

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Высшей математики и моделирования»

Асқарқызы Айша

Адаптивное управление светофором на перекрестке со сложной геометрией

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

6B06103 – Математическое и компьютерное моделирование

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Высшей математики и моделирования»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ВМиМ
канд. физ-мат. наук, ассоц. профессор
_____ Г. А. Тулешева
« ____ » _____ 2023 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Адаптивное управление светофором на перекрестке со сложной
геометрией»

6B06103 – Математическое и компьютерное моделирование

Выполнил

PhD по направлению Математика,
ассоц. проф. АО КБТУ, Школа
прикладной математики
_____ Л.О. Сарыбаева
" ____ " _____ 2023 г.

Асқарқызы А.

Научный руководитель
канд. физ-мат. наук
_____ В.В. Вербовский
" ____ " _____ 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Высшей математики и моделирования»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ВМиМ

канд. физ-мат. наук, ассоц. профессор

_____ Г. А. Тулешева

« ____ » _____ 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся: Асқарқызы Айша

Тема: *Адаптивное управление светофорами на перекрестке со сложной геометрией*

Утверждена приказом проректора по академической работе: №408-П/Ө

от «23» ноября 2022 г.

Срок сдачи законченного проекта

«22» мая_ 2023 г.

Исходные данные к дипломному проекту:

Краткое содержание дипломного проекта

А) Теоретическая часть;

Б) Симуляционная модель в SUMO

В) Эксперимент и результаты

Рекомендуемая основная литература: Документация Sumo, создание дорожной сети, регулирование светофора.

ГРАФИК

ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Теория и определения	15.02.23	Выполнено
Создание симуляции	15.03.23	Выполнено
Калибровка модели	15.04.23	Выполнено
Эксперимент и результат	15.05.23	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломный проект
с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	д.ф.-м.н., профессор Вербовский В.В.		
Симуляционная модель в SUMO	д.ф.-м.н., профессор Вербовский В.В.		
Эксперимент и результаты	д.ф.-м.н., профессор Вербовский В.В.		
Нормоконтролер	канд. физ.-мат. наук, ассоц. проф. Шатманов Ж. Ж.		

Научный руководитель _____ В. Вербовский

Задание принял к исполнению обучающийся _____ А. Асқарқызы

Дата « ____ » _____ 2023 г.

АНДАТПА

Алматы қаласы көлік санының артуына байланысты көлік ағындарын басқаруда қиындықтарға тап болады. Көлік ағындарын модельдеу трафиктің әрекетін болжау, талдау және оңтайландыру үшін пайдалы құрал ретінде анықталды. Бұл жұмыс көлік ағындарын модельдеу үшін simulation of Urban Mobility бағдарламалық жасақтамасын пайдалануға бағытталған .

Жұмыс Алматыдағы жол қозғалысы туралы деректерді жинау мен талдауды, жол желісін құруды, модельді калибрлеуді және тексеруді, сондай-ақ әртүрлі сценарийлерді модельдеуді қамтиды.

Нәтиже қиылысты басқарудың әртүрлі сигналдық жоспарлары мен стратегияларының тиімділігі туралы баға береді.

АННОТАЦИЯ

Город Алматы сталкивается с проблемами в управлении транспортными потоками из-за увеличения количества транспорта. Моделирование транспортных потоков было определено как полезный инструмент для прогнозирования, анализа и оптимизации поведения трафика. Эта работа направлена на использование программного обеспечения Simulation of Urban Mobility для моделирования транспортных потоков .

Работа включает сбор и анализ данных о дорожном движении в Алматы, создание дорожной сети, калибровку и проверку модели, а также моделирование различных сценариев.

Результат дает оценку об эффективности различных сигнальных планов и стратегий управления перекрестком.

ABSTRACT

The city of Almaty is facing problems in managing traffic flows due to an increase in the number of vehicles. Traffic flow modeling has been identified as a useful tool for predicting, analyzing, and optimizing traffic behavior. This work is aimed at using the Simulation of Urban Mobility software to simulate traffic flows .

The work includes the collection and analysis of traffic data in Almaty, the creation of a road network, calibration and verification of the model, as well as modeling of various scenarios.

The result gives an assessment of the effectiveness of various signal plans and intersection management strategies.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Теория и определения	8
1.1	Дорожная сеть	8
1.2	Транспортные средства и маршруты, общественный транспорт	10
1.3	Моделирование трафика	12
1.4	Регулирование светофора	14
2	Симуляционная модель	16
2.1	Описание исследуемой территории и рассматриваемого перекрестка	16
2.2	Разработка имитационной модели и сбор данных	17
2.3	Разработка графической части имитационной модели	19
2.4	Разработка агентной части имитационной модели	22
2.5	Моделирование системы общественного транспорта	23
3	Испытание модели	25
3.1	Симуляция в реальном времени	25
3.2	Эксперимент со светофорами	31
	Заключение	34
	Список использованной литературы	35
	Приложение А. Техническое задание	36
	Продолжение А.	37
	Приложение Б.	38

ВВЕДЕНИЕ

Алматы – крупнейший город Казахстана с населением более 2 миллионов человек. Транспортная система города сталкивается с рядом проблем, включая заторы на дорогах, загрязнение воздуха и неадекватность общественного транспорта. Пробки на дорогах — одна из самых значимых проблем, которая затрагивает не только жителей города, но и экономику. В результате существует потребность в эффективной транспортной системе, способной решить эти проблемы. Моделирование транспортных потоков в Алматы является ключевым инструментом, который можно использовать для моделирования и оптимизации транспортной системы города.

Проблемы, стоящие перед транспортной системой Алматы: Транспортная система Алматы сталкивается с рядом проблем, в том числе:

1) Пробки на дорогах: в последние годы в городе наблюдается быстрый рост, что привело к увеличению количества транспортных средств на дорогах. Это привело к пробкам на дорогах, особенно в часы пик.

2) Загрязнение воздуха: увеличение количества транспортных средств на дорогах также привело к увеличению загрязнения воздуха, что оказывает негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения.

3) Несоответствующий общественный транспорт: Система общественного транспорта города неадекватна, с ограниченными маршрутами и плохим обслуживанием. Это привело к увеличению использования личных транспортных средств, что еще больше усугубило заторы на дорогах.

Потенциальные преимущества моделирования транспортных потоков в Алматы: Моделирование транспортных потоков в Алматы может дать несколько преимуществ, в том числе:

1) Улучшенный поток трафика: Моделирование потоков трафика может помочь выявить узкие места и другие факторы, способствующие перегрузке. Эта информация может быть использована для оптимизации транспортного потока, уменьшения заторов и сокращения времени в пути.

2) Уменьшение загрязнения воздуха: оптимизируя транспортный поток, можно сократить количество времени, которое транспортные средства проводят в пробке на холостом ходу, что может помочь уменьшить загрязнение воздуха.

3) Улучшенный общественный транспорт: Моделирование транспортных потоков также можно использовать для определения областей, в которых можно улучшить общественный транспорт. Это может помочь увеличить использование общественного транспорта, сократив количество личных автомобилей на дорогах.

1 ТЕОРИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Симулятор SUMO (Simulation of Urban MObility) – это программное обеспечение, предназначенное для имитации и симуляции городского движения. SUMO разработала инструмент для исследования и анализа транспортных систем, оценки эффективности дорожных сетей и изучения различных факторов трафика.[1]

SUMO позволяет создавать виртуальные городские сценарии, включая дороги, перекрестки, пешеходные дороги и общественный транспорт. Он встречается с различными аспектами дорожного движения, такими как поведение водителей, светофоров, пешеходных переходов и дорожных знаков. С помощью SUMO можно проводить эксперименты и тестировать различные стратегии управления трафиком, чтобы увеличить производительность дорожной сети и снизить пробки и задержки.

SUMO обладает гибким интерфейсом и поддерживает различные форматы данных для импорта и экспорта, позволяет интегрировать с другими программами и инструментами для анализа данных. Он также поддерживает моделирование различных видов транспорта, включая автомобили, грузовики, автобусы, мотоциклы и велосипеды.

SUMO является популярным и распространенным программным обеспечением с исходным кодом, который позволяет пользователям распространять его функциональность и распространять под свои потребности. Он широко используется в научных исследованиях, академических образованиях и промышленности для изучения и развития высокой мобильности и удобства систем.

1.1 ДОРОЖНАЯ СЕТЬ

В SUMO (Simulation of Urban MObility) дорожная сеть является фундаментальным компонентом среды моделирования. Он представляет собой физическую инфраструктуру моделируемой городской территории и определяет расположение дорог, перекрестков и других элементов, связанных с движением транспорта (Рисунок 1.1). Вот ключевые аспекты дорожной сети в SUMO:

1) Топология дорожной сети. Дорожная сеть в SUMO представлена в виде графа, где узлы представляют собой перекрестки, а ребра представляют сегменты дорог, соединяющие эти перекрестки. Каждый сегмент дороги имеет уникальный идентификатор и связан с различными атрибутами, такими как длина, количество полос движения, ограничение скорости и разрешенные типы транспортных средств.

2) Типы дорог: SUMO поддерживает различные типы дорог, включая автомагистрали, городские дороги, сельские дороги и многое другое. Каждый тип дороги может иметь определенные свойства и ограничения скорости, которые влияют на поведение автомобиля и транспортный поток.

3) Полосы: дороги в SUMO могут иметь несколько полос, что позволяет использовать разные полосы движения и менять поведение транспортных средств. Каждая полоса может иметь свои характеристики, такие как ограничение скорости, максимальная длина транспортного средства или разрешенные типы транспортных средств.

4) Перекрестки: Перекрестки играют решающую роль в дорожной сети SUMO. Они определяют точки пересечения разных дорог и обеспечивают движение и взаимодействие транспортных средств. SUMO поддерживает различные типы перекрестков, в том числе регулируемые (управляемые светофорами), приоритетные (уступающие правила) и нерегулируемые (без определенных правил).

5) Светофоры: SUMO позволяет моделировать светофоры на перекрестках. Светофоры контролируют поток транспорта, регулируя движение транспортных средств и пешеходов. Они могут быть запрограммированы с использованием определенных временных планов или адаптивных алгоритмов для имитации реалистичных стратегий управления сигналами.

6) Общественный транспорт: дорожная сеть в SUMO также может включать элементы общественного транспорта, такие как автобусные остановки, автобусные полосы и маршруты. Транспортные средства общественного транспорта могут взаимодействовать с другими транспортными средствами и следовать определенным графикам и маршрутам.

7) Дополнительная инфраструктура: SUMO обеспечивает поддержку различных дополнительных элементов инфраструктуры, включая пешеходные тротуары, пешеходные переходы, парковки, дорожные. Эти элементы способствуют более реалистичному представлению городской дорожной сети.

Используя SUMO, пользователи могут создавать и настраивать дорожную сеть, определяя расположение, свойства и соединения дорог и перекрестков. Это позволяет моделировать реалистичные сценарии дорожного движения, анализировать транспортный поток и оценивать различные стратегии управления дорожным движением в городской среде.

