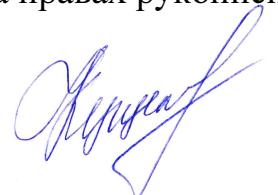


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Г. ШУХОВА»

На правах рукописи

**Кущенко Лилия Евгеньевна**



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ  
В ГОРОДЕ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ ЗАТОРОВ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук,  
доцент И.А. Новиков

Белгород 2015

## **Оглавление**

Введение .....	4
ГЛАВА 1. ЗАТОРОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ .....	9
1.1 Анализ возникновения заторовых состояний .....	9
1.1.1 Основные понятия затора.....	9
1.2 Причины возникновения заторов .....	11
1.2.1 Влияние роста автомобилизации на возникновение заторов.....	11
1.2.2.1 Влияние геометрических параметров УДС .....	16
на образование заторов.....	16
1.2.2.2 Взаимосвязь планировочной схемы городов и загрузки УДС .....	17
1.2.2.3 Роль организации парковок при заторовых ситуациях.....	19
1.2.2.4 Методы повышения эффективности функционирования УДС.....	22
1.3 Последствия от заторов .....	24
1.3.1 Ухудшение экологической обстановки в городах.....	24
1.3.2 Влияние затора на психологию человека.....	26
1.4 Анализ методов предотвращения заторовых явлений .....	29
ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ .....	37
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАТОРОВЫХ СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ.....	38
2.1 Исследование возникновения заторового состояния .....	38
на регулируемом перекрестке.....	38
2.1.2 Программа экспериментального исследования.....	40
2.2 Анализ циклов возникновения заторов .....	47
2.3 Прогноз возникновения заторов на УДС города .....	54
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ .....	58
ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЦИКЛА СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ .....	59
3.1 Нечеткая логика в области управления техническими системами.....	59

3.2 Разработка модели управления светофорным объектом на базе системы нечеткого вывода.....	60
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ .....	80
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ .....	81
4.1 Определение экономии топлива на пересечениях.....	82
проспекта Ватутина г. Белгорода .....	82
4.1.1 Определение экономии топлива на перекрестке.....	83
проспекта Ватутина - проезда Автомобилистов.....	83
4.1.2 Определение экономии топлива на перекрестке.....	85
проспекта Ватутина – улицы Королева.....	85
4.1.3 Определение экономии топлива на перекрестке.....	87
проспекта Ватутина – улицы Костюкова.....	87
4.2 Снижение потерь от загрязнения окружающей среды.....	88
ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ .....	91
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	124

## Введение

**Актуальность.** Мировой опыт показывает, чем выше производительность улично-дорожной сети, тем ниже ее перегруженность и, как следствие, ниже уровень аварийности и негативного воздействия на окружающую среду [1]. Автомобильный транспорт очень прочно закрепился в современной жизни человека. Транспорт осуществляет огромный объем перевозок во всех сферах деятельности человека. Торговля, сельское хозяйство, строительная индустрия и многое другое не может функционировать без использования транспортных средств (ТС).

Мировой парк автомобилей не перестает постоянно увеличиваться. Этот процесс влечет за собой транспортные проблемы. Чаще всего данная проблема возникает в городах с уже сложившейся застройкой. Здесь происходит стремительное увеличение транспортных задержек, «зарождаются» заторы, как следствие, возникают очереди. Этот процесс «тормозит» движение транспортных средств, в результате чего происходит снижение скорости сообщения, значительный перерасход топлива, износ деталей ТС, а еще немало важный фактор – ухудшение экологической ситуации на улично-дорожной сети (УДС). В связи с ростом автомобилизации теряются границы городов. Более активно городские жители переезжают в загородную зону, тем самым расширяя границы территории города. В связи с этим существует необходимость в изучении УДС как целостной системы при развивающейся инфраструктуре города. Городские селения с численностью превышающей 10 млн. жителей называются «мегаполисами» [2,3,4].

Заторы возникают по организационно-управленческим и ресурсным причинам. К первым относятся: некорректно рассчитанный светофорный режим для существующих транспортных потоков, отсутствие разметки, неудовлетворительное состояние дорожного покрытия, загромождение крайних полос ТС из-за дефицита парковочных мест; ко вторым – все полосы проезжих частей используются до крайнего предела.

Практически все разработанные модели, связанные с тематикой заторов имеют ряд ограничений, трудно применяются для управления транспортными по-

токами в городах. Все это и привело к необходимости проведения исследования, а также подтверждает актуальность выбранной темы.

Диссертационная работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 14-41-08012 «Разработка научно-методологических основ прогнозирования изменения характеристик транспортных потоков на основе имитационного моделирования с учетом анализа и планирования сложных региональных градостроительных систем».

**Цель диссертационной работы** – повышение эффективности функционирования улично-дорожной сети на основе предотвращения заторовых явлений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) провести анализ причин образования транспортных заторов для выявления способов их предотвращения;
- 2) разработать методику сбора данных о количестве транспортных средств перед регулируемыми перекрестками с использованием уточнений детализации прибывающих транспортных средств;

- 3) разработать теоретико-методический подход, позволяющий спрогнозировать возникновение заторов на основе методики сбора значений количества транспортных средств перед регулируемыми перекрестками;

- 4) разработать модель управления светофорными объектами на основе использования свода правил теории нечеткой логики;

- 5) произвести апробацию разработанной модели с точки зрения уменьшения очереди транспортных средств и оценки эколого-экономических показателей.

**Предметом** исследования являются параметры, характеризующие транспортный поток в заторовом и предзаторовом состоянии на регулируемом перекрестке.

**Объектом исследования** является транспортный поток перед регулируемым перекрестком.

**Научная новизна.** Разработаны теоретико-методические подходы к прогнозированию транспортных заторов на основе анализа циклов возникновения заторовых явлений, позволяющие повысить эффективность управления транспортными потоками с помощью светофорных объектов; теоретически обоснованы основ-

ные характеристики транспортного потока в виде входных и выходной лингвистических переменных на основании данных о количестве транспортных средств в часы-пик; создана и апробирована модель управления светофорными объектами на основе базы правил нечеткой логики, позволяющая адаптивно регулировать длительность циклов.

**Методы исследования.** Поставленные задачи в работе решены с использованием методов обработки данных, полученных с помощью видеофиксации; методы статистической обработки информации; методы нечеткой логики.

**Практическая значимость:** разработанная в диссертационном исследовании на основе лингвистических переменных база правил может быть использована сотрудниками центров организации дорожного движения для выработки управляющих команд дорожных контроллеров; разработанные теоретические подходы по прогнозированию транспортных заторов служат научной основой для повышения эффективности функционирования улично-дорожной сети.

Практическая значимость полученных результатов подтверждена актом внедрения результатов исследований на улично-дорожной сети города и актом внедрения в учебный процесс кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

Внедрение результатов исследований:

- разработанный теоретический подход позволяет на основе имеющихся статистических данных прогнозировать возникновение заторов;
- сформулированная база правил нечеткой системы управления светофорными объектами испытана на светофорном объекте, установленном на пресечении проспекта Ватутина и проезда Автомобилистов в городе Белгороде, а также рекомендована для внедрения, что подтверждено актом внедрения УГИБДД УМВД России по Белгородской области; актом научно-исследовательских работ;
- разработанный подход с использованием детализации по сбору статистических данных используется в учебном процессе кафедры «Эксплуатации и организации движения автотранспорта» Белгородского государственного технологи-

ческого университета им. В.Г. Шухова в рамках дисциплины «Организация дорожного движения», что подтверждено актом внедрения.

**На защиту выносятся:**

1. Методика сбора данных для определения значений точечного прогноза образования очереди с применением математической статистики.
2. Результаты натурных исследований транспортного потока на участке улично-дорожной сети города Белгорода с детализированным подходом по сбору количества транспортных средств.
3. Сформированная база правил системы нечеткого вывода входных  $[\beta_1, \beta_2, \beta_3]$  и выходной  $[\beta_4]$  лингвистических переменных, характеризующих параметры транспортного потока, эффективно осуществляющая выбор команды для управления светофорным объектом.
4. Модель управления светофорными объектами, позволяющая определять длительность разрешающего сигнала, с целью повышения пропускной способности на основе применения созданной базы правил.

**Область диссертационных исследований** удовлетворяет требованиям паспорта специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» по областям исследования – пп. 5: «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков»; 7: «Исследования в области безопасности движения с учетом состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: международной научно-практической конференции «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху» (Харьков, 2013); всероссийской научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения» (Тюмень, 2013); всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения» (Саратов,

2013); научно-технической конференции «Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения» (Пенза, 2013); международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса» (Орел, 2013); международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта» (Курган, 2013); международной научно-практической конференции «ГЛОНАСС – регионам» (Орел, 2014-2015), а также на ежегодных семинарах кафедры «Организация и безопасность движения» (Белгород, 2013-2015).

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 9 работах, в том числе 4 статьи опубликованы в ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 5 статей в сборниках трудов конференций и всероссийских журналах.

**Личный вклад автора определен в следующем:**

Диссертационная работа написана соискателем лично. Все результаты получены автором самостоятельно, либо при его непосредственном участии, либо под его руководством. В соавторстве, опубликованных работ: в [12, 15] возникновение заторов как следствие роста автомобилизации; в [51] рассмотрено эмоциональное поведение водителей во время заторов; в [60, 61, 67, 68, 69, 84, 107] диссертантом проведен анализ моделирования транспортных потоков в общем, а также с целью снижения дорожных заторов, проанализировано понятие «затор»; в [103] аналитически представлено прогнозирование заторовых состояний; в [107] разработаны три входных и одна выходная лингвистические переменные, база правил нечеткой продукции, произведен анализ применимости модели нечеткого вывода управления светофорным объектом.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 117 наименований, изложенных на 105 страницах машинописного текста, включая 14 таблиц, 34 рисунка и 4 приложения на 19 страницах.

# ГЛАВА 1. ЗАТОРОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

## 1.1 Анализ возникновения заторовых состояний

### 1.1.1 Основные понятия затора

На сегодняшний момент общего понятия «затор» не существует. Специалисты по организации дорожного движения (ОДД) утверждают: если в течение одного – трех циклов светофорного регулирования водитель ТС может двигаться через перекресток в любом направлении, то эту ситуацию нельзя называть заторовой. А если цикл светофорного регулирования равен 90 секундам и водителю ТС необходимо ожидать своей очереди по проезду через перекресток 3 -5 циклов, такое явление можно назвать предзаторовым. Находясь перед перекрестком более 7,5 минут, водитель ТС оказывается в заторовой ситуации [5; 6]. В словаре эксперта – автотехника понятие затор трактуется как задержка при осуществлении движения транспортных средств, вызванная значительным уменьшением пропускной способности участка УДС [7]. Затор возникает в тот момент, когда интенсивность прибывающих автомобилей на данный участок дороги превышает пропускную способность этого участка [8]. С увеличением плотности, превышающей значение пропускной способности, скорость потока падает вплоть до нуля, что соответствует затору [9]. В Правилах дорожного движения (ПДД) используется термин «затор». В п. 13.2 говорится, что «запрещается выезжать на перекресток или пересечение проезжих частей, если образовался затор, который вынудит водителя остановиться, создав препятствие для движения ТС в поперечном направлении» [10]. Обобщая все толкования можно трактовать «затор» как дорожную ситуацию, заставляющую водителя остановиться вопреки своему желанию продолжать движение, при разрешающем это движение режиме регулирования [1].

По факту используются не строгие понятия по термину «затор», как правило, используют очевидные понятия, которые позволяют давать субъективные неопределенные оценки данного явления. Неопределенность критериев этого явления отчасти объясняет неопределенность и неэффективность управляющих воз-

действий на дорожное движение в целях предотвращения, выявления и ликвидации заторов [1].

Как правило, затор – это негативное явление, которое появляется в результате невозможности изменения геометрических параметров УДС, а также увеличения интенсивности движения. Как только происходит увеличение плотности и падение скорости (близкой к нулю) - работа УДС становится совершенно неэффективной (рисунок 1).



Рисунок 1- Заторовое состояние на улично-дорожной сети города

Исследователи в данной области считают, что как только значение интенсивности транспортного потока приближается к значению пропускной способности, затор будет продолжать распространяться, и, как следствие, наступает «парализация» улично-дорожной сети [11].

Известно, что при возникновении заторов в дорожном движении у участников движения появляется нервозность, усталость и раздражительность. Это негативно влияет на аварийность.

## 1.2 Причины возникновения заторов

### 1.2.1 Влияние роста автомобилизации на возникновение заторов

Степень насыщения страны ТС, которая определяется, как число всех ТС на тысячу жителей называется показателем автомобилизации. Однако чаще всего используют показатель автомобилизации, определяемый числом легковых автомобилей, приходящихся на 1000 человек (рисунок 2). Практически во всех странах постоянно растет парк автомобилей.

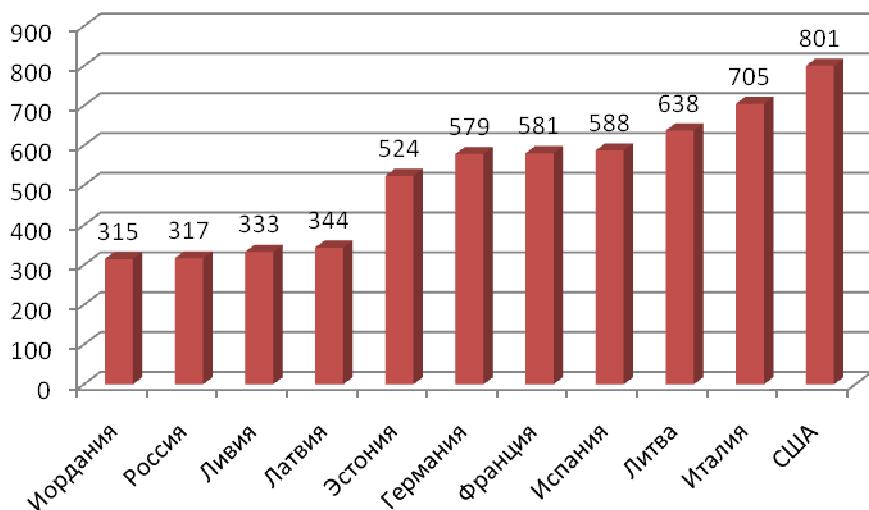


Рисунок 2 – Современный уровень автомобилизации стран мира по состоянию на январь 2015 год (легковых автомобилей на 1000 человек)

Автомобилизация включает в себя непосредственно как положительное воздействие на социальное развитие и экономический эффект, так и негативные стороны, такие как значительное количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), раненых, погибших, существенный ущерб, причиненный не только гражданам, но и государству в целом. Также данный показатель отрицательно влияет на экологию, особенно находясь в заторовых состояниях [4, 12].

В нашей стране Приморский край и Камчатка имеют самый высокий показатель по автомобилизации. В этих регионах обеспеченность населения автомобилями находится на уровне стран Западной Европы. Так, по данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» на начало 2014 года, уровень автомобилизации в

Приморском крае составил 572 автомобиля на 1000 жителей, в Камчатском крае – 458 автомобилей [13].

