Научная статья
Original article
УДК 504

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТРАФИКА И НОТИФИКАЦИИ ПАССАЖИРОВ

EXAMINATION OF TRAFFIC MONITORING AND PASSENGERS NOTIFICATION SYSTEM

Никита Олегович Сергеев, ассист., Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Виктория Игоревна Шевченко, к. т. н, зав. кафедрой, , Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

N.O. Sergeev, nosergeev@sevsu.ru

V.I. Shevchenko, VIShevchenko@sevsu.ru

Аннотация. В данной статье приведена концептуальная модель системы мониторинга трафика и нотификации пассажиров. Данная система была разработана с целью анализа транспортной сети г. Севастополя и рассмотрения режимов движения общественного и легкового транспорта на различных участках города, а также выявления проблем в режиме движения пассажирского транспорта. Такая система может быть применена для оптимизации режимов движения городского общественного транспорта и снижения нагрузки на транспортную сеть города.

Annotation. This article presents a conceptual model of a traffic monitoring and passenger notification system. This system was developed for the purpose of analyzing

the transport network of Sevastopol and considering the modes of public and passenger transport in various parts of the city, as well as identifying problems in the mode of passenger transport. Such a system can be used to optimize the modes of urban public transport and reduce the load on the transport network of the city.

Ключевые слова. Моделирование, анализ, AnyLogic, транспортный поток, концептуальная модель, транспортная сеть.

Keywords. Modeling, analysis, AnyLogic, traffic flow, conceptual model, transport network

Введение и постановка задачи. В современном мире достаточно остро стоит проблема пробок. Для её решения создаются различные математические модели транспортных потоков: от моделей перекрестков до моделей целых городов и областей [1]. Это научное направление активно развивается во всем мире и требует от исследователей достаточно обширного диапазона знаний, как в области математического моделирования, так и в области разработки визуального отображения результатов модельных экспериментов.

Задача моделирования автомобильных и пассажирских потоков в транспортной сети крупных городов является актуальной в связи с возросшим объемом передвижений. В современных условиях математическая модель должна учитывать следующие важные аспекты процесса формирования транспортных потоков:

- В условиях высокой степени загруженности улиц и дорог пропускные способности элементов сети играют решающую роль при выборе путей передвижений;
- Структура передвижений резко меняется на протяжении суток, а также зависимости от дня недели и времени года;
- На выбор путей и способов передвижений влияют факторы разной природы, такие как время, цена передвижения и другие;

– Существует взаимная зависимость между процессами формирования автомобильных потоков и пассажирских потоков в системе общественного транспорта.

Целью работы является разработка и создание программного модуля, направленного на повышение эффективности функционирования транспорта г. Севастополя, позволяющего моделировать транспортную сеть, который затем может быть применен при разработке модели «умного города». Построение модели направлено на прогнозирование среднего времени перемещения автобусов в транспортной сети между остановками. Каждая остановка, начиная с момента выхода автобуса на маршрут будет представлять собой своего рода датчик, который будет регистрировать время прибытия автобуса на каждый конкретный пункт своего маршрута. На основе ряда прогонов и анализа времени, зарегистрированного каждый датчиком можно будет сделать вывод о том, сколько времени потребуется людям, находящимся на каждой из остановок на протяжении всего маршрута, чтобы дождаться следующего автобуса.

Концептуальная модель системы. Концептуальная (содержательная) модель - это абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства ее элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования. Иными словами, это содержательная модель, при формулировании которой используются понятия и представления предметных областей, связанных с моделью.

Пусть λ_1, λ_2 – интенсивности входного транспортного потока и входного пассажирского потока соответственно.

μ_1, μ_2 – интенсивности выходного транспортного потока и входного пассажирского потока соответственно.

K1, K2 – коэффициент загруженности дорог и коэффициент пассажиропотока соответственно.

T – время между поступлением заявок в сети.

M – максимальное количество транспортных средств на маршруте.

Разрабатываемая система представляет собой СМО с однородным потоком заявок. Для ее описания используются следующие величины [2]:

– Нагрузка системы:

$$y = \frac{\lambda}{\mu}.$$

– Загрузка системы:

$$\rho = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{KT} \sum_{i=1}^{K} T_i .$$

где K – количество обслуживающих приборов, T – время моделирования, T_i – время работы каждого прибора системы.

