвай №19 Санкт-Петербурга с маршрутом Лахтинский разлив- Ж/д ст. Старая Деревня (рис. 1) [9]:

- Лахтинский разлив
- ст. м. Беговая
- Яхтенная улица
- Улица Савушкина, 111
- Администрация Приморского района
- Ж/д ст. Старая Деревня

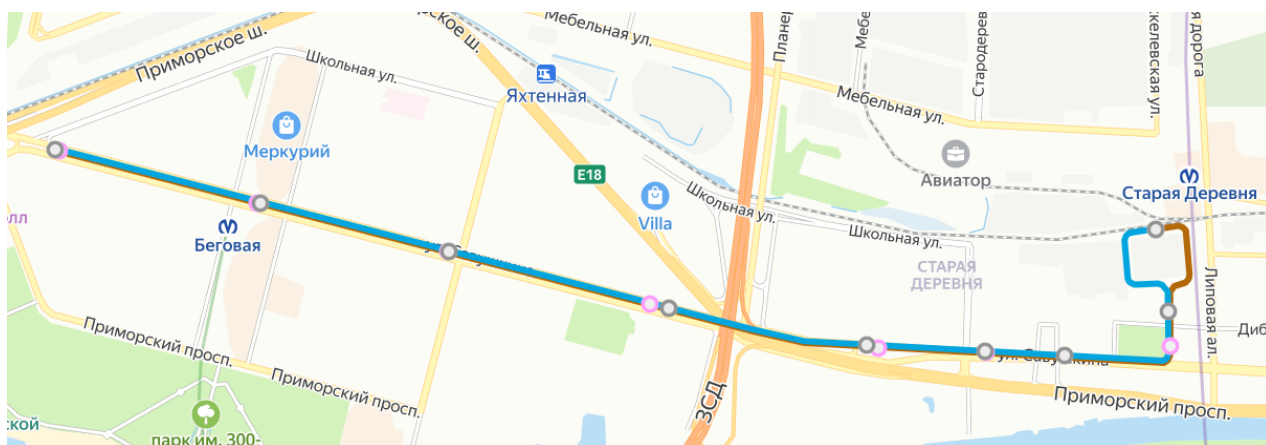


Рис. 1. Маршрут трамвая №19

### Реализация модели

Создадим новый проект в The AnyLogic Company. Для реализации данной имитационной модели необходимо определиться с количеством типов агентов, которые в данном случае являются нашими пассажирами. При наличии рассматриваемых шести остановочных пунктов у нас будет пять типов агентов, каждый из которых будет закреплен целью следования за следующим остановочным пунктом.

Ввиду того, что на трамвайной линии движутся различные типы трамваев – необходимо создать также типы агентов транспортных средств, которые будут отличаться вместимостью пассажиров и визуальным представлением. На данной трамвайной линии используется 2 типа трамвая с вместимостью 34 и 45 сидячих мест соответственно [10].

Сгенерируем расписание потока трамваев со временем между прибытиями 13 минут [11]. Прорисуем маршрут движения для каждого агента типа трамвая. Будем перемещать агентов по пути заданной длины с заданной скоростью (одинаковой для всех заявок 60 км/ч), сохраняя их порядок и оставляя заданные промежутки между ними.