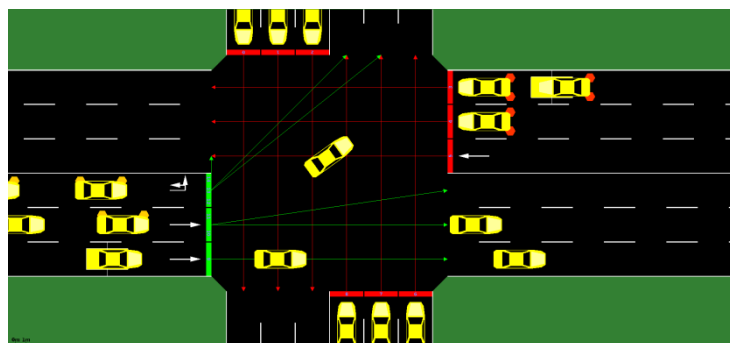


Рисунок 1.1- Пример из симулятора SUMO DLR

1.2 ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И МАРШРУТЫ

Определение транспортного средства: транспортные средства в SUMO представлены отдельными объектами, которые перемещаются по дорожной сети. Модели поведения определяют, как транспортные средства взаимодействуют с дорожной сетью, включая ускорение, замедление, смену полосы движения и поведение следования. Каждое транспортное средство определяется определенными характеристиками, такими как длина, ширина, характеристики выбросов и модели поведения(1).

Пример кода[7]:

```
<routes>
<vType id="type1" accel="0.8" decel="4.5" sigma="0.5" length="5"
    maxSpeed="70"/>
<vehicle id="0" type="type1" depart="0" color="1,0,0">
<route edges="beg middle end rend"/>
</vehicle>
</routes>
```

(1)

Транспортное средство в SUMO состоит из трех частей:

- тип транспортного средства, который описывает физические свойства транспортного средства,
- маршрут, по которому должно двигаться транспортное средство,
- и само транспортное средство.

Типы транспортных средств: SUMO позволяет определять различные типы транспортных средств, каждый из которых имеет собственный набор характеристик и моделей поведения. Типы транспортных средств могут представлять различные классы транспортных средств, такие как автомобили, грузовики, автобусы или мотоциклы. Каждый тип транспортного средства может иметь разные ограничения скорости, профили ускорения и характеристики выбросов.

Определение маршрута: маршрут в SUMO представляет собой последовательность ребер (сегментов дороги), по которым транспортное средство следует, чтобы добраться до места назначения. Маршруты определяются с использованием файла определения маршрута, специфичного для SUMO, обычно в формате XML. Файл маршрута определяет пары отправная точка-назначение (OD) и последовательность ребер, которые их соединяют.

Создание маршрута: SUMO предоставляет несколько методов для создания маршрутов для транспортных средств. Одним из распространенных подходов является использование файла определения поездки, в котором указываются нужные пары OD и количество транспортных средств для каждой

пары. Затем SUMO автоматически генерирует маршруты для транспортных средств на основе топологии дорожной сети и связности.

Модели выбора маршрута: SUMO поддерживает различные модели выбора маршрута, которые определяют, как транспортные средства выбирают свои маршруты на основе различных факторов, таких как время в пути, расстояние, загруженность или определенные пользователем предпочтения. Эти модели позволяют реалистично представить поведение водителя и выбор маршрута при моделировании.

Спрос на трафик: Спрос на трафик представляет собой количество транспортных средств и время их отправления для каждой пары OD. SUMO позволяет вам определять профили потребности в трафике, которые определяют желаемые потоки транспортных средств в разное время. Это позволяет моделировать различные объемы трафика в течение периода моделирования.

Выполнение моделирования: после определения транспортных средств и маршрутов вы можете выполнить моделирование SUMO. Во время моделирования транспортные средства пересекают дорожную сеть по назначенным им маршрутам и взаимодействуют с другими транспортными средствами, светофорами и дорожной инфраструктурой на основе своих моделей поведения. Моделирование производит выходные данные, включая траектории транспортных средств, время в пути, выбросы и другие соответствующие показатели.

Определяя транспортные средства с их характеристиками и маршрутами в SUMO, вы можете моделировать реалистичные сценарии движения, анализировать транспортный поток, оценивать транспортную политику и оценивать влияние различных факторов на систему городской мобильности.

SUMO может анализировать и моделировать общественный транспорт в городе. Общественный транспорт может быть представлен в виде различных видов транспортных средств, таких как автобусы, троллейбусы, трамваи и метро.

Особенности моделирования общественного транспорта в SUMO:

- Транспортные средства общественного транспорта: SUMO предоставляет возможность определения и моделирования различных типов транспортных средств, используемых в общественном транспорте. Каждое транспортное средство может иметь свои характеристики, такие как скорость, вместимость и расписание движения.

- Маршруты общественного транспорта: SUMO позволяет определить маршруты, по которым движутся транспортные средства общественного транспорта. Маршруты могут быть предопределены или определяться в режиме реального времени на основе расписания. Транспортные средства следуют заданным маршрутам, останавливаясь на остановках для посадки и высадки пассажиров.

- Остановки общественного транспорта: SUMO позволяет определить остановки для общественного транспорта в городской среде. Остановки могут

быть расположены на улицах или на специальных платформах, где пассажиры ждут транспортные средства и совершают посадку и высадку.

- Пассажиры: SUMO позволяет моделировать пассажиров, которые пользуются общественным транспортом. Пассажиры могут быть распределены по остановкам и ждать транспортные средства, чтобы совершить поездку по заданному маршруту. Моделирование пассажиров позволяет анализировать загруженность транспортных средств и оценивать эффективность системы общественного транспорта.

- Взаимодействие с дорожным движением: Транспортные средства общественного транспорта в SUMO взаимодействуют с другими участниками дорожного движения, такими как легковые автомобили и пешеходы. SUMO учитывает влияние общественного транспорта на дорожное движение и позволяет анализировать его воздействие на пропускную способность и задержки на дорогах.

1.3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА

Классы моделирования дорожного движения [2]

1) Макроскопические модели трафика. Макроскопические модели фокусируются на общих характеристиках транспортного потока, таких как объем трафика, плотность и скорость потока. Эти модели обычно используют агрегированные данные и статистические свойства для представления поведения трафика на высоком уровне. Они полезны для анализа моделей трафика, оценки времени в пути и оценки общей производительности транспортных сетей.

2) Мезоскопические модели трафика. Цель мезоскопических моделей — фиксировать поведение групп транспортных средств или транспортных потоков с учетом их взаимодействия и движения в сети. Эти модели обеспечивают уровень детализации между макроскопическими и микроскопическими моделями. Они часто имитируют движение транспортных средств в заранее определенных зонах или транспортных потоках с учетом таких факторов, как изменение полосы движения, слияние и расхождение.

3) Микроскопические модели трафика. Микроскопические модели сосредоточены на очень детальном моделировании поведения отдельных транспортных средств и их взаимодействий. Эти модели учитывают такие факторы, как ускорение и замедление транспортного средства, смена полосы движения, соблюдение дистанции и взаимодействие со светофорами. Микроскопические модели могут дать представление о влиянии поведения водителя и мелкомасштабной динамики движения, что позволяет проводить более подробный анализ заторов, транспортного потока и безопасности.

4) Агентные модели трафика. Агентные модели моделируют поведение отдельных агентов (например, водителей, пешеходов) как автономных лиц, принимающих решения. Каждый агент имеет свой собственный набор правил,

целей и взаимодействий, что приводит к возникающим шаблонам трафика. Эти модели могут отражать сложные взаимодействия, неоднородность среди участников дорожного движения и влияние индивидуального принятия решений на общий транспортный поток.

5) Гибридные модели трафика. Гибридные модели объединяют элементы из разных классов для достижения баланса между вычислительной эффективностью и детализацией. Они могут объединять макроскопический, мезоскопический и микроскопический подходы, в зависимости от конкретных характеристик сценария моделирования. Гибридные модели часто используются для моделирования крупномасштабных транспортных сетей с более подробным описанием поведения в критических областях или во время определенных событий.

Эти классы моделей моделирования дорожного движения обеспечивают различные уровни абстракции и детализации, позволяя исследователям и специалистам-практикам выбирать подходящий подход в зависимости от их конкретных целей, доступных данных и вычислительных ресурсов.

Моделирование трафика в SUMO является одной из основных возможностей этого инструмента. SUMO предоставляет гибкую и мощную среду для создания и симуляции различных сценариев дорожного движения.

Генерация трафика: SUMO позволяет генерировать потоки транспорта на основе различных моделей и алгоритмов. Это включает генерацию случайных потоков, использование динамических потоков (например, на основе данных реального трафика), а также задание пользовательских потоков с определенными характеристиками и расписаниями. Различные типы транспортных средств: SUMO позволяет моделировать различные типы транспортных средств, такие как легковые автомобили, грузовики, автобусы, велосипеды и пешеходы. Каждый тип транспортного средства может иметь свои собственные характеристики, такие как максимальная скорость, ускорение и тормозной путь.

Модели поведения транспортных средств: SUMO предоставляет различные модели поведения для транспортных средств, включая модели следования за другими автомобилями (car-following), модели смены полос (lane-changing) и модели выбора маршрута (route choice). Эти модели определяют, как транспортные средства взаимодействуют друг с другом и принимают решения на дороге. Дорожная сеть: SUMO позволяет создавать и моделировать сложные дорожные сети с различными типами дорог, перекрестками, развязками и другими элементами инфраструктуры. Дорожная сеть определяется с помощью файлов с описанием сети, в которых указываются узлы, ребра, полосы движения и другие свойства. Визуализация и анализ: SUMO предоставляет графический интерфейс SUMO-GUI, который позволяет визуализировать моделирование трафика в реальном времени. Это позволяет наблюдать движение транспортных средств, потоки трафика и взаимодействие на дороге. SUMO также предоставляет различные инструменты для анализа результатов

моделирования, такие как оценка задержек, потоков, пропускной способности и других метрик трафика.

Модель Крауса (Krauss model) - это одна из моделей поведения транспортных средств, которая используется в SUMO для моделирования транспортного движения. Модель Крауса основана на микроуровневом подходе и описывает поведение отдельных автомобилей на дороге.

В модели Крауса каждый автомобиль рассматривается как отдельный агент, который принимает решения в зависимости от своего текущего состояния и окружающей среды. Эта модель учитывает такие факторы, как скорость автомобиля, дистанцию до ближайшего автомобиля, ограничения на изменение скорости и ускорения, а также правила дорожного движения.

Модель Крауса включает в себя следующие основные компоненты:

- **Модель движения:** В этой модели используется кинематическое описание движения автомобиля, учитывая его текущую скорость, ускорение и возможность изменения скорости в зависимости от дорожной ситуации.

- **Модель изменения положения:** Эта модель определяет, как автомобиль изменяет своё положение на дороге, учитывая свою скорость и ограничения на изменение скорости.

- **Модель изменения скорости:** В зависимости от окружающей среды, включая другие автомобили и сигнальную систему светофоров, модель Крауса определяет, как автомобиль изменяет свою скорость.

- **Модель принятия решений:** В этой модели автомобиль принимает решения о своём поведении на основе текущей дорожной ситуации. Это включает выбор скорости, переключение полосы, реакцию на сигналы светофоров и других участников дорожного движения.

- **Модель Крауса в SUMO** позволяет создавать реалистичные симуляции транспортного движения, учитывая поведение отдельных автомобилей на дороге. Она является одной из многих моделей, доступных в SUMO, и может быть использована для исследования и оптимизации транспортных систем и дорожной инфраструктуры.