– Коэффициент простоя:

$$\eta = 1 - \rho .$$

– Вероятность потери и вероятность обслуживания заявки:

$$\pi_п = \lim_{T \to \infty} \frac{N_п(T)}{N(T)}.$$

$$\pi_o = \lim_{T \to \infty} \frac{N_o(T)}{N(T)}.$$

где T – время наблюдения за системой, N(T) – общее число поступивших заявок за время T, $N_o(T)$ – число обслуженных заявок за время T, $N_п(T)$ – число потерянных заявок за время T.

– Среднее время ожидания заявок в очереди: w;

– Среднее время пребывания заявок в системе, складывающееся из времени w и времени обслуживания b:

$$u = w + b\,.$$

– Средняя длина очереди заявок:

$$l = \lambda' w.$$

– Среднее число заявок в системе (в очереди и на обслуживании в приборе):

$$m = \lambda' u.$$

Важнейшим фактором при разработке и моделировании систем подобного рода является выбор программной среды, в которой и будет производиться непосредственно само моделирование.

Система AnyLogic поддерживает три технологии создания имитационных моделей: процессно-ориентированный (дискретно-событийный), системно динамический и агентный, а также любую их комбинацию. Графический интерфейс AnyLogic, инструменты и библиотеки позволяют быстро создавать модели для широко спектра задач от моделирования производства, логистики, бизнес-процессов до стратегических моделей развития компании и рынков. AnyLogic стал корпоративным стандартом на бизнес-моделирование во многих транснациональных компаниях, широко используется в образовании [3].

Таким образом, была разработана имитационная модель, главное окно эксперимента которой имеет следующий вид (**Рис. 1**):