Таблица 1 – Уровень автомобилизации в субъектах Российской Федерации

Наименование субъекта	2000	2002	2010	2013	2014
	Уровень автомобилизации, авт./1000 чел.				
Белгородская область	137,3	158,6	238,9	274	294
Курская область	107,6	118,3	228,7	250	273
Орловская область	112,7	128,4	265	270	293
Липецкая область	131,6	141,6	246,5	260	281
В среднем по стране	132,4	147,7	249	257	317
Прирост среднего показателя в отношении к 2000 г.	-	1,12	1,88	1,94	2,39

Статистические данные уровня автомобилизации в субъектах Российской Федерации представлены на рисунке 3.

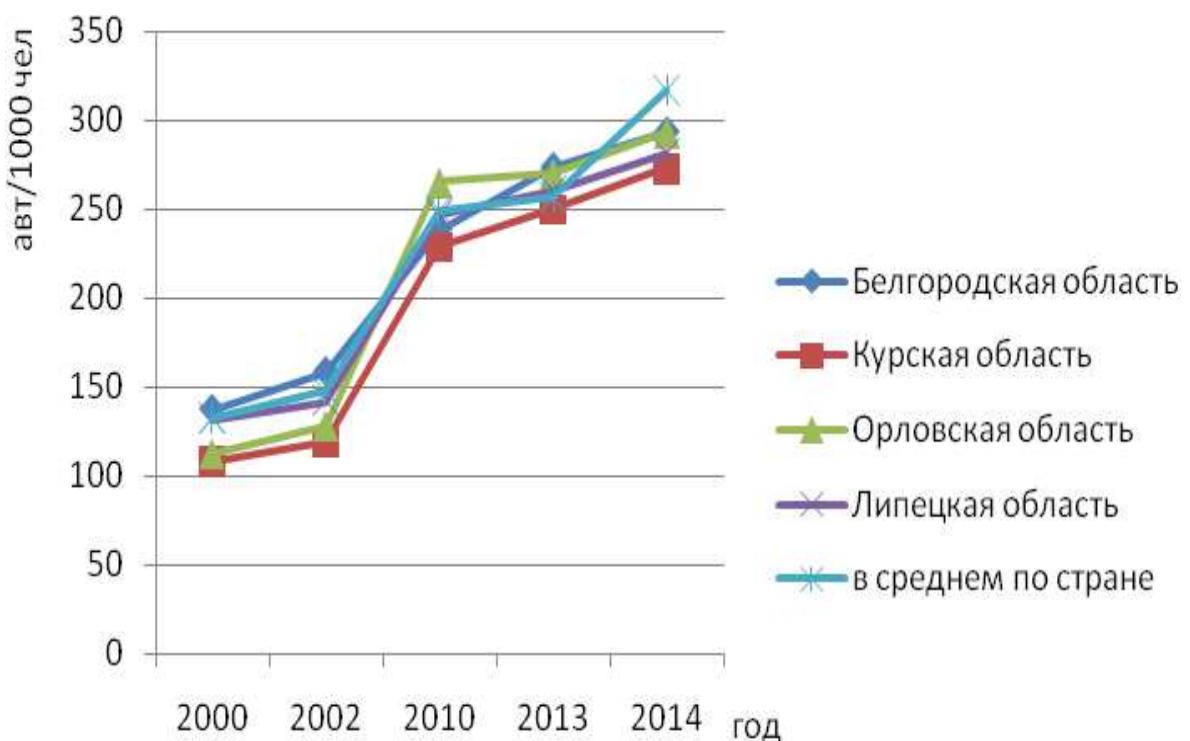


Рисунок 3 – Уровень автомобилизации с 2000 по 2014 годы

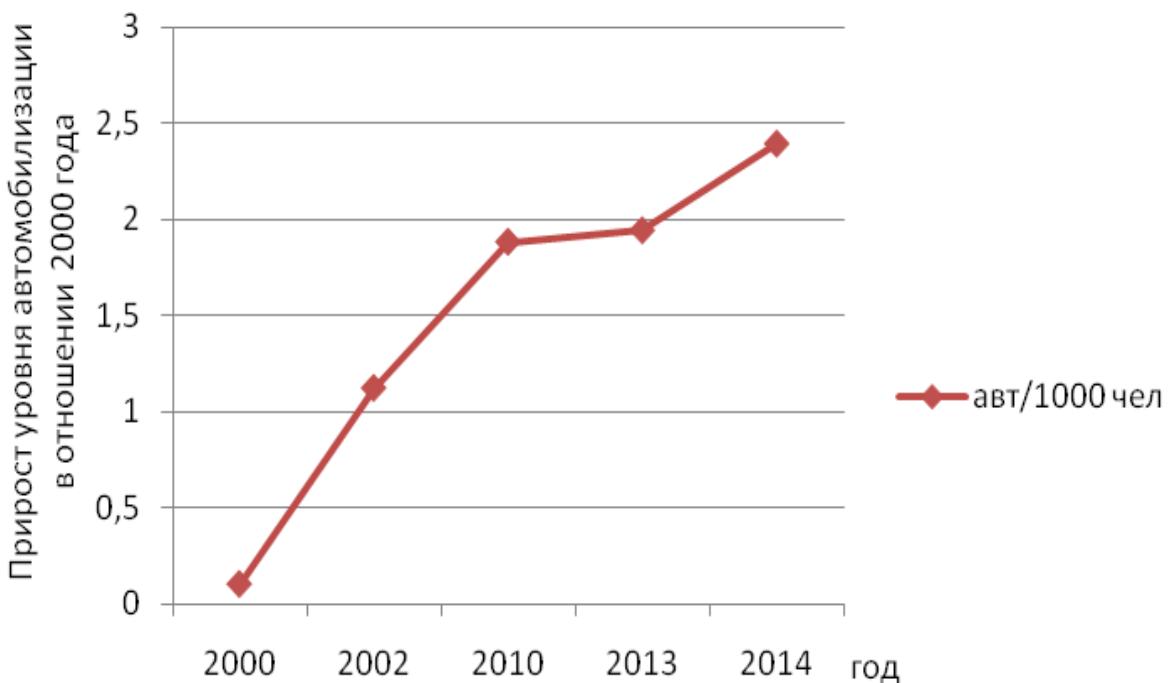


Рисунок 4 – Прирост уровня автомобилизации в отношении к 2000 году

За последнее время наблюдался сильный рост в автопромышленности и увеличение спроса на его продукцию в РФ, в результате чего на дорогах России количество автотранспортных средств значительно возрастает. Однако меры по уменьшению количества ДТП не вносят существенной корректировки. Правительству и ГИБДД РФ трудно исправить данную обстановку, применяя множество различных способов.

Для того, чтобы уменьшить заторовые ситуации существуют системный и комплексный подходы. В данной ситуации необходимо начинать глубокую подготовку с уровня в автошколах. Значения показателей аварийности можно снизить, применив комплексные мероприятия. К ним относятся: повышение качества дорожного покрытия, увеличение штрафов и длительности административного воздействия за нарушение ПДД, реконструкция и совершенствование организации дорожного движения, повышение качества обучения учащихся для получения водительского удостоверения, а также меры, позволяющие существенно снизить количество ДТП и последствия от них [14, 15].

### **1.2.2 Роль улично-дорожной сети в процессе образования заторов**

Улично-дорожная сеть представляет собой совокупность улиц и дорог в единой транспортной системе города. УДС города, геометрические и структурные параметры во многом зависят от некоторых факторов, таких как, плотность населения, планировочная структура города, состав транспортного потока, уровень загрузки участков УДС, как следствие, падение скорости ТС на данных участках, концентрация и распределение пешеходных потоков.

Историческая планировка городов не была рассчитана для сегодняшней ситуации на УДС. Значительные изменения скорости и интенсивности движения ТС, а также динамических характеристик ТС привели к образованию дефицита площади проезжей части и возрастанию требований к организации движения и техническим средствам. Несоответствие уровня развития автомобилизации и уровня развития УДС приводит к созданию неудобства движения населения городов, значительных экономических потерь на транспорте, снижению уровня безопасности движения и увеличению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Старые УДС необходимо было подготавливать для быстрорастущих ТП, которые образовались в результате стремительных темпов показателей автомобилизации. При этом сразу возникли все минусы несоответствующей УДС реальности [16]:

- появление ТС на существующей проезжей части, которые двигались быстрее пешеходного потока более чем в 10 раз, при этом создались конфликтные ситуации;

- транспортные сети для передвижения маршрутного транспорта строились в точках притяжения, т.е. в тех местах, где находилось большое количество реальных пассажиров, т.е. по магистральным улицам. Эти линии притягивали еще больше потенциальных – пешеходов, идущих к остановкам и от них. В данном случае произошло увеличение конфликтов;

- мероприятия по подготовке существующих УДС к совершенствованию схем (устройство разделительных полос, реконструкция проезжей части, обуст-

ройство тротуарных дорожек и др.) являлись всего лишь частью положительного эффекта, таким образом, создавались только дополнительные вопросы в повышении эффективности УДС (строительство пешеходных переходов). В целом существующие проблемы не были решены.

По существу к имеющимся уличным сетям необходимо было приспособливать не только старые застройки, а также и новые. В первую очередь на улицы были ориентированы лицевые стороны не только магазинов и торговых центров, но и жилых домов. Эта ситуация снова служила источником порождения транспортных конфликтов между автомобилями и людьми.

Очень характерен процесс изменения функций улиц для городов Северной Америки и Западной Европы. В 60-70-е годы в городе Граце (Австрия) в результате роста числа индивидуальных транспортных средств было предоставлено 28% трамвайных линий, значительная часть тротуаров использовалась под стоянки. В создавшейся обстановке возросла опасность пешеходных передвижений и поездок на велосипедах.

В связи с осознанием необходимости сохранения окружающей среды и нежелательностью увеличения конфликтов появилась надобность в создании новых градостроительных решений. Прогрессивные черты формирования УДС были направлены на снижение конфликтных точек. В результате:

- 1) разделение УДС по характеру движения, а также разделение транспортных средств и пешеходных потоков;
- 2) УДС, которые предназначены для движения ТП, имеющего повышенную скорость являются сходными с транспортными магистралями;
- 3) появляется сходство с параметрами магистралей (строительство скоростных магистралей, проходящих через город);
- 4) отсутствие связи между жилыми застройками и скоростными магистралями;
- 5) проведение учета положений по охране окружающей среды по строительству УДС [17,18].

Дорожная сеть является одним из важнейших элементов транспортной системы любого региона. Наблюдая за уровнем развития УДС можно оценить и об-

щее экономическое развитие территории. Уширение сети автомобильных дорог оказывает значительное влияние на стабилизацию социально-экономического положения в стране.

Таким образом, развитие транспортной системы является одним из важных факторов, которые стимулируют социально-экономическое развитие города и способствует снижению возникновений дорожных заторов.

### **1.2.2.1 Влияние геометрических параметров УДС на образование заторов**

Решающее влияние на характеристики ТП и ПП, а также состояние дорожного движения в городских чертах оказывают геометрические и планировочные конфигурации путей сообщения. Транспортные сообщения исторически развивались на базе городских улиц и загородных дорог, которые были предназначены в большей степени для передвижения гужевого транспорта. В начале XX века осуществлялась реконструкция выборочных участков уличной сети. Первоначально строительство улиц и дорог, предназначенных для ТС, имеющих большие осевые нагрузки и высокие скоростные режимы осуществлялось в США, а потом в других странах, в которые входила и Россия. В настоящий момент некоторые дороги не соответствуют современным требованиям [19, 20].

Улицы и загородные дороги должны удовлетворять требованиям СНиП - 2.05.02-85 «Автомобильные дороги». В таком случае будут созданы безопасные условия для движения ТП. Для создания безопасных условий имеют существенное значение следующие характеристики: плотность УДС, плотность жилой застройки, расстояние от центров притяжения до периферийных точек пунктов назначения, коэффициент непрямолинейности УДС, характеризующий отношение протяженности пути следования к минимальному расстоянию для проезда [21].

На безопасность дорожного движения влияет повышение интенсивности ТП и ПП. По статистике большое количество ДТП происходит в городах и населенных пунктах (около 70%). В условиях городского движения перекрестки яв-

ляются местами концентрации большого количества ДТП. Таким образом, перекресткам необходимо уделять особое внимание в плане безопасности дорожного движения [24, 25, 22].

Безопасное и эффективное функционирование УДС населенного пункта должно складываться из интересов участников дорожного движения, при использовании системы комплексов по ОДД и планировки территории. При этом важно учитывать социальные и экологические функции улиц и площадей, наличие участков для движения общественного транспорта, пешеходов и велосипедистов, при этом обязательно учесть интересы людей с ограниченными возможностями [39, 40].

#### **1.2.2.2 Взаимосвязь планировочной схемы городов и загрузки УДС**

Планировочные схемы УДС значительно влияют на главные показатели дорожного движения, а также организацию пассажирских перевозок и решение задач по организации дорожного движения.

Планировочная схема УДС может иметь очень разнообразные контуры. Необходимо, чтобы данная схема была четкой и простой в построении, не допускала взаимного наложения транспортных потоков из-за слияния различных УДС на отдельных участках. Она должна включать в себя способность к распределению транспортных потоков, а также не допускать транзитное движение внешнего транспорта через территорию всего города и движение городских транспортных потоков через центральную часть города.

Различают следующие виды УДС в зависимости от планировочной схемы: радиальную, рационально-кольцевую, прямоугольную, прямоугольно-диагональную, комбинированную [23].

В большинстве случаев в городах с исторически сложившейся застройкой (более 500 лет), в которых радиальные направления переходят в загородные дороги, применяется радиальная схема (рисунок 5, а). При организации такой схемы обеспечивается связь периферийных районов с центром города, но имеется отрицательное последствие – неизбежна перегрузка центральной части города и

затруднена связь периферийных районов между собой. Радиальную схему можно применять для малых городов. В условиях современных транспортных требований в остальных городах эта схема в чистом виде нецелесообразна. С целью повышения пропускной способности УДС городов необходимо устраивать объездные дороги вокруг них, соединяющие центр города с его окраинами. Это позволит избавиться от существующих недостатков. В таком случае данная планировка является радиально-кольцевой.

Радиально-кольцевая (рисунок 5, б) схема представляет собой развитие радиальной схемы с применением кольцевых магистралей. Данные магистрали освобождают центральную часть города от нагрузки и обеспечивают более свободные связи между периферийными районами города. К радиально-кольцевой схемы относится УДС города Москва. При дальнейшем развитии рассматриваемой схемы можно перейти к многофокусной радиально-кольцевой схеме.

Прямоугольную схему (рисунок 5, в) можно встретить в молодых городах, развитие которых происходило по заблаговременно разработанным планам (Свердловск, Пермь, Одесса, Ростов). К положительной стороне этой схемы относится ее простота, высокая пропускная способность, возможность распределения транспортных потоков по параллельным улицам города, отсутствие единого транспортного узла. Отсутствие ярко выраженного центра и присутствие параллельно расположенных дорог присуще прямоугольной схеме УДС. Движение ТП в данном случае является равномерным. К недостаткам схемы относится затрудненность связей между периферийными точками.