Моделирование трафика в SUMO позволяет исследовать и анализировать различные сценарии дорожного движения, тестировать и оценивать эффективность различных стратегий управления трафиком и инфраструктурных изменений. Это полезный инструмент для планирования и оптимизации городской мобильности и дорожной инфраструктуры.

1.4. РЕГУЛИРОВАНИЕ СВЕТОФОРА

В SUMO, регулирование светофоров является важной частью моделирования дорожного движения. Регулирование светофоров позволяет симулировать и контролировать поток транспорта на перекрестках в соответствии с установленными правилами и сигнальными программами. Вот некоторые аспекты регулирования светофоров в SUMO:

1) Режимы работы светофоров: SUMO поддерживает различные режимы работы светофоров, такие как циклический режим, отдельное управление фазами, координированное управление и т. д. Режим работы светофоров определяет последовательность смены сигналов светофоров для каждой фазы, а также продолжительность каждой фазы.

2) Сигнальные программы: Сигнальные программы определяют временные параметры каждой фазы светофорного цикла, включая продолжительность зеленого, желтого и красного сигналов. В SUMO сигнальные программы могут быть определены в специальном файле, где указывается порядок и продолжительность каждой фазы.

3) Управление светофорами: SUMO позволяет управлять светофорами в режиме реального времени во время выполнения симуляции. Это означает, что вы можете изменять текущую сигнальную программу, переключать фазы светофоров или даже симулировать автоматическое управление светофорами на основе установленных алгоритмов.

4) Оптимизация сигнальных программ: SUMO предоставляет возможность оптимизировать сигнальные программы с помощью различных методов, таких как генетические алгоритмы или оптимизация на основе моделирования трафика. Это позволяет находить оптимальные параметры сигнальных программ для улучшения пропускной способности и снижения задержек на перекрестках.

5) Визуализация светофоров: SUMO предоставляет возможность визуализации светофоров и их состояний во время выполнения симуляции. Это позволяет наблюдать смену сигналов светофоров и анализировать их влияние на поток транспорта и задержки на перекрестках.

Регулирование светофоров в SUMO позволяет моделировать различные сценарии и стратегии управления движением для оценки и оптимизации эффективности дорожной сети. С использованием функций регулирования светофоров в SUMO можно исследовать влияние различных сигнальных программ, алгоритмов управления и координации светофоров на проходимость, задержки и общую производительность дорожной сети[8].

2 СИМУЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

2.1 ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ И РАССМАТРИВАЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА

Задача оптимизация сигнальной системы светофора на перекрестке Абая-Гагарина. Этот перекресток загружен по нескольким причинам. Главное, это расположение, перекресток расположен на пересечении двух крупных проспектов, которые являются ключевыми магистралями в городе, обеспечивающими доступ к различным районам и направлениям. Также населенность района, так как это центр города и здесь находятся различные жилые районы, коммерческие зоны и офисные комплексы. Высокая плотность населения и бизнес-активность в окрестностях перекрестка приводят к увеличению потока транспорта и его загруженности. И время суток, в зависимости от времени суток и дня недели, перекресток Абая-Гагарина может сталкиваться с пиковыми часами движения. Например, утренний и вечерний часы, когда множество людей едет на работу или возвращается домой, могут вызывать увеличение потока транспорта и загруженность перекрестка.

Все эти факторы в совокупности могут приводить к загруженности перекрестка Абая-Гагарина как показано на Рисунке 2.1. Для улучшения потока транспорта и снижения загруженности возможны меры, такие как оптимизация сигнальной системы светофоров, изменение инфраструктуры или реорганизация дорожной сети в этой области.



Рисунок 2.1-Загруженность перекрестка.

2.2 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ И СБОР ДАННЫХ

Целевой участок: пересечение проспекта Абая и проспекта Гагарина. На Рисунке 2.2 представлен выбранный перекресток и схема движения на нем.

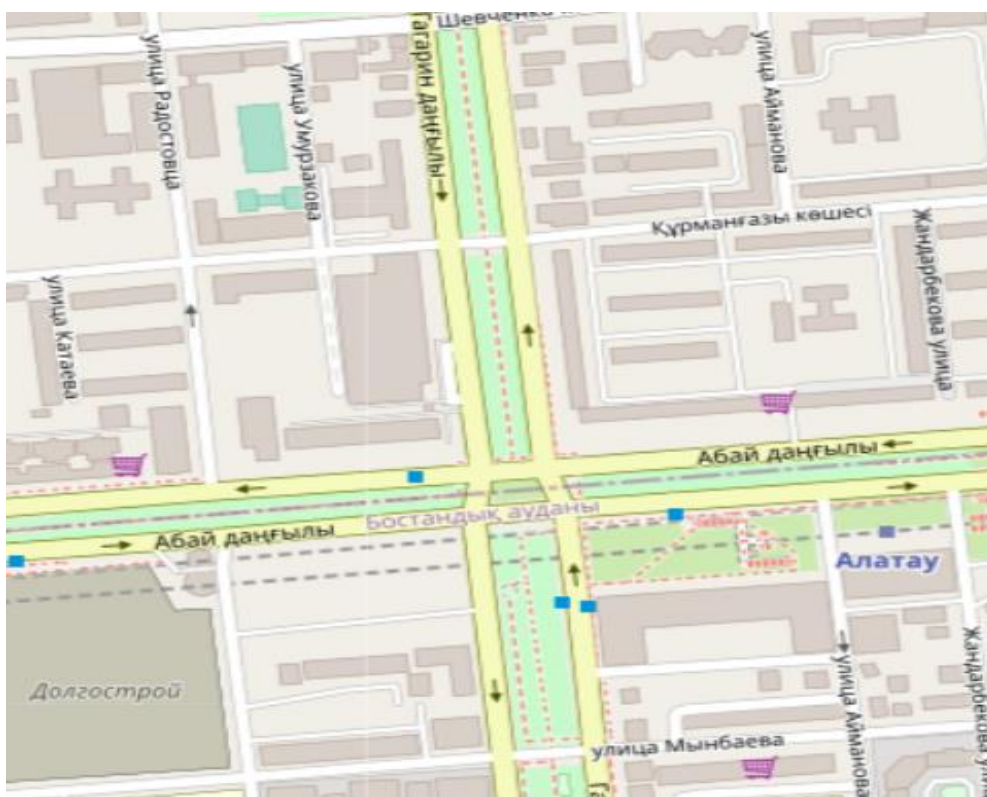


Рисунок 2.2 Перекресток Абая-Гагарина

Процесс разработки имитационной модели был разбит на несколько основных этапов:

- 1) Сбор статистических данных;
- 2) Построение имитационной модели перекрестка;
- 3) Испытание модели.

СБОР ДАННЫХ

К основным статистическим данным необходимым для построения имитационной модели участка улично-дорожной сети относятся:

- количество транспорта, движущегося по всем направлениям;
- скорости движения транспорта

Для получения данной информации был выбран способ непосредственного наблюдения на выбранной местности. Скорости движения транспортного потока были определены с помощью «Яндекс карты». Исследование было

проведено в будние дни и выходные дни в трех разных временных промежутках, чтобы получить более точные данные, учитывающие различные уровни загрузки транспортной сети.

На рисунке 2.3 представлена диаграмма средних скоростей движения на выбранном участке

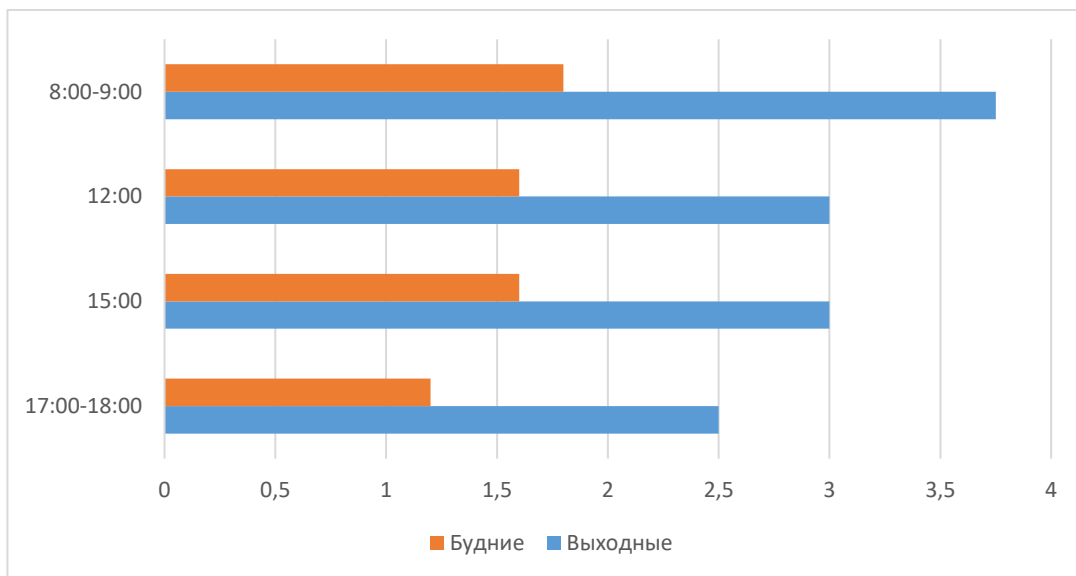


Рисунок 2.3-Диаграмма средних скоростей движения

В таблице 2.1 предоставлена информация и количестве транспорта в разные промежутки времени.

Таблица 2.1 – Полученные данные о количестве транспорта на всем перекрестке.

Время	Будние	Выходные
09:00	1300	700
12:00	1000	800
15:00	950	800
18:00	1300	1000

Для построения имитационной модели перекрестка улично-дорожной сети необходимы данные о светофорном цикле. Светофорный цикл представляет собой периодическую последовательность всех фаз светофорного регулирования. Каждая светофорная фаза включает в себя основной и промежуточный светофорные такты.

Значения светофорного цикла для регулируемых участков представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2-Значения светофорного цикла для регулируемых участков в 17:00.

Такт	Время такта(с)
Красный	75
Желтый	3
Зеленый	45
Желтый	3

2.3 РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

- Транспортная сеть содержит 12 узлов, 4 из них сигнализируемых узла.
- Требования к модели: расстояния между дорогами, светофорный план, автобусные остановки все должно быть действительным.
- Всего 4 ребра, движение одностороннее.

В своей работе для моделирования мы используем SUMO DLR. Транспортная сеть SUMO представляет собой ориентированный граф. Он состоит из дорог и перекрестков. Перекрестки представлены узлами (развязками), а дороги - однонаправленными краями.

Перекресток включает в себя 4 исходных пункта и 4 пункта назначения. А также 4 сигнализируемых перекрестка. Кроме того, перекресток имеет трех- и четырехполосное движение. Пример перекрестка в реальном режиме Рисунок 2.4 .

Дорожная сеть перекрестка отредактирована вручную с помощью программного обеспечения SUMO «netedit» , используя информацию с карт Google и Yandex, а также некоторых наблюдений на месте. Данные со светофора были настроены вручную.



Рисунок 2.4 Перекресток в реальном режиме.

Для начала нужно преобразовать перекресток в сеть на основе узлов и каналов, показанную на Рисунке 2.5. Координаты данных узлов есть в таблице 2.3.