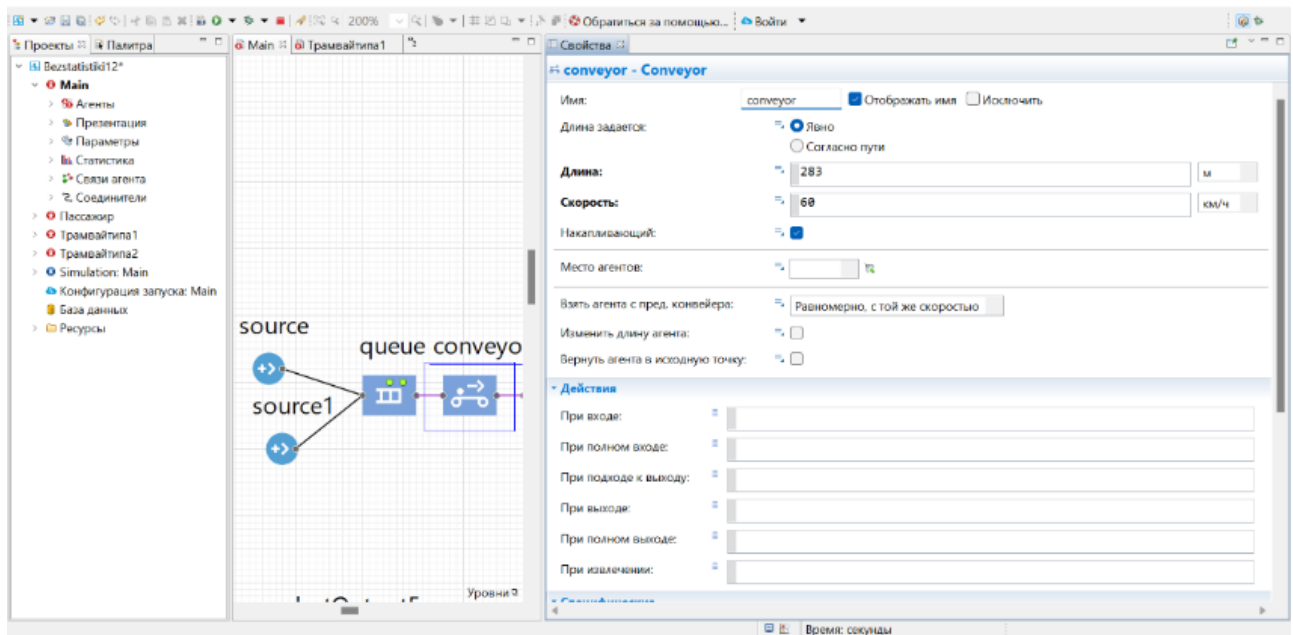


Рис. 2. Маршрут движения

На рис. 2 реализована остановка Лахтинский разлив с протяженностью 283 метра и скоростью трамвая 60 км/ч [12]. Смоделируем задержку трамвая на посадочном пункте 10 секунд, а также перераспределим с определенной вероятностью заявки в нужный выходной порт, а именно 0.2.

Изначально при движении трамвая к остановочному пункту вместимость трамвая является максимальной, а при достижении же остановочного пункта – система оценивает вместимость транспортного средства и в зависимости от степени показателя дополнения формирует поток из агентов – пассажиров на посадку. В целях реализации распознавания направления следования пассажиров на остановочные пункты применяется метод разделения пассажиров по типам следования (рис. 3):