Диагональные магистрали, которые связывают между собой наиболее удаленные точки, предусматривают для устранения вышеуказанного недостатка, при этом схема УДС принимает прямоугольно-диагональную структуру. Недостатком прямоугольной схемы является значительная удаленность противоположных периферийных районов.

Дальнейшим развитием прямоугольной схемы является прямоугольно-диагональная схема (рисунок 5, г). Для упрощения связи периферийных районов между собой и центром используются диагональные магистрали. К недостаткам

данной схемы относят присутствие узлов со многими входящими улицами, в том числе под углом, что значительно затрудняет передвижение транспорта по ним. УДС города Детройта является примером таковых схем [26].

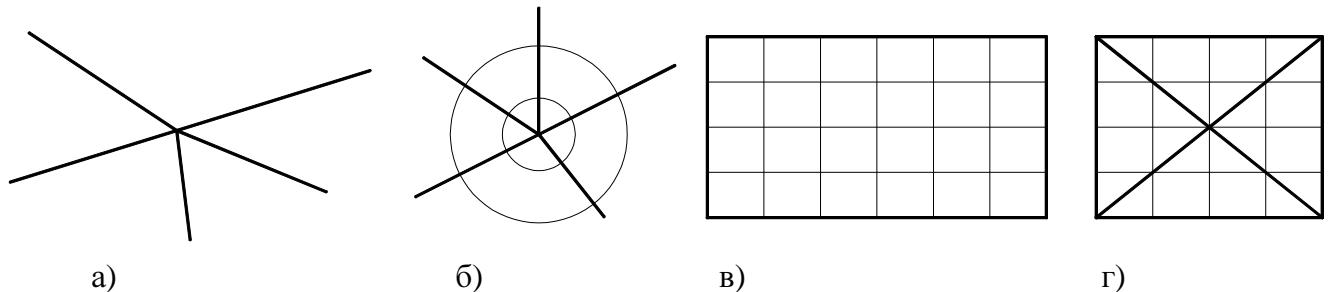


Рисунок 5 - Геометрические схемы УДС: а) радиальная схема; б) радиально-кольцевая; в) прямоугольная; г) прямоугольно-диагональная

Таким образом, очень важно при проектировании городов правильно сделать выбор геометрической схемы УДС, чтобы в будущем не встретиться с заторами, возникающими из-за стремительного роста автомобилизации [27].

### 1.2.2.3 Роль организации парковок при заторовых ситуациях

В настоящее время в связи с быстрыми темпами роста автомобилизации, невозможно не обратить внимание на дефицит парковок в городах, особенно в центре, где находится множество точек притяжения, таких как крупные торговые центры, поликлиники, школы, детские сады, развлекательные комплексы и т.д.

В большинстве городов мира мероприятия в сфере устройства парковочного пространства, либо отсутствуют, либо осуществляются в недостаточной степени, либо направлены на то, чтобы сделать беспрепятственным передвижение на транспортном средстве. Все большее количество европейских городов, наоборот, проводят мероприятия по устройству парковок для достижения таких целей, как улучшение экологической обстановки, снижение заторов на улицах города, организации упорядоченного движения ТС и пешеходов, снижению уровня выброса

выхлопных газов, а также освобождению проезжей части для строительства велосипедных дорожек и тротуаров.

Развитие технического прогресса за последнее десятилетие позволяет более эффективно осуществлять мероприятия по организации парковочного пространства. Частные компании, наряду с муниципальными организациями, способны более эффективно осуществлять договорные обязательства и предоставлять качественные услуги в сфере устройства парковочного пространства. Новейшие достижения в области программного обеспечения и оборудования предоставляют широкие возможности для улучшения процесса паркования ТС. Ниже представлены четыре технологии, позволяющие осуществлять более эффективное управление паркованием: интеллектуальная система управления стоянками; счетчик времени стоянки; оплата за стоянку по мобильному телефону; автомобили-сканеры [28, 29].

Также нельзя оставить без внимания необходимость во временных стоянках на проезжей части УДС. ТС, стоящие на краю проезжей части занимают, как правило, в среднем 30% в зависимости от количества полос. Это затрудняет движение остальным участникам дорожного движения, которыми также являются водители маршрутных ТС (автобусов и троллейбусов).

Данная проблема ведет к снижению пропускной способности УДС, а следовательно, возникновению заторов, что негативно сказывается на экологической обстановке городов, а также отрицательно влияет на участников движения, т.е. потери времени и денежных средств, отрицательное влияние на здоровье.

В литературе зарубежных авторов в сфере организации движения существует понятие, которое относится к околотротуарной стоянке, называемое «зоной влияния». Под данным термином понимают влияние ТС, совершающих маневры в зоне разрешенной стоянки. Ширина этой зоны находится в диапазоне от 4,5 м до 8,0 м [21].

При ограничении временной стоянки возникает нецелесообразность в использовании личного ТС в городе, особенно при высоком уровне автомобилизации.

Зарубежные сведения говорят о том, что в крупных городах количество мест временной автомобильной стоянки увеличивается благодаря использованию внеуличных. Данные стоянки подразделяются по системе оплаты на бесплатные и платные [31; 32].

На улицах многих городов, где часто водители оставляют свой автомобиль вдоль дороги, независимо от знаков (3.28 «Стоянка запрещена») для того, чтобы увеличить производительность УДС работают эвакуаторы, а также платные парковки оказывают значительное влияние на повышение эффективности функционирования УДС.

На сегодняшний день имеется сложность при поиске свободных мест для парковки ТС. Как правило, из-за высокого показателя автомобилизации организаторы движения по УДС не успевают создавать хорошие условия. Это подразумевает в себе то, что в городах с исторически сложившейся застройкой отсутствуют участки, которые можно использовать для строительства стоянок, паркингов [30]. Поэтому водителям автомобилей приходится оставлять свое ТС вдоль проезжей части, а именно, где отсутствуют знаки, запрещающие такое действие.

Такая ситуация часто возникает в городах, когда владельцы ТС оставляют свой автомобиль на правой полосе дороги. При этом пропускная способность УДС резко снижается: при движении по двум полосам – на 50%; по трем полосам около 30%.

Понятно, что помимо снижения пропускной способности ТС, припаркованные около обочины, с точки зрения безопасности дорожного движения образуют перечень негативных факторов. Но, тем не менее, в городе невозможно полное запрещение околотротуарных стоянок по той причине, что осуществить это не позволяет специфика планировки и использования городов с центрами притяжения городского населения [57].

Таким образом, из-за дефицита стоянок, паркингов, различных центров притяжения, на которые имеется спрос у жителей города (области) возникают негативные транспортные ситуации. Одной из таковых являются заторы, которые несут в себе множество отрицательных факторов.

#### **1.2.2.4 Методы повышения эффективности функционирования УДС**

Рост автомобилизации и отставание развития инфраструктуры УДС в современных городах приводит к транспортным проблемам, связанным с повышением уровня загрузки, увеличением количества мест концентрации ДТП, ухудшением экологической обстановки в полосах отвода. Данные факторы приводят к неизбежному возникновению заторовых явлений и свидетельствуют о необходимости принятия мер по предотвращению вышеуказанных факторов. Транспортную проблему представляется возможным решить с помощью архитектурно-планировочных мероприятий и комплексом организационных подходов.

Мероприятия, связанные со строительством инфраструктуры, являются достаточно дорогостоящими и в случаях исторически сложившейся застройки не применимы. В таком случае необходимо использовать прогрессивные организационные подходы, основанные на моделировании ТП и транспортных процессов, а также применении современных технологий и технических средств организации дорожного движения, основанных на информативности и полной автоматизации управления движением ТП.

В научной сфере транспортных систем многие исследования отечественных и зарубежных ученых направлены на повышение эффективности работы светофорных объектов [8, 33, 11, 34, 35, 36] и ликвидации существующих проблем движения ТП по уличной сети [37, 19].

Важной проблемой, постоянно появляющейся на участках УДС, является возникновение регулярных транспортных заторов. Проблема образования заторовых явлений рассмотрена в исследовании [40].

Для решения существующей проблемы постоянно возникающих заторовых явлений многими авторами предлагаются методы «борьбы» с регулярными заторами. К таковым относятся: реконструкция участков УДС, оптимизация светофорного регулирования, строительство многоуровневых развязок и т.д.

Для решения задач по повышению эффективности работы УДС проведена классификация существующих методов повышения эффективности функционирования УДС, представленных на рисунке 6 [41].

Необходимо заметить, что многие рассмотренные методы, показанные в структуре классификации, сформированы на критериях оценки эффективности, которые в определенных случаях противоречат друг другу. Повышение скорости движения позволяет сократить задержки в пути, уменьшить количество выбросов вредных веществ, но при этом повышается риск возникновения ДТП.

Пропускная способность дороги является важной транспортной характеристикой в организации дорожного движения, позволяющей определить эффективность функционирования УДС. В теории и практике в области организации дорожного движения особое внимание уделяется повышению пропускной способности УДС. Это является актуальной задачей организации дорожного движения.

Для повышения пропускной способности УДС необходимо применять следующие мероприятия: изменение геометрической схемы уличной сети, строительство многоуровневых развязок и объездных дорог, устройство организованного парковочного пространства, увеличение скоростного режима на некоторых участках дорог, разработка оптимальных режимов работы светофорного объекта. Все это способствует улучшению качества движения и повышению уровня безопасности участников дорожного движения.

Таким образом, на этапе проектирования основных и при учете существующих элементов УДС городов определены методы, применяемые при планировании УДС городов. Методы, определяющие пропускную способность, основаны на различных подходах. Имеются методы, базирующиеся в частности на моделировании ТП. В связи с этим, полученные в результате моделирования данные могут отличаться [41]. В таких случаях необходимо производить проверку адекватности модели на достоверность.



Рисунок 6 – Методы повышения эффективности функционирования УДС

Краткий обзор раздела 1.2.2.4 показывает, что все представленные методы имеют свои недостатки. В результате исследований установлено, что явной причиной возникновения заторов является повышенный уровень автомобилизации, и как следствие, повышения уровня загрузки УДС. Организационные методы в достаточной мере позволяют решать вопросы по повышению эффективности организации движения.

### 1.3 Последствия от заторов

#### 1.3.1 Ухудшение экологической обстановки в городах

Выхлопные газы ТС содержат вредные вещества, такие как углеводороды, окислы азота и окислы углерода, хлор, сернистый газ, фосфор, альдегиды и т.д. Приведенные компоненты оказывают негативное влияние на окружающую среду, ухудшая экологические показатели, особенно в городах. По статистике за рубежом более 40 % выбросов вредных веществ в атмосферу приходится на автомобильный транспорт, а в России данный показатель составляет 38 % [42].

Более 70% нервных расстройств у жителей городов возникает в результате шумового воздействия на организм человека. Такие негативные воздействия приводят к развитию усталости, бессонницы, сердечных заболеваний. Удельный вес шумового воздействия в городе составляет около 80%. Уровень шума в городах, находящихся в районе городских магистралей находится в диапазоне от 70 до 75 дБА, при этом норма составляет 40-50 дБА в дневное время суток, 30-40 дБА – в ночное.

Установлено, что существует зависимость интенсивности движения от уровня шума. При увеличении интенсивности до 1000 авт/ч уровень шума повышается на 10 дБА. Данный показатель также имеет зависимость от скорости движения транспортного потока [4].

Кроме шумового воздействия транспортные средства оказывают негативное влияние на окружающую среду. Таковое воздействие заключается в выбросах вредных веществ в атмосферу. В качестве присадки в топливо добавляют соединение под названием тетраэтилсвинец. При сжигании литра бензина в воздух поступает 0,2-0,4 г свинца. В итоге, при сжигании топлива количество вредных веществ в год составляет до 26 тыс. тонн, что практически в 100 раз превышает поступление свинца при извержении вулканов. Количество вредных выбросов в окружающую среду при сгорании одной тонны этилированного бензина составляет 0,65 кг оксидов свинца [43].

К планировочно-градостроительным мероприятиям относятся: застройка УДС, полосы зеленых насаждений вдоль автомагистралей, распределение жилых зон по функциональному назначению и т.д. При возможности полосу отвода автотранспортной магистрали обустраивают зелеными насаждениями в виде кустарников и низкорослых деревьев. Данные мероприятия относятся к комплексным мерам по повышению экологической обстановки. Но также необходимо повышать экологическую безопасность ТС модернизацией эксплуатационных и технических характеристик автомобилей.

В результате исследований выявлено, что при работе двигателя на холостом ходу происходят выбросы оксида углерода в размере 6%, а при движении этот показатель значительно меньше – 2%. При условии того, что двигатель ТС большую

часть времени работает на холостых оборотах, необходимо снижать время простоя с работающим двигателем ТС при движении в заторовом состоянии ТП.

Большое количество вредных веществ поступает в атмосферу при:

- 1) задержках ТС перед светофором;
- 2) стоянке с работающим двигателем в ожидании разрешающего сигнала;
- 3) трогании с места и разгоне.

С целью сокращения выбросов вредных веществ необходимо, чтобы ТП находился в свободном состоянии в процессе движения ТС.

Протяженность магистральных улиц составляет около 20-30% от общей протяженности УДС. Так как магистральные улицы являются наиболее загруженными участками УДС, то именно на них сосредоточено до 75% всех ТС, движущихся в пределах города. Следовательно, территории, расположенные вдоль магистральных улиц требуют особого внимания по улучшению экологической обстановки.

Устройство в городах магистралей с повышенным скоростным режимом обеспечивает увеличение пропускной способности УДС, сокращение количества ДТП, изолирование жилых районов и вынесение центров притяжения от наличия ТП с высокой интенсивностью, а, следовательно, улучшить экологическую обстановку. Однако магистраль скоростного движения – это дорогостоящее сооружение. Ее строительство оправдывает себя только по направлениям, на которых постоянно присутствуют ТП, имеющие на территории города поездки на большие расстояния. В результате, магистрали предназначаются только лишь для крупнейших агломераций.

Таким образом, для улучшения экологической обстановки в городах, необходимо сводить к минимуму скопление ТС на перегонах и перекрестках при помощи различных организационно-планировочных мероприятий.

### **1.3.2 Влияние затора на психологию человека**

Нижние слои атмосферы загрязнены пылью, которая состоит из микрочастиц асфальтобетона, отработавшей резины, абразива, свинца и других веществ,

часть которых обладает канцерогенным и мутагенным действием. Это отрицательно сказывается на других участниках дорожного движения – пешеходах. Самая высокая концентрация вредных веществ сосредоточена в слое воздуха ниже 1 м от поверхности.

Негативные последствия влияют не только на человека, но и на животных. Шумовое воздействие от шоссейных магистралей является отрицательным фактором, который приводит к снижению качества по экологическим показателям в городских условиях. Шумовое давление на магистралях, которые способны пропускать более двух тысяч автомобилей за час составляет более 80 дБ. Для снижения уровня данного показателя устанавливают шумозащитные ограждения и высаживают зеленые насаждения вдоль магистралей [44].