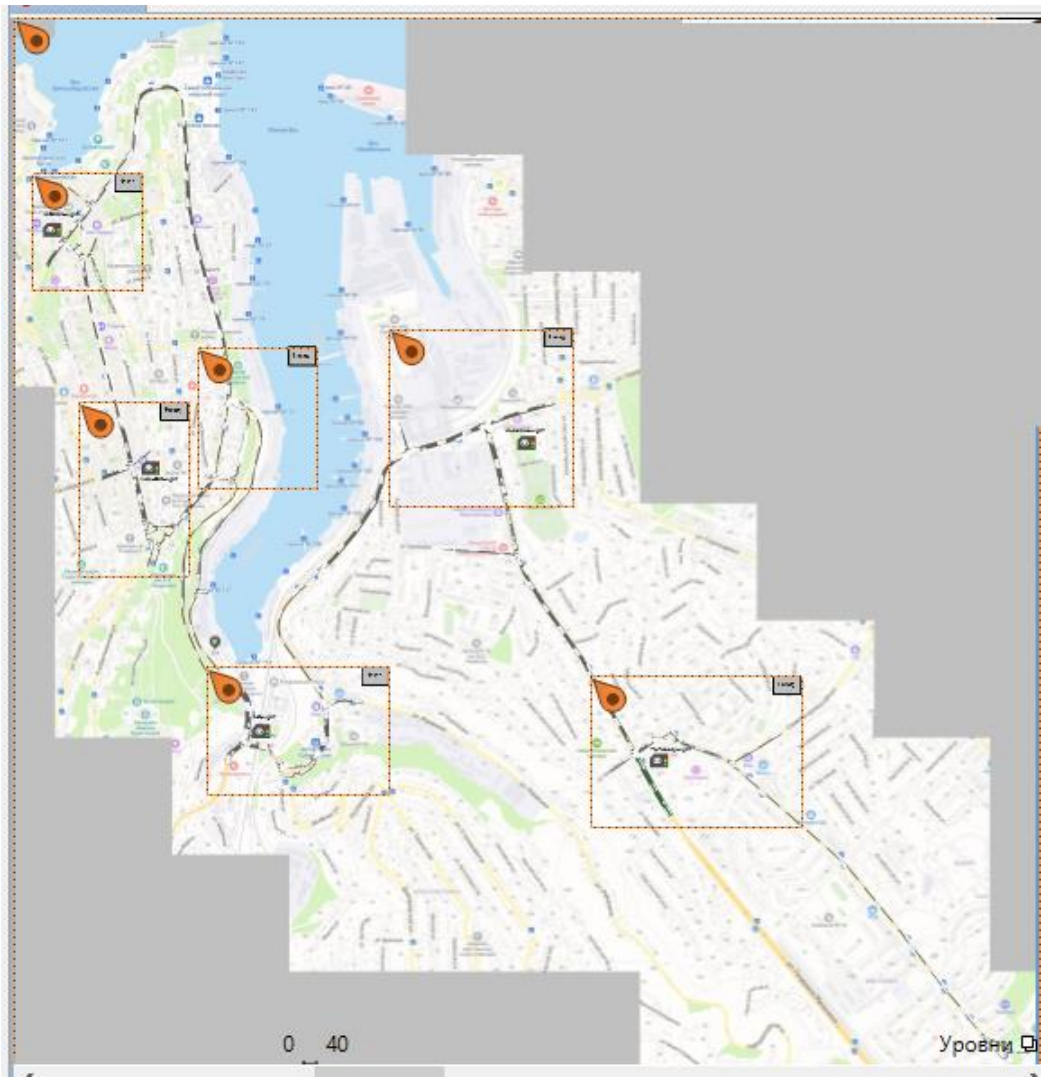


Рис. 1 – Главное окно эксперимента программной модели

На главном окне эксперимента отражена топология транспортной сети. Здесь же можно увидеть непосредственно сам процесс имитации дорожного движения на участке. При построении дорожно-транспортной сети за основу была взята карта города Севастополя, представленная в сервисе Яндекс.Карты. Меню системы позволяет пользователю в любой момент изменять входные параметры, оценивая их влияние на саму систему.

На карте представлены следующие маршруты городского общественного транспорта:

– 109 (маршрутное такси) – от конечной остановки на Проспекте Победы до Площади Лазарева с последующим движением в сторону Центрального Рынка и

покиданием модели.

- 20 (троллейбус и маршрутное такси) – от конечной остановки на Проспекте Победы до Площади Ушакова с последующим движением в сторону улицы Гоголя и покиданием модели.
- 9 (троллейбус) – полный маршрут от конечной остановки на Проспекте Победы через Центральное Городское кольцо и последующим возвращением на конечную.

На маршрутах обозначены выделенные места остановок общественного транспорта. Можно увеличивать масштаб и наблюдать за передвижением автобусов в модельном времени системы. Помимо общественного транспорта в системе присутствует личный легковой транспорт.

Планирование и проведение экспериментальных исследований. Для построения плана эксперимента были определены отклики (выходные переменные) системы, позволяющие оценить целевую функцию и оценить факторы (входные переменные), влияющие на отклик системы.

Целевая функция – эффективность работы транспортной сети, вычисляется на основании всех откликов системы.

Отклики:

1. Количество автомобилей, находящихся в пределах транспортной сети;
2. Количество автомобилей, выехавших за пределы модели;
3. Общее количество сгенерированных автомобилей;
4. Количество автобусов, функционирующих на каждом маршруте;
5. Количество автобусов, завершивших маршрут и покинувших модель;
6. Количество пассажиров, перевезенных автобусами каждого маршрута;
7. Среднее время прохождения маршрута каждым видом транспорта.

Факторы:

1. Максимально возможный промежуток между двумя следующими автобусами;

2. Максимально возможная загруженность дорог города (определяется минимальным, наиболее вероятным и максимальным количеством автомобилей, въехавших в пределы модели из каждого «источника» в час);
3. Максимально возможное количество автобусов на маршруте.

Модель представляет собой отображение знаний о системе и всегда несет в себе определенную информацию о ней. Определение характеристик системы немыслимо без сложных натурных, экспериментов, но их число желательно уменьшить. Сократить число экспериментов можно за счет имеющейся информации об объекте, содержащейся, в частности, в ее модели.