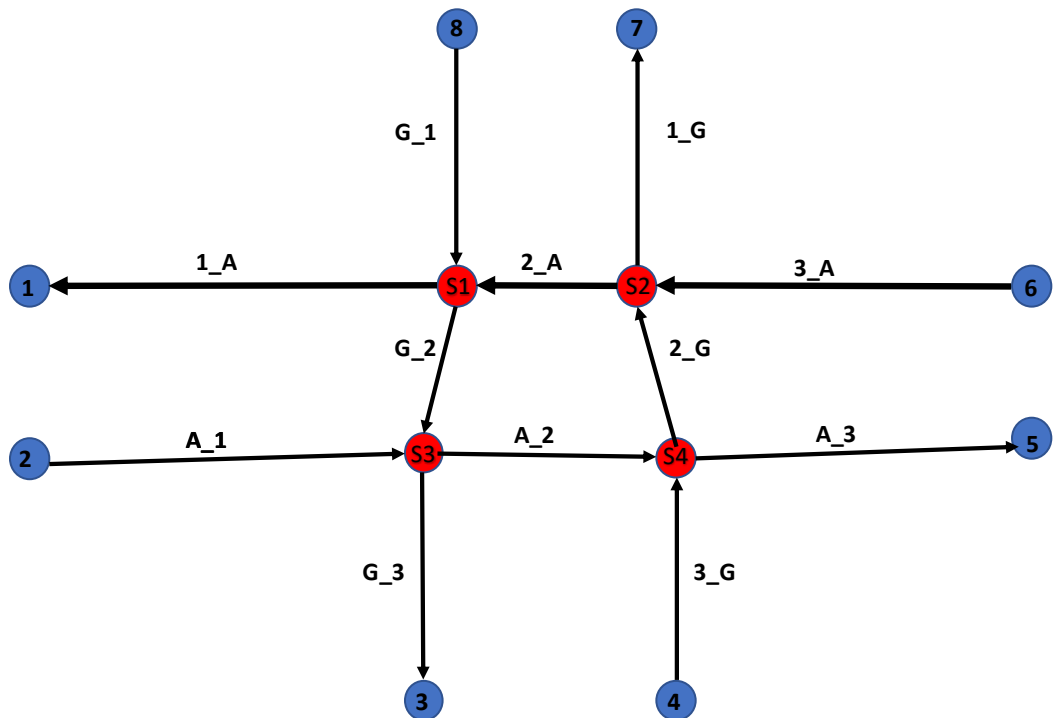


Рисунок 2.5 Визуализация перекрестка.

Таблица 2.3- Координационные данные примерной сети.

Имя узла	X-координата	Y-координата
1	0	250
2	0	200
3	170	0
4	240	0
5	400	200
6	400	250
7	240	450
8	170	450
S1	180	250
S2	220	250
S3	180	200
S4	230	200

Данные преобразовываются в три файла: об узлах- .nod.xml, ссылках- .edg.xml, трафики и маршруте- .rou.xml . Результат разработки графической части имитационной модели представлен на рисунке 2.6.

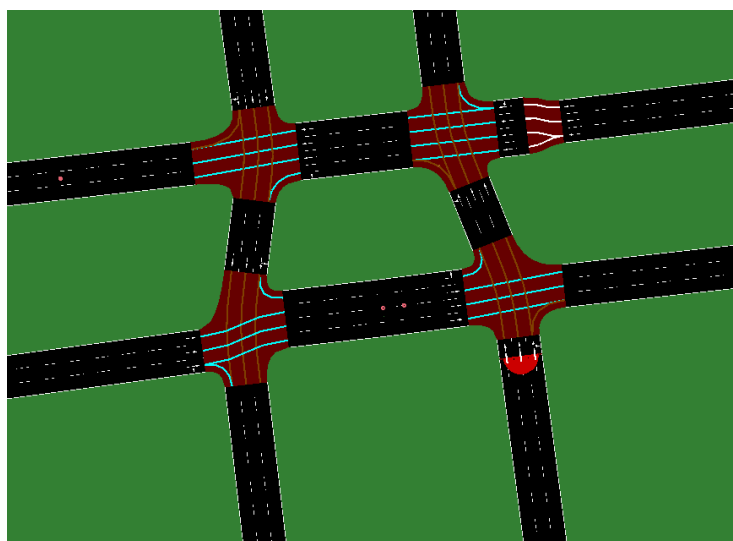


Рис 2.6-Маршруты на перекрестке.

Разработанная модель является высоко реалистичной и близкой к реальной ситуации. Она предоставляет возможность переключаться между различными временными интервалами и форматами анимации, что позволяет более детально изучать транспортную ситуацию.

2.4 РАЗРАБОТКА АГЕНТНОЙ ЧАСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Разработка агентной части имитационной модели представляет собой процесс создания и настройки агентов, которые будут моделировать поведение различных участников транспортной системы, таких как водители, пешеходы, общественный транспорт и т. д.

SUMO по умолчанию использует расширение стохастической модели следования за автомобилем, разработанной Стефаном Краусом.

В таблице 2.4 указаны основные настраиваемые параметры и значения данного элемента.

Таблица 2.4. Параметры в SUMO.

Параметр	Значение в SUMO
Тип	Название транспортного средства
Время отбытия	Временной шаг, при котором транспортное средство должно войти в сеть
Полоса движения	Выбирается случайно
Начальная скорость	для автомобилей задается для каждого направления
Ускорение	для автомобилей 1.8 м/с ²
Количество машин в час	Согласно собранным статистическим данным
Прибывают согласно	Интенсивности

После того, как автомобиль был сгенерирован и помещен на нужную дорогу. Следующий шаг, направление выбирается по вероятности, с которой передвигаются автомобили в реальном времени.

Спрос на транспорт осуществляется с помощью jtrrouter [3]. Jtrrouter - это приложение, которое используется для маршрутизации транспортных средств на основе входных данных, таких как потоки и проценты поворота на перекрестках. Для правильной работы приложения необходимо идентифицировать следующие параметры:

- Сеть для маршрутизации транспортных средств, необходимо определить структуру и характеристики сети дорог, включая перекрестки, светофоры и другие элементы, которые влияют на движение транспорта.

- Описание передаточных чисел для соединений. Передаточные числа указывают на пропускную способность и характеристики дорожных соединений между различными сегментами сети.

- Описания потоков.

Для определения вероятности поворота нужно создать файл xml, где будет указан процент вероятности для определенного ребра.

Пример кода (2):

```
<turns>  
<interval begin="0" end="50000">
```

```
<fromEdge id="1103848386#1">  
<toEdge id="1103849645" probability="0.0"/>  
<toEdge id="753842900#0" probability="0.7"/>  
<toEdge id="1103849646#1" probability="0.3"/>  
</fromEdge>  
</interval>  
</turns>
```

(2)

На рисунке 2.7 разработана агентная часть имитационной модели.



Рисунок 2.7. Имитационная модель

2.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Весь общественный транспорт на перекрестке был смоделирован реалистично в пределах области моделирования путем создания автобусных линий на основе данных из 2GIS и Яндекс Карт[6]. Из приложений общественного транспорта можно взять информацию: географического расположения остановок, количество определенного автобуса на маршруте, и точное время прибытия автобуса. Количество маршрутов представлено на Рисунке 2.8.

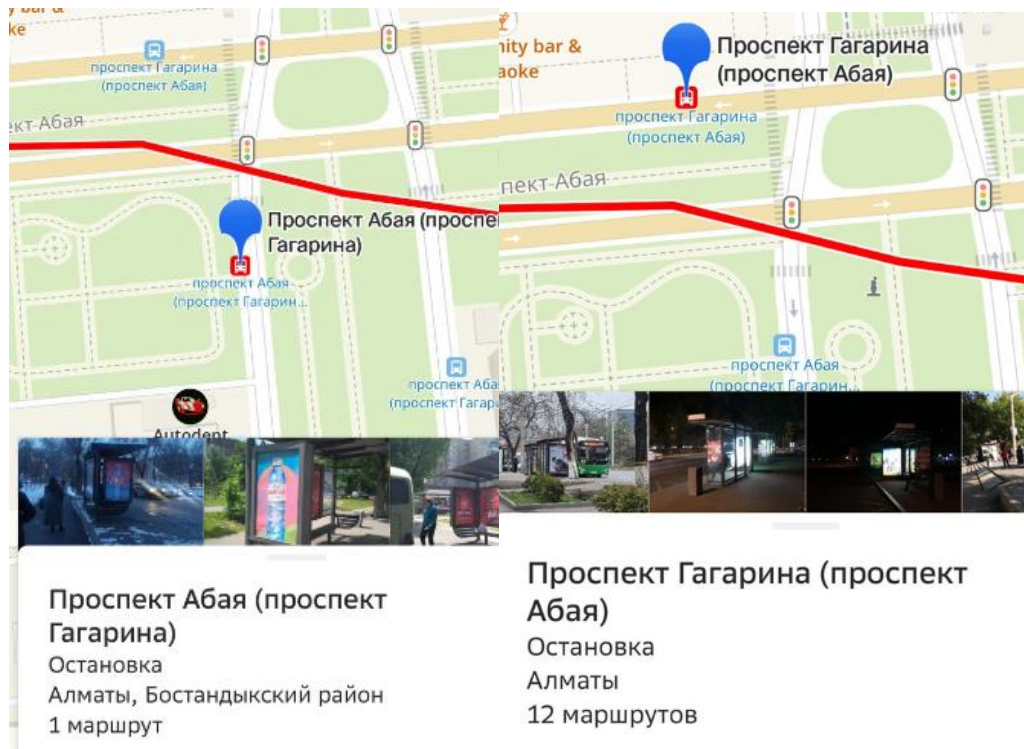


Рисунок 2.8- Количество маршрутов.

Так как симуляция длится 10 минут, по Проспекту Абая было смоделировано 10 автобусов которые идут с разнице 1 мин или 30 секунд. По Проспекту Гагарина проходит один автобус каждые 20 мин, смоделировано 2 маршрута автобуса с разницей в 5 минут.

Были смоделированы 4 автобусные остановки, которые были идентифицированы и размещены на сетевых ссылках.