Исходя из информации журнала Psychological Science, «пробки» на дорогах оказывают негативное влияние на психику человека. Это может значительно отражаться на здоровье и привести к серьезным заболеваниям, которые, без сомнений, проявят себя не сразу. К этому утверждению пришли исследователи Калифорнийского университета.

В 90-х годах XX века учеными были проведены опросы. Респондентами стали 800 участников в возрасте от 25 до 74 лет. Все участники опроса отвечали на заданные вопросы, которые были связаны с состоянием здоровья: тревогой, беспокойствием, дефицитом сил, энергии и с какой периодичностью возникали такие состояния. В 2000-х годах учеными был проведен еще один подобный опрос.

После проведения данного мероприятия, выяснилось, что здоровье человека зависит в большей степени от небольших потрясений (мелкое ДТП или затор на дороге), чем от серьезных стрессовых ситуаций. Ученые доказали, что отрицательные реакции на то, что случается вокруг, накапливаются и могут вылиться в серьезное психическое расстройство.

Понятно, что заторы в крупнейших городах являются длинными и длительными, поэтому водители в России проявляют агрессию по отношению друг к другу [45]. Исследователи утверждают, что частое пребывание в транспортном заторе может нанести серьезный вред здоровью. Исследование австралийских ученых

показало, что приблизительно через час, после того как человек попал в дорожный затор, возрастает риск инфаркта миокарда. Наиболее вероятно, что именно выхлопные газы, шум и стресс стали главной причиной внезапного увеличения числа инфарктов.

Длительное пребывание в заторе вызывает напряжение мышц, что значительно влияет на утомляемость водителя.

Из-за неудовлетворительного состояния здоровья водителя и неисправности ТС может возникнуть негативная ситуация, которая повлияет на остальных участников дорожного движения и на безопасность движения. Поэтому необходимо регулярно следить за исправностью автомобиля, чтобы не вызывать стресс [46].

Е.М. Лобанов [47] обобщил влияние психофизиологических качеств человека на безопасность. Изменение психофизиологических качеств организма водителя зависят и происходят от влияния дорожной обстановки. Им предлагается влиять на формирование дорожных условий, исходя из этих возможностей человека.

Таким образом, можно утверждать, что психофизиологические характеристики – индикаторы дорожных условий и причин возникновения дорожно-транспортных происшествий, что приводит к возникновению заторов.

Психологическая реакция человека и производимая им оценка ситуации не всегда точны. Глаз, ухо человека реагируют абсолютно по-разному в зависимости от возраста и навыков. По мнению Г. Кнофлахера [48] человек не может правильно оценивать характеристики транспортного потока [49].

В современном обществе заторы на дорогах негативно сказываются на самочувствии и здоровье людей. Ненужная задержка в дороге может быть причиной неприятностей на работе (учебе); при простое в «пробке» увеличивается расход топлива и износ ТС, ведь автомобиль все равно работает, но «в холостую»; все это ведет к стрессу и раздражительности участников транспортного затора, что потом сказывается на здоровье.

Транспортные заторы являются главной причиной агрессивного поведения водителя. Отсутствие точной информации о длительности и причине возникнове-

ния транспортных заторов, а также отсутствие общей картины дорожной ситуации перед глазами может привести к стрессовой ситуации.

В наше время, данная проблема является важной, так как люди становятся все менее стрессоустойчивыми и более нервными. Крайне раздраженный человек за рулем автомобиля может стать опасным для окружающих. Негативное эмоциональное состояние не должно влиять на стиль вождения [51].

#### **1.4 Анализ методов предотвращения заторовых явлений**

Как правило, чаще всего заторы возникают, а также являются продолжительными и блокируют движение по проезжей части из-за неэффективной работы УДС. Для того чтобы предотвратить данные явления, необходим комплекс мер. В результате исследований и практического опыта в данной области разработаны комплексные мероприятия для улучшения сложившейся ситуации на УДС. Часть из данных мероприятий нацелена на конкретное выявление и предупреждение заторовых состояний. Такая технология разработана и осуществляется работу в Хельсинки [52]. Суть такого проекта состоит в использовании управляемых знаков ограничения скорости и информационных табло, которые оповещают участников дорожного движения об имеющихся заторах. Такие системы применяются и в других городах, но эффект от них во многом зависит от водительского состава.

Одними из некоторых мер комплекса являются:

- дорожное строительство, т.е. строительство объездных дорог, многоуровневых развязок, надземных и подземных переходов, внеуличных стоянок и парковок. В результате данных мероприятий увеличивается пропускная способность УДС городов, снижаются задержки ТС, связанные с переходным движением. Например, региональные и дорожно-строительные проекты [53, 54].

- снижение интенсивности движения, т.е. платная парковка и стоянка, полный запрет стоянки, повышение привлекательности маршрутно-пассажирского транспорта, автоматические системы контроля въезда на дворовые территории. В

результате чего повышается скорость сообщения, снижаются транспортные задержки, уменьшаются заторовые участки в городе. Например, в городе Белгороде осуществился переход к системе платных парковок, запрет парковок на сильно загруженных улицах [28, 55, 56, 57].

– оптимизация использования существующей УДС, т.е. организация одностороннего и реверсивного движения, выбор оптимальных схем и алгоритмов объектов светофорного регулирования, изменение плана перекрестков, разработка и внедрение АСУДД (автоматизированной системы управления дорожным движением) и ИТС (интеллектуальной транспортной системы). В результате данных мер увеличится пропускная способность УДС на 20-30%; при внедрении АСУДД и ИТС [58, 59]: уменьшение задержек ТС и пассажиров в пути на 20-40%, уменьшение загрязнения окружающей среды, уровня шума, уровня загазованности на 20-30% [60, 61].

Исследователи отмечают, что при имеющемся дефиците ширины проезжей части заторы не могут быть ликвидированы с помощью организационно-управленческих мер, при этом только лишь переносятся места их локализации, тем самым временно смягчается острота данной проблемы. Только при высоком уровне развития транспортной инфраструктуры представляется возможным улучшить данную транспортную проблему городов [62, 63].

В крупных городах для решения транспортных проблем предусматривается строительство сети объездных дорог. Они выполняют основную транспортную работу, которая связывает город с пригородной сетью, а также обеспечивают основной объем перевозок по территории города.

Организационные мероприятия по предотвращению заторовых явлений проводят практически во всех странах мира. Распространенным являются платные стоянки в центре города, а также устройство парковочного пространства около остановочных пунктов общественного транспорта.

В европейских странах применяются автоматизированные системы организации парковок. Установленная радиометка в автомобиле, позволяет передавать радиостанциям информацию о местоположении ТС. Оплата за стоянку взимается

с личного счета владельца автомобиля. ТС с отсутствующей радиометкой учитываются специализированными службами парковочного пространства при помощи метода распознавания регистрационных знаков.

Для предупреждения транспортных заторов в крупных городах используются следующие мероприятия:

- применение системы оплаты проезда по УДС в часы-пик;
- устройство платных парковок в центральной части города;
- создание УДС городского маршрутно-пассажирского транспорта: строительство новых станций метрополитена, увеличение протяженности маршрутов наземного транспорта;
- автоматизированная система управления дорожным движением с адаптивным регулированием светофорных объектов;
- запрет на въезд крупногабаритного транспорта;
- информационные щиты, сообщающие о произошедших ДТП, заторовых явлениях;
- многоуровневые развязки, автомагистрали, позволяющие осуществить разгрузку УДС;
- устройства навигации, при помощи которых через спутник отражается информация о создавшейся ситуации на УДС;
- строительство объездных дорог;
- выделяются отдельные полосы, обозначенные разметкой или невысокими бордюрами для движения легковых ТС и автобусов, которые осуществляют перевозку более одного человека, а также позволяют объехать дорожные заторы в часы пик [64, 65, 66].

Внедрение интеллектуальной транспортной системы (ИТС) на базе современных информационных технологий является эффективным способом повышения пропускной способности городских дорог. В этом случае применяются информационные технологии, предназначенные для моделирования транспортных процессов с целью определения оптимального варианта расположения центров

притяжения, который будет обеспечивать максимальную пропускную способность, как отдельных участков, так и УДС в целом в условиях роста городского автопарка [67, 68].

Неоднократно доказана эффективность применения моделирования ТП. В процессе моделирования при использовании современных компьютерных технологий достигается большой экономический эффект при минимальных трудозатратах и минимальном времени проведения исследования.

В научной практике для изучения различных процессов широко используют аналоговое моделирование, основанное на аналогии физических явлений, имеющих различную природу, но описываемых одинаковыми математическими (дифференциальными, алгебраическими или какими-либо другими) уравнениями.

Одним из видов аналогового моделирования является моделирование, основанное на электрогидродинамической аналогии (ЭГДА), при этом моделью в большинстве случаев выбирается электрическая система, ввиду удобства измерения токов и электрических потенциалов.

В работах научной школы кафедры «Организация и безопасность движения» БГТУ им. В.Г. Шухова под руководством профессора Шутова А.И. на базе основных законов электрического тока были рассмотрены вопросы по разработке методики исследования параметров транспортного потока.

Разработанный принцип моделирования транспортных потоков, основанный на ЭГДА, решает многочисленные задачи по обеспечению безопасного и эффективного движения автотранспорта [69], но данный принцип не применим в динамике.

Существуют несколько состояний ТП, одним из которых является транспортный затор, представляющий наибольший интерес для исследований [70].

К одной из крупных групп моделей ТП можно отнести модели, ТП в которых становится подобным потоку жидкости, так называемые гидродинамические модели [70]. Здесь под транспортным потоком понимается поток одномерной сжимаемой жидкости. Возникают допущения сохранения потока [5]:

$$\rho + \left[ V_{\max} \rho \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_{\max}} \right) \right]_x = 0, \quad x \in R, \quad t > 0 \quad (1)$$

где  $\rho(x, t)$  – плотность ТП в точке  $x$  в момент времени  $t > 0$  (количество транспортных средств на определенном расстоянии),  $\rho_{\max}$  – плотность ТП в заторовом состоянии;

$V(x, t)$  – скорость ТС в точке  $x$  в момент времени  $t$ ;

$V_{\max}$  – максимальная скорость ТС, когда улично-дорожная сеть свободна.

При этом существует линейная зависимость между плотностью ТП и его скоростью [5, 71, 72]:

$$V(\rho) = V_{\max} \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_{\max}} \right), \quad 0 \leq \rho \leq \rho_{\max} \quad (2)$$

В движении ТП по аналогии фазовым переходам жидкости [73] определяют фазовые состояния потока [74, 75]:

- свободный поток (водители выбирают скорость, исходя из свободного движения);
- синхронизированный поток (водители определяют скорость согласно скорости движения ТП);
- широкие перемещающиеся «пробки» (группы ТС движутся аналогично кускам льда в потоке воды);
- старт-стоп движение (ТП имеет сходство с потоком замерзающей воды).

Старт-стоп движение и заторы образовываются в плотном потоке, когда дистанция между ТС меньше критического значения [76, 77].

Также модель кинематических волн описывает «скаккообразное» движение ТС. При построении приняты некоторые допущения [78]: транспортный поток непрерывен; интенсивность ТП определяется как количество ТС, пересекающих границу за определенный промежуток времени; средняя скорость – есть функция плотности; количество ТС сохраняется на участке при отсутствии ответвлений УДС.

Гидродинамическим моделям ТП присуще возникновение неустойчивого состояния, стационарность. При этом они не позволяют описывать процесс воз-

врата потока из неустойчивого состояния в устойчивое при невысоком уровне плотности [79].

Гидродинамические модели второго порядка [80, 81, 81, 83] учли все эти ограничения.

В вероятностных (стохастических) теориях ТП рассматривается как взаимодействие ТС на УДС. Данные модели позволяют моделировать транспортные процессы на перекрестках, включая заторовое состояние на пересечении.

Стохастическая модель [5] рассматривает накопление ТС перед регулируемыми перекрестками. Четыре варианта, предложенных в [5] позволяют говорить о том, что в модели результаты средней длины очереди имеют существенную зависимость от вероятности полного убытия очереди. Модель [5] не применима на многополосном перекрестке.

На сегодняшний день существует ряд методик [4, 5, 37], позволяющих оптимизировать движение ТС на различных участках УДС. Применение этих методик позволяет уменьшить число критических ситуаций и увеличить пропускную способность УДС.

Для эффективного применения вышеуказанных методик целесообразно использовать современные информационные технологии и программное обеспечение. Это помогает значительно увеличить эффективность работы и организовать электронное хранение входных и выходных данных, оптимизировать процессы по их вводу, редактированию, анализу и наглядному представлению, быстро и своевременно корректировать данные и получать соответствующие результаты.

Для повышения достоверности целесообразно рассматривать не одиночно движущийся автомобиль, а транспортный поток в целом. Транспортные потоки складываются из передвижений, совершаемых участниками движения. Основными характеристиками, определяющими количество совершаемых передвижений и их распределение по транспортной сети города, являются потокообразующие факторы транспортной сети.

Характерной особенностью движения является неравномерное распределение транспортных потоков во времени. В течение суток образуются периоды мак-

симальной концентрации движения, так называемые часы пик. Для эффективного решения проблемы заторов требуется численно выразить характеристики транспортного потока. Для этого необходимо создать компьютеризированную модель, основной задачей которой будет регулирование транспортных потоков на перекрестке. Одной из главных задач является определение длины очереди (величины дорожного затора на перекрестке), а также пропускной способности [84].

Для того чтобы понять причину возникновения заторовых ситуаций, необходимо детально изучать процесс движения транспортного потока как транспортную модель [8, 20]. В [85] рассмотрена зависимость длины очереди от времени остановки ТС на светофорном объекте. Используя полученную зависимость, определяются параметры формирования затора (время или длина очереди) у пересечения со светофорным регулированием.

Сегодня широко используются программные обеспечения экспертных систем, которые специализируются в узконаправленной области. Широко используются такие системы как RoadExpert, «ТЕНДЕР», Intelligence Transport Systems

Как правило, системы RoadExpert, «ТЕНДЕР», Intelligence Transport Systems для моделирования ТП применяют теорию графов [86], так как прогнозирование ТП является важным показателем транспортного процесса [87].

Исследования Печерского М.П. и Хорович Б.Г. говорят о заторовых явлениях так, что вначале возникает так называемый первоначальный затор, вызванный образованием длинных очередей на регулируемом перекрестке. Следующим этапом по мере роста очередей возникает вторичный затор, появляющийся в связи с блокированием соседнего перекрестка первоначальным затором. В результате вторичных заторов возникают всеобъемлющие заторы, охватывающие значительные территории УДС.

Факторы, способствующие возникновению всеобъемлющего затора:

- водители автомобилей, движущихся по основным дорогам, неохотно «принимают» альтернативные второстепенные дороги;

- из-за некачественного управления попытка ликвидации затора на одном направлении движения может увеличить степень насыщения других направлений;
- нерегулируемые перекрестки не попадают под сферу влияния системы управления движением.