При построении модели транспортной сети был выделен ряд основных участков, которые наибольшим образом будут влиять на общую загрузку и режимы движения общественного транспорта:

Изменяя интенсивность движения транспортных средств на данных участках, будем измерять изменение среднего времени прохождения маршрута каждой единицей общественного транспорта, а также количество перевезенных этим транспортом пассажиров, выполняя серию прогонов модели. Дополнительно будем измерять количество автомобилей и автобусов каждого типа в системе. Для этого зафиксируем интенсивности появления легкового транспорта на всех остальных «источниках» модели. Время одного прогона выбрано равным 3 часам модельного времени. По условию моделирования каждый автобус, завершивший свой маршрут, заменяется новым, начинающим новый круг от конечной остановки. Чтобы исключить влияние других «источников» на исследуемый перекресток, все «источники» были условно разделены на 3 класса возможной загрузки:

- Низкая загрузка (параметры треугольного распределения 50, 100, 80 легковых автомобилей в час);
- Средняя загрузка (параметры треугольного распределения 100, 300, 150 легковых автомобилей в час);

Высокая загрузка (параметры треугольного распределения 100, 400, 200 легковых автомобилей в час).

По результатам каждого эксперимента были построены следующие графики:

– График зависимости среднего времени прохождения маршрута от интенсивности движения на перекрестке;
– График зависимости количества перевезенных общественным транспортом пассажиров от интенсивности движения на перекрестке;
– График зависимости количества автомобилей в системе от интенсивности движения на перекрестке;
– График зависимости количества единиц общественного транспорта в системе от интенсивности движения на перекрестке.

Проведем разбор и анализ результатов каждого эксперимента. На рисунках 2 – 5 представлены графики зависимостей выходных значений целевой функции от входных по результатам исследования влияния перекрестка «Площадь Суворова» на работу транспортной сети:

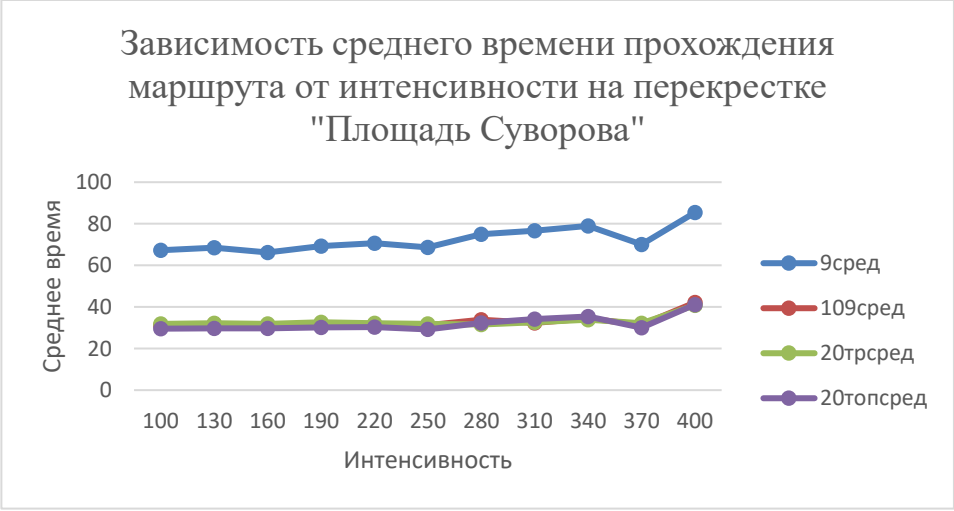


Рис. 2 – Зависимость среднего времени прохождения маршрута от интенсивности на перекрестке "Площадь Суворова"



Рис. 3 – Зависимость количества перевезенных пассажиров от интенсивности на перекрестке "Площадь Суворова"

