

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Пензенский государственный университет архитектуры и строительства"
Автомобильно-дорожный институт

Кафедра "Организация и безопасность движения"

Утверждаю:

Зав. кафедрой

_____ И.Е. Ильина
(подпись, инициалы, фамилия)
" ____ " _____ 2017 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе на тему:

**«Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных
транспортных средств»**

Автор ВКР _____ М.Н. Зеленова _____
(подпись, инициалы, фамилия)

Обозначение ВКР-2069059-23.04.01-151265-17 Группа ТТП-21м

Направление 23.04.01 "Технология транспортных процессов"

Руководитель ВКР _____ А.А. Власов _____
(подпись, дата, инициалы,
фамилия)

Нормоконтроль _____ И.Е. Ильина

Пенза 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Пензенский государственный университет архитектуры и строительства"
Автомобильно-дорожный институт

Кафедра "Организация и безопасность движения"

Утверждаю:
Зав. кафедрой

_____ И.Е. Ильина
(подпись, инициалы, фамилия)

_____ _____ _____
число месяц год

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Студент Зеленова Мария Николаевна

Группа ТП-21м

Тема «Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных
транспортных средств»

утверждена приказом по Пензенскому ГУАС № 06-09-332 от 01.12.2016 г.
число месяц год

Срок представления ВКР к защите 20.06. 2017 г.

число месяц год

I. Исходные данные для ВКР

Нормативная и техническая литература в области организации движения
маршрутных транспортных средств и предоставления приоритета в проезде

II. Содержание пояснительной записки

Введение

Глава 1. Обзор методов предоставления приоритета (пассивный и активный
приоритет)

Глава 2. Разработка модели улично-дорожной сети с приоритетным
пропуском маршрутных транспортных средств

Глава 3 Проведение экспериментов с имитационной моделью

Список литературы

III. Перечень графического материала

1. Методы предоставления приоритета

2. Структура имитационной модели SUMO

3. Модель транспортной сети

4-6 Результаты имитационного моделирования

IV. График выполнения ВКР

№п/п	Наименование этапов выполнения ВКР	Срок выполнения этапа
1.	Обзор нормативной и технической литературы	03.12.2016 - 1.05.2017
2.	Проведение исследований	01.05.2017 – 10.06.2017
2.	Оформление ВКР	10.06.2017 – 18.06.2017

Дата выдачи задания _____

Научный руководитель проекта _____ А.А. Власов
подпись, дата, инициалы,
фамилия

Задание принял к исполнению _____ 11.01.2017 г. _____ М.Н. Зеленова
подпись, дата
инициалы, фамилия

Аннотация

Выпускная квалификационная работа выполнена на тему «Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств» и состоит из 52 листов пояснительной записки и 6 листов графической части.

Первая глава содержит анализ способов предоставления приоритета в проезде транспорту общего пользования. Приведены методы активного и пассивного приоритета.

Во второй главе приведены сведения об этапах создания имитационной модели для исследования пропуска маршрутных транспортных средств.

В третьей главе проведены результаты имитационного моделирования выделения полосы с вариантом организации движения без выделения приоритетных полос движения для транспорта общего пользования.

					VKP-2069059-23.04.01-151265-17			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Зав.каф</i>	Ильина И.Е.				<i>Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	Власов А.А.							
<i>Реценз.</i>								4
<i>Н. Контр.</i>	Ильина И.Е.					ПГУАС каф.ОБД гр. ТТП-21м		
<i>Студент.</i>	Зеленова М.Н.							

Оглавление

Введение.....	6
1 Обзор методов предоставления приоритета (пассивный и активный приоритет).....	7
1.1 Пассивный приоритет.....	8
1.2 Активный приоритет	11
1.3 Реализация предоставления приоритета в автоматизированных системах управления движением.....	21
2 Разработка модели улично-дорожной сети с приоритетным пропуском маршрутных транспортных средств.....	28
2.1 Модель следования за лидером	29
2.2 Описание транспортной сети.....	30
2.3 Создание транспортной сети	34
2.4 Создание транспортного спроса.....	34
3. Проведение экспериментов с имитационной моделью.....	36
Заключение	50
Список литературы	51

									Лист
									5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

Введение

Мировой опыт свидетельствует о невозможности решения транспортных проблем городов только техническими мерами, признавая необходимость комплексных градостроительных мероприятий. Важнейшими направлениями совершенствования транспортных систем городов признаны: снижение интенсивности движения автомобилей в центрах городов; приоритет транспорта общего пользования и других видов транспорта большой вместимости; политика в области организации пикирования; взаимодействие между улично-дорожной сетью и городской средой.

Предоставление приоритета городского пассажирского транспорта (ГПТ), обеспечивая сокращение времени поездки пассажиров, повышает его привлекательность, и косвенно воздействует на интенсивность движения общего транспортного потока, сокращая его объемы.

Важнейшим мероприятием, направленным на создание приоритетных условий движения для ГПТ, является предоставление приоритета на регулируемых пересечениях. Однако, в настоящее время методы предоставления приоритета в движении ГПТ на регулируемых пересечениях недостаточно распространены в городах Российской Федерации, что в значительной степени связано с отсутствием теоретических обоснований применения методов приоритетного пропуска, с несовершенством предварительной оценки основных последствий их использования. Эти обстоятельства определяют актуальность настоящего исследования.

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

1 Обзор методов предоставления приоритета (пассивный и активный приоритет)

Проблемы, с которыми сталкивается городской пассажирский транспорт (ГПТ), двигающийся в общем транспортном потоке, общеизвестны. В условиях перегруженных улиц транспортные средства городского пассажирского транспорта (ТС ГПТ) движутся с низкими скоростями, что во многом обусловлено помехами в движении со стороны прочего транспортного потока на перегонах и задержками автобусов на регулируемых перекрестках. Решение этих проблем возможно только при реализации комплекса мер, направленных на приоритетное развитие городского пассажирского транспорта и позволяющих повысить его привлекательность для всех участников дорожного движения, в том числе владельцев индивидуального транспорта. Важную часть этого комплекса составляют мероприятия, направленные на обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках. Основные методы обеспечения приоритетного пропуски ГПТ через регулируемые перекрестки можно разделить на две группы: активные и пассивные.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ВКР-2069059-23.04.01-151265-17

Лист

7

Рисунок 1 Способы организации приоритетного движения ТС ГПТ на регулируемых перекрестках

В настоящее время в основном характерно использование следующих организационно-регулирующих мероприятий по обеспечению приоритетного пропуска:

- выделение спец полос для ГПТ на перегоне в различных вариантах (с правой стороны дороги и в середине проезжей части, по ходу и против движения основного транспортного потока);
- использование реверсивных полос исключительно для ГПТ;
- выделение спец полос на коротких участках (у интенсивно используемых ОП, на подходе к регулируемым пересечениям);
- различные методы приоритетного пропуска в условиях светофорного регулирования на пересечениях.

1.1 Пассивный приоритет

Методы, относящиеся к пассивным, характеризуются отсутствием прямого воздействия со стороны общественного транспорта на работу светофорной сигнализации.

В качестве способа организации пассивного приоритета рассматривается выделение полосы для движения ТС ГПТ в зоне действия регулируемого перекрестка, разнесение стоп-линий для основного транспортного потока и потока ТС ГПТ с корректировкой режимов регулирования для первой и второй стоп линии.

На регулируемых пересечениях предоставление приоритета ГПТ сводится к организации движения на подходах, позволяющих обеспечить льготные условия маршрутным автобусам и к изменению режима регулирования на светофорном объекте. Одним из наиболее простых методов организации приоритета ГПТ является изъятие одной из полос на подходе и обустройство ее для движения общественного транспорта. Реализация этой

										Лист
										8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					

меры позволяет сформировать отдельную очередь из автобусов, изолирует их от воздействия остального трафика. В силу этого, задержка автобусов при проезде пересечения должна уменьшиться. При этом нагрузка на оставшиеся, неприоритетные полосы, увеличивается, что может привести к значительному росту задержки общего потока. Если интенсивность движения общего потока не слишком велика, то устранить этот негативный эффект можно с помощью перераспределения длительностей фаз.

Разнесение стоп линий необходимо, если крайняя правая полоса выделяется для движения автобусов, а пассажирский транспорт или его часть на перекрестке поворачивает налево. Также применение разделенной стоп-линии желательно в местах, где непосредственно за перекрестком нет остановки общественного транспорта и отсутствует приоритетная полоса. Стоп-линия для основного потока относится от перекрестка на расстояние, определяемое длиной ТС ГПТ и дистанцией, необходимой для маневра смены полосы. Разрешающий сигнал на втором светофоре включается на несколько секунд позже, чем на первом перекрестке.

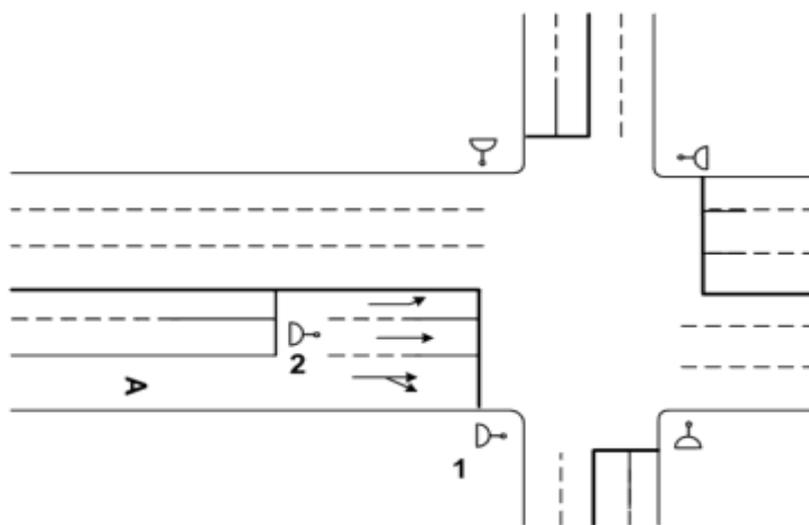


Рисунок 2 Организация приоритетного пропуска ТС ГПТ в зоне действия регулируемого перекрестка с разнесением стоп-линии корректировкой режимов регулирования на первом и втором светофорах (случай пассивного приоритета)

Queue jump – дополнительная короткая полоса на подходе к пересечению

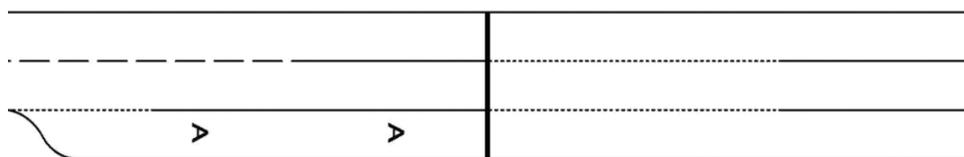


Рисунок 4 Схема подхода к пересечению с разнесенными стоп-линиями

1.2 Активный приоритет

Для реализации активного приоритета городского пассажирского транспорта необходимо специальное оборудование, в состав которого входят дорожные контроллеры, считывающие датчики (детекторы), светофорные объекты перекрестка и средства связи.

Данные с детекторов поступают по линиям связи в дорожный контроллер и там обрабатываются с помощью алгоритмов адаптивного управления фазами цикла регулирования конкретного перекрестка. Дорожный контроллер собирает информацию от детектора о текущем состоянии перекрестка, принимает решение об организации последовательности фаз цикла управления перекрестком в автономном режиме работы и управляет работой светофоров перекрестка. Адаптивные алгоритмы управления перекрестком настраиваются на конкретный перекресток с учетом геометрических особенностей местности, значения перекрестка на магистралях. Соответствующее программное обеспечение реализуется в системном блоке дорожного контроллера.

В случае приближения ТС ГПТ к перекрестку может произойти либо увеличение длительности разрешающего сигнала, либо досрочное окончание действия запрещающего сигнала – в зависимости от того, в какой момент цикла регулирования прибывает ТС к перекрестку. При отсутствии на регулируемом перекрестке пешеходного перехода минимальная длительность зеленого сигнала светофора определяется временем разъезда очереди транспортных средств, находящихся между стоп-линией и детектором транспорта. В качестве

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					

максимальной длительности зеленого сигнала принимаем увеличенное на 25% расчетное значение основного такта

При реализации приоритетного пропуски транспортных средств городского пассажирского транспорта через регулируемые перекрестки необходимо использовать такой критерий, который позволил бы однозначно оценить выигрыш от внедрения данных мероприятий как для общего транспортного потока, так и для городского пассажирского транспорта. Таким критерием является годовая стоимость задержек транспорта и пассажиров на регулируемом перекрестке (тыс. руб.).

Пути предоставления приоритета:

- увеличение продолжительности «зеленого времени», в случае прибытия автобуса к окончанию разрешающего сигнала;
- раннее включение зеленого сигнала, в случае прибытия автобуса к стоп-линии во время горения красного сигнала;
- введение специальной фазы для движения ГПТ;
- исключение сигнальных групп, для ускорения перехода в фазу с приоритетным транспортом.

Наиболее часто используются стратегии раннего включения и позднего выключения зеленого сигнала. Под «ранним зеленым» предполагается включение зеленого сигнала в фазе с приоритетным транспортным средством до его нормального начала в заданном оптимальном цикле. Этот процесс может быть реализован за счет сокращения продолжительности разрешающего сигнала в конфликтной фазе, при этом должно быть выдержано минимальное «зеленое время» и переходный интервал. Стратегию «продления зеленого» обычно применяют, когда приоритетное транспортное средство прибывает к окончанию зеленого сигнала своей фазы. В таком случае контроллер удерживает зеленый сигнал на несколько секунд и позволяет автобусу миновать зону пересечения без задержки. В последствие для фазы, в которой произошло уменьшение продолжительности зеленого сигнала, может быть

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

предусмотрена компенсация, позволяющая сократить задержки остального транспорта.

Для работы вышеописанной стратегии активного приоритета требуется установка дополнительного оборудования, в частности детектора транспорта на выделенной полосе ГПТ, специального контроллера на светофор.

Место установки детектора влияет на эффективность работы системы приоритета на пересечении. Детектор, слишком близко расположенный к пересечению, может подавать сообщение управляющему устройству позднее, чем необходимо, например, для завершения какой-либо фазы и включения раннего зеленого сигнала для автобуса. Если детектор разместить слишком далеко от пересечения, то изменения, вводимые в режим регулирования, могут быть неоправданны. Например, автобус может не успеть на продленный зеленый сигнал.



Рисунок 5 Схема установки детектора транспорта

Вместо детекторов может быть использованы возможности спутниковых систем. С помощью GPS/ГЛОНАСС – приемников, установленных на приоритетных транспортных средствах возможно определять их местоположение, направление движения, скорость и текущее время. Для уточнения данных GPS/ГЛОНАСС часто используют цифровой тахограф. Полученная информация может быть использована для подачи запроса, а также

для определения необходимости предоставления приоритета, если последний является условным.

Связь автобуса и сигнального контроллера осуществляется с помощью радиопередатчика в транспортном средстве и приемника, установленного на пересечении. Основным недостатком данного метода является наличие зон в городской застройке, где связь со спутником может прерываться, хотя и эта проблема может быть решена посредством современных технологий.

Значительное исследование было проведено, для оценки эффективности предоставления приоритета транспорту общего пользования на регулируемых пересечениях, используя компьютерные имитационные и аналитические модели. Цель этих исследований состояла в том, чтобы оценить схему приоритета до ее внедрения.

Salter и Shahi (1979) используемые компьютерные имитационные модели для оценки эффективности приоритета транспорта общего пользования (ТОП) с учетом потерь пассажиров и задержек транспортных средств, длин очереди и скорости сообщения ТОП, для всех типов автомобиля. Их цель не состояла в том, чтобы предложить технику приоритета, но показать, что предоставление приоритета для ТОП увеличило задержку индивидуальных автомобилей, уменьшая задержку ТОП. Однако, авторы не раскрывали стратегию приоритета, принятую в их исследовании.

Vincent, Cooper and Wood (1978) предложили следующие четыре стратегии управления:

- продление приоритета или продление разрешающего сигнала;
- запрос приоритета или усечение запрещающего сигнала;
- компенсация разрешающего сигнала зеленой на пересекающейся улице, если запрос приоритета происходил вне нормального максимального зеленого цвета,
- вложение запрещения запроса приоритета во время разрешающего сигнала на пересекаемой улице, после предоставленного запроса приоритета.