Для решения возникающих вопросов необходим принципиальный подход к решению задачи. Решение задачи переносится на контур диспетчерского управления, которое при заторовых ситуациях включает в себя: определение места и времени возникновения затора; управление движением в районе, охваченном затором с помощью специального алгоритма и набора специальных технических средств; определение момента окончания затора [89].

Для предотвращения заторов на дороге власти города должны обратить внимание на перепланировку перекрестков и расширение проезжей части. Для того, чтобы предотвратить возникновение заторовых ситуаций, необходимо строить многоуровневые развязки, а также следует выделить отдельную полосу для движения городского транспорта и такси. Наиболее классический способ «борьбы» с затором – это увеличение пропускной способности УДС города.

Для того чтобы свести дорожные заторы к минимальному значению во многих странах мира существуют свои методы. Во-первых, в месте возникновения затора вводится ограничение на вождение личным автомобилем, это говорит о том, что водители обязаны оставить свое ТС на стоянке и пересесть на городской транспорт; во-вторых, ограничение в центре города мест для стоянки ТС; в-третьих, в некоторых городах запрещено движение грузового транспорта в центральную часть [50].

Проанализировав рассмотренные методы «борьбы» с заторами, можно сделать вывод о том, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

## ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1. Существующие понятия и основные параметры транспортного затора включают в себя образование очередей, потери времени в пути, снижение скорости и пропускной способности и увеличение плотности транспортного потока.
2. Геометрические параметры УДС, планировка городов, организация парковочного пространства оказывают прямое влияние на возникновение заторов и требуют постоянного мониторинга и развития под влиянием прогнозируемой обстановки.
3. Приведены и проанализированы последствия, возникающие от дорожных заторов. Рассмотрено влияние заторов на экологическую обстановку городов, а также негативное влияние на психофизиологическое состояние и здоровье людей.
4. Проведен анализ существующих моделей и методов «борьбы» с заторовыми явлениями. Предлагается использование моделирования транспортных потоков, которое способствует решению транспортных задач аналитическим методом.

## ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАТОРОВЫХ СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

### **2.1 Исследование возникновения заторового состояния на регулируемом перекрестке**

Участок УДС, где сконцентрированы маневры ТС, которые связаны с изменением направлений движения, осуществляющий поочередный пропуск переходных и транспортных потоков называется перекрестком.

Перегоном называется участок дороги, соединяющий между собой перекрестки. Как показывает практика, чаще всего на перегонах образуется затор, впервых, из-за изменения погодно-климатических факторов. Во-вторых, перед регулируемыми перекрестками, в связи с повышением интенсивности, снижение скорости. В этом случае интенсивность оттока с перекрестка существенно снижается, тем самым образуя скопление ТС.

Затор образуется на перегоне вследствие увеличения плотности ТП, она принимает максимальное значение, при этом происходит резкое снижение скорости – равна нулю [90, 91].

#### **2.1.1 Экспериментальные методы исследования дорожного движения**

Отечественные и зарубежные ученые-исследователи Г.И. Клинковштейн, В.И. Коноплянко, В.А. Корчагин, Ю.А. Кременец, Е. М. Лобанов, В.В. Сильянов, М.Р. Якимов, П. Пржибыл, F.V. Webster в сфере изучения дорожного движения применяют различные методы. Одни из таковых могут быть доступны всего лишь одному человеку без специализированного оборудования, другие находятся на более высоком уровне и являются очень сложными, использующие дорожные лаборатории и современные технологии. Большое количество различных методов

говорит о том, что, во-первых, существует широкий диапазон задач, решить которые можно при помощи организационных подходов, во-вторых, постоянно развивающиеся технологии, усовершенствование аппаратурного обеспечения для сбора и обработки необходимой информации [4, 8, 92].

Определенные корректировки АСУДД производят посредством изучения методов исследования дорожного движения. Такие системы в автоматическом режиме выполняют функции сбора и обработки большого количества информации о состоянии транспортных потоков (осуществление «мониторинга»). При этом необходимы иногда простые исследования с помощью участия в данном процессе человека-наблюдателя даже на тех территории, которые оснащены автоматизированными системами наблюдения.

Документальное изучение – изучение материала, при котором не требуется выезд на объект исследования (такой режим принято называть камеральными условиями). Его проводят при уже имеющейся информации о необходимых данных или же проводят обработку материала для преследуемой цели.

Документальное исследование включает в себя:

- итоговые данные и картотеки учета ДТП (можно выявить характеристику причин и каким образом возникли, а также места концентрации);
- проектная документация по УДС (появляется возможность узнать характеристику УДС, а именно, геометрические параметры проезжей части);
- материалы о ранее проведенных обследованиях дорожного движения;
- результаты анкетных обследований предприятий;
- отчетные и плановые данные о перевозках, осуществляемых автомобильным транспортом.

Натурные исследования необходимы для получения конкретной информации о транспортных параметрах за рассматриваемый период времени. Такие исследования могут быть осуществлены так называемыми активными и пассивными методами исследования дорожного движения.

Эксперимент, при котором повышают искусственным путем интенсивность движения, чтобы увеличить плотность ТП называют активным.

В свою очередь пассивный метод – метод, при котором наблюдатель проводит исследования, не принимая непосредственное участие в транспортном процессе [8].

### **2.1.2 Программа экспериментального исследования**

Задачей экспериментального исследования являлась проверка правомерности оценки заторовых состояний, которые возникают на проезжей части. В исследованиях заторовых состояний были включены: замеры транспортных потоков, в частности, количество ТС, которые останавливались перед стоп-линией на красный сигнал светофора (т.е. ТС, не успевающие проехать через перекресток на зеленый сигнал светофора), а также ТС, которые добавлялись к уже стоящим на красный сигнал светофора; режимы светофорного регулирования, геометрические параметры, состояние дорожного покрытия. Определены очаги заторовых ситуаций в часы-пик, периоды возрастания и убывания количества ТС по дням недели, месяцам и периодам года.

С целью исследования заторов в городе Белгороде в течение года были обследованы проблемные перекрестки со светофорным регулированием. Изучены геометрические параметры и параметры транспортного потока данных участков: количество полос, схема перекрестка, погодно-климатические условия, состояние проезжей части, уровень загрузки УДС, «зарождение» заторовых явлений. Данные собраны посредством видеофиксации (видеокамера JVC CAMCORDER, модель: GZ – HM435SE, серийный номер 106A3941). Для всех исследуемых перекрестков характерно наличие заторов в часы-пик. Данные обследования на примере одного перекрестка приведены в таблице 1.

Во всех случаях наблюдалась максимальная загрузка УДС в пиковое время, т.е. утренние и вечерние часы.

Исследованы четырнадцать перекрестков района «Харьковская гора» города Белгорода. В течение года проводилась фиксация данных в часы-пик по количеству ТС, стоящих на перекрестке на запрещающий сигнал и по количеству ТС, добавляющихся к ТС, стоящим на запрещающий сигнал светофорного регулиро-

вания. В результате обследования была выявлена зависимость количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал от временного интервала.

По каждому исследуемому перекрестку были построены графики, отображающие характер возникновения заторовых явлений, а именно, начальная стадия образования затора, затор, стадия убытия ТС с перекрестка. Рассмотренные перекрестки представлены на рисунке 7 и в таблице 2.

На основании экспериментальных данных рассчитаны сглаженные значения, с целью минимизации появления точек случайного отклонения от кривой рассчитываемого значения процесса тренда; рассчитаны прогнозируемые значения на различные периоды времени; сформирована база нечетких правил; построена модель при помощи программного продукта MATLAB.

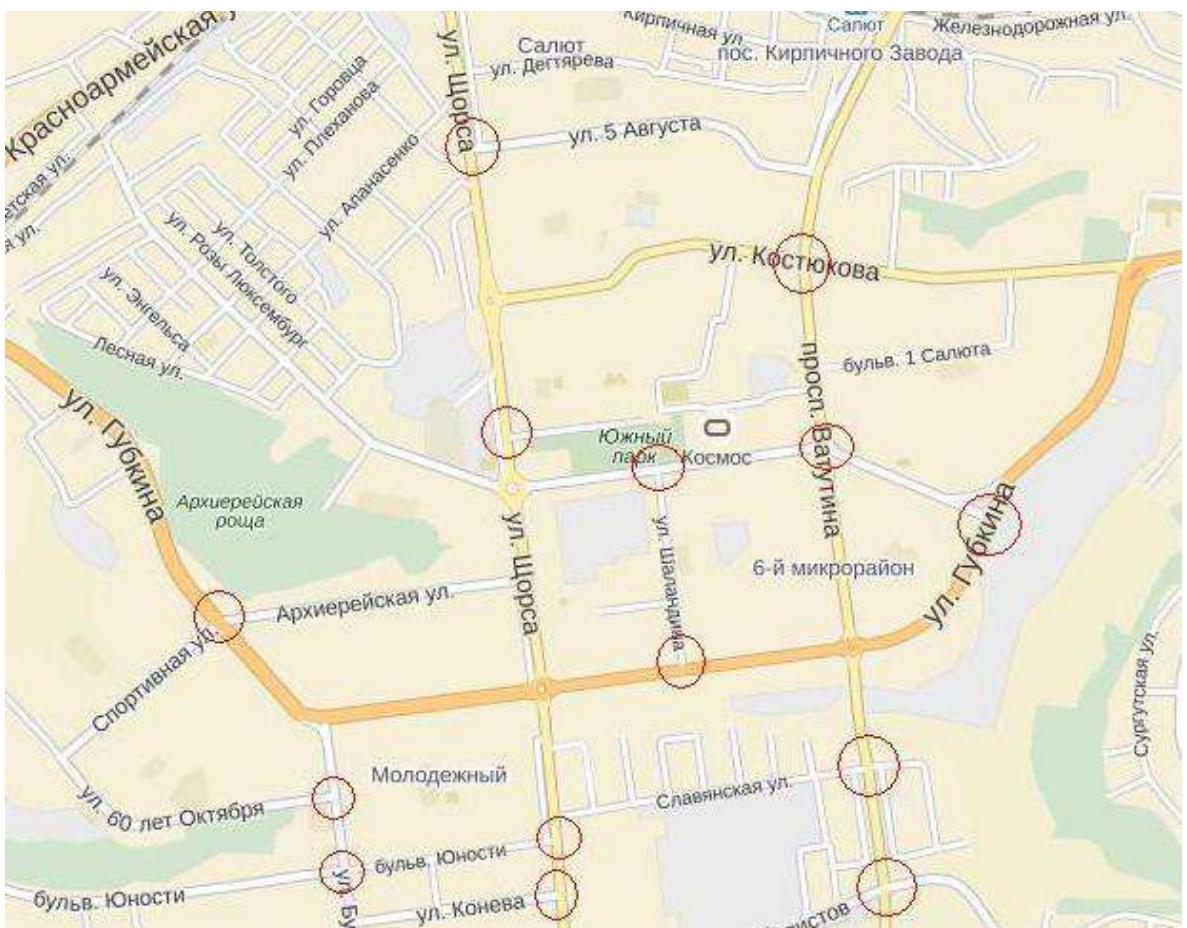


Рисунок 7 – Карта размещения исследуемых объектов

Таблица 2 – Исследуемые объекты

№ п/п	Наименование исследуемого перекрестка
1	проспект Ватутина – проезд Автомобилистов
2	проспект Ватутина – улица Славянская
3	проспект Ватутина – улица Королева
4	проспект Ватутина – улица Костюкова
5	улица Губкина – улица Королева
6	улица Губкина – улица Спортивная
7	улица Шаландина – улица Королева
8	улица Шаландина – улица Губкина
9	улица Щорса – улица 5 Августа
10	улица Щорса – улица Мокроусова
11	улица Щорса – бульвар Юности
12	улица Щорса – улица Конева
13	улица Буденного – улица 60 лет Октября
14	улица Буденного – бульвар Юности

В данной работе на примере одного из рассмотренных X-образных перекрестков в течение часа-пик, имеющего по главной дороге по две полосы в прямом и обратном направлении, по второстепенной – по одной полосе в прямом и обратном направлении были определены следующие исходные данные: длительность цикла, составляющая  $T_{ц}=60\text{с}$ , промежуточный такт  $t_{пр}=4\text{с}$ , время разрешающего такта составляет  $t_{зел}=35\text{с}$ , запрещающего –  $t_{кр}=21\text{с}$ . Количество ТС, подъезжающих к пересечению на красный сигнал светофора, а также количество ТС, добавляющихся к ТС, стоящим уже перед стоп-линией, определялось в каждую минуту и каждые пять минут в течение всего часа. Из экспериментальных данных видно как происходит «зарождение» затора, непосредственно затор и убытие ТС на рассматриваемом участке УДС.

В таблице 3 представлены экспериментальные данные: 1) количество ТС, которые скапливались на запрещающий сигнал светофора на перегоне перед перекрестком; 2) ТС, которые добавлялись к уже стоящим ТС на основании данных,

собранных с помощью видеофиксации на рассматриваемом участке УДС города Белгорода (перегон проспекта Ватутина).

Статистические данные собраны с понедельника по пятницу в утренний час пик. Количество ТС X - это количество ТС, подъезжающих к пересечению на запрещающий сигнал светофора, количество ТС Y- количество ТС, добавляющихся к ТС, стоящим уже перед стоп-линией.

Статистические данные о количестве ТС, представлены по временным отрезкам (которые составляли в данный момент по 5 минут) и по дням недели (понедельник–пятница) (таблица 3). Ввиду этого представляется целесообразным использовать теорию случайных процессов для анализа и прогноза заторовых состояний. На рисунках 8-12 представлены значения количества ТС в утренний час пик.