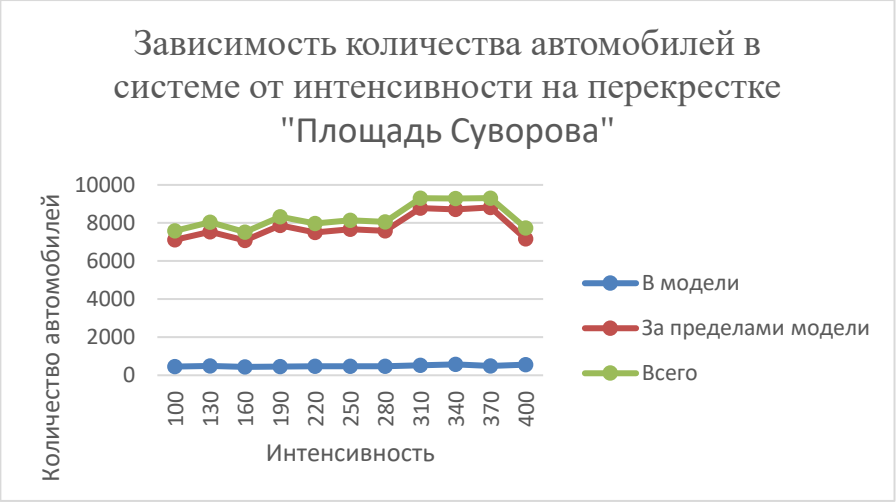


Рис. 4 – Зависимость количества автомобилей в системе от интенсивности на перекрестке "Площадь Суворова"

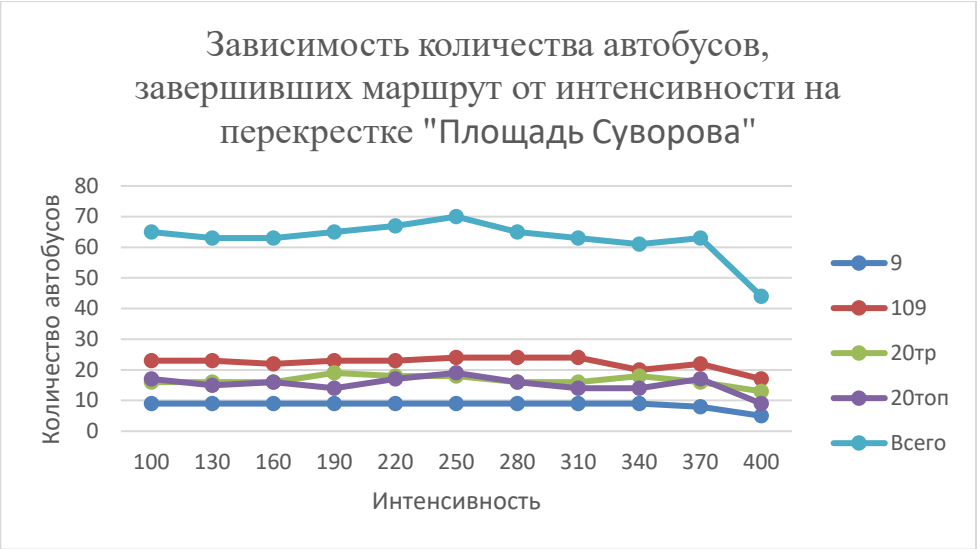


Рис. 5 – Зависимость количества автобусов, завершивших маршрут от интенсивности на перекрестке "Площадь Суворова"

По результатам проведения экспериментов на перекрестке, можно сказать, что данный участок транспортной сети оказался самым устойчивым к перепадам интенсивности входного потока. За 3 часа моделирования при изменении входного потока от 100 до 400 автомобилей в час не наблюдается возникновения заторов или серьезных перегрузок транспортной сети. Однако присутствует заметное увеличение среднего времени прохождения маршрута и, как следствие, количества автомобилей в системе при максимально заданной интенсивности входного потока.

На рисунках 6 – 9 представлены графики зависимостей выходных значений целевой функции от входных по результатам исследования влияния перекрестка «Площадь Лазарева» на работу транспортной сети:

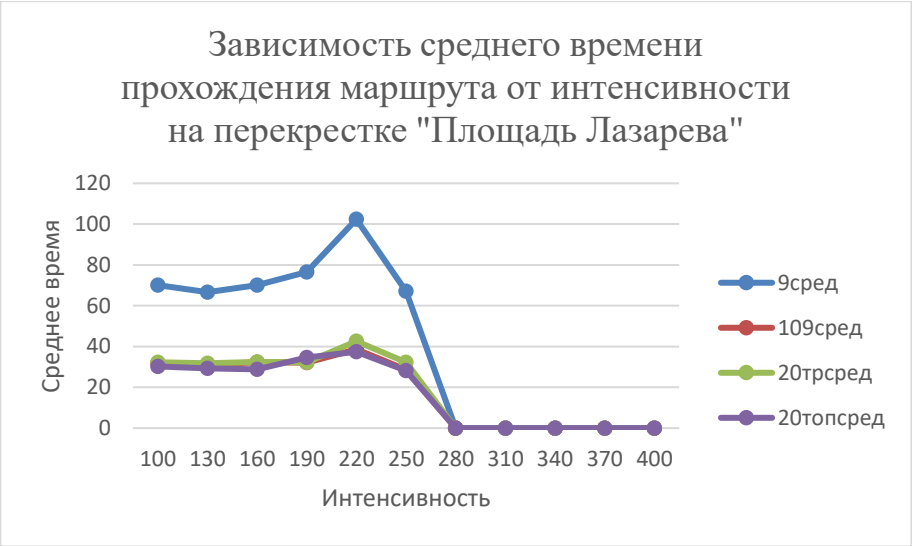


Рис. 6 – Зависимость среднего времени прохождения маршрута от интенсивности на перекрестке "Площадь Лазарева"

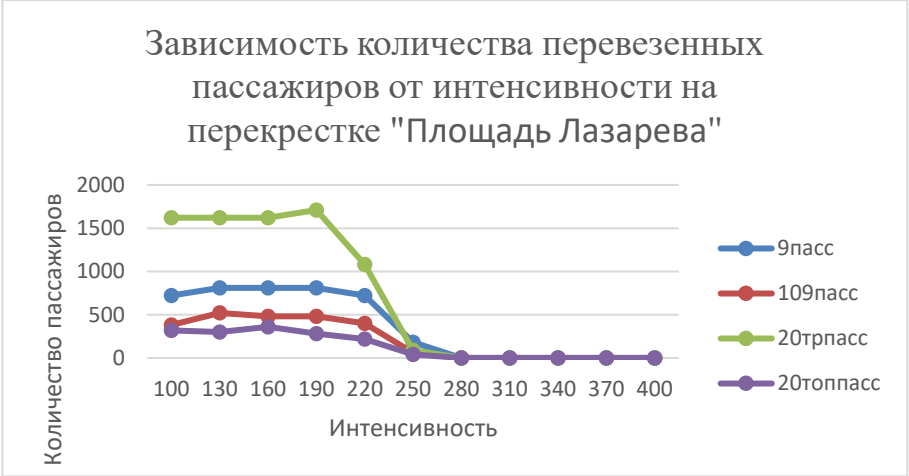


Рис. 7 – Зависимость количества перевезенных пассажиров от интенсивности на перекрестке "Площадь Лазарева"

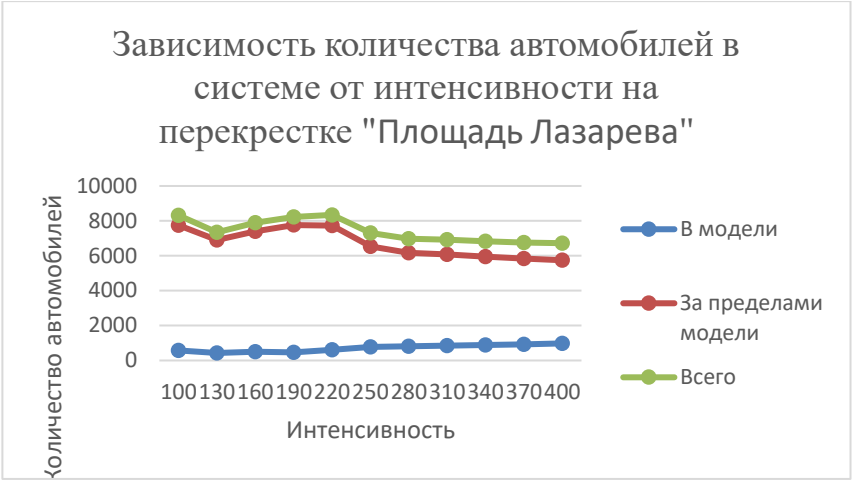


Рис. 8 – Зависимость количества автомобилей в системе от интенсивности на перекрестке "Площадь Лазарева"