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

Их исследования на моделях показали, что наличие только продление приоритета дало очень ограниченные преимущества для ТОП. Объединение стратегий продления разрешающего сигнала, запросов и методов запрещения, привело к большим преимуществам для ГПТ, одновременно увеличивая потери индивидуальных пользователей. Объединение всех этих четырех способов управления произвело к меньшим преимуществам, чем со второй стратегией, но также и более низким потерям индивидуальных участников движения. Это также превосходило первую стратегию. Авторы пришли к выводу, что предоставление приоритета путем продления разрешающего сигнала обычно приводило к чистой прибыли всех пассажиров и, следовательно, необходимость в наличии функции запрещения в стратегии управления отсутствует.

Richardson and Ogden (1979) не согласился с идеей, предложенной Vincent и другими (1978) об избыточности наличия функции запрещения. Они развивали методологию оценки активной систему приоритета для ГПТ. В их системе приоритета, каждый раз, когда ГПТ получал приоритет, время, потерянное неприоритетной фазой, было добавлено к максимальному зеленому времени в следующем цикле. Когда неприоритетные фазы накопили большое количество зеленого времени, которое не возмещалось, система отказывала в предоставлении приоритетного пропуска ГПТ. Авторы заключили, что потери индивидуальных участников движения, предоставляя отзывы в последовательных циклах, перевешивали выгоду, полученную автобусами.

Courage, Wallace and Wattleworth (1977) исследовали три метода предоставления приоритета ГПТ:

- использование реверсивный полоса движения для предоставления приоритета ГПТ;
- приоритет, использующий сигналы светофора,
- систему координированного регулирования.

В работе исследовалось использование реверсивной полосы как выделенной полосы для ГПТ во время пиковых периодов и как дополнительная полоса для левого поворота во время непикувых периодов.

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

Во втором методе предусматривалось предоставление приоритета за счет использования приоритетной фазы, длительность которой ограничена максимальным значением 120 секунд. В конце приоритетной фазы, разрешающий сигнал включается на конфликтном направлении.

В третьем методе предоставления приоритета сигналы светофоров были скоординированы, для обеспечения прогрессии для наиболее загруженного направления. В исследовании предполагалось, что указанное направление также было направлением движения автобуса.

Указанные методы объединялись в различных комбинациях. Было установлено, что приоритет не уменьшал время разрешающего сигнала пересекаемого направления. При отсутствии запросов на приоритет время разрешающего сигнала для пересекаемого направления составляло около 48.5%. Для комбинации первого и второго метода, время разрешающего сигнала увеличилось до 53.5 %. Это происходило в результате проезда ГПТ пересечения, разрешающий сигнал автоматически включался на пересекаемой улице. Для комбинации первого и третьего метода и комбинации всех трех методов, разрешающий сигнал для пересекаемой улицы уменьшился примерно до 20 % из-за ограничений, связанных с координацией.

Seward и Taube (1977) провели оценку автобусо-зависимой (*bus-actuated*) системы приоритета, основанной на отношении дохода/стоимость. Предложенная система состояла из трех основных компонентов:

- время обнаружения ГПТ;
- ожидаемое время прибытия автобуса в пересечении;
- удовлетворение ограничений минимального и максимального разрешенного сигнала.

Если автобус прибывал в конце разрешающей фазы, то производилось продление разрешающего сигнала, при условии соблюдения ограничений на время максимального разрешающего сигнала. Если автобус прибывал в начале красной фазы, то включение разрешающего сигнала производилось при выполнении условия минимальной длительности разрешающего сигнала на

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					

предоставлялся, только если приоритет не был предоставлен в предыдущем цикле, как рекомендовано Richardson и Ogden (1979). Это было сделано с целью восстановления состояния каждого транспортного потока к уровню, который существовал до предоставления приоритета.

Garrow и Machemehl (1998) исследовали эффективность предоставления приоритета на Острове Гваделупа - N. Lamar в Остине, Техас, и предложили принципы для его использования. Они использовали TRAF-NETSIM как инструмент оценки. Во время непиковых периодов они исследовали эффект уменьшенных длин цикла и распределения длительности фаз в пересечениях с локальным регулированием, и абсолютный приоритете при обслуживании специальных автомобилей. Исследования на моделях показали, что сокращение длин цикла было выгодно для автобусов, поскольку оно уменьшало их среднее время прохождения. Кроме того, короткие длительности цикла задерживали индивидуальный автотранспорт на пересекаемой дороге. Разбиение фаз не уменьшало время прохождения автобусов, и при этом на пересекаемых улицах изменения не наблюдались. Их исследования показали, что абсолютный приоритет был самым эффективным, когда уровень насыщенности пересекающихся улиц был менее 0.25. Это происходило, потому что выбор продолжительности сигнала обеспечивал проезд ГПТ, без запроса абсолютного приоритета. Авторы также отметили, что, когда метод абсолютного приоритета использовалась с экспрессным характером движения ГПТ, негативное воздействие на пересекаемые улицы было минимально, так как при подобном режиме ГПТ использует большие перегоны, чем местные автобусные линии, приводящие к меньшему количеству запросов приоритета.

Во время пиковых периодов авторы исследовали эффект приоритета транзита в изолированном пересечении и в пределах артериальной сети. Для изолированных пересечений они нашли, что полное время прохождения на человека было ниже при продлении разрешающего сигнала на 10 - 20 секунд. Они также заметили, что автобусные остановки, расположенные перед пересечением менее выгодны для предоставления приоритета, чем

					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

TRANSYT-7F, назначая фактор загрузки ноль для связей индивидуальных автомобилей и максимальный фактор надбавки 10000 для автобусных связей.

Установки сигнала для остальной части пересечений были фиксированы. Тесты показали сокращение задержек и остановок для автобусов и повышение их скорости сообщения. Однако, это вызвало чрезмерные очереди на пересекаемых улицах, приводящих к увеличенным задержкам. Кроме того, хотя автобусная прогрессия была одним из критериев в разработке стратегии, она не наблюдалось. Автобусы, которым предоставили приоритет в одном пересечении, присоединились к концу очереди в расположенном по ходу движения пересечении.

1.3 Реализация предоставления приоритета в автоматизированных системах управления движением

Имеется несколько стратегий приоритета ГПТ, которые были введены в пределах существующих систем управления светофорными объектами, таких как UTCS/BPS (MacGowan, и Fullerton, 1979) [2], SCRAM (Cornwell, 1986) [3], PROLYN (Henry и другие, 1983) [4], UTOPIA (Mauro и Таранто, 1989) [5], SCOOT (Hounsell и другие, 1999) [6] и система, предложенная McGinley и Stolz (1985) [7]. Стратегии приоритета ГПТ разработаны, чтобы увеличить пассажирскую пропускную способность так же уменьшения задержки, и таким образом увеличивая эффективность системы управления движением. Однако, вместо того, чтобы оценить последствия предоставления приоритета для индивидуальных водителей, некоторые из систем приоритета предоставили абсолютный приоритет ГПТ, при использовании предуказанных стратегий, таких как продление фазы, прерывание фазы, специальная фаза для ГПТ, и прерывание запрещающей фазы.

Signal Coordination of Regional Areas in Melbourne (SCRAM; Cornwell, 1986) [8], и система приоритета трамвая, предложенная McGinley и Stolz (1985) [9], была двумя главными проектами по координации сигналов и введения

									Лист
									21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ВКР-2069059-23.04.01-151265-17

приоритета для трамвая на пересечениях в Мельбурне, Австралия. SCRAM использовал расширенную версию SCATS. В SCRAM приоритет для трамвая предоставлялся на основании двух методов - пассивного и активного приоритета. Пассивный приоритет использовал исторические данные по движению трамвая. Приоритет предоставлялся с использованием таких стратегий, как:

- уменьшение времени цикла;
- смещение разрешающегося сигнала к моменту подхода трамвая;
- выделение специальной фазы смещающейся к движению трамвая и связанной с его прогрессией;
- путем установки сдвига, использующего более низкую скорость сообщения.

Активный приоритет предоставляется при обнаружении трамвая. SCRAM мог обеспечить приоритет в любой момент в цикле регулирования.

Целью UTCS/BPS (MacGowan и Fullerton, 1979) [10] являлось приоритетный пропуск ТОП в пересечении, не вызывая задержку потока на пересекаемой улице. Однако, их подход был очень консервативен, чтобы привести к существенному сокращению задержки для ГПТ. Использовалась стратегия предоставления приоритета, такие как продление разрешающего сигнала или завершение красной фазы. Если автобус приблизился во время красной фазы, то обеспечивается минимальный зеленый сигнал на пересекаемой улице. Если ГПТ прибыл во время конца зеленой фазы, то разрешающий сигнал продлялся на время, пока ТОП не покидал пересечение.

В вышеупомянутых системах приоритет был предоставлен с ограничениями только на минимальную и максимальную продолжительность разрешающего сигнала, не рассматривая эффекта предоставления приоритета на других водителях. В отличие от указанных систем приоритета PRODYN, UTOPIA и SCOOT перед предоставлением приоритета оценивают воздействие на остальной поток ГПТ.

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ВКР-2069059-23.04.01-151265-17

потраченного индивидуальными автомобилями в пределах области. Система UTOPIA была реализована в Турине, Италия.

Система SCOOT (Bowen и др., 1994; Hounsell и др., 1996) [13], предоставляет приоритет ГПТ, основываясь на определенной пользователем степени насыщенности пересечения, с целью избежать чрезмерных задержек на не приоритетных направлениях. SCOOT не предсказывал время прибытия автобуса; вместо этого, автобус конкурировал за приоритет только после того, как это покинул автобусную остановку. Предоставление приоритета осуществлялось только для автобусов, которые отставали от расписания движения в форме продлений или прерывания фаз. Когда автобус прибывал в конце разрешающего сигнала, текущая фаза продлялась сверх номинальной длительности, что позволяло автобусу покинуть стоп – линию. Продление фазы осуществлялось при условии, что степень насыщенности в пересечении ниже порогового значения. Когда автобус прибыл на запрещающий сигнал, разрешающий сигнал включается, если степень насыщенности была ниже установленного порога для пересечения. Полевые оценки показали, что происходит снижение задержки ГПТ на 5 - 10 секунд без увеличения задержки остальной части потока.

Yagar и Han (1993, 1994) [14, 15] предложили процедуру Signal Priority Procedure for Optimization in Real-Time (SPPORT), для того, чтобы определить сигнальные планы в реальном времени, которые рассматривали пропуск транзита на основе задержки всех пассажиров. Это - ациклическая модель предоставления приоритета, использующая базу правил (*rule-based*) процесса оптимизации для генерации кандидата сигнального плана для различных уровней приоритета. Решение предоставления приоритет решается путем вычисления непосредственной выгоды и будущей выгоды для каждой фазы. Непосредственная выгода определена как сумма приоритетов всех активных запросов, которые будут поданы, переключаясь на запрашиваемую фазу. Будущая стоимость была определена как сумма всех приоритетов всех неактивных запросов, для которых обслуживание будет отсрочено при

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

переключении на выбранную фазу с условием соблюдения ограничений минимальных зеленых и переходных интервалов.

Последовательность фаз определяется на основе индекса работы, который является полной задержкой пассажиров в течение анализируемого периода. Период анализа определен как период времени, для которого доступна прогнозируемая информация о потоке. Выбирается тот сигнальный план, который приведет к наименьшему количеству задержки.

Эксперименты показали, что SPPORT предоставлял приоритет в проезде с минимальным воздействием на поток индивидуальных автомобилей. Однако авторы не рассматривали ситуацию преждевременного прибытия м. Автобус, который появляется раньше срока, не имеет гарантированного приоритета над другими автомобилями. Кроме того, если велико отставание от расписания, то и весовой фактор для ГПТ должен быть высоким. Следовательно, указанные факторы также необходимо учитывать в модели задержки для получения оптимального сигнального плана.

Chang, Vasudevan и Su (1995) исследовали преимущества объединения предоставления приоритета с адаптивным управлением для изолированных пересечений. Подобно SPPORT, их модель оценила эффект предоставления приоритета ГПТ на других участников движения. Решение предоставить приоритет принималось ежесекундно, основываясь на индексе работы – взвешенной комбинации задержки пассажиров, транспортных средств и отставания автобуса от расписания. Целевая функция оценивалась для каждого возможного состояния сигналов, и самое выгодное решение выбиралось как оптимальное. При этом накладывались ограничения на минимальное время разрешающего сигнала для каждой фазы для обеспечения безопасности движения и для того, чтобы обеспечить разгрузку усредненной очереди. Нужно отметить, что в отличие от других стратегий предоставления приоритета, данное исследование рассматривало эффект на соблюдение расписание движения ГПТ. Однако, нахождение сигнального плана производилось на

										Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					

основе работы системы в течение нескольких секунд, не учитывая будущих последствий.

Duerr, 2000; Valke и др., 2000 рассматривали приоритет ГПТ приоритет на магистральных сетях. Они исследовали возможность минимизации воздействия на координацию работы светофоров при предоставлении приоритета. Valke и др. (2000) предложил метод, который предоставлял приоритет в движении ГПТ, не нарушая координацию сигналов светофоров вдоль магистрального направления. Цель проекта состояла в том, чтобы, не разрушая прогрессию, обеспечить приоритет за счет смены последовательности и продолжительности некоординированных фаз. Приоритет предоставлялся только тем автобусам, которые испытывали в нем потребность на основе определенных пользователем критериев. Система включала четыре модуля:

- 1) модуль предсказания времени прибытия;
- 2) модуль оценки приоритета;
- 3) модуль выбора стратегии;
- 4) модуль выполнения стратегии.

Модуль предсказания времени прибытия, используя данные GPS и статистическую информацию, определял время прибытия автобуса к автобусной остановке, время стоянки автобуса и время прибытия к стопе - линии. В модуле оценки приоритета выполнялась оценка, был ли автобус кандидатом на обработку приоритета или нет. В исследовании в этот критерий входило соблюдение расписания движения. Когда автобус отстает от расписания на 5 минут, он генерировал запрос для обработки приоритета. Другим автобусам приоритет не предоставлялся.

В модуле выбора стратегии выполнялся выбор способа предоставления приоритета – продление фазы, прерывание фазы или вызов отдельной фазы ГПТ. Критерием выбора стратегии было то, что ни одна из фаз в рассчитанном плане не будет пропущена и каждая фаза, если была активизирована, имела хотя бы минимальную длительность. Как только стратегия выбрана, она исполнялась в модуле выполнения стратегий.

										Лист
										26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ВКР-2069059-23.04.01-151265-17

Эксперименты показали, что наблюдалось минимальное увеличение полной задержки системы, при загруженности сети менее 0.95. Пересекаемые улицы испытали существенное увеличение задержек, что ожидаемо, так как данный метод не оценивал воздействие на индивидуальный автотранспорт при предоставлении приоритета ГПТ.

Duerr (2000) предложил систему предоставления приоритета для ГПТ под названием DARVIN для улучшения прогрессии ГПТ в смешанном потоке, оптимизируя полную работу сети. Основные цели системы состояли в том, чтобы уменьшить время прохождения для приоритетных автомобилей, повысить точность соблюдения графика движения и минимизировать воздействие на общий транспортный поток.

DARVIN использовала микроскопическую модель транспортного потока и генетический алгоритм для оптимизации сигнальных планов, минимизирующий взвешенную комбинацию задержек и остановок. Эксперименты показали, что DARVIN позволяет существенно сократить полные задержки пассажиров.

									Лист
									27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

2 Разработка модели улично-дорожной сети с приоритетным пропуском маршрутных транспортных средств

Для выполнения моделирования принято решение использовать программу SUMO

«Simulation of Urban MObility» (SUMO) программа микроскопического моделирования дорожного движения с открытым кодом (лицензия GPL), разработанная в Институте транспортных систем немецкого аэрокосмического центра. Основной задачей разработки программы стала поддержка сообщества исследователей транспортного

потока инструментом, в котором могли бы реализовать и провести оценку собственные алгоритмов. Основное назначение программы состоит в оценке методов организации дорожного движения, таких как новые системы управления светофорными объектами или новые подходы к управлению транспортными потоками.

SUMO включает среду моделирования и пакет программ, необходимых для подготовки модели. Самые первые версии программы были разработаны с управлением из командной строки - первоначально отсутствовал какой-либо графический интерфейс и все параметры должны были устанавливаться вручную. Это должно было увеличить скорость моделирования за счет отказа от медленного процесса визуализации. Позже была добавлена графическая среда для визуализации процесса моделирования.

SUMO является уникальной программой по скорости выполнения и возможностям управления процессом моделирования, однако управление из командной строки делает использование SUMO несколько неудобным по сравнению с другими пакетами моделирования.