Таблица 3 – Статистические данные по накоплению ТС на перекрестке

время, мин	День недели														
	понедельник			вторник			среда			четверг			пятница		
	Кол-во TC, X	Кол-во TC, Y	Всего												
5	4	27	31	2	31	33	3	32	35	4	31	35	0	34	34
10	6	48	54	4	52	56	3	49	52	5	52	57	2	54	56
15	20	55	75	21	50	71	19	52	71	23	50	73	19	48	67
20	24	45	69	23	44	67	28	46	74	30	44	74	21	42	63
25	49	67	116	50	56	106	55	59	114	55	56	111	40	54	94
30	88	62	150	86	67	153	102	59	161	107	67	174	86	78	164
35	192	42	234	196	34	230	198	48	246	183	53	236	195	31	226
40	241	16	257	237	22	259	238	19	257	243	21	264	237	23	260
45	244	11	255	238	16	254	238	20	258	229	17	246	235	13	248
50	96	47	143	92	46	138	94	50	144	101	51	152	84	49	133
55	18	61	79	15	61	76	18	69	87	21	71	92	16	55	71
60	6	25	31	4	20	24	4	24	28	4	26	30	3	23	26
$\Sigma$	988	506	1494	968	499	1467	1000	527	1527	1005	539	1544	938	504	1442

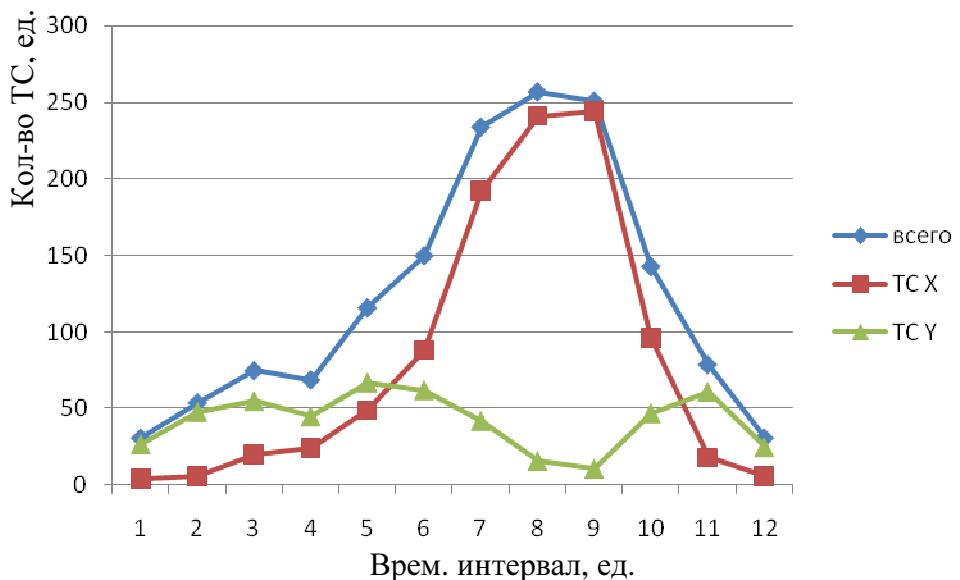


Рисунок 8 – Статистические данные количества ТС в понедельник в утренний час пик (с 7.30 до 8.30)

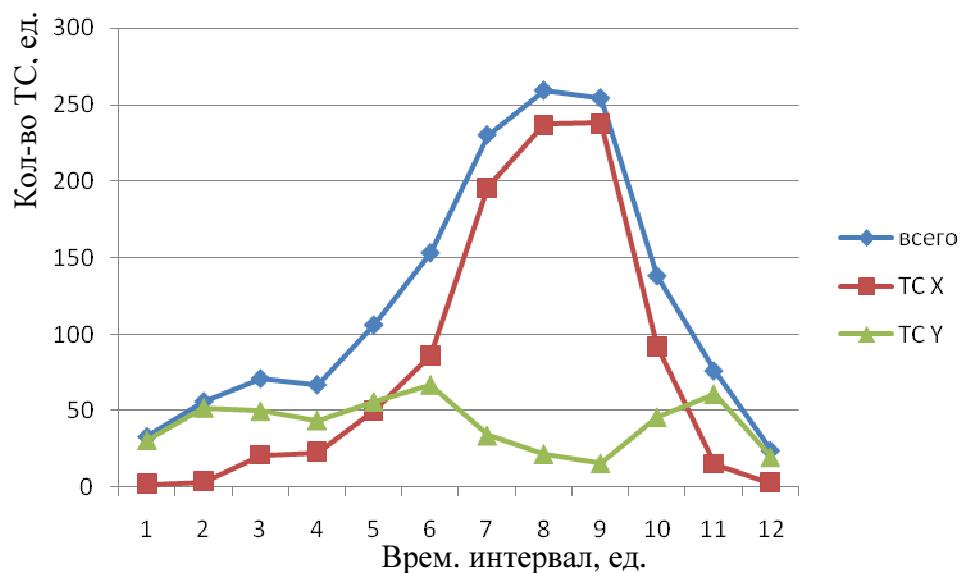


Рисунок 9 – Статистические данные количества ТС во вторник в утренний час пик (с 7.30 до 8.30)

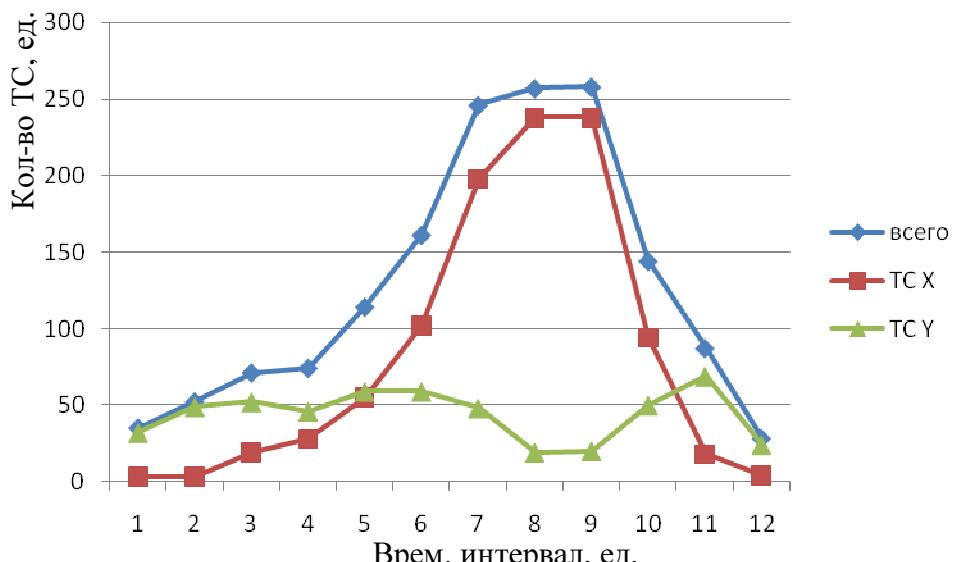


Рисунок 10 – Статистические данные количества ТС в среду  
в утренний час пик (с 7.30 до 8.30)

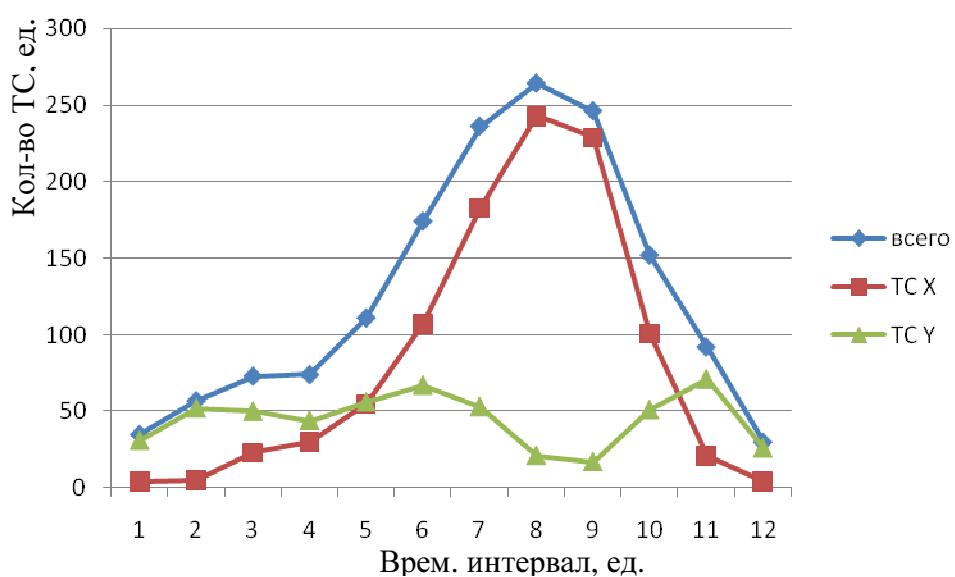


Рисунок 11 – Статистические данные количества ТС в четверг  
в утренний час пик (с 7.30 до 8.30)

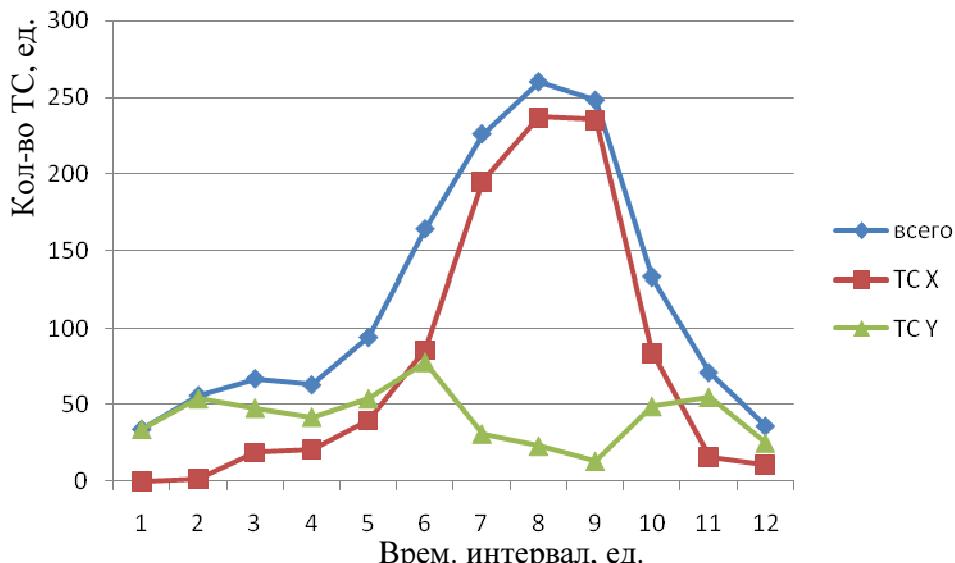


Рисунок 12 – Статистические данные количества ТС в пятницу  
в утренний час пик (с 7.30 до 8.30)

По результатам обследований из статистических данных видно, что заторовое состояние имеет циклический характер, который складывается из трех частей, а именно:

- 1) начальная стадия образования затора (когда интенсивность ТС увеличивается и ТС, стоящие перед стоп-линией не успевают проехать на разрешающий сигнал светофора, тем самым создавая очередь на перегоне, а также скорость ТС падает и начинает стремиться к нулю);
- 2) затор (когда интенсивность стремится быть равной пропускной способности или превышает ее, а также скорость ТС стремиться к нулю);
- 3) стадия убытия ТС (когда интенсивность снижается и ТС, стоящие на запрещающий сигнал светофора успевают проехать перекресток на разрешающий сигнал, не оставляя за собой очередь, также при этом скорость ТС увеличивается).

## 2.2 Анализ циклов возникновения заторов

Стремительные темпы по увеличению интенсивности движения, при создавшихся условиях недостаточно развивающейся инфраструктуры горо-

дов влечет за собой отрицательные последствия. Снижение уровня безопасности дорожного движения несет в себе значительные проблемы. Передвижение ТП и ГП по уличным сетям в условиях перегруженности УДС становится не комфортным и не безопасным это связано с регулярными заторами.

В теории и практике по организации дорожного движения имеется множество различных представлений о заторовых явлениях и методах их ликвидации. В существующих моделях [86] присутствуют недостатки и многие из них трудно применять в управлении транспортными потоками на городских улицах и перекрестках. Все это еще раз говорит о необходимости проведения настоящего исследования и подтверждает актуальность выбранной темы.

Скопление ТС на перекрестках со светофорным регулированием при осуществлении лево- и право- поворотных маневров способствует созданию помех движению ТС, движущихся в прямом направлении. Такое явление кратковременно и относится только лишь к одному перекрестку. Поэтому, несмотря на частость возникновения этого явления, данная ситуация не является затором. Припаркованные вдоль проезжей части ТС также создают помехи движению ТП, сужая проезжую часть. Таким образом, определение понятия «затор» должно максимально точно учитывать критерии, характеризующие это состояние ТП.

Для того чтобы снизить заторовые состояния, необходимо детально изучить места их возникновения, будь то перекрестки или перегоны. В ходе исследования в течение длительного периода на нескольких перекрестках города Белгорода проводился сбор статистических данных, а затем обработка по вопросу «зарождения» затора. Экспериментальные данные показали, что скопление ТС возникает в определенные промежутки времени, и имеет циклический характер.

В ходе результатов обследования можно говорить о том, что одной из причин циклического процесса пребывания ТС к регулируемым перекресткам относится – среднесуточный и сезонный фактор.

Анализ изменения показателей заторовых состояний (табл. 3) в различные временные интервалы и прогноз количества пребывающих ТС на последующий временной интервал произведено с помощью методов интерполяции и экстраполяции математического ожидания тренда  $m_y(t)$ . Операция сглаживания [93, 94], направленная на аппроксимацию полученных значений в ходе эксперимента. С этой целью используется метод построения тренда на практике. В данной работе оно осуществлено по формулам [93]:

$$\left. \begin{array}{l} \tilde{y}_i = \frac{1}{3}(y_{i-1} + y_i + y_{i+1}) \\ \tilde{y}_0 = \frac{1}{6}(5y_0 + 2y_1 + y_2) \\ \tilde{y}_i = \frac{1}{6}(-y_{n-2} + 2y_{n-1} + 5y_n) \end{array} \right\} \quad (3)$$

где  $\tilde{y}_i$  - сглаженные значения.

Для того, чтобы решить типичные задачи используется обычно расчетный метод, название которого принято как метод наименьших квадратов. Возможность данного метода заключается в том, чтобы при существующей зависимости  $y = \varphi(x)$  можно было определиться в правильном выборе числовых параметров, кривая которых позволит более точно отобразить экспериментальные данные при условии, что квадратов отклонений точек от некоторой кривой была минимальной.

При выборе метода наименьших квадратов имеются свои «плюсы» такие как, простой математический способ для определения параметров  $a, b, c$ , и допущение теоретического обоснования с точки зрения вероятности [94].

Для описания случайного процесса в качестве первого приближения использована функция линейной зависимости по отношению к  $t$ , т.е.  $\tilde{y}(t) = a_0 + a_1 \cdot t$ , где оценки  $a_0$  и  $a_1$  вычислены из условия

$$\sum_{i=0}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 = \min, \quad (4)$$

где  $\tilde{y}_i(t)$  - сглаженные значения функции, полученные (3) при  $t_i$  ( $I = 0, 1, \dots, n$ ).

В выражение (4) необходимо подставлять значения, рассчитанные по формулам (3).

Линейные тренды, рассчитанные по статистическим данным, представлены на графиках (рисунок 13-15) и имеют следующий вид:

для общего количества ТС  $\tilde{y}(t) = 115,9421 + 0,2957 \cdot t$ ;

для ТС, стоящих на запрещающий сигнал светофора  
 $\tilde{y}(t) = 72,861 + 0,3016 \cdot t$ ;

для ТС, добавляющихся к стоящим на запрещающий сигнал светофора  
 $\tilde{y}(t) = 43,2525 - 0,0103 \cdot t$ ;

В ряде задач как показала практика анализа временных рядов, в тренде точно прослеживается присутствие гармоник тригонометрического ряда с некоторой частотой. Этот процесс нельзя отнести к случайности регрессионного анализа.

В диссертационной работе аналитическое выражение тренда определено в результате расчета системы тригонометрических уравнений [93] по точкам наблюдений. Полученная функция включает в себя выражение [95, 96]:

$$\omega_1(t) = t - \frac{n}{2} + \sum_{k=1}^p \cos \frac{2\pi k t}{n+1} - \frac{2}{n+1} \sum_{k=1}^p \left( \sum_{t=0}^n \sin \frac{2\pi k t}{n+1} \right) \sin \frac{2\pi k t}{n+1} \quad (5)$$

Проводя анализ появления заторовых состояний, появляется необходимость введения функции (5), так как использование в расчетах только лишь тригонометрических функций невозможно, так как в общих случаях начальные и конечные значения не будут совпадать.