Маршрут общественного транспорта, его остановки все записывается в отдельный файл <additional> пример кода(3).[4]

```
<busStop id="busstop1" lane="2/1to1/1_0"
startPos="20" endPos="40" lines="100 101 102"/>
```

```
<vType id="BUS" accel="2.6" decel="4.5" sigma="0"
length="12" minGap="3" maxSpeed="70"
color="1,1,0" guiShape="bus"/>
```

(3)


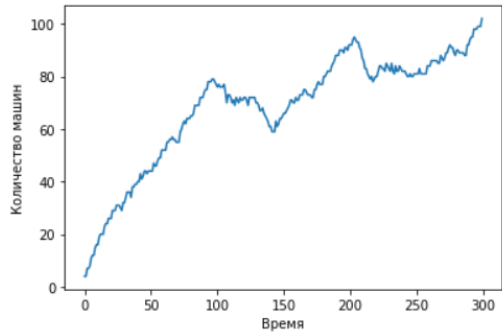
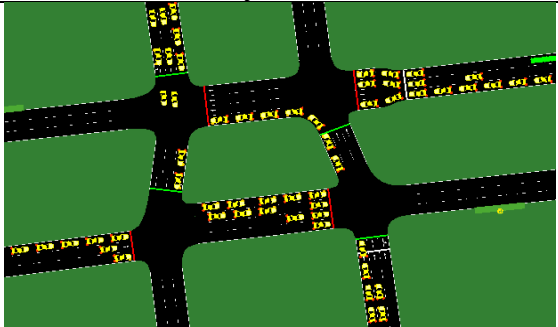
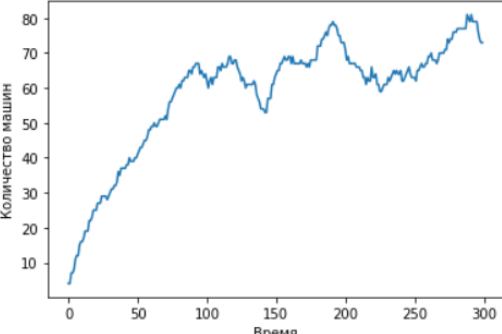
```
<vehicle id="0" type="BUS" depart="0" color="1,1,0">
<route edges="name_ed"/>
<stop busStop="busstop1" duration="20"/>
</vehicle>
</additional>
```

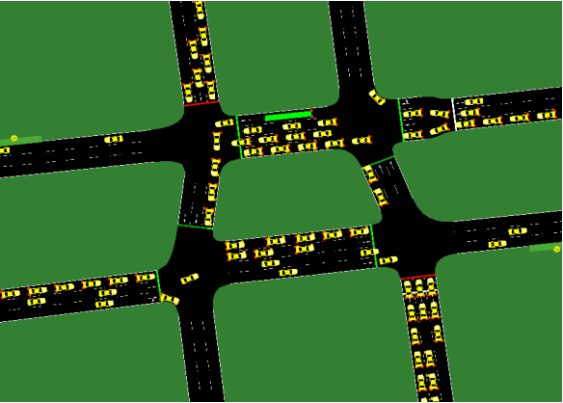
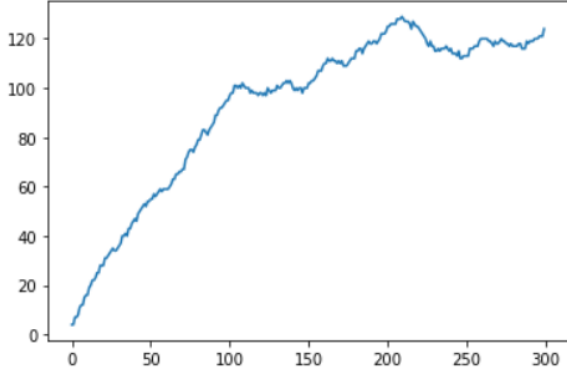
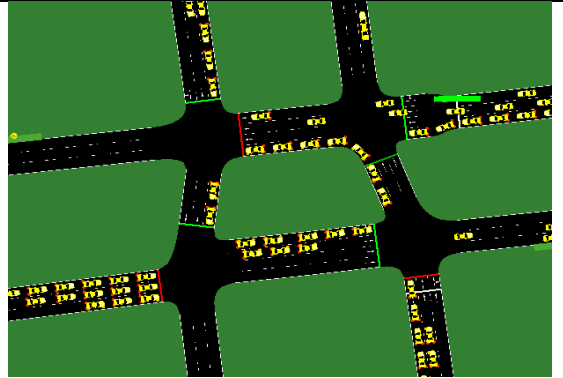
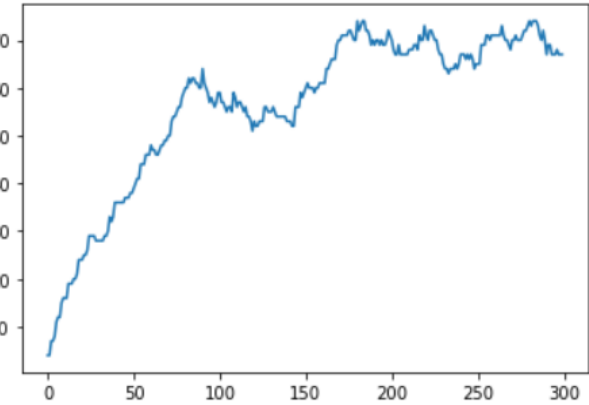

3 ИСПЫТАНИЕ МОДЕЛИ

3.1 СИМУЛЯЦИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В таблице 3.1 смоделирован перекресток в будние дни, также есть график зависимости времени от количества машин.

Таблица 3.1-Анализ симуляции.

Время суток	Симуляционная модель дорожной сети	График зависимости количества машин от времени	Описание
9:00	 <p data-bbox="548 938 741 975">Рисунок 3.1</p>	 <p data-bbox="1182 930 1375 967">Рисунок 3.2</p>	<p data-bbox="1637 579 2168 831">На Рисунке 3.1 видно что в это время происходит большая загруженность дорог. График на Рисунке 3.2 показывает что утром количество транспорта стремительно растет.</p>
12:00	 <p data-bbox="548 1310 741 1347">Рисунок 3.3</p>	 <p data-bbox="1182 1337 1375 1374">Рисунок 3.4</p>	<p data-bbox="1637 986 2168 1150">На рисунке 3.3 видно что проспект Абая болле загружен, так как является одной из главных дорог города.</p>

<p>15:00</p>	 <p>Рисунок 3.5</p>	 <p>Рисунок 3.6</p>	<p><i>Продолжение таблицы 3.1</i></p> <p>По графику на Рисунке 3.6 видно , что пик затора был в этот период времени , когда достигло количества 120 машин.</p>
<p>18:00</p>	 <p>Рисунок 3.7</p>	 <p>Рисунок 3.8</p>	<p>До 17:30 балл пробок может быть около 4(местами затруднения), но после 18:00 он может увеличиться до 8-9(многокилометровые пробки) баллов.</p>

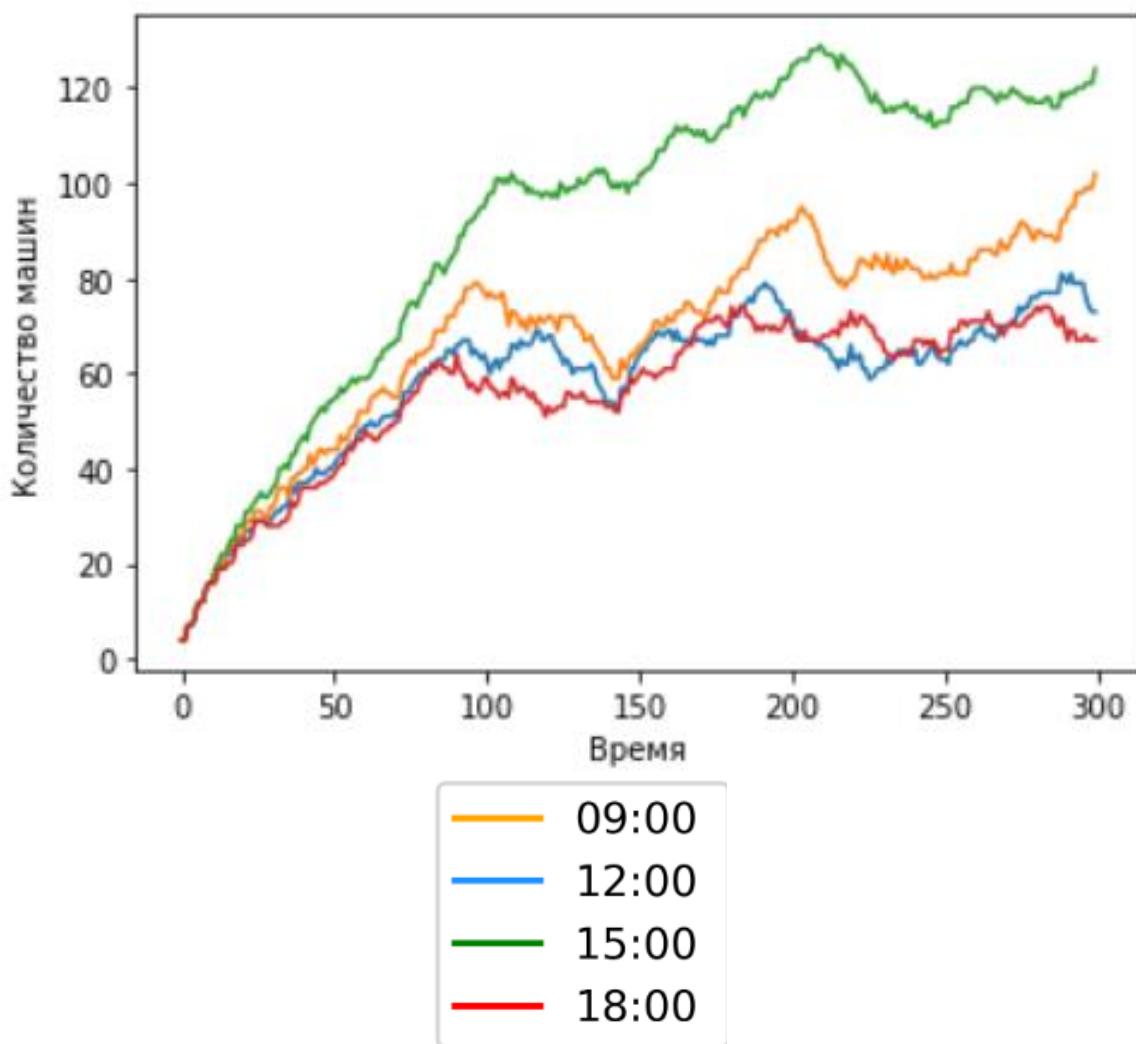

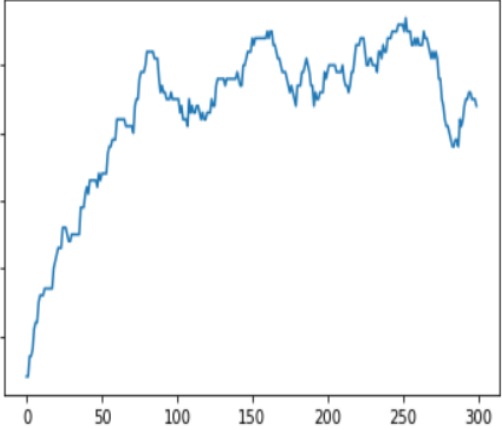

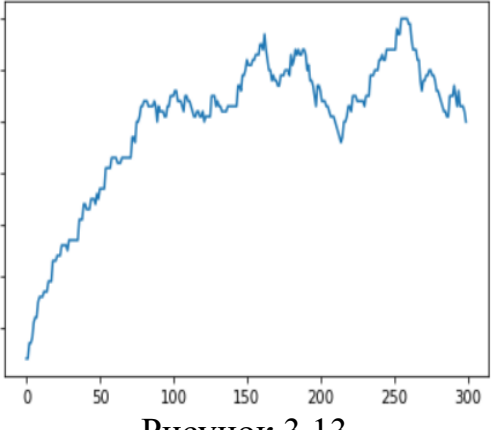


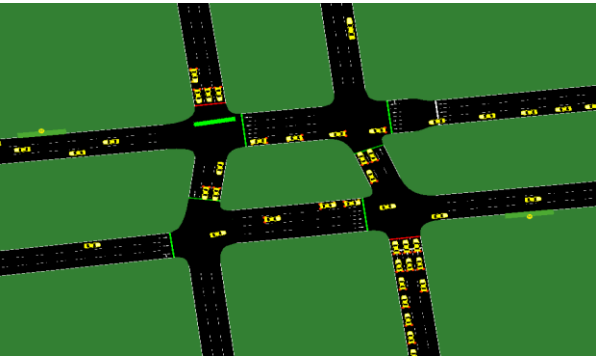
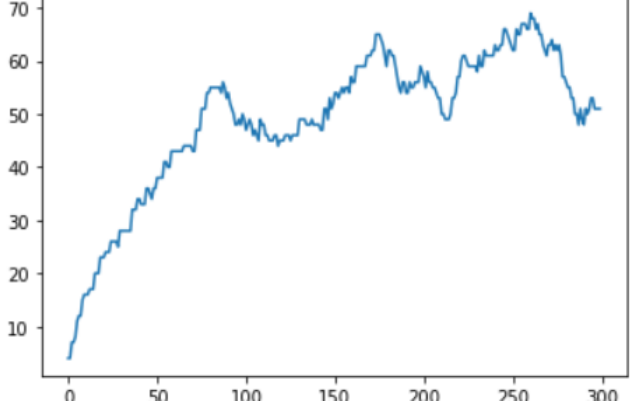