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					

2.1 Модель следования за лидером

Модель С. Краусса основана на наличии безопасного интервала между ведомым транспортным средством и лидером, необходимым для безопасной остановки. Используя приближенную формулу для тормозного пути $d(v) = v^2 / (2b)$, учитывая максимальное замедление взаимодействующих транспортных средств (предполагается, что замедления равны) и время реакции водителя ведомого автомобиля, можно получить следующую зависимость для определения безопасной скорости.

$$v_{safe}(t) = -\tau \cdot b + \sqrt{(\tau \cdot b)^2 + v_{leader}(t-1)^2 + 2 \cdot b \cdot g_{leader}(t-1)}, \quad (1)$$

где $v_{safe}(t)$ – безопасная скорость в момент времени t (м/с); τ – время реакции водителя ведомого автомобиля (с); b – максимальное замедление (м/с²); $v_{leader}(t)$ – скорость лидера во время t (м/с); $g_{leader}(t)$ – дистанция между передней частью ведомого автомобиля и задним бампером лидера во время t (м).

Модель учитывает расстояние до лидера, его скорость и гарантирует движение без столкновения. Для того, чтобы гарантировать адекватные значения ускорения и скорости необходимо наложить ограничения на значения «желаемой» скорости:

$$v_{des}(t) = \min\{v_{safe}(t), v(t-1) + a, v_{max}\}, \quad (2)$$

где $v_{des}(t)$ – желаемая скорость (м/с); $v(t)$ – текущая скорость (м/с); a – максимальное ускорение (м/с²); v_{max} – максимальная скорость автомобиля, м/с.

Одним из основных преимуществ модели Краусса является предположение, что водитель не собирается развивать желаемую скорость. Фактическая скорость на самом деле несколько меньше желаемой, что повышает качество модели. Например, случайное отличие от желаемой (оптимальной) скорости приводит к спонтанному образованию заторов и медленному старту автомобилей, характерному для реальных водителей.

					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Модель реализует эту особенность поведения водителей стохастическим замедлением. Для этого на очередном шаге моделирования скорость транспортного средства вычисляется как:

$$v(t) = \max\{0, v_{des}(t) - r \cdot a \cdot \varepsilon\}, \quad (3)$$

где r – случайное число между 0 и 1; ε – индивидуальность (несовершенство) водителя автомобиля, принимающее значение между 0 и 1; $v(t)$ – конечная (финальная) скорость автомобиля в момент времени t , м/с.

При разработке программы SUMO в исходную модель Краусса были внесены два изменения. Первое заключается в использовании линейной функции ускорения, обеспечивающей его уменьшение с ростом скорости:

$$a(v) = a \left(1 - \frac{v}{v_{max}} \right). \quad (4)$$

Второе изменение заключается в уменьшении индивидуальности (несовершенства) водителей при разгоне на малых скоростях:

$$v(t) = \max\{0, v_{dawdle, new}(t)\}, \quad (5)$$

где

$$v_{dawdle, new}(t) = \begin{cases} v_{des}(t) \cdot \varepsilon \cdot r & \text{если } v_{des}(t) < a(v_{des}(t)) \\ v_{vech}(t) - \varepsilon \cdot r \cdot a(v_{des}(t)) & \text{иначе} \end{cases}. \quad (6)$$

Модель Краусса оказалась достаточно быстрой в исполнении вследствие малого количества вычислений, и достаточно реалистичной в сравнении с другими моделями.

2.2 Описание транспортной сети

В программе SUMO описание модели хранится в файле с расширением *.sumocfg. Фактически он представляет собой структурированный текстовый документ в формате xml, который может быть открыт и отредактирован в любом текстовом редакторе.

Рассмотрим структуру модели SUMO

```
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
```

										Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

2.3 Создание транспортной сети

В грубом приближении дорожные сети SUMO - направленные графы, «узлы» (nodes) которого представляют пересечения (intersections/junctions), а «связи» (edges) – перегоны улиц или автомобильных дорог.

SUMO использует собственное описание транспортной сети в формате xml. Несмотря на удобочитаемость, дорожные сети SUMO не предназначены для редактирования вручную. Они должны быть построены путем преобразования существующих картографических данных, используя программу NETCONVERT или сгенерированы программой NETGENERATE.

Программа netgenerate позволяет создавать генерировать абстрактные транспортные сети. Они могут быть полезны при исследовании стратегий реландшафтизации, управления светофорной сигнализацией т.д. Для создания моделей реальных транспортных сетей необходимо использовать программу NETCONVERT. С ее помощью можно импортировать транспортные сети из нескольких источников, среди них VISUM, shp - файлы (shape files) и базы данных OSM (Open Street Map). Небольшие сети можно создать вручную, задавая описание узлов и связей сети в xml-файлах.

Сети SUMO используют декартовские координаты, где крайний левый узел имеет координату $x=0$, и узел расположенный ниже всех $y=0$. Это означает, что при импорте NETCONVERT преобразует исходную проекцию дорожной сети в прямоугольную.

2.4 Создание транспортного спроса

Программа SUMO не генерирует транспортный спрос в процессе моделирования, а использует заранее сгенерированный и сохраненный в файле с расширением *.rou.xml. Такой подход имеет как минимум два существенных преимущества:

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

- позволяет повысить скорость моделирования;
- дает возможность сравнить различные системы управления или схемы организации движения при одинаковом транспортном спросе.

К недостаткам такого подхода следует отнести невозможность динамически изменять маршруты движения транспортных средств в процессе моделирования, однако данная проблема может быть успешно решена при помощи модуля TraCI.

					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

3. Проведение экспериментов с имитационной моделью

Эксперименты предполагали создание различных условий для движения индивидуального транспорта и маршрутных транспортных средств. При проведении исследования интенсивность движения индивидуального транспорта задавалась следующим образом:

- интенсивность движения по вертикальным улицам была фиксированной и составляла 600 авт/ч;
- по горизонтальной улице на входах в сеть интенсивность устанавливалась равной 1200 авт/ч (свободные условия движения), 1600 авт/ч (умеренные условия) и 2100 авт/ч (сложные условия движения).

Доля поворотных потоков была фиксированной и составляла:

- 10% для левоповоротного потока;
- 80% для потока прямого движения;
- 10% для правоповоротного потока.

Интенсивность движения транспортных средств общего пользования составляла 60 и 130 ед/ч.

При проведении исследований на имитационной модели использовалась полнофакторная модель проведения экспериментальных исследований.

Для выполнения сценариев моделирования были созданы два файла конфигурации:

- config.sumocfg для моделирования эталонных условий движения;
- busses.sumocfg для моделирования выделения полосы для приоритетного движения маршрутных транспортных средств.

Текст файлов конфигурации приведен ниже.

config.sumocfg

<configuration >

<input>

<net-file value="net_bus.net.xml"/>

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

```
<route-files value="routes.rou.xml"/>
<additional-files value="bus_stop.add.xml, bus.add.xml,
bus2.add.xml, out_bus.add.xml"/>
```

```
</input>
```

```
<time>
```

```
<begin value="0"/>
```

```
<end value="3600"/>
```

```
</time>
```

```
<output>
```

```
<vehroute-output value="vehroutes_bus.xml"/>
```

```
</output>
```

```
<report>
```

```
<xml-validation value="never"/>
```

```
<duration-log.disable value="true"/>
```

```
<no-step-log value="true"/>
```

```
</report>
```

```
</configuration>
```

busses.sumocfg

```
<configuration >
```

```
<input>
```

```
<net-file value="net.net.xml"/>
```

```
<route-files value="routes.rou.xml"/>
```

```
<additional-files value="bus_stop.add.xml, bus.add.xml,
bus2.add.xml, out.add.xml"/>
```

```
</input>
```

					BKP-2069059-23.04.01-151265-17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

```

<time>
  <begin value="0"/>
  <end value="3600"/>
</time>

<output>
  <vehroute-output value="vehroutes.xml"/>
</output>

<report>
  <xml-validation value="never"/>
  <duration-log.disable value="true"/>
  <no-step-log value="true"/>
</report>

</configuration>

```

Отчет о результатах моделирования составлялся в дух форм. В форме усреднённых (агрегированных) данных по полосам движения и в форме данных о маршруте движения отдельных транспортных средств.

Задание в файле конфигурации необходимости сохранения данных о маршруте движения отдельных транспортных средств формируется конструкцией:

```

<output>
  <vehroute-output value="имя файла для сохранения"/>
</output>

```

Необходимость сохранения агрегированной информации прописывается в файле дополнений out.add.xml, имеющем следующее содержание:

```
<additional>
```

						Лист
					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17	38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

<laneData

id="dump_300"

freq="300"

file="aggregated_lane_300.xml"/>

</additional>

В данном случае агрегированные данные с периодом 300 с сохранялись в файле ="aggregated_lane_300.xml".

Ниже на рисунках 3.1 – ... в графической форме приведены результаты имитационного моделирования.

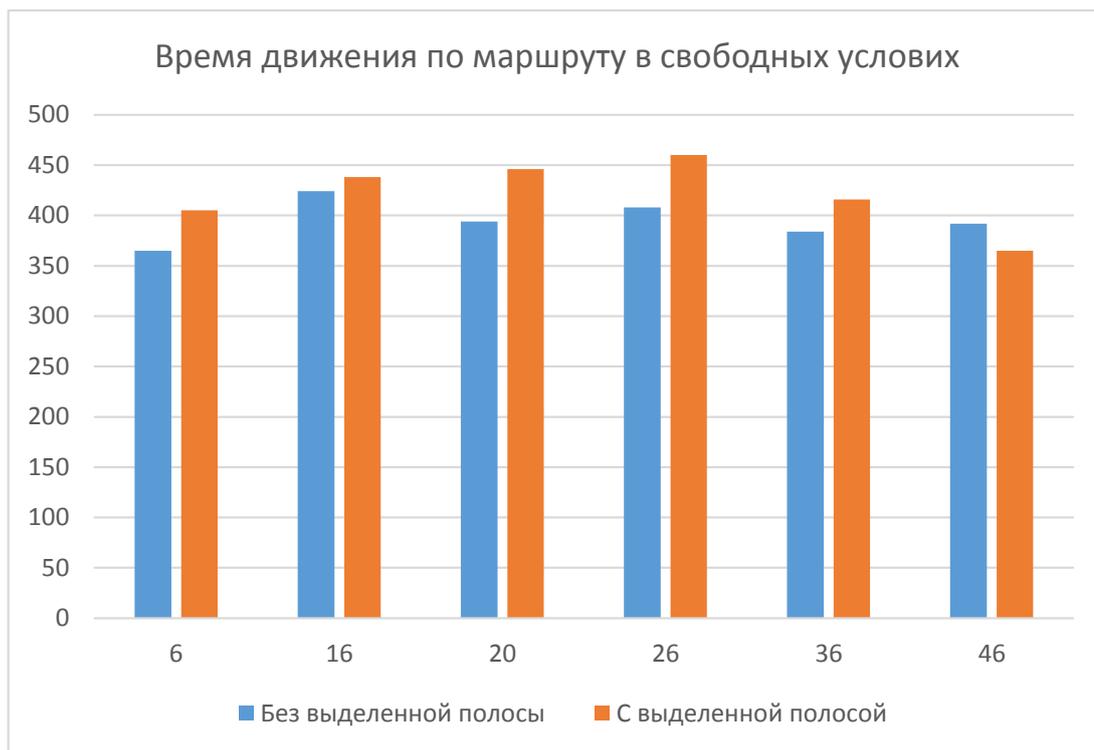


Рисунок 3.1 – Время движения отдельных транспортных единиц в свободных условиях при интенсивности МТС 60 ед/ч.

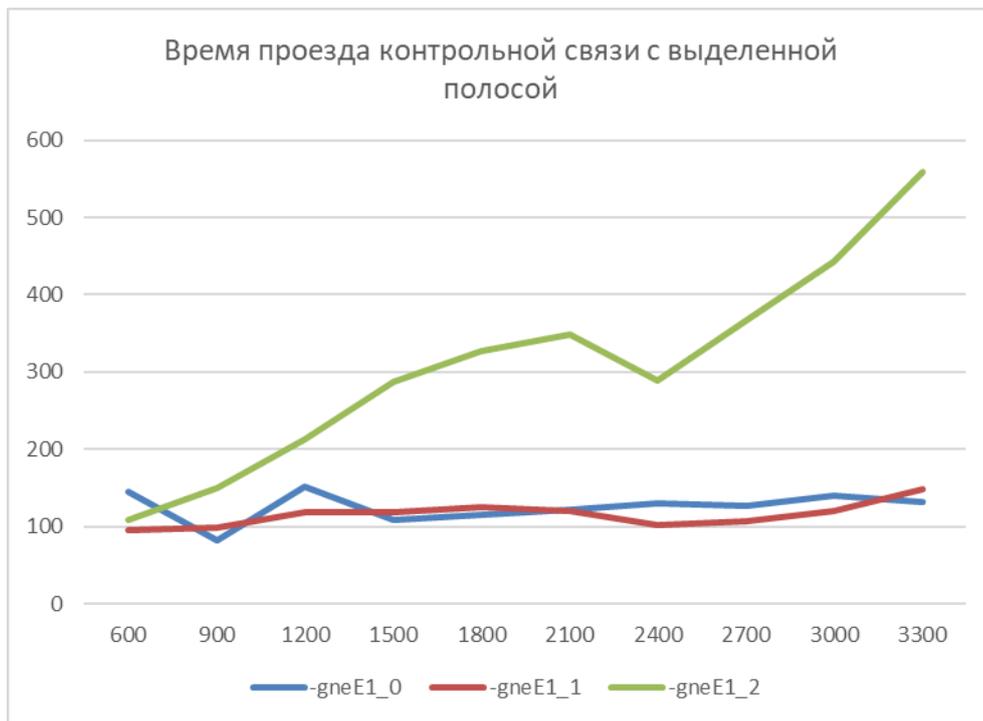


Рисунок 3.2 - Время проезда контрольной связи в свободных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 60 ед/ч.

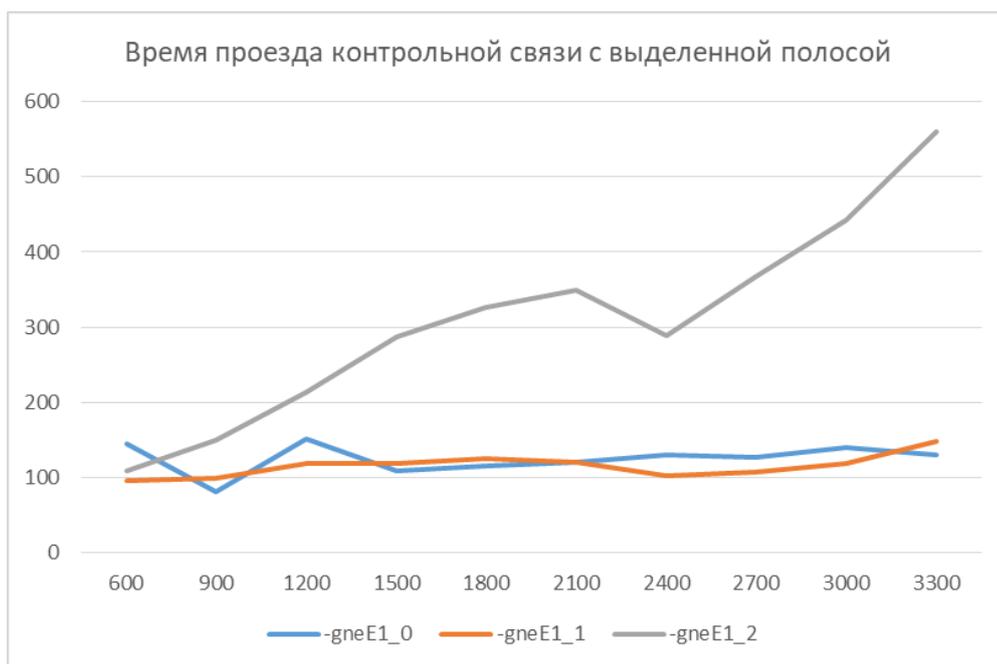


Рисунок 3.3 - Время проезда контрольной связи в свободных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 60 ед/ч.