Как известно, в методах прикладного математического анализа [97, 98] применение тригонометрических уравнений – неэффективно. Введение функции (5) позволяет правильно решить поставленную задачу без всякой сложности.

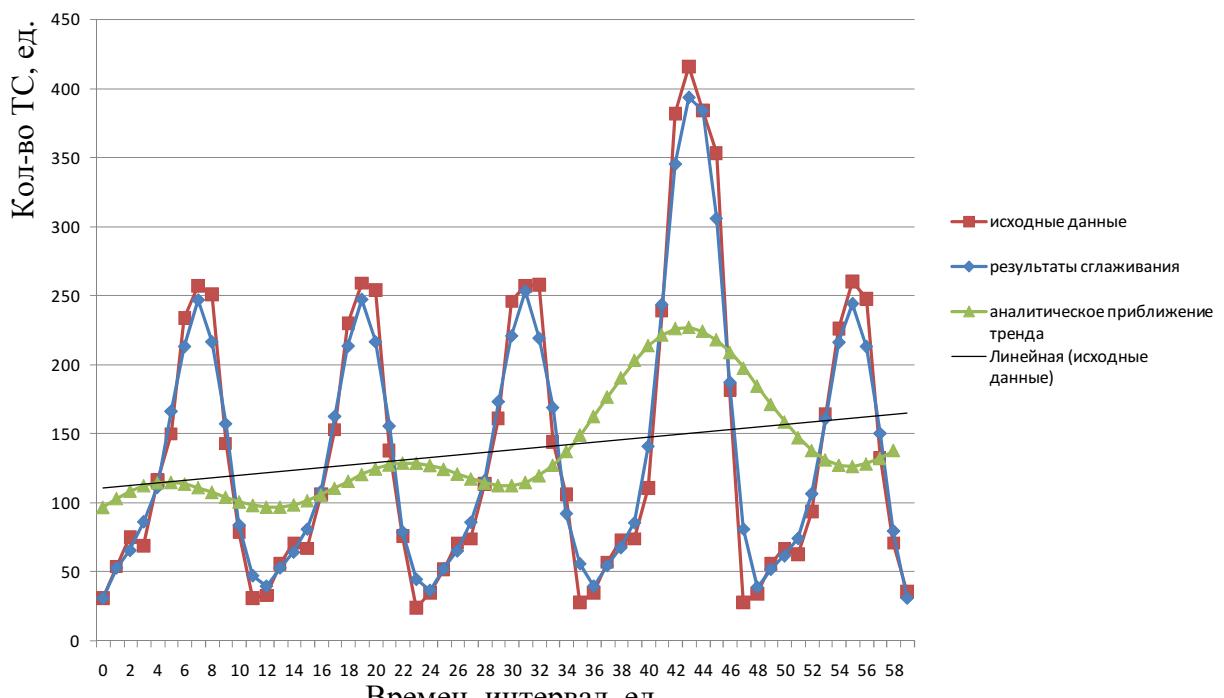


Рисунок 13 – Общее количество ТС с понедельника по пятнице в утренний час-пик (с 7.30 до 8.30) на перекрестке пр. Ватутина – пр-д Автомобилистов

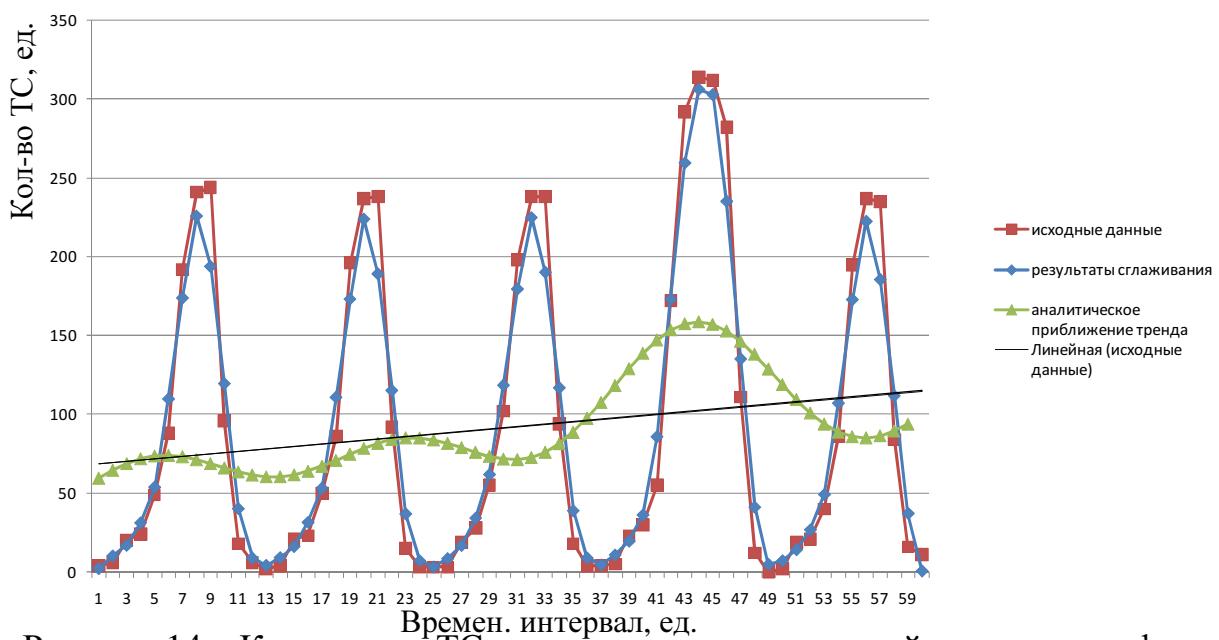


Рисунок 14 – Количество ТС, стоящих на запрещающий сигнал светофора с понедельника по пятнице в утренний час-пик (с 7.30 до 8.30) на перекрестке пр. Ватутина – пр-д Автомобилистов

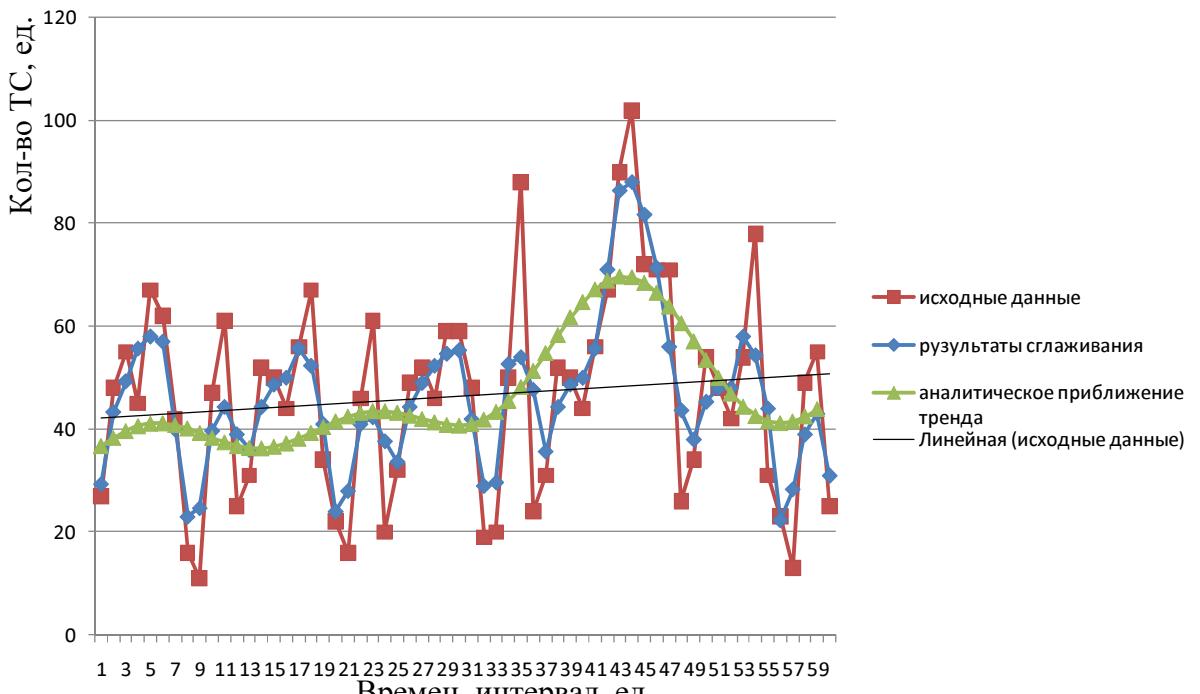


Рисунок 15 – Количество ТС, добавляющихся на запрещающий сигнал светофора к стоящим ТС с понедельника по пятнице в утренний час-пик (с 7.30 до 8.30) на перекрестке пр. Ватутина – пр-д Автомобилистов

Аналитическое выражение представлено по формуле (6):

$$m_y(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^p (\alpha_k \cdot \cos \frac{2\pi k t}{n+1} + \beta_k \cdot \sin \frac{2\pi k t}{n+1}) + \mu \omega_1(t) \quad (6)$$

где коэффициенты  $\alpha_k$ ,  $\beta_k$ ,  $\mu$  вычисляются из уравнений [97, 98]:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n y_i; \alpha_k = \frac{2}{n+1} \sum_{i=0}^n y_i \cdot \cos \frac{2\pi k i}{n+1}; \\ \beta_k &= \frac{2}{n+1} \sum_{i=0}^n y_i \cdot \sin \frac{2\pi k i}{n+1}; \mu = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \omega_1(i)}{\sum_{i=0}^n \omega_1^2(i)} \end{aligned} \quad (7)$$

В выражениях (7) кроме фиксированных значений  $y_i$ , применяются значения функции в точках наблюдения. В основе аналитического приближения тренда заложена функция, применяемая в точках наблюдения.

В уравнении (7) использованы сглаженные значения рассматриваемого временного ряда.

Значения функции  $\omega_1(t)$ , рассчитанные по (5), используя данные, приведенные в таблице 3 при  $p=3$ , имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\omega_1(t) = & t - 29,5 + \cos \frac{2\pi}{60} + \cos \frac{4\pi}{60} + \cos \frac{6\pi}{60} - 0,00005 \sin \frac{2\pi}{60} - 0,00011 \sin \frac{4\pi}{60} \\ & - 0,000164 \sin \frac{6\pi}{60}\end{aligned}\quad (8)$$

Согласно формулам (6), (7), а также (5) получили выражения для определения временных рядов, которые представлены ниже:

для общего количества ТС:

$$\begin{aligned}m_y(t) = & 124,275 - 0,4112t - 3,2306 \cos \frac{2\pi}{60} - 0,9133 \cos \frac{4\pi}{60} - 1,0822 \cos \frac{6\pi}{60} - \\ & 1,5224 \sin \frac{2\pi}{60} + 2,5521 \sin \frac{4\pi}{60} + 1,6032 \sin \frac{6\pi}{60}\end{aligned}\quad (9)$$

для ТС, стоящих на запрещающий сигнал светофора:

$$\begin{aligned}m_y(t) = & 81,5194 - 0,3766t - 2,0866 \cos \frac{2\pi}{60} - 0,1427 \cos \frac{4\pi}{60} - 0,5312 \cos \frac{6\pi}{60} + \\ & 0,0358 \sin \frac{2\pi}{60} + 1,9842 \sin \frac{4\pi}{60} + 0,9022 \sin \frac{6\pi}{60}\end{aligned}\quad (10)$$

для ТС, добавляющихся к стоящим на запрещающий сигнал светофора:

$$\begin{aligned}m_y(t) = & 42,8056 - 0,1209t - 1,0305 \cos \frac{2\pi}{60} - 0,7876 \cos \frac{4\pi}{60} - 0,6742 \cos \frac{6\pi}{60} - \\ & 1,4817 \sin \frac{2\pi}{60} + 0,7312 \sin \frac{4\pi}{60} + 0,7508 \sin \frac{6\pi}{60}\end{aligned}\quad (11)$$

Изменение интенсивности заторовых состояний в решающей степени зависит от времени суток. На рисунках 13-15 представлены графики, полученные в результате расчетов. Необходимо заметить, что вторые слагаемые по формулам (9), (10), (11) свидетельствуют об изменении количества ТС, создающих очередь перед регулируемыми перекрестками за период сбора информации о транспортном потоке. Отрицательный коэффициент при  $t$  показывает закономерность незначительного количества ТС, образующих очередь.

Для проверки тренда на значимость в целом использован критерий Фишера [99, 100, 103]:

$$F = \frac{n-l}{l} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (12)$$

где  $\bar{y} = \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{i=0}^n y_i$  – усредненное значение;

$n+1$  – количество наблюдаемых значений;

$l$  – количество искомых значений тренда, не включающего в себя постоянные составляющие.

Выражение регрессионной оценки значимо при уровне  $\alpha$ , в том случае, когда неравенство (13) удовлетворяет выражение (12):

$$F > F_{1-\alpha}(l, n-1), \quad (13)$$

В практике употребляется уровень значимости, соответствующий  $\alpha = 0,05$ .

Таким образом, неравенство (13) при уровне  $\alpha = 0,05$  выполняется при проверке трендов (9), (10), (11). Следовательно, оценки трендов, полученные в результате проведенных экспериментов не противоречат статистическим данным за рассматриваемый временной интервал.

Таким образом, эксперимент показал, что заторы возникают на УДС городов циклично, т.е. с периодичностью и имеют свою продолжительность.

### 2.3 Прогноз возникновения заторов на УДС города

С целью определения возможного количества ТС на прогнозируемый период времени, находящегося за пределами исследуемого периода, т.е. при  $t_i > t_n$ . Согласно свойству инертности больших технических систем, представляется возможным принять следующее допущение: определенные на стадии анализа закономерности изменения количества ТС будут сохраняться в течение определенного временного интервала.

Аналитическое приближение тренда возникновения заторовых состояний (6) применяется для точечного прогноза значений количества ТС. Найденные значения представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Прогнозируемые значения

Время, мин	Количество ТС	Точечный прогноз	Значения тренда $m_y(t)$	Среднеквадратичные отклонения $\sigma[m_y(t)]$	Граница доверительного интервала $z_1(t)$	Граница доверительного интервала $z_2(t)$
5	28	129,7525	128,2566	40,1	14,75	241,03
10	51	131,0024	126,7231	33,86	30,85	221,91
15	73	132,3127	124,9114	26,65	49,4	199,78
20	71	133,6064	122,9097	16,67	75,58	169,65
25	112	134,8102	120,8112	17,31	83,3	157,77
30	159	135,8602	118,7135	19,02	64,8	172,13
35	212	136,7071	116,7123	37,64	10,29	222,69
40	231	137,3202	114,8916	35,76	13,8	215,59
45	141	137,6893	113,3232	14,99	70,85	155,44
50	68	137,8255	112,0627	14,87	69,96	153,87
55	27	137,7592	111,1435	31,9	21,02	201,02
60	24	137,5374	110,5782	41,5	6,6	227,57

В достоверности прогнозных значений можно убедиться, построив доверительный интервал для рассматриваемого тренда  $m_y(t)$ , используя при этом значения доверительной вероятности. Доверительный интервал включает в пределы верней и нижней границ прогнозные значения.