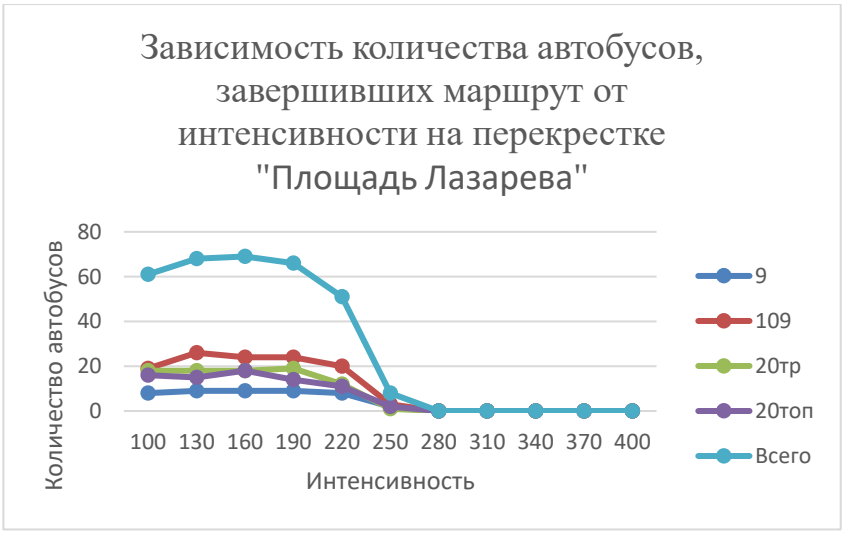


Рис. 9 – Зависимость количества автобусов, завершивших маршрут от интенсивности на перекрестке "Площадь Лазарева

Исходя из полученных результатов, перекресток «Площадь Лазарева» является наименее устойчивым к перепадам интенсивности входного потока транспорта и уже при интенсивности более 250 автомобилей в час наступает полная блокировка центрального городского кольца, что делает совершенно невозможным циркуляцию как личного, так и общественного транспорта.

Заключение. В данной работе разработан интерфейс управления, элементы визуализации и непосредственно имитационная модель для проведения экспериментов по исследованию состояния транспортных потоков г. Севастополя на фрагменте улично-дорожной сети.

Проведенные эксперименты показали, как влияет увеличение потока легковых транспортных средств и снижение потока общественного транспорта на качество пассажирских перевозок и среднее время прохождения маршрута общественным транспортом.

Перспективами дальнейших исследований будет расширение предложенной модели на другие участки улично-дорожной сети и добавление новых маршрутов общественного транспорта.

Библиографический список

1. Сергеев Н.О., Шевченко В.И. Выбор среды моделирования транспортных потоков на основе сравнения альтернатив методом анализа иерархий // Сборник статей всероссийской студенческой научно-технической конференции "Мир компьютерных технологий". – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет" (Севастополь), 2019. – С. 38-45. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41381595 (дата обращения: 15.04.2021)
2. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
3. AnyLogic. Система моделирования. Справочник пользователя. URL: https://help.anylogic.ru/index.jsp?nav=%2F0 (дата обращения 15.04.2021)

Bibliographic list

1. Sergeev N.O., Shevchenko V.I. Choosing the environment for modeling traffic flows based on comparing alternatives by the hierarchy analysis method // Collection of articles of the All-Russian student Scientific and technical conference "World of Computer Technologies". – Sevastopol: Federal State Autonomous

Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University" (Sevastopol), 2019. – pp. 38-45. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41381595 (accessed: 04/15/2021)

2. Aliyev T.I. Fundamentals of modeling discrete systems. – St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2009. – 363 p.
3. AnyLogic. Modeling system. User Reference. URL: https://help.anylogic.ru/index.jsp?nav=%2F0 (accessed 04/15/2021)

© Н.О. Сергеев, В.И. Шевченко, Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: Н.О. Сергеев, В.И. Шевченко ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТРАФИКА И НОТИФИКАЦИИ ПАССАЖИРОВ // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022