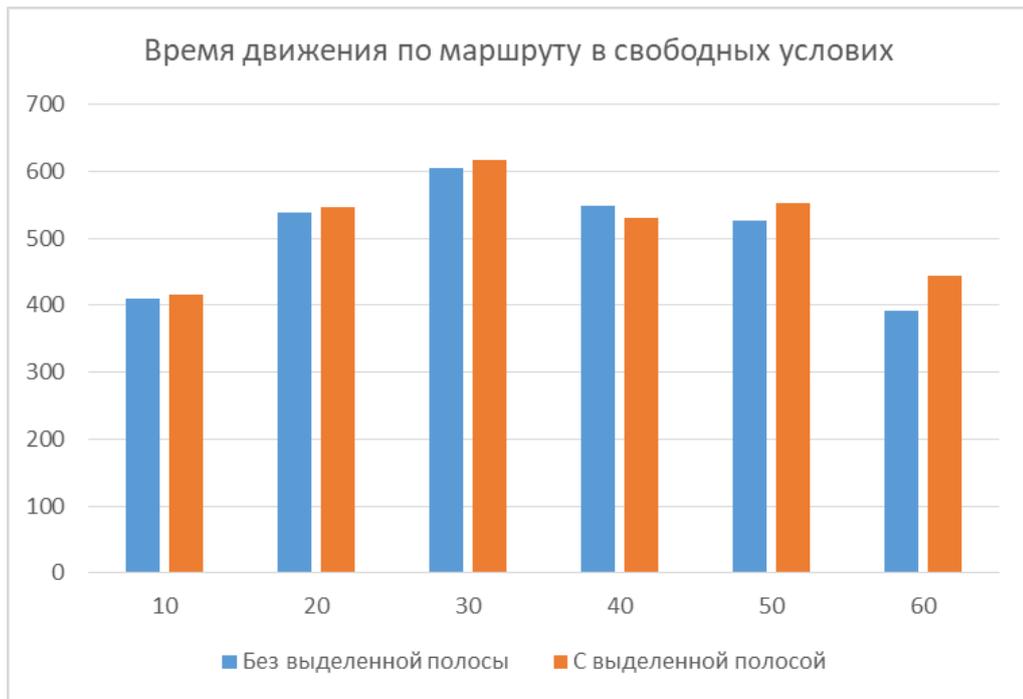


Рисунок 3.4 - Время движения отдельных транспортных единиц в свободных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч

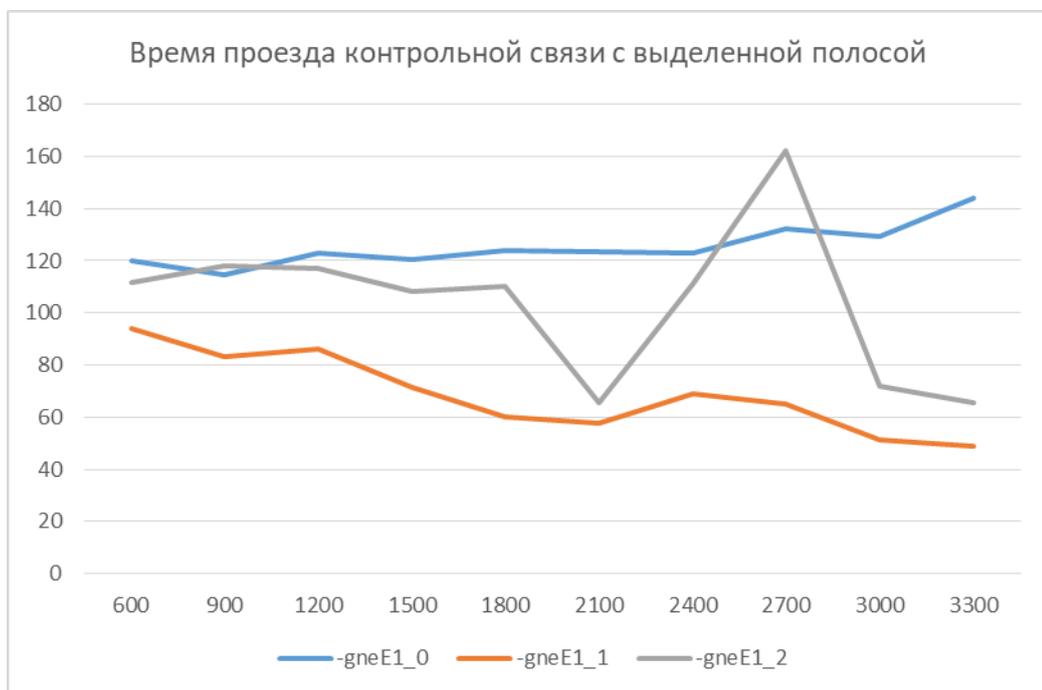


Рисунок 3.5 - Время проезда контрольной связи в свободных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч

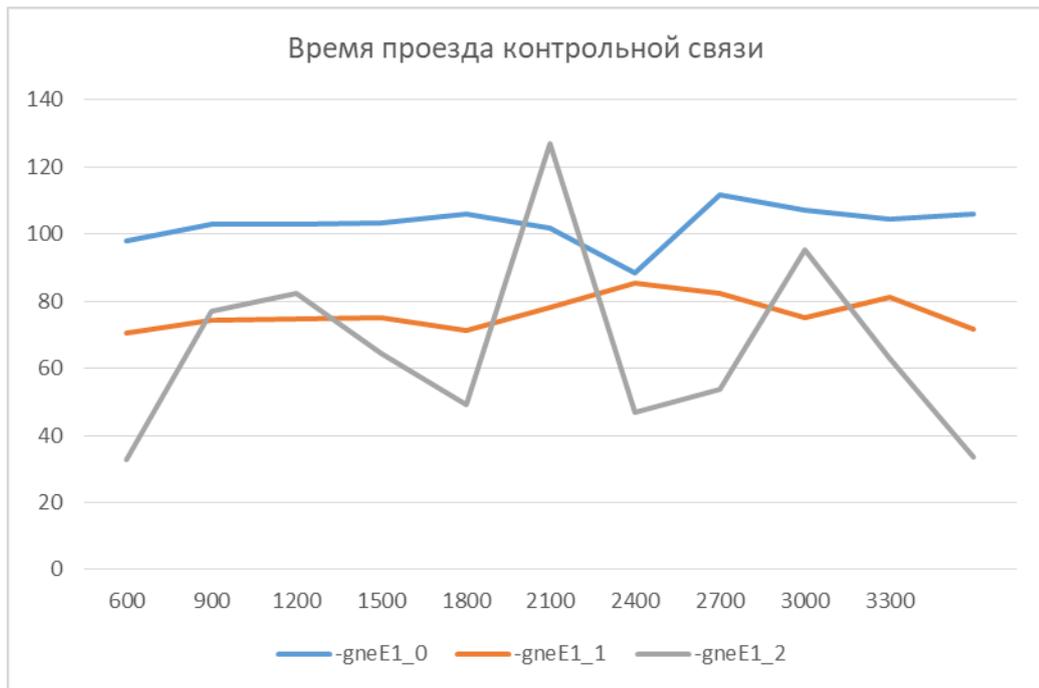


Рисунок 3.6 - Время проезда контрольной связи в свободных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч

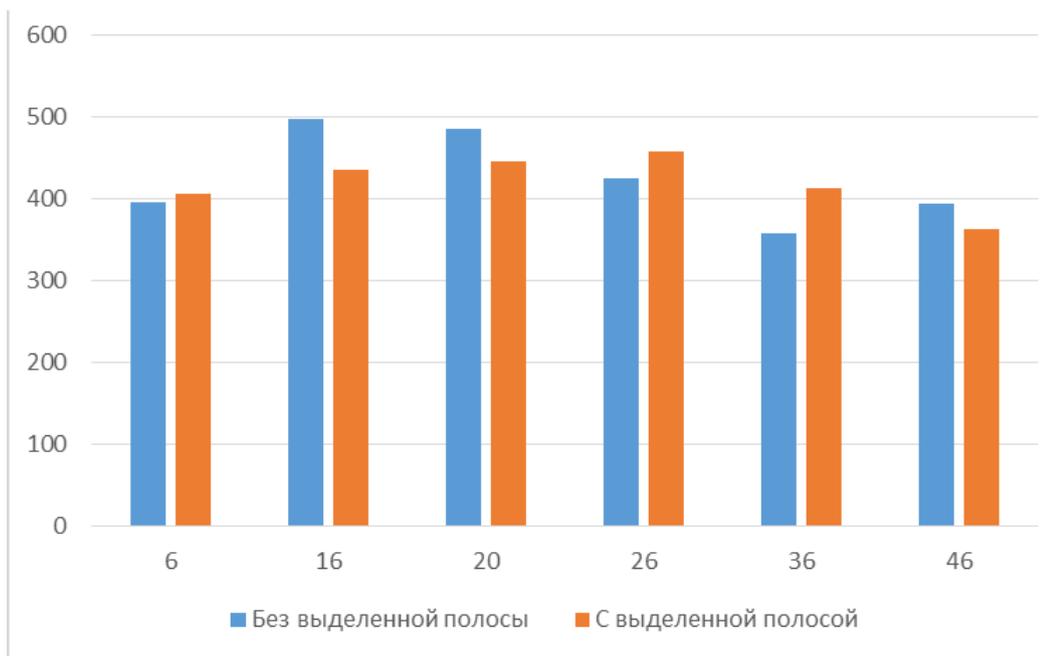


Рисунок 3.7 – Время движения отдельных транспортных единиц в нормальных условиях при интенсивности МТС 60 ед/ч.

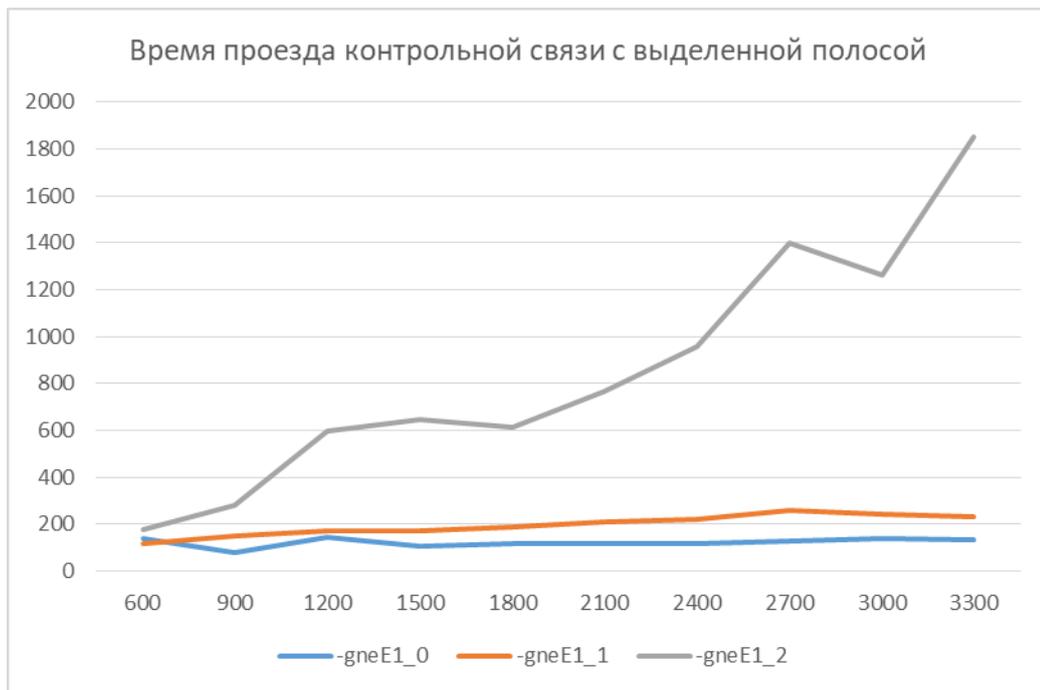


Рисунок 3.8 - Время проезда контрольной связи в нормальных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 60 ед/ч.

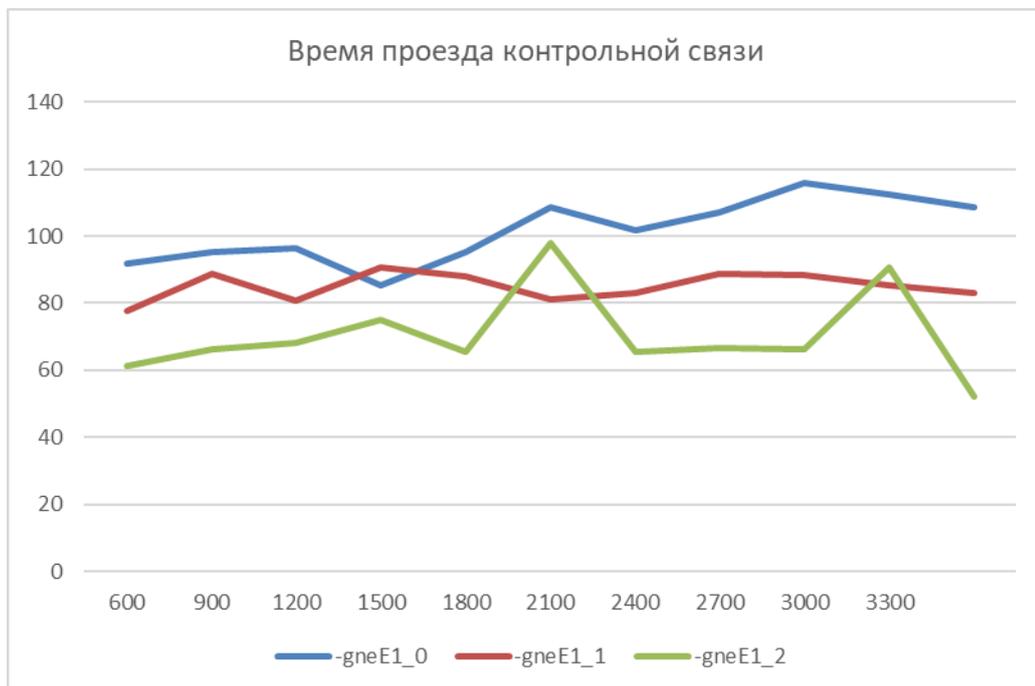


Рисунок 3.9 - Время проезда контрольной связи в нормальных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС в нормальных условиях 60 ед/ч.

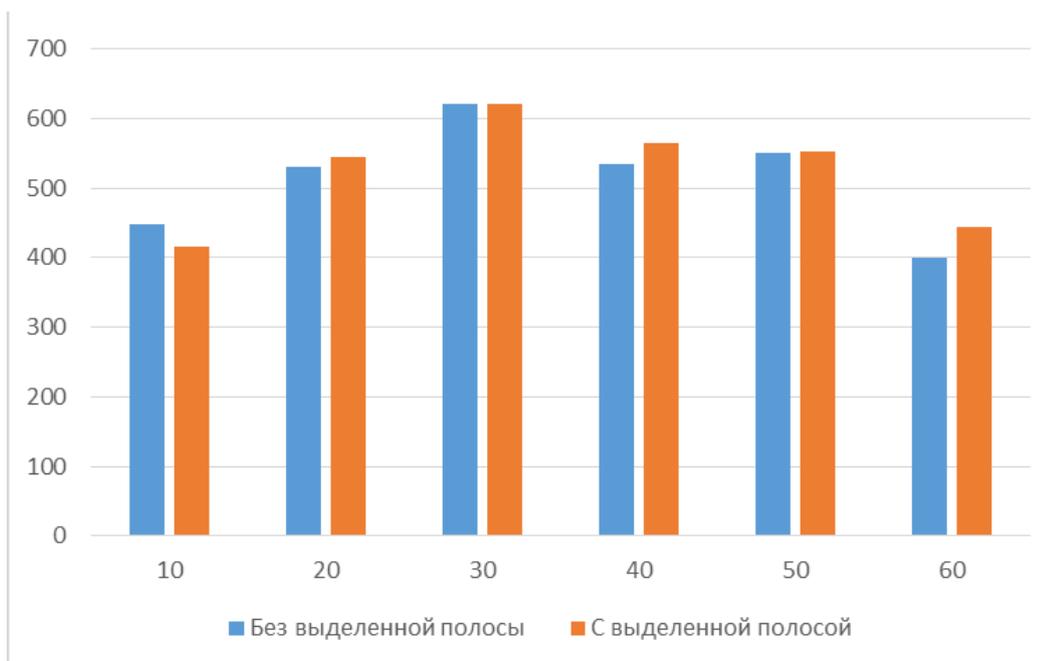


Рисунок 3.10 - Время движения отдельных транспортных единиц в нормальных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч