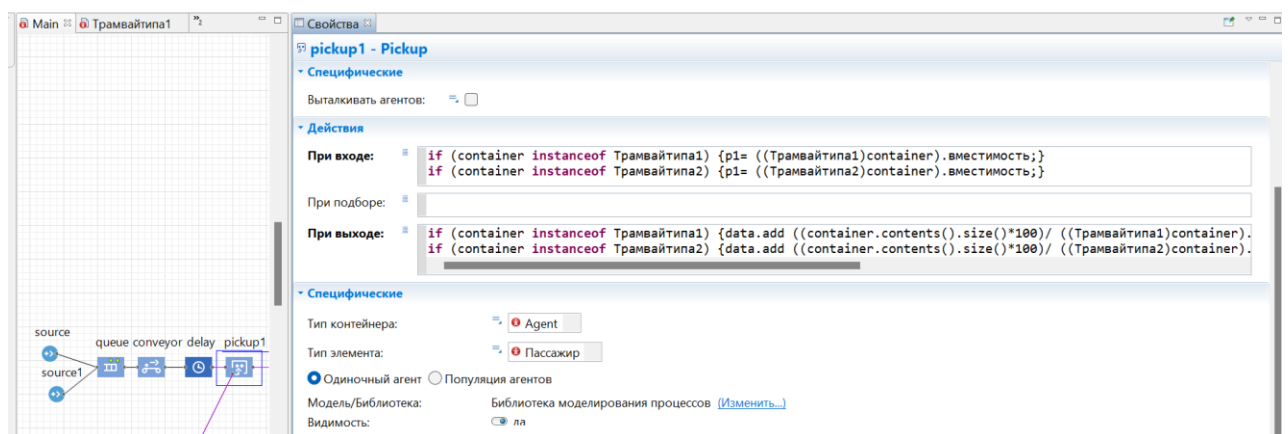


Рис. 3. Объект pick up

Добавим генераторы потока трамваев различного типа, пассажиропотока на первом остановочном пункте, интенсивность в нашей модели равна для первого типа трамвая 200 пассажиров в час, для второго 245 пассажиров в час, на последующих остановках интенсивность пассажиропотока постепенно снижается.

Схема итоговой построенной имитационной модели в AnyLogic представлена на рис. 4.

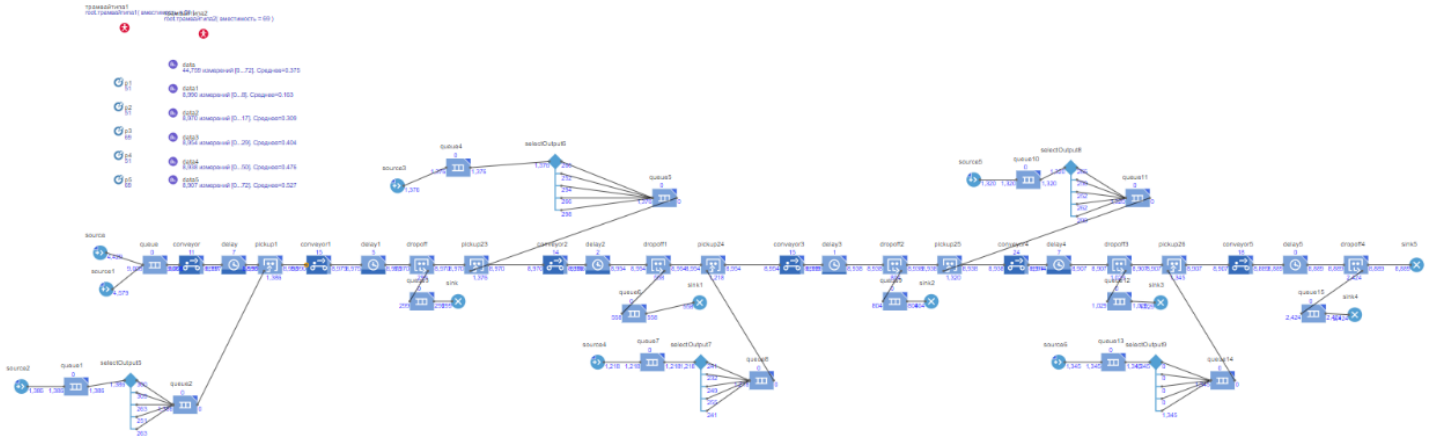


Рис. 4. Итоговая построенная модель

**Статистика по степени загруженности трамвайного маршрута и количеству пассажиров на остановочных пунктах.**

Для оценки степени загруженности трамвайного маршрута используются гистограммы, которые позволяют реализовать накопление статистики с целью расчета средних показателей и в последующем их визуализации.

Ниже представлен сбор статистики по степени загруженности маршрута в зависимости от количества обслуженных пассажиров относительно общего количества пассажиропотока. Для визуализации собранных данных используются объекты библиотеки статистика.

Первая столбиковая диаграмма показывает среднюю загруженность остановочных пунктов в прямом направлении движения трамвая (рис. 5).