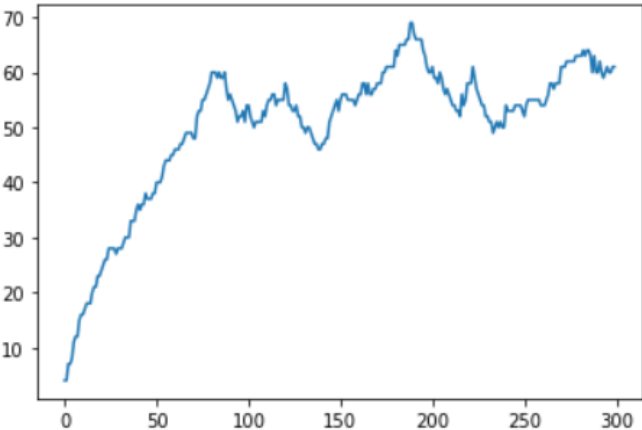
Рисунок 3.9

В ходе моделирования как показано на Рисунке 3.9 , самые загруженные часы это утро и после обеда. В это время пробки возникают по разным причинам. К примеру, пиковые часы рабочих мест, многие люди возвращаются с работы или с перерыва. Школьный трафик, В эти временные промежутки происходит школьный трафик, связанный с доставкой и забором детей из школ. Родители могут использовать автомобили для доставки детей в школу или из школы после занятий, что способствует увеличению трафика.

В таблице 3.2 смоделирован перекресток в выходные дни, также есть график зависимости от времени и количества машин.2

Таблица 3.2. Анализ симуляций

	Симуляционная модель дорожной сети	График зависимости количества машин от времени	Описание
09:00	 <p data-bbox="533 850 757 890">Рисунок 3.10</p>	 <p data-bbox="1205 866 1429 906">Рисунок 3.11</p>	<p data-bbox="1668 419 2105 762">Из всех проделанных симуляций утро выходного дня один из самых не загруженных перекрестков. На графике Рисунка 3.11 видно что всего около 50 машин на всем перекрестке.</p>
12:00	 <p data-bbox="533 1345 757 1385">Рисунок 3.12</p>	 <p data-bbox="1205 1345 1429 1385">Рисунок 3.13</p>	<p data-bbox="1668 914 2105 1082">В обеденное время пробки отсутствуют, движение происходит без заторов.</p>

15:00	 <p>Рисунок 3.14</p>	 <p>Рисунок 3.15</p>	<p>В период этого времени пробки оцениваются в 3 балла (местами затруднения)</p>
18:00	 <p>Рисунок 3.16</p>	 <p>Рисунок 3.17</p>	<p>Самый загруженный период выходного дня это вечер, на Рисунке 3.16 где симуляционная модель можно заметить как оживился перекресток по сравнению с утром. Пробки около 7 баллов(Серьезные пробки)</p>

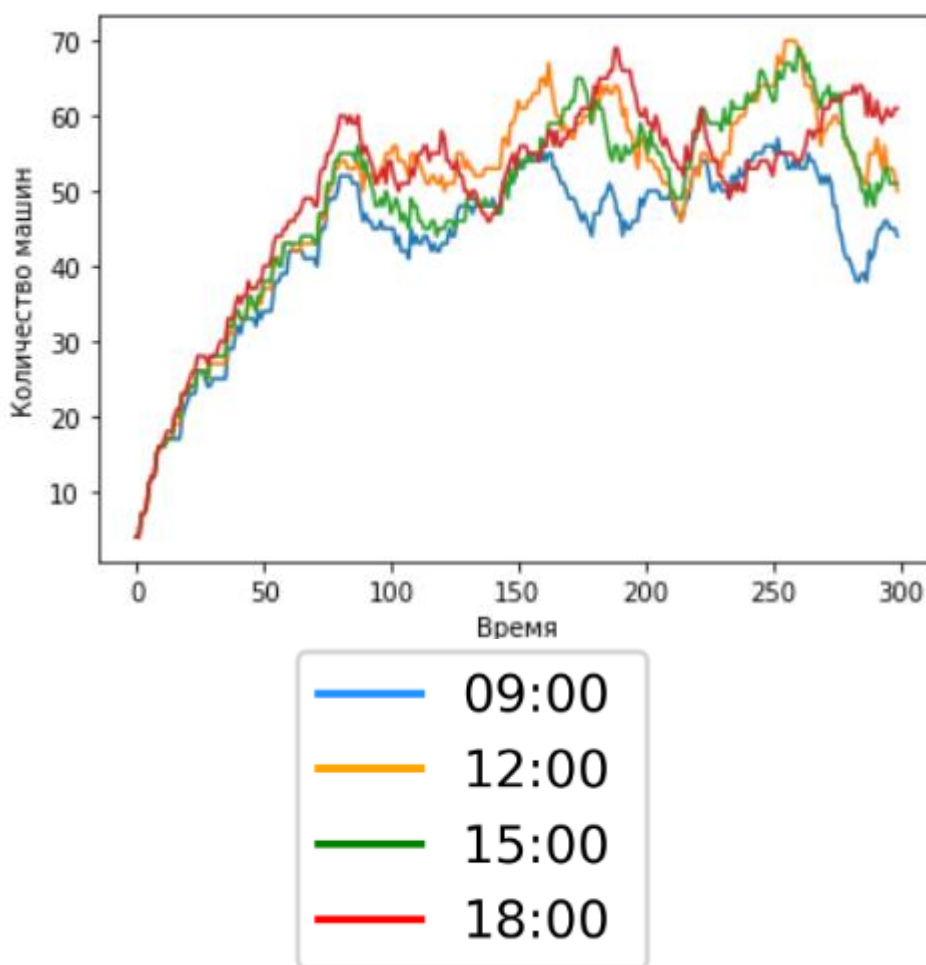


Рисунок 3.18 Сравнение симуляций

В ходе моделирования как показано на Рисунке 3.18, самый загруженный временной период это вечер. Причиной этому могут служить развлекательные и туристические активности, выходные дни многие люди отправляются на развлекательные мероприятия, поездки за город или туристические поездки. Это может привести к увеличению трафика на дорогах, особенно в направлении популярных мест отдыха или достопримечательностей. Шопинг и торговые центры, многие люди выбирают выходные дни для посещения торговых центров, супермаркетов и других магазинов. Спортивные и культурные события, в выходные дни часто проходят спортивные мероприятия, концерты, выставки и другие культурные события. Это может привлекать большое количество посетителей, которые могут использовать автомобили для поездок на эти события.

3.2 ЭКСПЕРИМЕНТ СО СВЕТОФОРАМИ

В ходе испытания над моделью был выбран светофорный план буднего дня в 18:00, где присутствует сильный затор. Целью было найти оптимальный светофорный план для уменьшения пробки.

На рисунке 3.19 показан график зависимости количества машин от времени в реальном режиме.

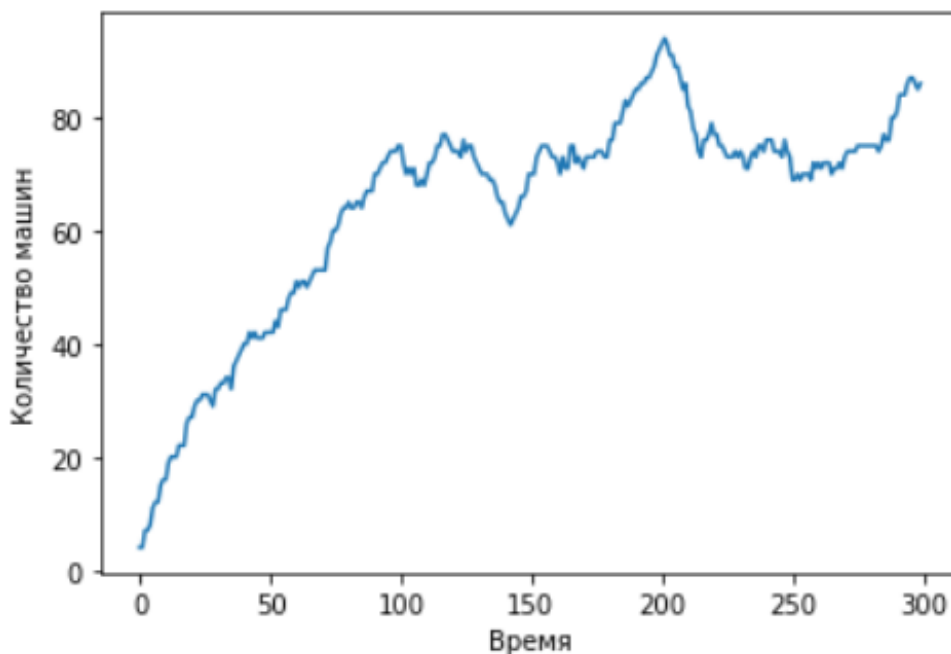

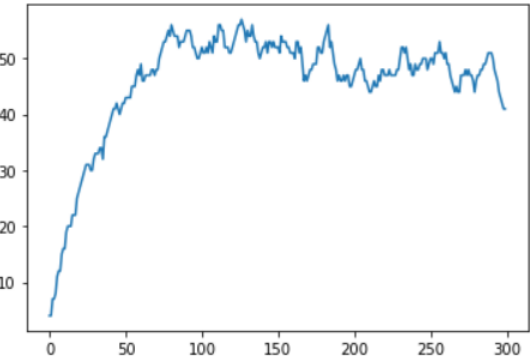
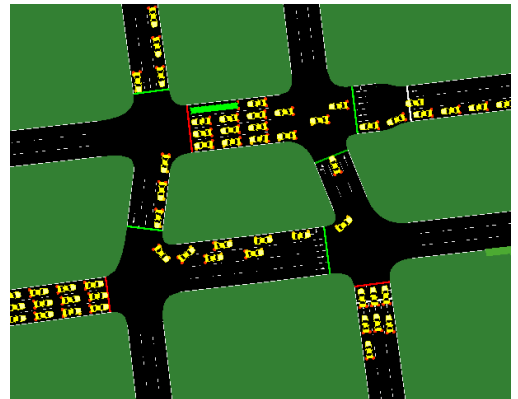
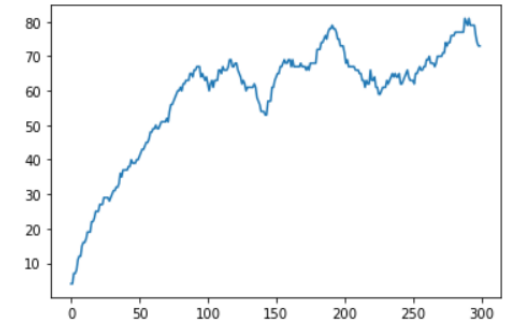


Рисунок 3.19-Количество машин на всем перекрестке.