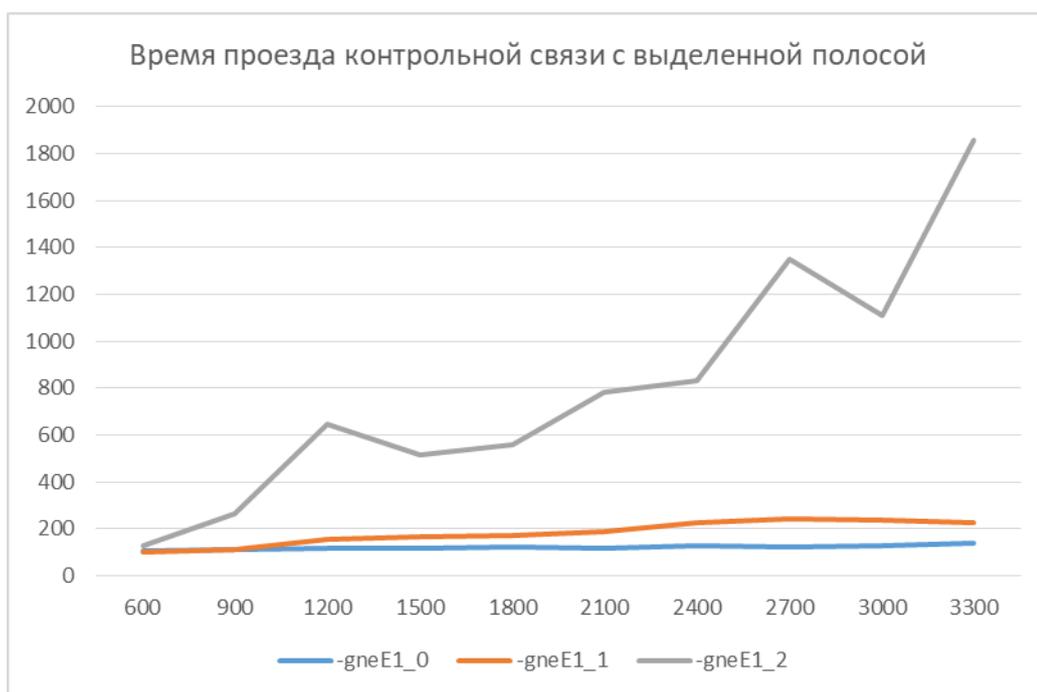


Рисунок 3.11 - Время проезда контрольной связи в нормальных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч

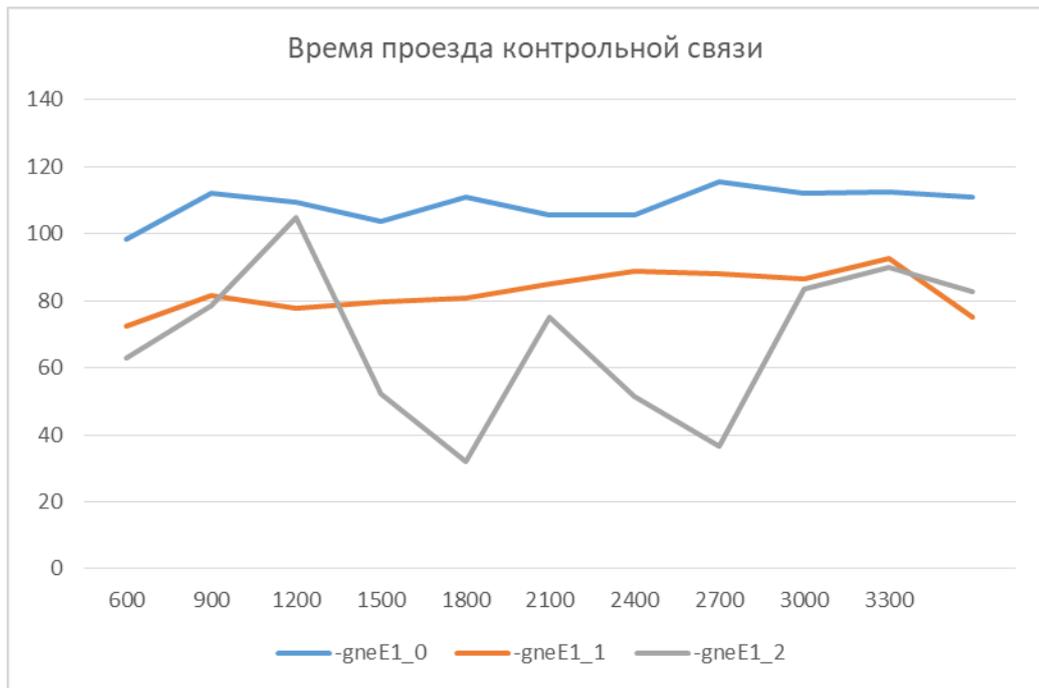


Рисунок 3.12 - Время проезда контрольной связи в нормальных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч

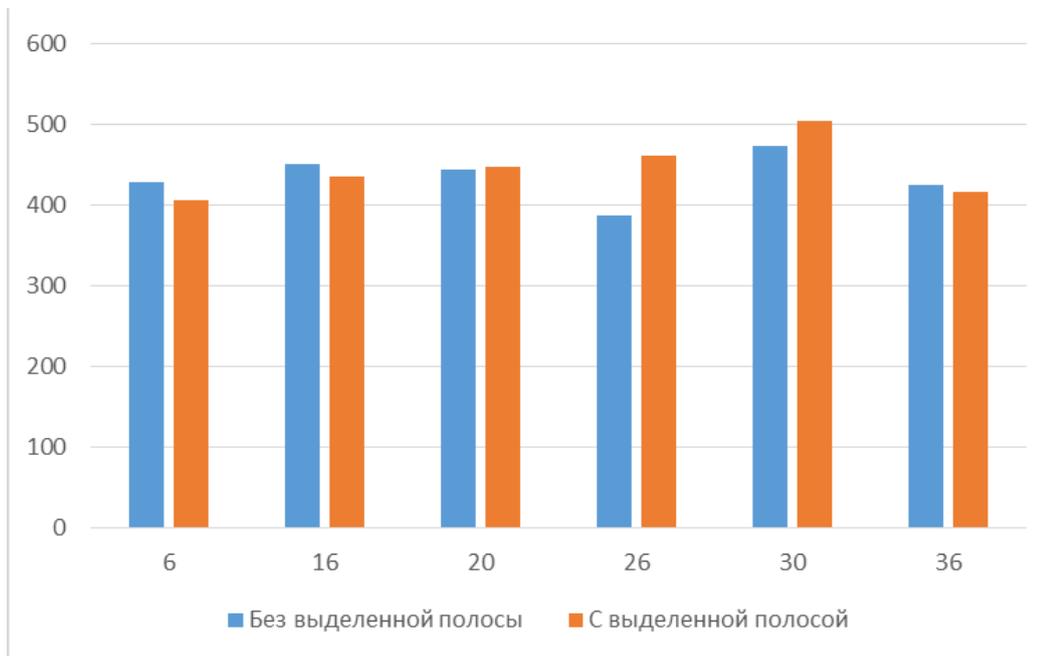


Рисунок 3.13 – Время движения отдельных транспортных единиц в насыщенных условиях при интенсивности МТС 60 ед/ч.

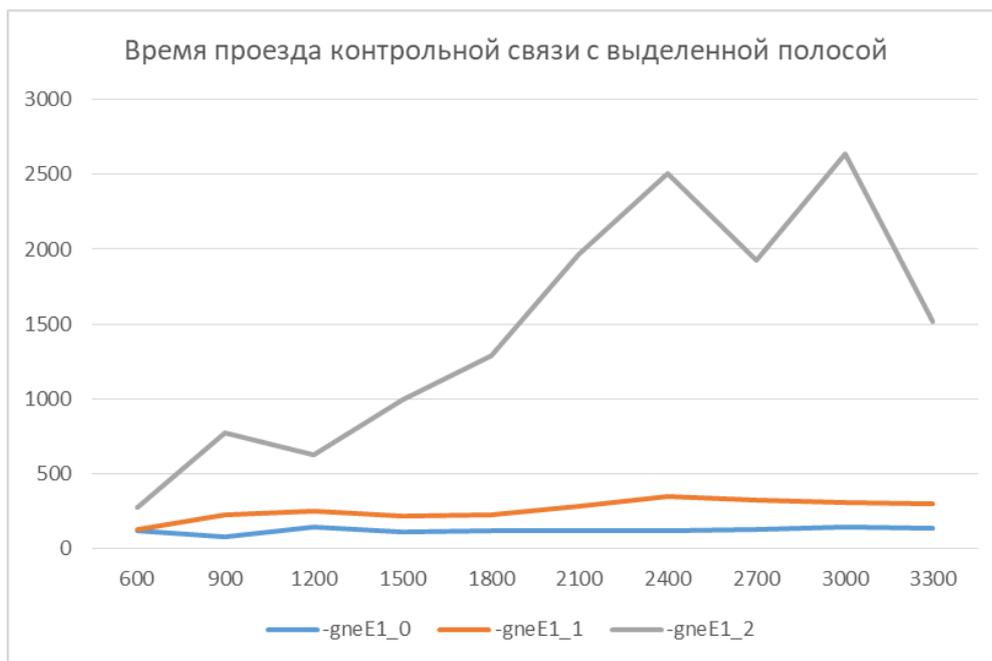


Рисунок 3.14 - Время проезда контрольной связи в насыщенных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 60 ед/ч.

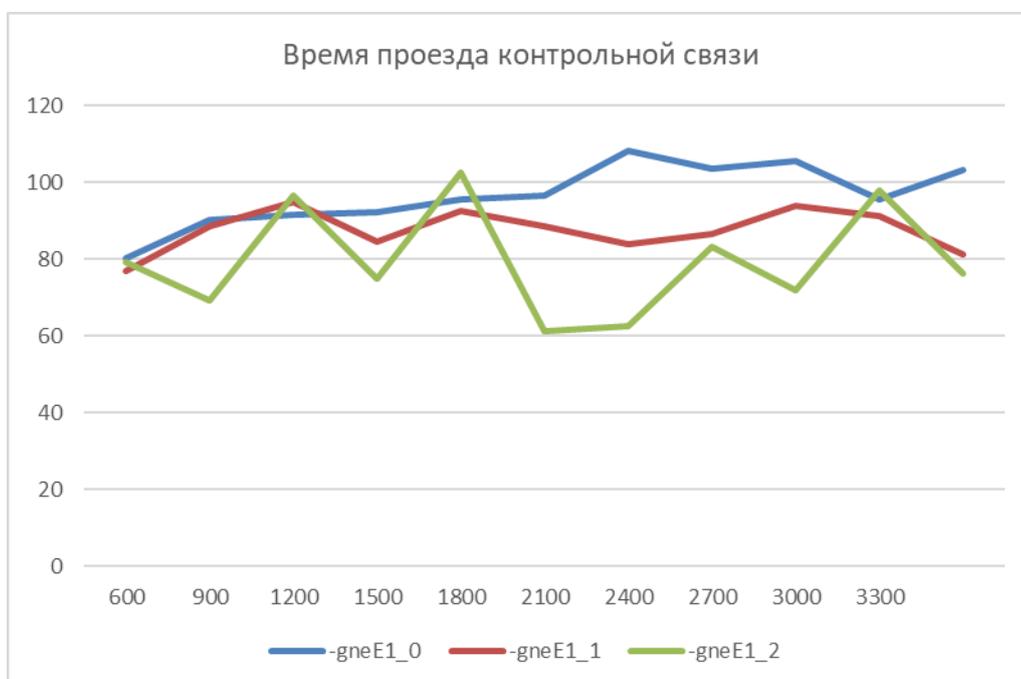


Рисунок 3.15 - Время проезда контрольной связи в насыщенных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 60 ед/ч.

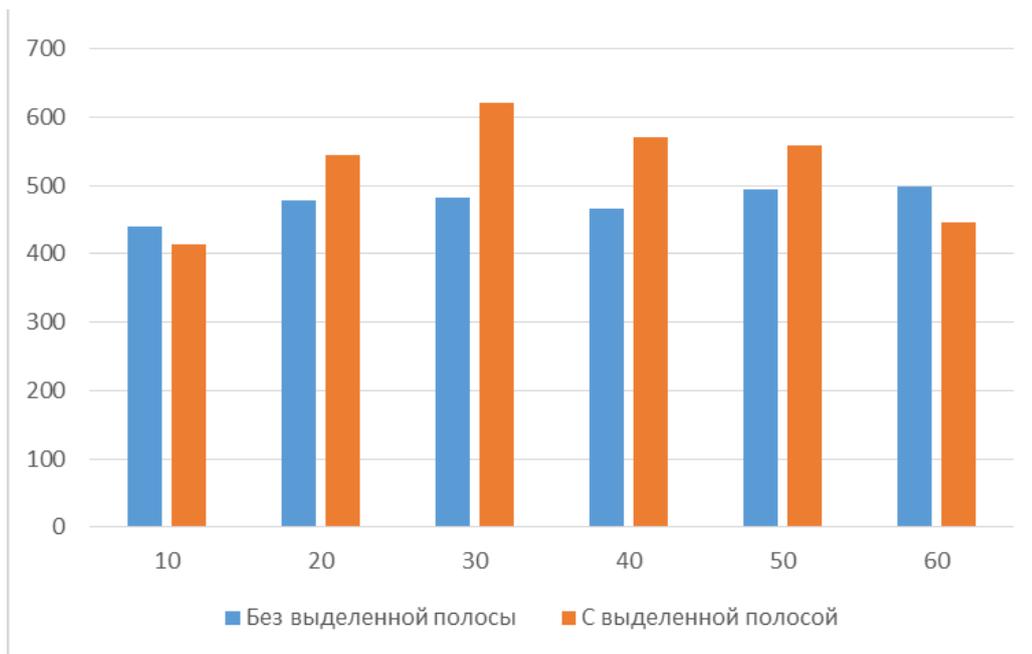


Рисунок 3.16 - Время движения отдельных транспортных единиц в насыщенных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч

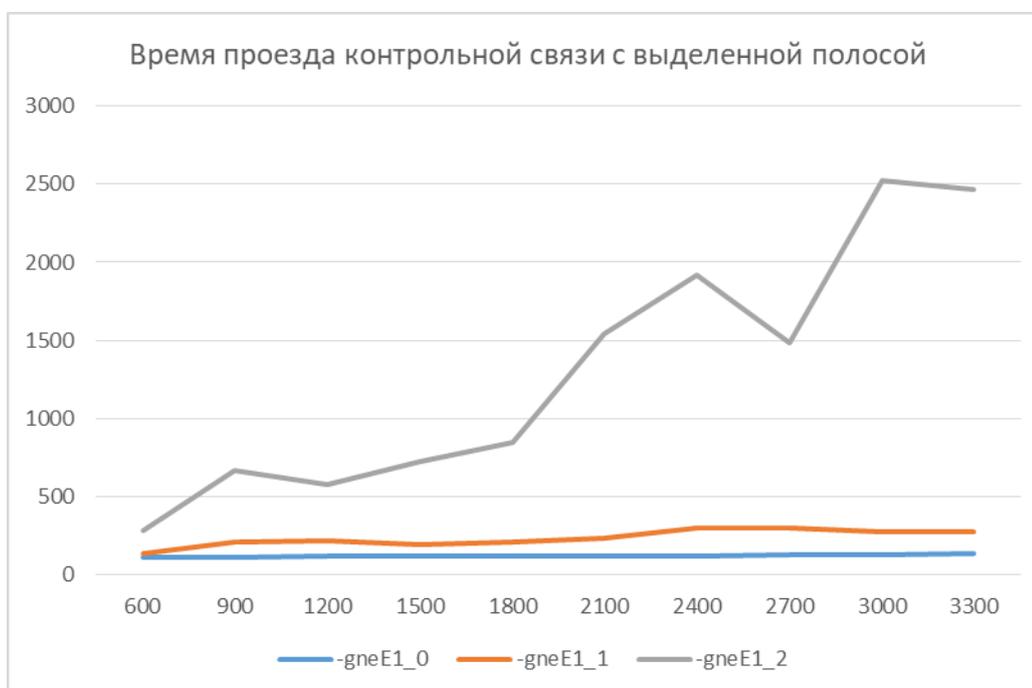


Рисунок 3.17 - Время проезда контрольной связи в насыщенных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч

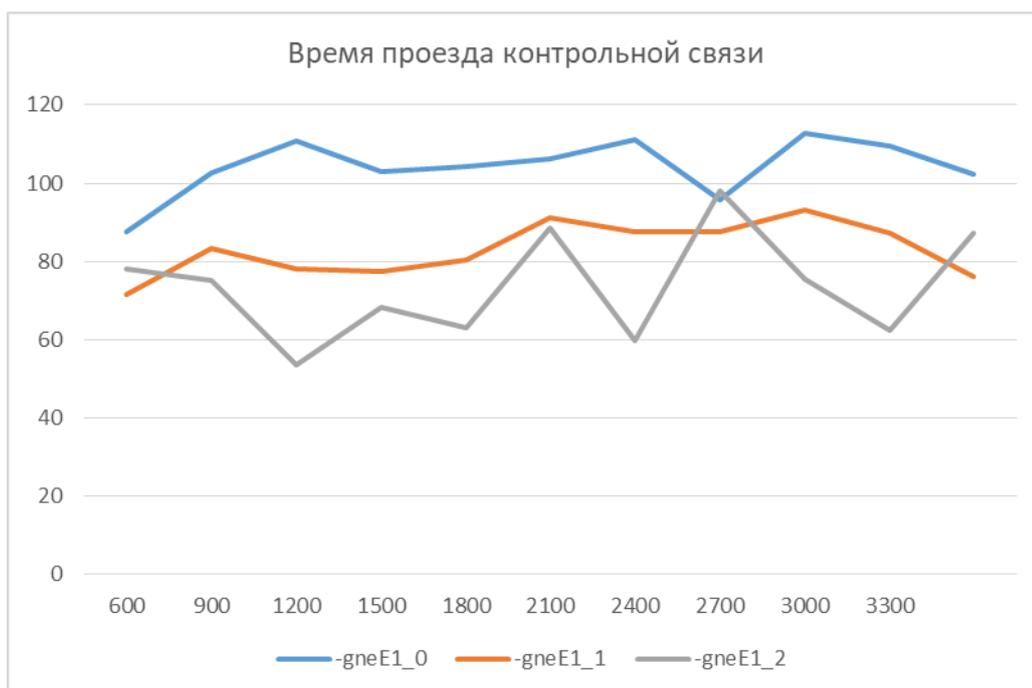


Рисунок 3.18 - Время проезда контрольной связи в насыщенных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч

В приведенных исследованиях движение маршрутных транспортных средств осуществлялось по полосе `-gnE1_0`, как в варианте с выделенной полосой, так и в случае движения в общем потоке.