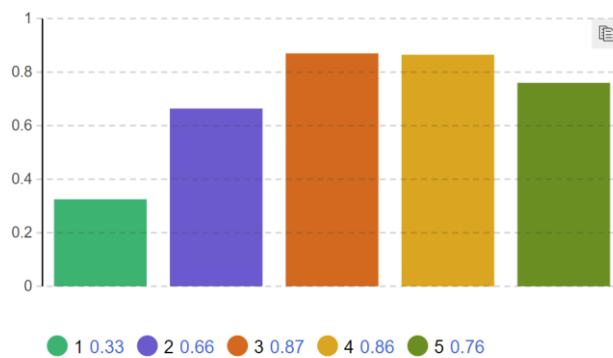


Рис. 5. Сбор статистики по загруженности остановочных пунктов в прямом направлении движения

Вторая столбиковая диаграмма показывает среднюю загруженность трамвайной линии в целом (рис. 6).



● Степень загрузки трамвайного маршрута в целом 0.73

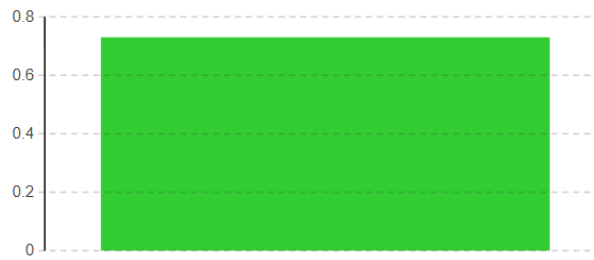


Рис. 6. Сбор статистики по загрузке трамвайного маршрута в целом

Временные графики отображают количество пассажиров, находящихся на каждом остановочном пункте в прямом направлении движения трамвая (рис. 7).

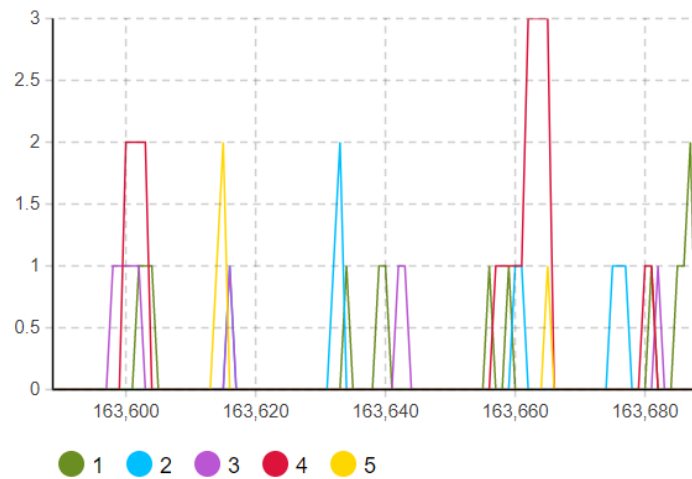


Рис. 7. Временной график пассажиропотока в прямом направлении движения

Из второй столбиковой диаграммы (рис. 6) можно сделать вывод, что средняя загрузка трамвайной линии равна 73%, что является высоким показателем, поэтому попробуем найти решение для улучшения данного показателя.

Одним из способов уменьшения процента загрузки трамвайной линии рассмотрим увеличение количества рейсов в час, изменим расписание потока трамваев со временем между прибытиями в 10 минут.

● Степень загрузки трамвайного маршрута в целом 0.91

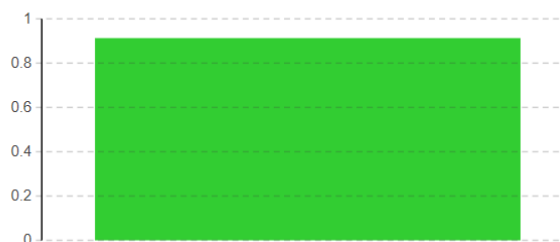


Рис. 8. Сбор статистики по загрузке трамвайного маршрута в целом после изменения расписания



Степень загруженности трамвайного маршрута равна 91% после изменения расписания, что является неудовлетворяющим показателем (рис. 8). Данный способ нельзя использовать при решении данной проблемы.