В таблице 3.3 проведены два эксперимента , с изменением циклов светофора, показана симуляция в реальном времени и график зависимости количества машин от времени .

Таблица 3.3-Эксперимент.

Испытание	Симуляционная модель дорожной сети	График зависимости количества машин от времени	Описание результата
<p>Увеличение зеленого светофорного цикла до 90 секунд, цикл красного 30 секунд на проспекте Абая</p>	 <p>Рисунок 3.20</p>	 <p>Рисунок 3.21</p>	<p>В результате на проспекте Абая не образуется пробка, но на проспекте Гагарина идет перегрузка движения. В основном машины скапливаются там.</p>
<p>При одинаковых циклах красного и зеленого (30 секунд)</p>	 <p>Рисунок 3.22</p>	 <p>Рисунок 3.23</p>	<p>Образуется большая пробка на перекрестке Абая, так как основной поток именно там. Средняя скорость 1,6 метров в секунду, этого времени не хватает чтоб пересечь два светофора.</p>

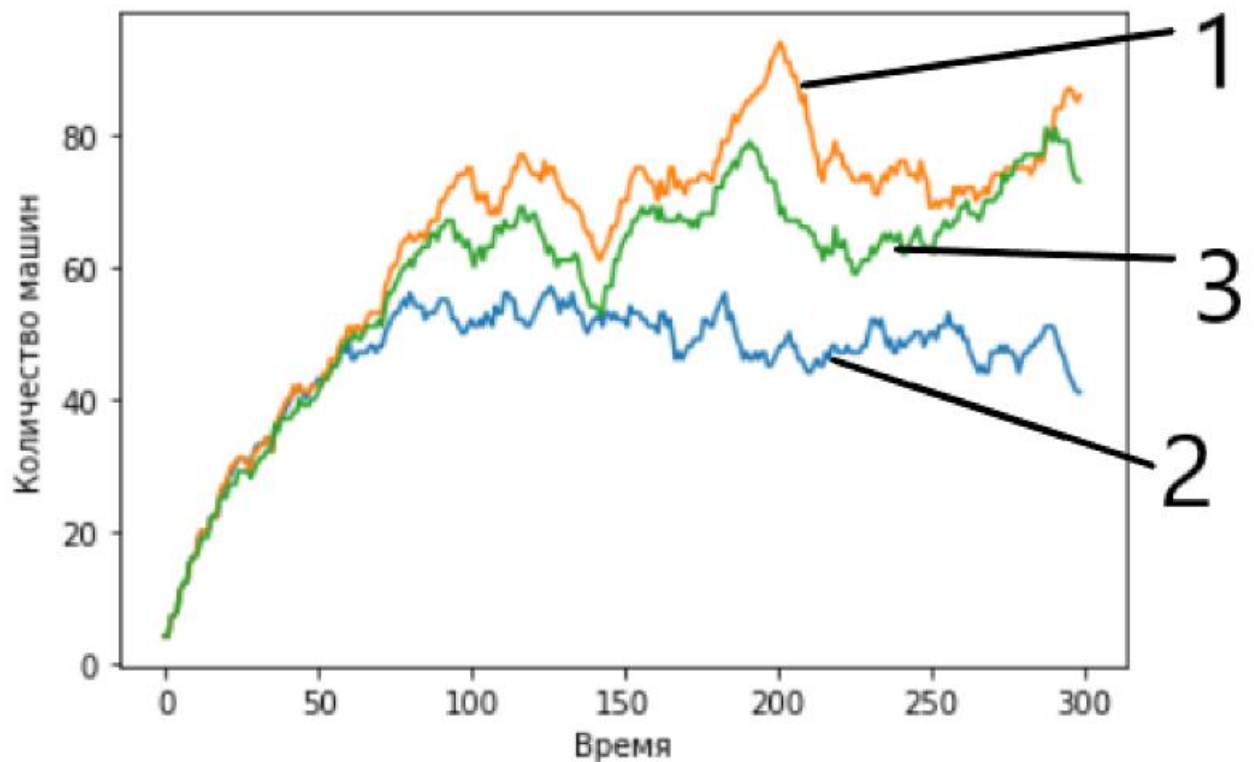


Рисунок 3.24. Сравнение различных циклов.

1-реальный светофорный цикл перекрестка.

2-светофорный план, где 30 секунд красная фаза, и 90 секунд зеленая фаза.

3-светофорный план, где цикл красной и зеленой фазы по 30 секунд.

В результате, самый оптимальный вариант это 2, так как мы увеличили именно зеленый цикл на проспекте Абая, потому что он загружен сильнее.

Увеличение продолжительности зеленой фазы может позволить большему количеству транспортных средств проехать через перекресток за каждый цикл светофора. Это может улучшить пропускную способность перекрестка и уменьшить возможность образования пробок. Красная фаза продолжительностью 30 секунд может быть полезной для обеспечения безопасности и разрешения перекрестного движения в других направлениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Управление светофорами на перекрестке играет важную роль в оптимизации дорожного движением. Использование симулятора SUMO и проведение экспериментов на перекрестке со сложной геометрией с регулируемыи светофорами, дает ценную информацию об эффективности различных сигнальных планов и стратегий управления перекрестком. В данной работе было две задачи. Первая смоделировать перекресток в реальном времени в разное время, и сравнить как зависимость между количеством машин и временем. Вторая, выбрать конкретное время с большим затором, и попытаться улучшить его светофорный план.

Сбор данных вручную позволил получить детальную информацию о количестве машин, проезжающих через перекресток в разные временные интервалы. Также в процессе сбора данных считали светофорный цикл, то есть последовательность изменений светофорных сигналов на перекрестке. И фиксировали длительность зеленого, желтого и красного света, а также время переключения между ними. Эти данные позволили нам более точно оценить время и пропускную способность перекрестка. Благодаря онлайн картам, был построен реалистичный перекресток, сохранивший свою геометрию.

В результате сбора данных, для первой задачи запущен фиксированный поток с регулируемым светофором. Сначала смоделирован реалистичный перекресток в разных промежутках времени. Учитывалась разница между выходными и будними днями. Сравнивая графики, мы определили в каком моменте больше всего пробок.

Для решения второй задачи был выбран перекресток в будний день в 18:00 как самый загруженный. Чтобы найти оптимальный светофорный план, провели два эксперимента меняя его циклы. В результате получили график, который вывел результат лучше, чем его реальный светофорный план.

В итоге, SUMO, показал отличные возможности для моделирования в режиме реального времени. Использование симулятора SUMO для проведения эксперимента позволяет экономить время и ресурсы, исключая необходимость физической реализации изменений на реальном перекрестке. Это также обеспечивает возможность проведения множества вариантов экспериментов и анализа результатов для выбора оптимальных решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban Mobility/Daniel Krajzewicz, Jakob Erdmann, Michael Behrisch, and Laura Bieker2-С.1-3.

2 Недяк А.В., Рудзейт О.Ю., Зайнетдинов А.Р. Классификация методов моделирования транспортных потоков //Вестник Евразийской науки, 2019 №6.

3 Маршрутизация по вероятности поворота-
https://sumo.dlr.de/docs/Demand/Routing_by_Turn_Probabilities.html.

4 Симуляция общественного транспорта-
https://sumo.dlr.de/docs/Simulation/Public_Transport.html

5 InTAS - The Ingolstadt Traffic Scenario for SUMO/ Silas C. Lobo1;2, Stefan Neumeier3, Evelio M. G. C-2-15.

6 https://yandex.kz/maps/162/almaty/stops/stop__10040687/?ll=76.894764%2C43.239277&tab=overview&z=17.52

7 https://sumo.dlr.de/docs/Definition_of_Vehicles%2C_Vehicle_Types%2C_and_Routes.html

8 Моделирование и исследование адаптивных систем управления светофорами Е.Ф.Пендер, Омский государственный технический университет.

Приложение А

Файлы в SUMO которые описывают создание дорожной сети и все его характеристики.

Net.xml.nod:

```
<node id="10090280950" x="426.78" y="932.04" type="priority"/>
<node id="10090280960" x="372.49" y="1382.54" type="dead_end"/>
<node id="1674946985" x="371.43" y="1333.81" type="dead_end"/>
<node id="254027085" x="784.81" y="987.16" type="dead_end"/>
<node id="254027086" x="780.24" y="1025.76" type="dead_end"/>
<node id="254241546" x="388.91" y="724.95" type="dead_end"/>
<node id="254241547" x="363.42" y="939.28" type="traffic_light" tl="joinedS_0"/>
<node id="256225071" x="129.80" y="950.20" type="dead_end"/>
<node id="2577857353" x="132.98" y="909.25" type="dead_end"/>
<node id="4524247922" x="448.76" y="745.06" type="dead_end"/>
<node id="4895203634" x="431.98" y="984.41" type="priority"/>
<node id="7937339592" x="359.51" y="1041.68" type="priority"/>
<node id="7937339597" x="323.20" y="1334.34" type="dead_end"/>
```

Net.xml.tll:

```
<connection from="1103848386#2" to="1103849646#1" fromLane="0" toLane="0" tl="joinedS_0" linkIndex="0"/>
<connection from="1103848386#2" to="753842900#0" fromLane="0" toLane="0" tl="joinedS_0" linkIndex="1"/>
<connection from="1103848386#2" to="753842900#0" fromLane="1" toLane="1" tl="joinedS_0" linkIndex="2"/>
<connection from="1103848386#2" to="753842900#0" fromLane="2" toLane="2" tl="joinedS_0" linkIndex="3"/>
<connection from="1103849645" to="1103849646#1" fromLane="0" toLane="0" tl="joinedS_0" linkIndex="4"/>
<connection from="1103849645" to="1103849646#1" fromLane="1" toLane="1" tl="joinedS_0" linkIndex="5"/>
<connection from="1103849645" to="1103849646#1" fromLane="2" toLane="2" tl="joinedS_0" linkIndex="6"/>
<connection from="1103849645" to="753842900#0" fromLane="3" toLane="1" tl="joinedS_0" linkIndex="7"/>
<connection from="1103849645" to="753842900#0" fromLane="3" toLane="2" tl="joinedS_0" linkIndex="8"/>
<connection from="23477158#6" to="228168650#1" fromLane="0" toLane="0" tl="joinedS_1" linkIndex="14"/>
<connection from="23477158#6" to="753842899" fromLane="0" toLane="0" tl="joinedS_1" linkIndex="15"/>
```