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- выделение приоритетной полосы движения в свободных условиях (400 ед/ч на полосу движения) не дает существенного снижения времени движения МТС по транспортной связи. При этом серьезно ухудшаются условия движения для индивидуальных автомобилей в следствие сокращения количества полос и ухудшения условий пропуска поворотных потоков;

- в насыщенных условиях движения эффект от выделения полос для МТС более выражен. При этом ухудшение условий движения для индивидуальных автомобилей носит катастрофический характер, приводя к образованию сетевого затора (3.19 – 3.20).



Рисунок 3.19 – Транспортная ситуация при выделенной полосе

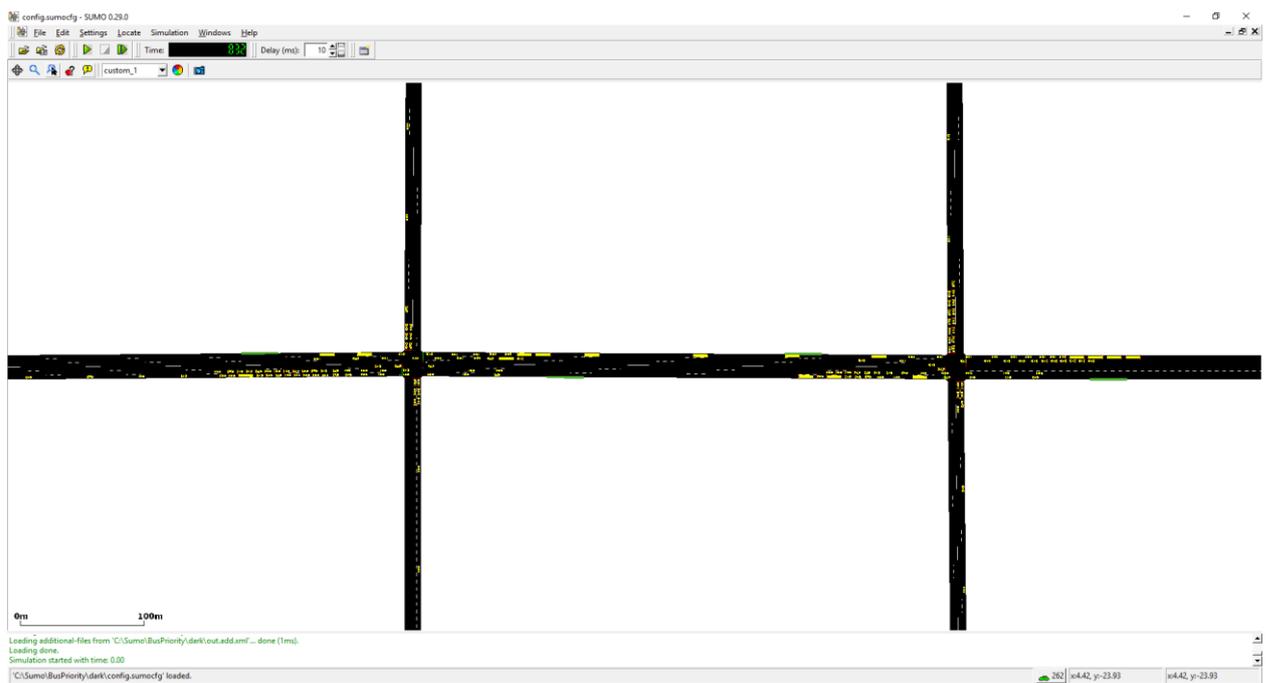


Рисунок 3.20 – Транспортная ситуация без выделения полосы

Заключение

В работе проведен анализ методов предоставления приоритета в проезде маршрутным транспортным средствам. Наибольшее количество работ посвящено методам активного приоритета в то время как результаты исследований выделения приоритетной полосы слабо освещены. Для выполнения исследований была разработана имитационная модель участка улично-дорожной сети включающая три перекрестка.

Проведенные исследования дало следующие результаты:

– выделение приоритетной полосы движения в свободных условиях (400 ед/ч на полосу движения) не дает существенного снижения времени движения МТС по транспортной связи. При этом серьезно ухудшаются условия движения для индивидуальных автомобилей в следствие сокращения количества полос и ухудшения условий пропуска поворотных потоков;

– в насыщенных условиях движения эффект от выделения полос для МТС более выражен. При этом ухудшение условий движения для индивидуальных автомобилей носит катастрофический характер.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что выделение приоритетной полосы для маршрутных транспортных средств может иметь целью создания дискриминационных условий для индивидуального транспорта. Существенного улучшения условий движения для МТС при этом не наблюдается.

Данное мероприятие может являться одним из элементов муниципальной политики по привлечению населения использовать МТС в части создания условий для индивидуального транспорта.

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17				

Список литературы

1. Shockwaves on the highway / Richards P. I. // Operations Research, №4. 1955. pp. 42–51,
2. A kinetic model for traffic flow with continuum implications / Philips W.F. // Transp. Plan. Technol. 1979. Vol. 5. pp.131-138.
3. [Three-phase traffic theory and highway capacity](#) / Boris S. Kerner // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Volume 333, 15 February 2004, pp. 379-440
4. Traffic flow modeling of large-scale motorway networks using the macroscopic modeling tool METANET/ Kotsialos A, Papageorgiou M, Diakaki C, Pavlis Y, Middelham F // IEEE Trans Intell Transp Sys 3 pp. 282–292
5. Организация и регулирование уличного движения с применением автоматических средств регулирования / Рушевский П.В. – М.: «Высшая школа», 1974
6. Traffic dynamics; studies in car following./ Chandler, R., R. Herman, and E. Montroll // Operations Research №6. 1958. pp. 165-168.
7. Car-following theory of steady state traffic flow / Gazis, D., R. Herman, and B. Potts // Operations Research №7. 1959. pp. 449-505
8. [Three-phase traffic theory and highway capacity](#) / Boris S. Kerner // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Volume 333, 15 February 2004, pp. 379-440
9. Car-following theory of steady state traffic flow / Gazis, D., R. Herman, and B. Potts // Operations Research №7. 1959. pp. 449-505
10. A kinetic model for traffic flow with continuum implications / Philips W.F. // Transp. Plan. Technol. 1979. Vol. 5. pp.131-138.

					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

11. Traffic flow modeling of large-scale motorway networks using the macroscopic modeling tool METANET/ Kotsialos A, Papageorgiou M, Diakaki C, Pavlis Y, Middelham F // IEEE Trans Intell Transp Sys 3 pp. 282–292

12. Организация и регулирование уличного движения с применением автоматических средств регулирования / Рушевский П.В. – М.: «Высшая школа», 1974

13. Traffic dynamics; studies in car following./ Chandler, R., R. Herman, and E. Montroll // Operations Research №6. 1958. pp. 165-168

14. Car-following and steady state theory for non-congested traffic. / Edie L.C. // Operations Research, 9(1) 1961. pp. 66–76. [doi:10.1287/opre.9.1.66]

15. Car-following and steady-state theory for nocongested traffic / Edie L. // Operations Research 9. 1961. pp. 66-76.

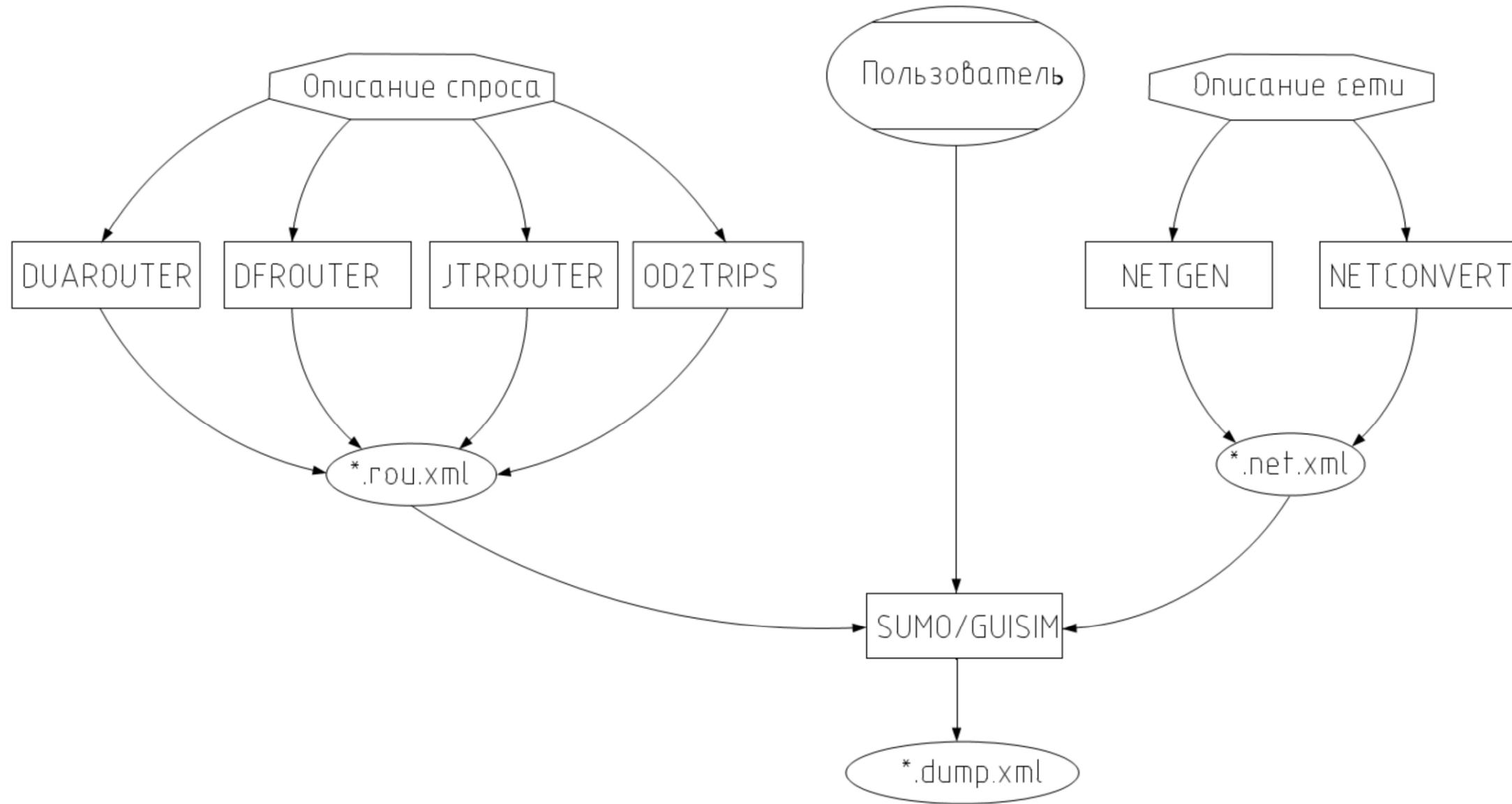
										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					

МЕТОДЫ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТА



					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					
					<i>Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств</i>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Методы предоставления приоритета</i>			Литер	Лист	Листов
Зав.Каф.	Ильина И.Е.							В	К	Р
Руковод.	Власов А.А.									
Н.контр.	Ильина И.Е.							ПГУАС Каф.ОБД группа ТТП-21м		
Студент	Зеленова М.Н.									

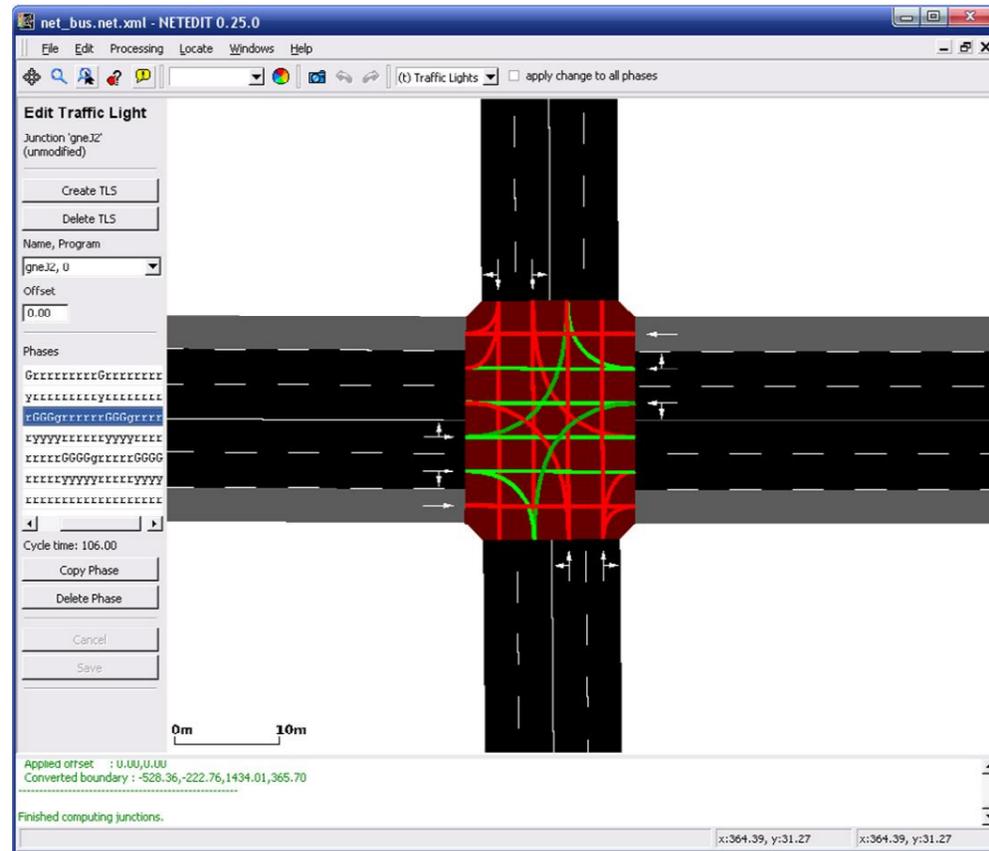
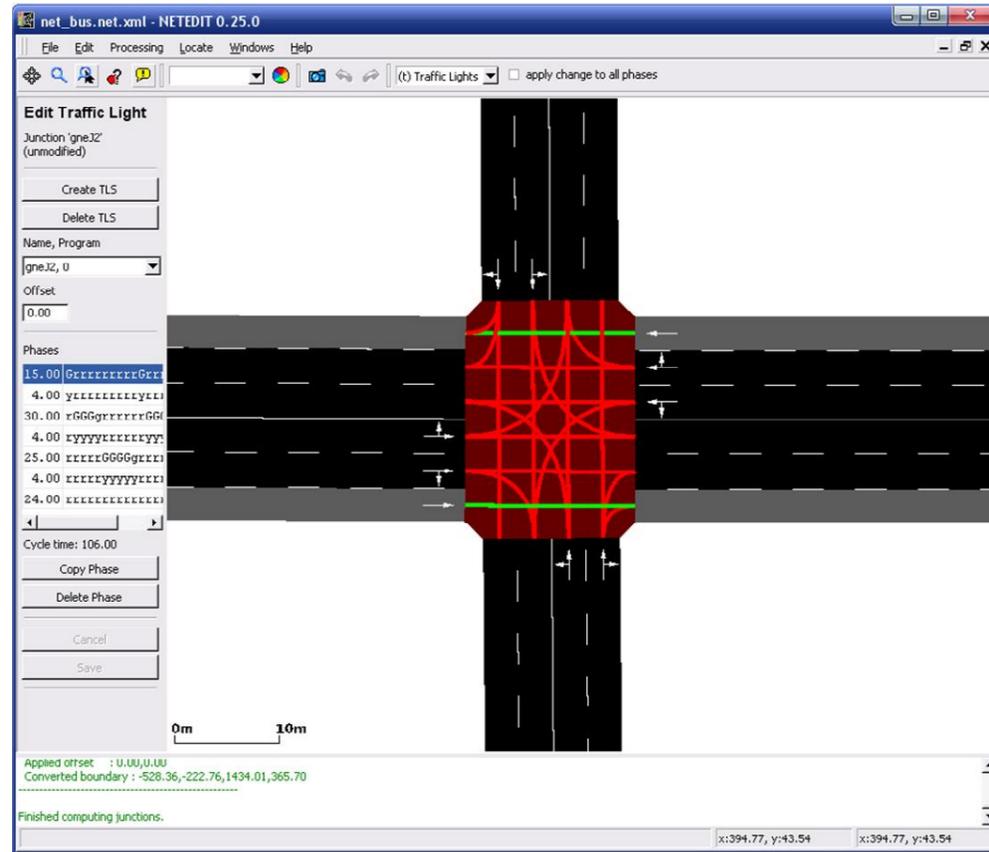
СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ SUMO