Другим решением уменьшения процента загруженности трамвайной линии рассмотрим замену трамвайных вагонов другой моделью, например «Витязь», вместимость которой 54 сидячих места [13].

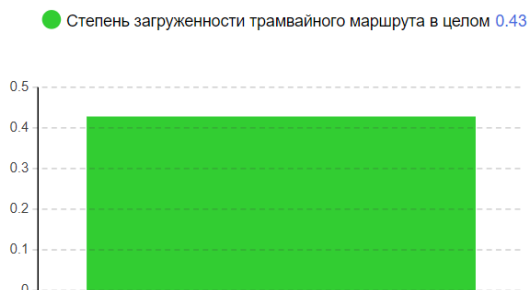


Рис. 9. Сбор статистики по загруженности трамвайного маршрута в целом после смены модели трамвая

Из рис. 9 можно сделать вывод, что средняя загруженность трамвайной линии равна 43% после изменения модели трамвая, что на 30% меньше от первоначального результата и является хорошим показателем.

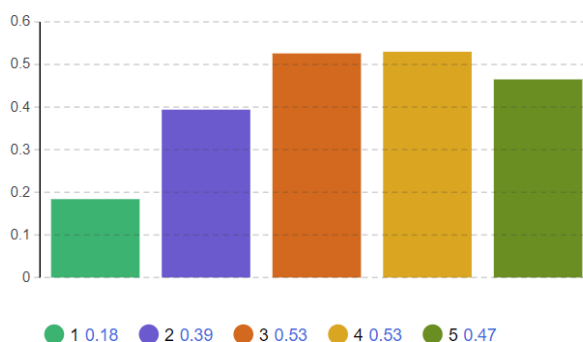


Рис. 10. Сбор статистики по загруженности остановочных пунктов в прямом направлении движения после изменений

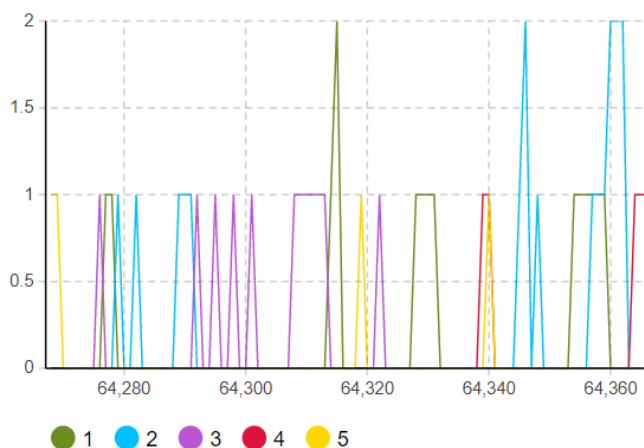


Рис. 11. Временной график пассажиропотока в прямом направлении движения после изменений



Таким образом, при моделировании были выявлены обоснованные решения, направленные на потенциальные улучшения, повышение эффективности и удовлетворенности пассажиров городским пассажирским транспортом (рис.10, 11).

### **Заключение**

В результате был создан инструмент, который может поддержать обоснованное принятие решений в планировании городского транспорта. Точно моделируя сложности систем городского пассажирского транспорта, можно определить стратегии повышения эффективности, уменьшения заторов, улучшения доступности и содействия устойчивому развитию.