Net.xml.con:

```
<connection from="1103848386#1" to="1103848386#2" fromLane="0" toLane="0"/>
<connection from="1103848386#1" to="1103848386#2" fromLane="1" toLane="1"/>
<connection from="1103848386#1" to="1103848386#2" fromLane="2" toLane="2"/>

<connection from="1103848386#2" to="1103849646#1" fromLane="0" toLane="0"/>
<connection from="1103848386#2" to="753842900#0" fromLane="0" toLane="0"/>
<connection from="1103848386#2" to="753842900#0" fromLane="1" toLane="1"/>
<connection from="1103848386#2" to="753842900#0" fromLane="2" toLane="2"/>
```

ПРОДОЛЖЕНИЕ А

Пример светофорного цикла:

```
<tlLogic id="joinedS_0" type="actuated" programID="0" offset="0">
  <phase duration="39" state="rrrrGGGGGGGGGggggg" minDur="13" maxDur="50"/>
  <phase duration="6" state="rrrryyyyyyyyyyyyyy"/>
  <phase duration="39" state="GGGGrrrrrrrrGGGG" minDur="13" maxDur="50"/>
  <phase duration="6" state="yyyyrrrrrrrryyyyyy"/>
</tlLogic>
```

Маршруты автобусов и их характеристики:

```
<vType id="BUS" accel="2.6" decel="4.5" sigma="0" length="13" minGap="3" maxSpeed="8" color="green" guiShape="bus"/>
```

```
<vehicle id="0" type="BUS" depart="0" color="green" >
  <route edges="928099277#0 928099277#1 928099277#2 228168650#1"/>
  <stop busStop="bs_4" duration="20" />
  <stop busStop="bs_0" duration="20" />
</vehicle>

<vehicle id="1" type="BUS" depart="100" color="green" >
  <route edges="928099277#0 928099277#1 928099277#2 228168650#1"/>
  <stop busStop="bs_4" duration="20" />
  <stop busStop="bs_0" duration="20" />
</vehicle>
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Для визуализации данных, выгрузили данные с SUMO.

Получили csv файл с данными:

timestep	id	eclass	CO2	CO	HC	NOx	PMx	fuel	electricity	noise	route	type
0	0	HBEFA3/PC_G_EU4	2624,72	164,78	0,81	1,2	0,07	837,22	0	55,94	!0	BUS

Из них выбрали только колонки времени и количество транспорта на перекрестке:

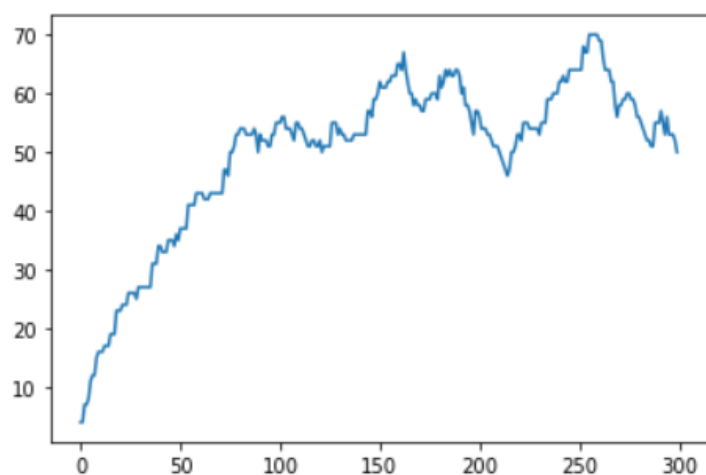
```
timestep
0      4.0
1      4.0
2      7.0
3      7.0
4      8.0
...
295    67.0
296    68.0
297    67.0
298    67.0
299    67.0
```

Name: vehicle_count, Length: 300, dtype: float64

Визуализация :

```
import pandas as pd
vx_12 = pd.read_excel(r'C:\Users\user\Desktop\Новое сумо\Новое сумо\vx_12.xlsx')
vz=vx_12.groupby('timestep')['vehicle_count'].sum()
plt.plot(vz)
```

[<matplotlib.lines.Line2D at 0x19ce69893a0>]



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматике и информационных технологий

Кафедра «Высшей математики и моделирования»

Асқарқызы Айша

Адаптивное управление светофорами на перекрестке со сложной геометрией

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B06103 – Математическое и компьютерное моделирование

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Каззахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматки и информационных технологий

Кафедра «Высшая математика и моделирование»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ВМиМ

канд. физ-мат. наук,

ассоциированный профессор

 Г. А. Тулешева

« 06 » июня 2023 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Адаптивное управление светофорами на перекрестке со сложной геометрией»

6B06103 – Математическое и компьютерное моделирование

Выполнил

Асқарқызы Айша

Рецензент

PhD по направлению Математика

ассоц. профессор АО КБТУ,

Школа прикладной математики

 Л.О. Сарыбекова

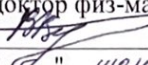
« 5 » июня

2023 г.



Научный руководитель

доктор физ-мат. наук, профессор

 В.В. Вербовский

« 06 » июня 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Высшей математики и моделирования»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ВМиМ
канд. физ-мат. наук, assoc. профессор

Г. А. Тулешева

2023 г.



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Асқарқызы Айша

Тема: *Адаптивное управление светофорами на перекрестке со сложной геометрией*

Утверждена приказом проректора по академической работе: №408-П/Ө

от «23» ноября 2022 г.

«08» июня 2023 г.

Срок сдачи законченного проекта

Исходные данные к дипломному проекту:

Краткое содержание дипломного проекта

А) Теоретическая часть;

Б) Симуляционная модель в SUMO





В) Эксперимент и результаты

Рекомендуемая основная литература: Документация Sumo, создание дорожной сети, регулирование светофора.


ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Теория и определения	15.02.23	Выполнено
Создание симуляции	15.03.23	Выполнено
Калибровка модели	15.04.23	Выполнено
Эксперимент и результат	15.05.23	Выполнено

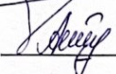
Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломный проект
с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	д.ф.-м.н., профессор Вербовский В.В.	30.02.23	
Симуляционная модель в SUMO	д.ф.-м.н., профессор Вербовский В.В.	30.03.23	
Эксперимент и результаты	д.ф.-м.н., профессор Вербовский В.В.	30.05.23	
Нормоконтролер	канд. физ.-мат. наук, ассоц. проф. Шатманов Ж. Ж.	05.06.2023	

Научный руководитель

 В. Вербовский

Задание принял к исполнению обучающийся

 А. Аскаркызы

Дата

« ___ » _____ 2023 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Аскарқызы Айша

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломный проект

Название работы: Адаптивное управление светофором на перекрестке со сложной геометрией.doc

Научный руководитель: Виктор Вербовский

Коэффициент Подобия 1: 4.6

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 6

Знаки из здругих алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрывтия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 02.06.23


проверяющий эксперт

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Асқарқызы Айша

Тақырыбы: Адаптивное управление светофором на перекрестке со сложной геометрией.doc

Жетекшісі: Виктор Вербовский

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1

Дәйексөз (35): 2

Әріптерді ауыстыру: 1

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 6

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

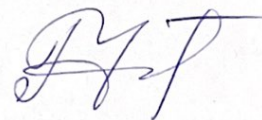
Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні 02.06.23

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Аскарқызы Айша

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломный проект

Название работы: Адаптивное управление светофором на перекрестке со сложной геометрией.doc

Научный руководитель: Виктор Вербовский

Коэффициент Подобия 1: 4.6

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 6

Знаки из здругих алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 02.06.23


проверяющий эксперт

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу
Асқарқызы Айши

6В06103 — Математическое и компьютерное моделирование

Тема: «Адаптивное управление светофорами на перекрестке со сложной геометрией»

Перед Айшой Асқарқызы была поставлена задача симулирования движения на перекрестке с сложной геометрией на примере реального перекрестка (пересечение проспекта Абая с улицей имени Гагарина в городе Алматы). Моделирование перекрестка и движения машин производилось в программной среде SUMO, одной из основных программ, относящихся к свободному ПО, для симулирования транспортных сетей и потоков. Айшой были произведены реальные замеры перекрестка, сбор данных о потоке машин, сигнальном плане и интенсивности общественного плана в различное время суток.

Затем была рассмотрена задача улучшения сигнального плана для определенного промежутка времени. В ходе многочисленных численных экспериментов был подобран более эффективный сигнальный план по сравнению с текущим на основе симулирования движения машин в SUMO.

Дипломная работа состоит из введения, 3 глав основной части и заключения.

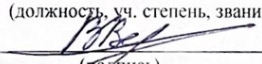
Считаю, что Асқарқызы Айша справилась с поставленной ей задачей, ее дипломная работа соответствует выдвигаемым к таким работам требованиям. Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «91», а Асқарқызы Айша — присуждения ей академической степени бакалавра по специальности 6В06103 — «Математическое и компьютерное моделирование».

Научный руководитель

Профессор кафедры ВМиМ,

д.ф.-м.н., доцент

(должность, уч. степень, звание)

 Вербовский В. В.

(подпись)

« 5 / июня 2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу
Асқарқызы Айши

6В06103 – Математическое и компьютерное моделирование

На тему: «Адаптивное управление светофорами на перекрестке со сложной геометрией»

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Целью дипломной работы Асқарқызы А является моделирование перекрестка со сложной геометрией, для дальнейшего адаптивного управления светофорами в режиме реального времени. Перед дипломантом стояло две задачи, смоделировать перекресток и улучшить его светофорный план.

Во введении описывается актуальность моделирования транспортных потоков, как полезный инструмент для прогнозирования, анализа и оптимизации поведения трафика.

В первой главе данной работы описывается основной инструмент, использованный в моделировании транспортных потоков, симулятор SUMO (Simulation of Urban Mobility). Вся теория и определения описываются в этой главе.

Вторая глава включает в себя создание симуляционной модели. Рассматриваемый перекресток имеет сложную геометрию, и является одним из загруженных в городе Алматы. В ходе построения модели перекрестка осуществлялся сбор данных непосредственно в городе, таких как, поток машин на всем перекрестке и светофорный план со всех узлов, а так же вероятность поворота автомобилей. Были получены интервалы движения общественного транспорта, для включения их в модель.

В третьей главе описывается построение симуляционной модели в режиме реального времени (были построены различные потоки машин с учетом времени суток, полученные в ходе сбора данных). Показана пиковая загруженность перекрестка, построены графики зависимости времени суток и количества машин на всем перекрестке, которые показывают перегруженность дорог.

Следующей задачей было улучшить светофорный план в один из указанных промежутков времени. В ходе численных экспериментов был выявлен наиболее подходящий светофорный план, при котором на удалось уменьшить количество заторов на перекрестке.

Следует отметить, что в ходе выполнения работы применяются современные методы моделирования и симуляции для оценки эффективности транспортного потока. Полученные модели перекрестков в SUMO могут в дальнейшем использоваться для улучшения ситуации на данном дорожном участке, в частности могут быть использованы для оптимизации транспортных потоков.

Оценка работы

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «90%», а при успешной защите студент Асқарқызы А. заслуживает присвоения степени бакалавра по специальности 6В06103 – Математическое и компьютерное моделирование.

Рецензент

Ассоц. проф. АО КБТУ, Школа
прикладной математики,
PhD по направлению Математика
(должность, уч. степень, звание)

Л.О. Сарыбекова

« 5 » июня 2023 г.