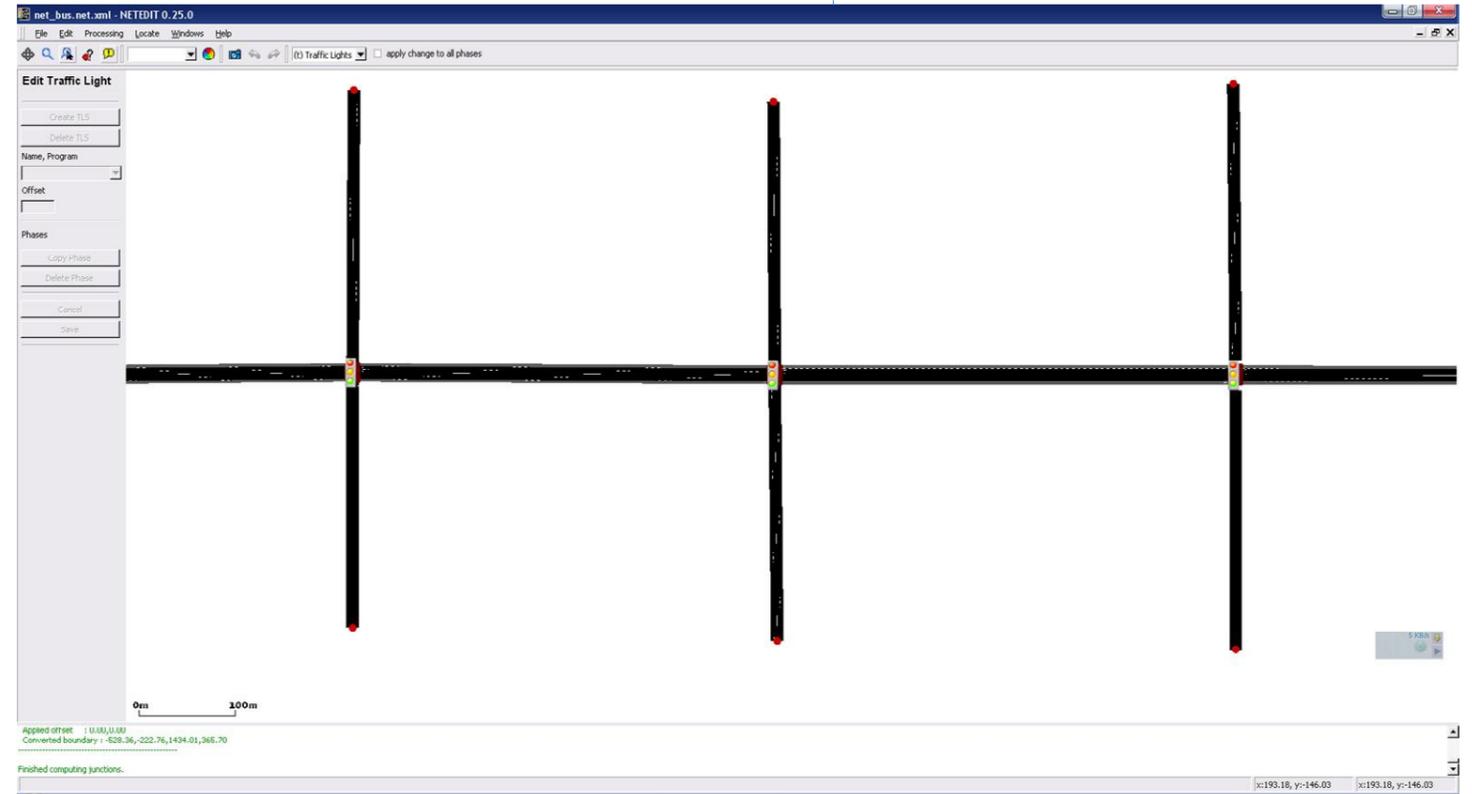
					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					
					Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Структура имитационной модели SUMO			Литер	Лист	Листов
Зав.Каф.	Ильина И.Е.							В	К	Р
Руковод.	Власов А.А.									
Н.контр.	Ильина И.Е.							ПГУАС Каф.ОБД группа ТТТ-21м		
Студент	Зеленова М.Н.									

МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Режим работы светофорного объекта



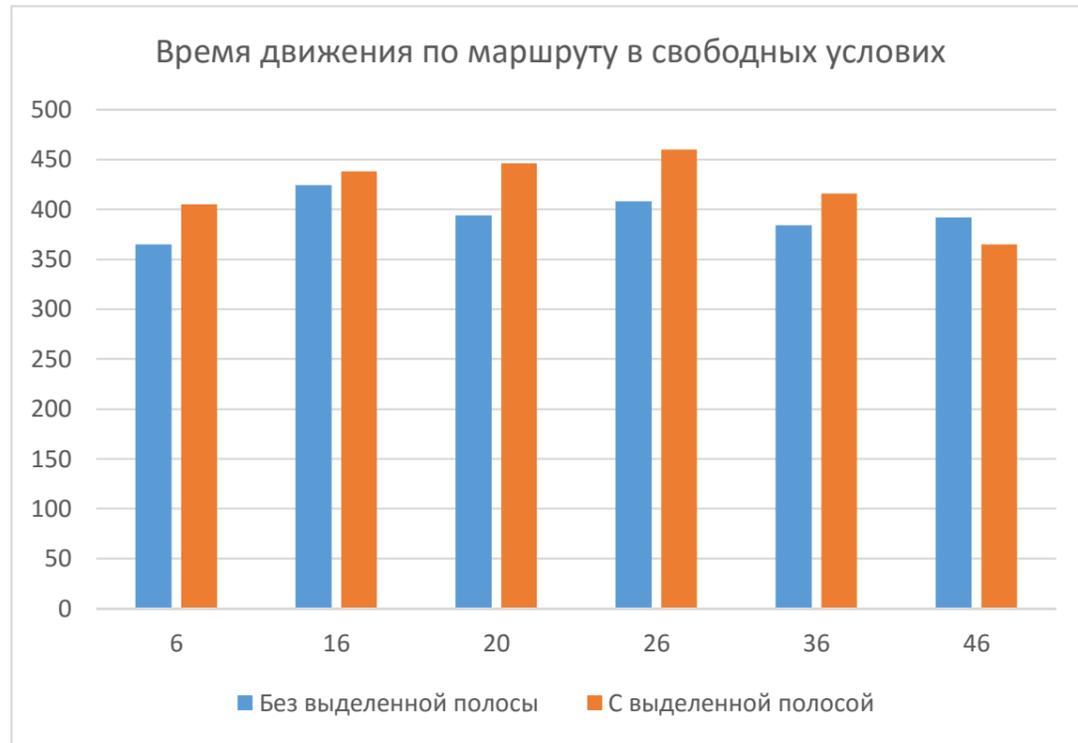
Общий вид сети



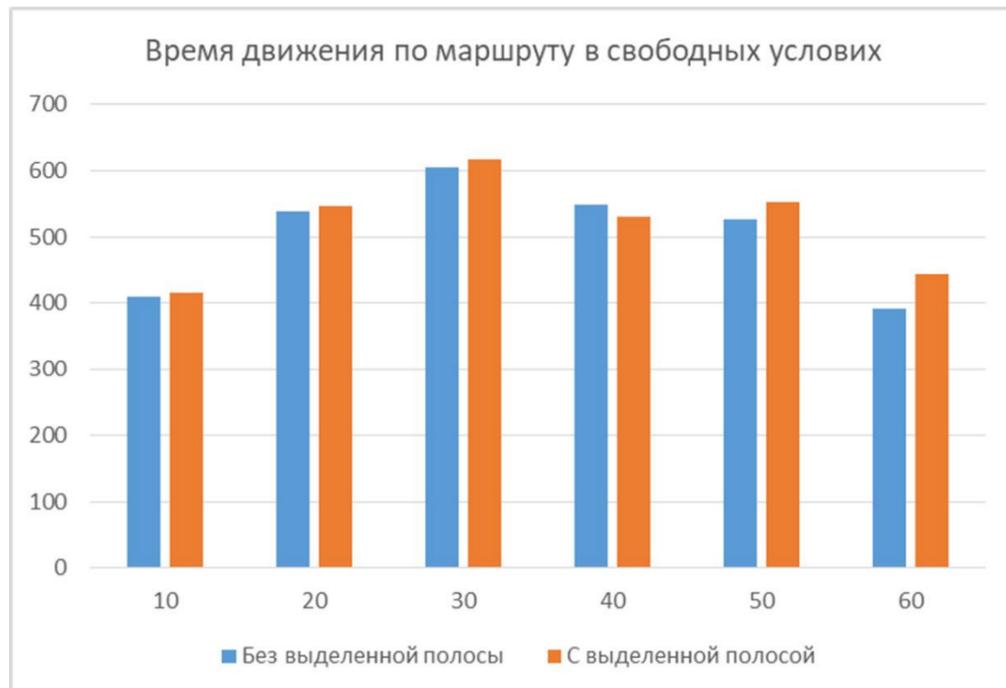
					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					
					<i>Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств</i>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Модель транспортной сети			Литер	Лист	Листов
Зав.Каф.	Ильина И.Е.							В	К	Р
Руковод.	Власов А.А.									
Н.контр.	Ильина И.Е.							ПГУАС Каф.ОБД группа ТТП-21м		
Студент	Зеленова М.Н.									

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СВОБОДНЫХ УСЛОВИЯХ ДВИЖЕНИЯ

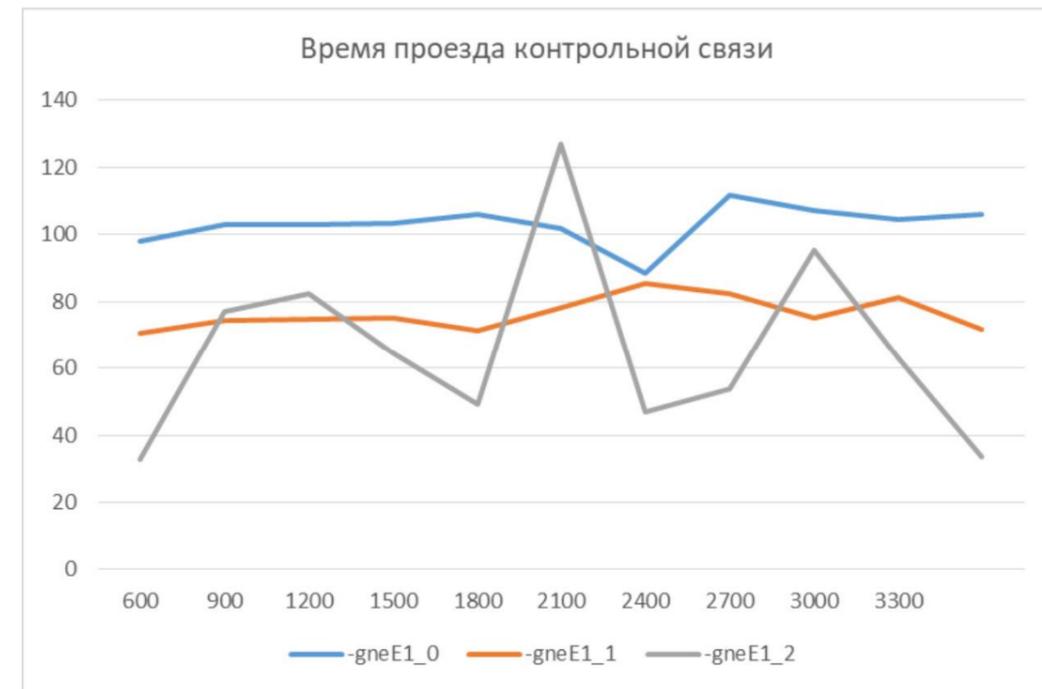
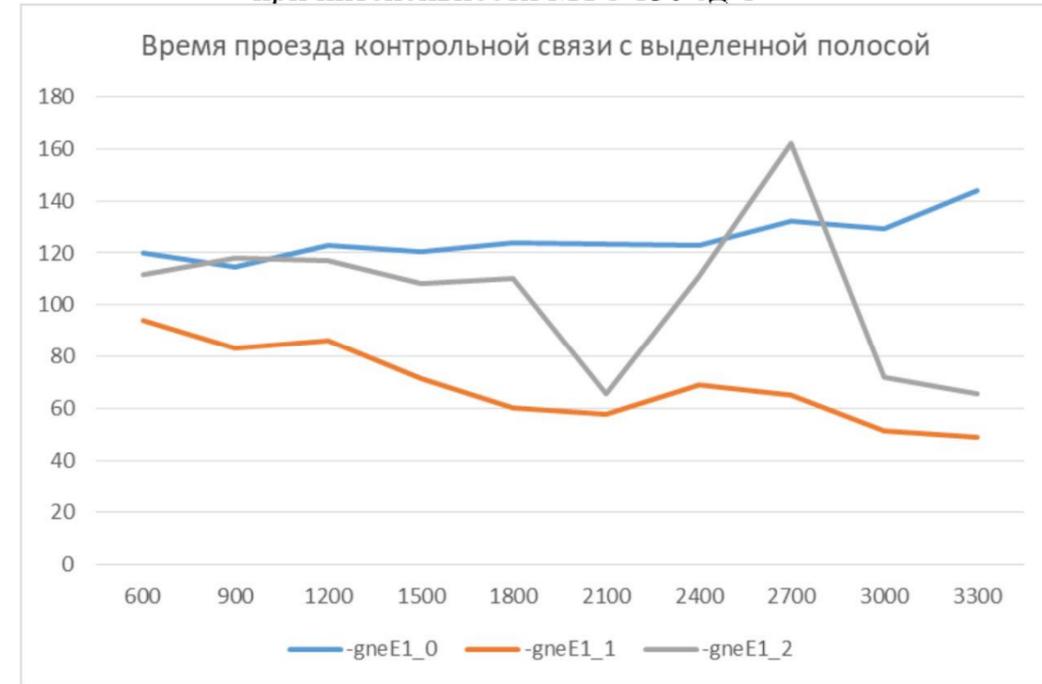
Время движения отдельных транспортных единиц в свободных условиях при интенсивности МТС 60 ед/ч.