Была реализована имитационная модель работы городского пассажирского транспорта для анализа степени загруженности маршрута трамвая №19, а также оценка пассажиропотока на данном направлении движения. На основе построенной модели можно сделать вывод, что на данный момент пассажиропоток может быть обслужен в полной мере, но трамвайная линия загружена на 73 процента. Для повышения эффективности и удовлетворенности пассажиров городским пассажирским транспортом, а также для уменьшения средней загруженности трамвайной линии было предложено решение.

Таким образом, благодаря постоянному совершенствованию и проверке имитационная модель может служить ценным ресурсом для проектирования перспективных городских транспортных систем, отвечающих меняющимся потребностям городского населения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Горев, А. Э. Теория транспортных процессов и систем: учебник для среднего профессионального образования / А. Э. Горев. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 193 с.
2. Каталевский, Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д. Ю. Каталевский. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.
3. Пугачёв, И. Н. Методология развития эффективного и безопасного функционирования транспортных систем / И. Н. Пугачёв – М.: Владивосток: Дальнаука, 2009. – 260 с.
4. Эльберг, М. С. Имитационное моделирование: учеб. пособие / М. С. Эльберг, Н. С. Цыганков. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017 – 128 с.
5. Куприяшкин, А. Г. Основы моделирования систем [Текст]: учеб. пособие / А. Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.
6. Кофман, А. Методы и модели исследования операций / Кофман А., Анри-Лабордер А.; Пер. с фр. под ред. проф. Д. Б. Юдина. – Москва : Мир, 1966. – 523 с.
7. Поллак, Г. А. Имитационное моделирование. Разработка имитационных моделей средствами iWebsim и AnyLogic. Учебное пособие для вузов / Г. А. Поллак, А. Г. Палей. – М.: Издательство ЛАНЬ, 2021 – 206 с.
8. AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 07.03.24).
9. Санкт-Петербургский трамвай – Википедия [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Санкт-петербургский\\_трамвай/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Санкт-петербургский_трамвай/) (дата обращения: 07.03.24).
10. СПб ГУП «Горэлектротранс»: Подвижной состав [Электронный ресурс]. – URL: [https://electrotrans.spb.ru/podvizhnoy\\_sostav](https://electrotrans.spb.ru/podvizhnoy_sostav) (дата обращения: 07.03.24).
11. Пассажирам | СПб ГУП «Горэлектротранс» [Электронный ресурс]. – URL: <https://electrotrans.spb.ru/Passazhiram> (дата обращения: 07.03.24).
12. Трамвай 19 в Санкт-Петербурге: маршрут, остановки – Яндекс Карты [Электронный ресурс]. – URL: [https://yandex.ru/maps/2/saint-petersburg/routes/tramway\\_19/](https://yandex.ru/maps/2/saint-petersburg/routes/tramway_19/)



796d617073626d313a2f2f7472616e7369742f6c696e653f69643d3234373232323130303  
1266c6c3d33302e32323135363925324335392e393837343138266e616d653d313926723  
d3138333626747970653d7472616d776179/?ll=30.219669%2C59.986780&tab=stops&z  
=13.3 (дата обращения: 07.03.24).

13. Санкт-Петербургские ведомости: Город. Вагон инноваций [Электронный ресурс]. – URL: [https://spbvedomosti.ru/news/gorod/vagon\\_innovatsiy/](https://spbvedomosti.ru/news/gorod/vagon_innovatsiy/) (дата обращения: 07.03.24).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Сухарева Полина Сергеевна**

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
e-mail: polina.sukhareva2003@yandex.ru

### **Манакова Варвара Александровна**

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: varya\_manakova06@mail.ru

### **Таратун Виталий Евгеньевич**

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры системного анализа и логистики  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: taratun.vitaliy@gmail.com

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Manakova Varvara Alexandrovna**

Student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: varya\_manakova06@mail.ru

### **Sukhareva Polina Sergeevna**

Student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: polina.sukhareva2003@yandex.ru

### **Taratun Vitaliy Evgenievich**

Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Systems Analysis and Logistics  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: taratun.vitaliy@gmail.com