Время движения отдельных транспортных единиц в свободных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч



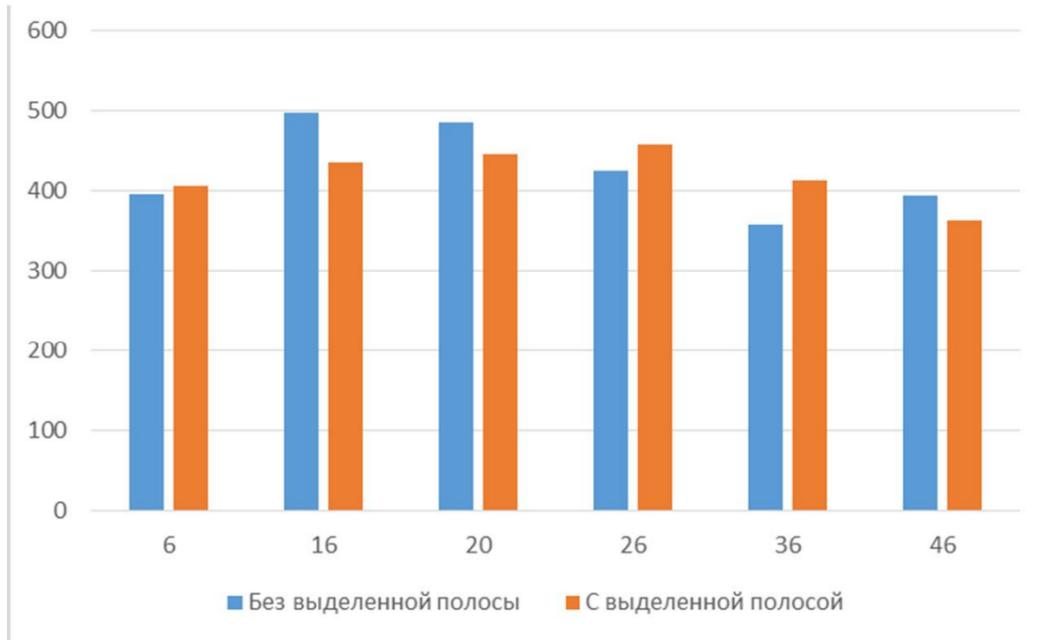
Время проезда в свободных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч



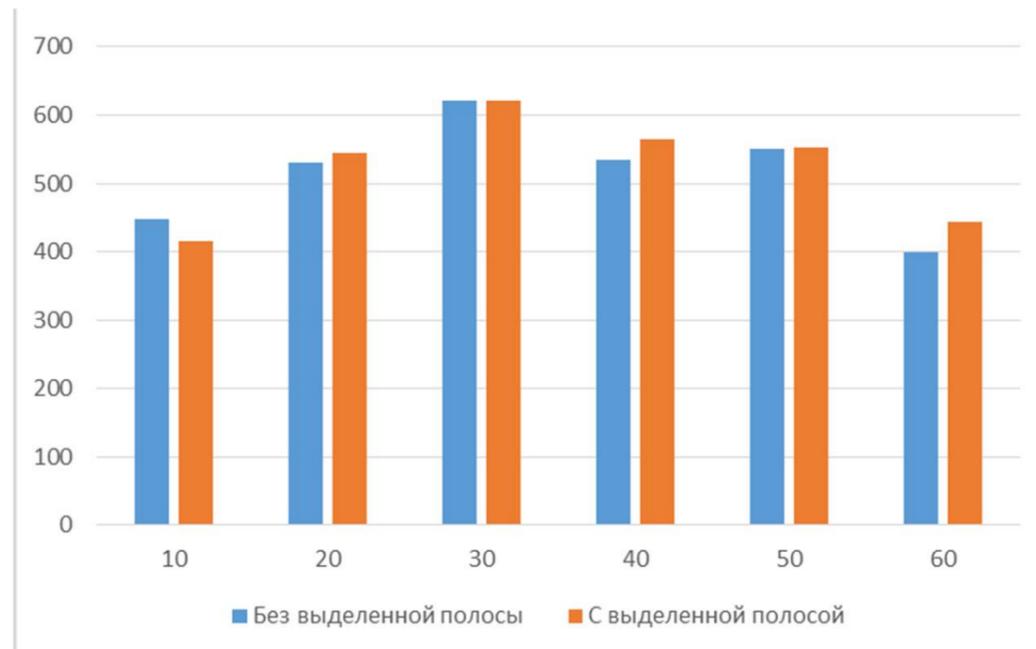
					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					
					<i>Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств</i>					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Результаты моделирования в свободных условиях движения	Литер			Лист	Листов
Зав.Каф.	Ильина И.Е.					В	К	Р	4	6
Руковод.	Власов А.А.									
Н.контр.	Ильина И.Е.				ПГУАС Каф.ОБД группа ТТП-21м					
Студент	Зеленова М.Н.									

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ДВИЖЕНИЯ

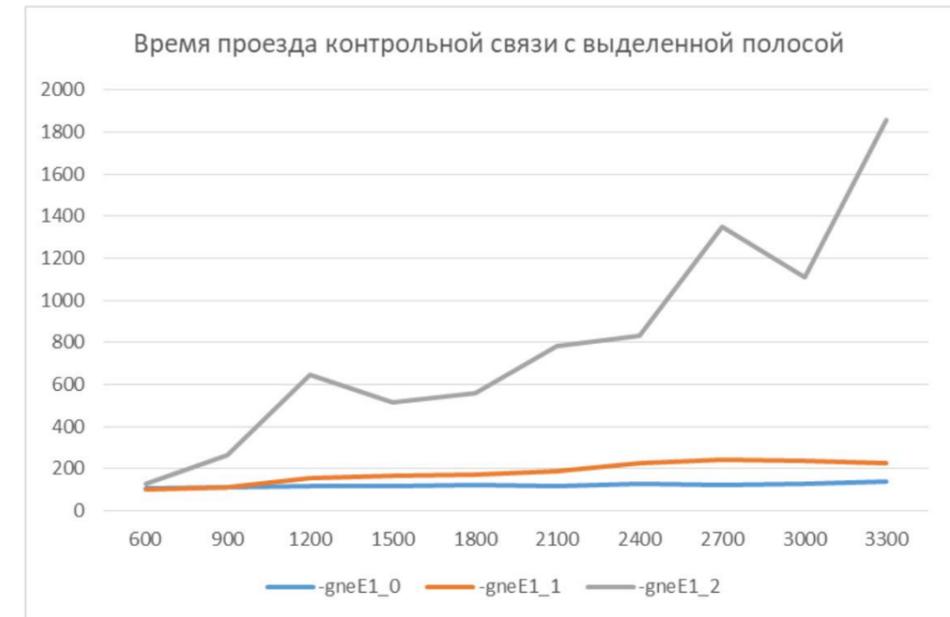
Время движения отдельных транспортных единиц в нормальных условиях при интенсивности МТС 60 ед/ч.



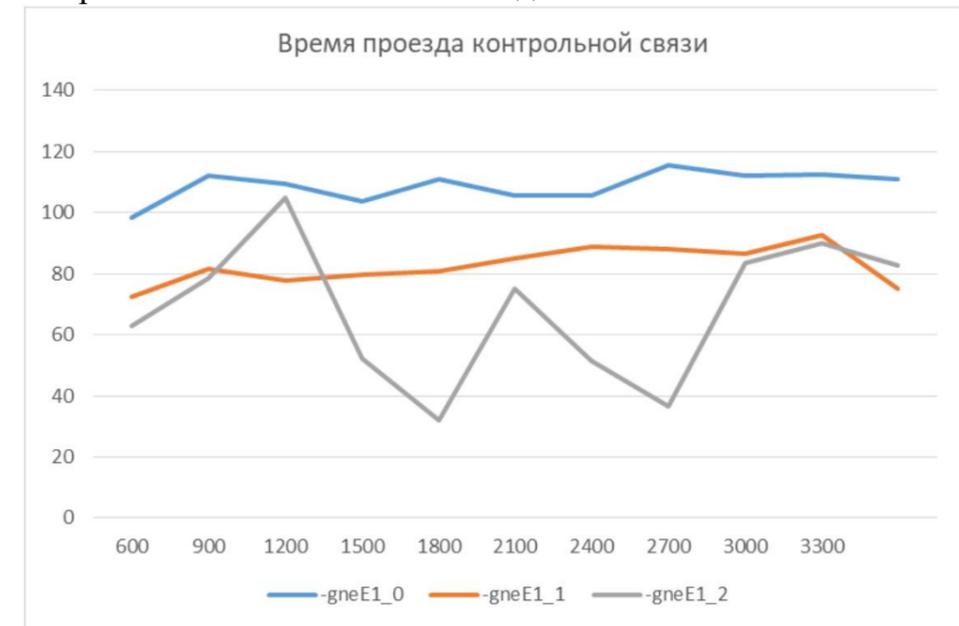
Время движения отдельных транспортных единиц в нормальных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч



Время проезда в нормальных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч



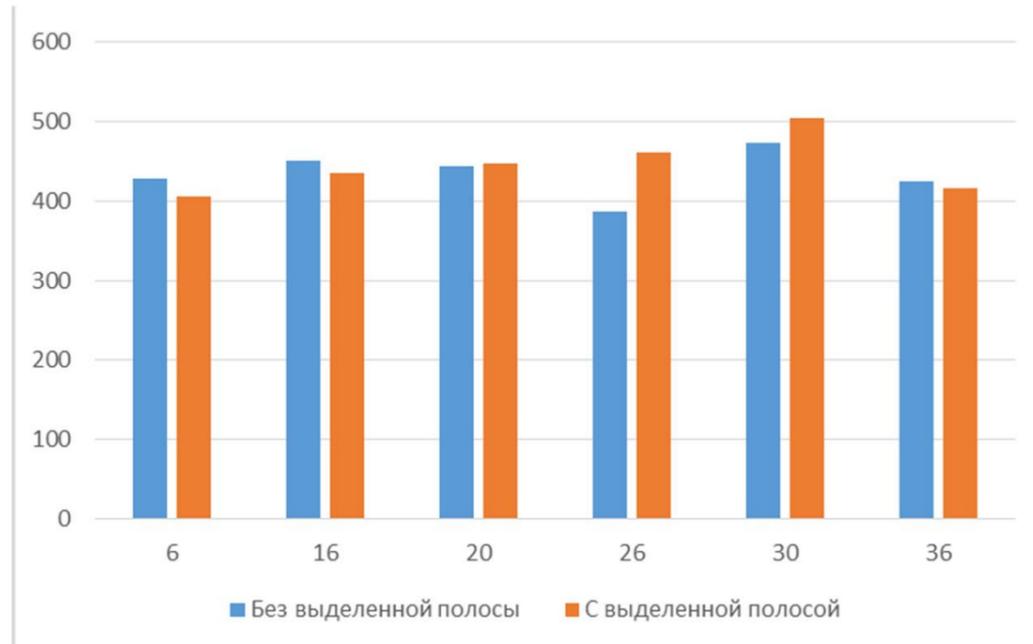
Время проезда контрольной связи в нормальных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч



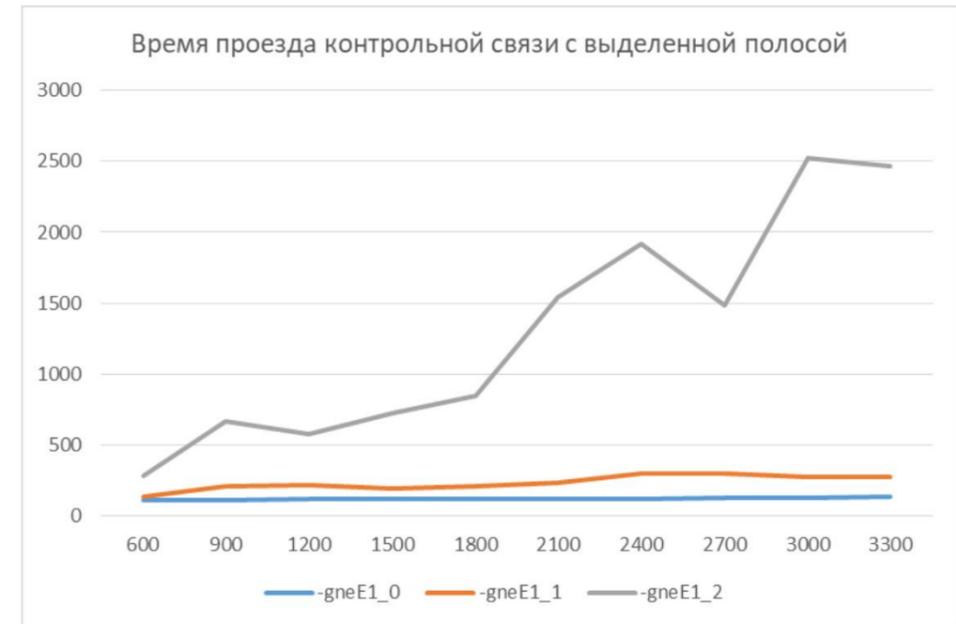
					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					
					<i>Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств</i>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Результаты моделирования в нормальных условиях движения			Литер	Лист	Листов
Зав.Каф.	Ильина И.Е.							В	К	Р
Руковод.	Власов А.А.							ПГУАС Каф.ОБД группа ТТП-21м		
Н.контр.	Ильина И.Е.									
Студент	Зеленова М.Н.									

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В НАСЫЩЕННЫХ УСЛОВИЯХ ДВИЖЕНИЯ

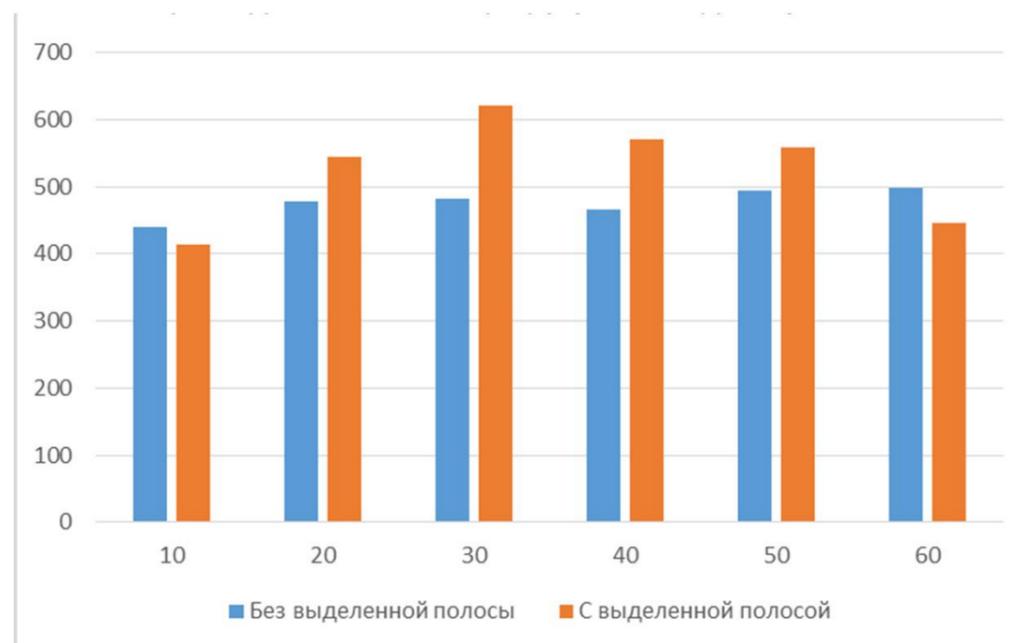
Время движения отдельных транспортных единиц в насыщенных условиях при интенсивности МТС 60 ед/ч.



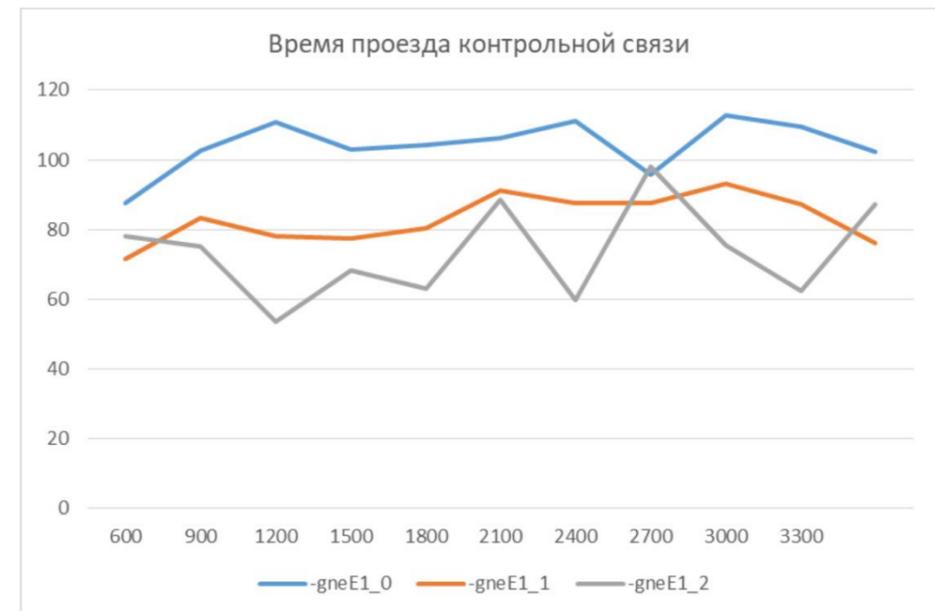
Время проезда в насыщенных условиях с выделенной полосой при интенсивности МТС 130 ед/ч



Время движения отдельных транспортных единиц в насыщенных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч



Время проезда контрольной связи в насыщенных условиях при интенсивности МТС 130 ед/ч



					ВКР-2069059-23.04.01-151265-17					
					<i>Исследование методов приоритетного пропуска маршрутных транспортных средств</i>					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Результаты моделирования в насыщенных условиях движения	Литер	Лист	Листов		
Зав.Каф.	Ильина И.Е.					В	К	Р	6	6
Руковод.	Власов А.А.									
Н.контр.	Ильина И.Е.							ПГУАС Каф.ОБД группа ТТП-21м		
Студент	Зеленова М.Н.									