$z_1(t), z_2(t)$  – границы симметричного доверительного интервала

$$z_1(t) \leq m_y(t) \leq z_2(t) \quad (14)$$

в соответствии с положениями теории вероятности и математической статистики [100, 101] определяются выражениями:

$$z_k = m_y(t) \mp \sigma[m_y(t)] \cdot t_{\frac{1+q}{2}(n-2p-1)}, \quad (k=1, 2), \quad (15)$$

где  $p$  – сумма количества слагаемых, находящихся в выражении (6);

$q$  – вероятность доверительных интервалов;

$t_{\gamma(n-2p-1)}$  – квантиль распределения Стьюдента со степенями свободы  $\gamma$  и  $n-2p-1$ .

Значение квантиля определяется по специальной таблице, основываясь на математическую статистику [100, 102], входом в которую служат числа  $\gamma$  и  $n - 2p - 1$ .

Оценка дисперсии временного ряда рассчитывается по (16):

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{n - 2p - 1} \sum_{i=1}^n [y_i - m_y(t_i)]^2 \quad (16)$$

где  $m_y(t_i)$  – исходные значения функции (6) в период наблюдений.

Для общего количества ТС найдены и сопоставлены значения доверительного интервала.

Для временного ряда аналитическое выражение, включающее в себя показатели и за данный период, и содержащего уже 72 полученных значения, согласно (6), (7) и с учетом (5), при  $p = 3$  принимает следующий вид:

$$m_y(t) = 120,227 - 0,219t + 1,073\cos\frac{2\pi}{72} - 3,635\cos\frac{4\pi}{72} - 2,937\cos\frac{6\pi}{72} - \\ 4,0454\sin\frac{2\pi}{72} - 2,0741\sin\frac{4\pi}{72} + 2,9815\sin\frac{6\pi}{72} \quad (17)$$

Найденные значения тренда  $m_y(t)$  представлены в таблице 4. Функция

$$\omega_1(t) = t - 35,5 + \cos\frac{2\pi}{72} + \cos\frac{4\pi}{72} + \cos\frac{6\pi}{72} - 0,00006\sin\frac{2\pi}{72} - \\ 0,0001\sin\frac{4\pi}{72} - 0,0002\sin\frac{6\pi}{72} \quad (18)$$

В результате проверки на статистическую значимость выражения (15) выявлен 5%-ый уровень.

На рисунке 16 изображены тренды, один из которых построен по 59 рассчитанным значениям, второй имеет 71 значение. На прогнозируемом интервале (60-71) прослеживается между трендами расхождение при добавлении временного интервала. Такой процесс вполне закономерен в зависимости от глубины прогноза.

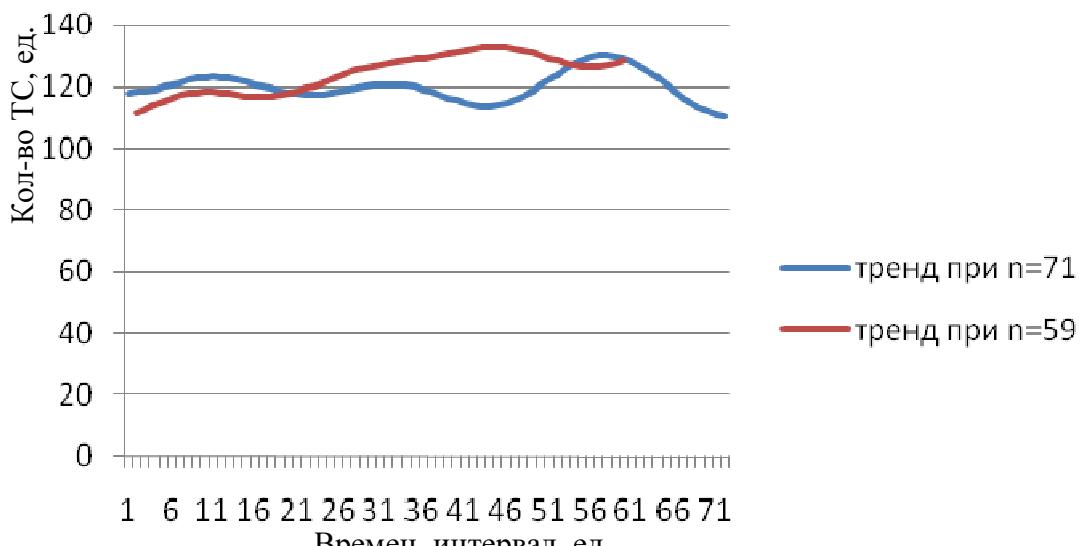


Рисунок 16 – Тренды для общего количества ТС

при прогнозировании заторов

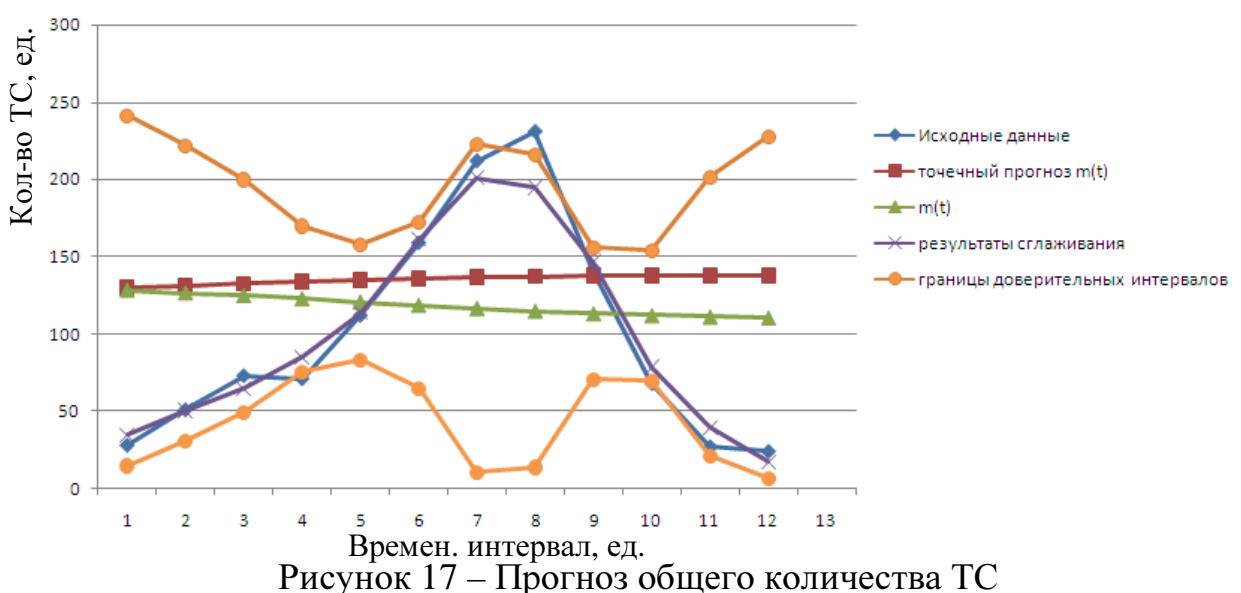


Рисунок 17 – Прогноз общего количества ТС

Прогнозные значения тренда (9) из выражений (16), (17), (18) с учетом среднеквадратичных отклонений  $\sigma[m_y(t)]$  в точках  $t = 60 \div 71$  за понедельник следующей недели и границы 95%-ых симметричных доверительных интервалов для показателей заторов за понедельник следующей недели из выражения (18) таблице 4.

Полученные результаты изображены на рисунке 17. Значения, характеризующие количество ТС в некоторых точках, находятся за пределами дове-

рительных интервалов. При использовании операции сглаживания, согласно системе уравнений (3) выявленная закономерность сохраняется и проявляется в других точках. Наблюдаемый процесс проявляется в результате разброса фиксируемых значений и учитывает возможное увеличение количества ТС в заторовом состоянии.

Аналогично прогнозируется возникновение заторового состояния на последующие дни недели, а также месяцы и годы.

## **ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ**

1. Проведены исследования возникновения заторов на регулируемых перекрестках, выявлены циклические скопления ТС перед ними.
2. Проведенный статистический анализ возникновения заторов на перекрестках определил совокупность выражений для расчета времени, которое определяет длительность заторового состояния, вероятность нахождения системы в заторовом состоянии, вероятность возникновения заторов.
3. Полученные аналитические зависимости позволяют прогнозировать показатели возникновения заторов и в соответствии с прогнозами принимать технические решения.
4. Разработан теоретический подход прогнозирования заторов на основе математической статистики.
5. Расчетным методом подтверждается достоверность полученных результатов прогнозируемых значений количества ТС.
6. Проведенный анализ показал, что главными причинами образования заторов являются такие показатели, как интенсивность, время суток, повышенный спрос водителей на определенный участок УДС.

## ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЦИКЛА СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

### **3.1 Нечеткая логика в области управления техническими системами**

Теория нечетких множеств, основные идеи которой были предложены американским математиком Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) более 35 лет назад, позволяет описывать качественные, неточные понятия, а также оперировать этими знаниями с целью получения новой информации. Основанные на этой теории методы построения информационных моделей существенно расширяют традиционные области применения компьютеров и образуют самостоятельное направление научно-прикладных исследований, которое получило название – нечеткое моделирование [104].

Нечеткая логика, которая является основой для реализации методов нечеткого управления, более естественно описывает характер человеческого мышления и ход его рассуждений, чем традиционные формально-логические системы.

Понятие нечеткого множества допускает различные уточнения, которые целесообразно использовать для более адекватного отражения семантики неопределенности при построении нечетких моделей сложных систем. Одним из таких уточнений является понятие лингвистической переменной, которое широко используется в нечетком управлении для представления входных и выходных переменных управляемой системы.

Лингвистическая переменная считается заданной или определенной, если для нее определено базовое терм-множество с соответствующими функциями принадлежности каждого терма и если она определена как кортеж:  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$  [104, 105],

где  $\beta$  – название лингвистической переменной;

$T$  – множество термов лингвистической переменной;

$X$  – область определения переменных;

$G$  – синтаксическая процедура, описывающая процесс возникновения новых значений для существующей лингвистической переменной;

$M$  – семантическая процедура, позволяющая сопоставить все значения переменных.

Таблица 5 – Символическое обозначение трендов лингвистических переменных в системах нечеткого вывода

Символическое обозначение	Англоязычная нотация	Русскоязычная нотация
NB	Negative Big	Отрицательное большое
NM	Negative Middle	Отрицательное среднее
NS	Negative	Отрицательное малое
ZN	Zero Negative	Отрицательное близкое к нулю
Z	Zero	Нуль, близкое к нулю
ZP	Zero Positive	Положительное близкое к нулю
PS	Positive Small	Положительное малое
PM	Positive Middle	Положительное среднее
PB	Positive Big	Положительное большое

### 3.2 Разработка модели управления светофорным объектом на базе системы нечеткого вывода

Основные задачи системы управления светофорным объектом (СО) зависят от выбора водителями участка УДС, для того, чтобы проехать через данный перекресток.

Разработка систем нечеткого вывода включает в себя несколько этапов, применение которых осуществляется на основании положений нечеткой логики [106].

1. Фазификация: разработка процедуры перехода от четких значений входных переменных к нечетким. Выбор вида и взаимного расположения ФП входных лингвистических переменных.

2. Агрегирование: разработка процедуры, определяющей степени истинности условий по каждому из правил.

3. Активизация: разработка процедуры, определяющей степени истинности заключений по каждому из правил.

4. Аккумуляция: разработка процедуры объединения степеней истинности заключений по всей базе правил.

5. Дефазификация: разработка процедуры перехода от нечеткого значения выходной переменной к четкому.

Лингвистическая переменная определяется базовым терм-множеством с соответствующими ФП [107].

Приняты три входных лингвистических переменных для фаззи-регулятора [108], образующих входной вектор  $\beta = [\beta_1, \beta_2, \beta_3]$ , и одна выходная лингвистическая переменная  $\beta_4$ ,

где  $\beta_1$  – количество ТС, скапливающихся на запрещающий (красный) сигнал светофора;

$\beta_2$  – темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал светофора;

$\beta_3$  – коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги;

$\beta_4$  – длительность разрешающего сигнала.

В предложенной системе нечеткого вывода целесообразно использовались ФП нечетких лингвистических переменных в виде трапеций или треугольников. Этот выбор обусловлен простотой расчета таких ФП и высокой эффективностью программной реализации. Трапециевидные ФП используются для характеристики лингвистических переменных на границах диапазона ее изменения. В остальных случаях используются треугольные ФП. Каждая трапециевидная ФП задается вектором из четырех значений, которые соответствуют абсциссам вершин трапеции. Например, ФП  $F_2 = [f_1, f_2, f_3, f_4]$ . По аналогии формируется треугольная ФП  $F_1 = [f_5, f_6, f_7]$ . На рисунке 18 представлены используемые ФП.

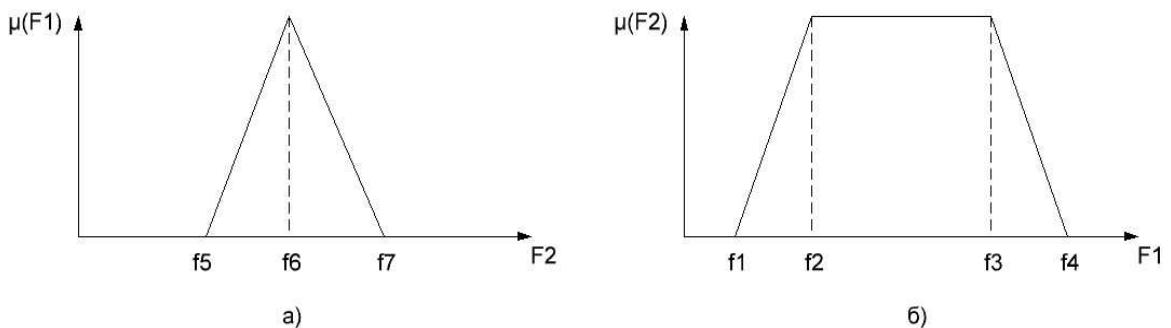


Рисунок 18 – а) треугольная ФП; б) трапециевидная ФП

Как следует из результатов вычислений, диапазон изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал светофора составляет от 0 до 88 единиц. Принят диапазон изменения первой лингвистической переменной  $\Delta\beta_1 = [0; 88]$ . Для описания переменной  $\beta_1$  введено пять ФП, равномерно распределенных по всему диапазону изменения:

- VS (Very Small) – «очень малое» [0; 0; 5; 22];
- S (Small) – «малое» [0; 22; 44];
- M (Medium) – «среднее» [22; 44; 66];
- B (Big) – «большое» [44; 66; 88];
- VB (Very Big) - «очень большое» [66; 83; 88; 88].

На рисунке 19 представлены функции принадлежности для лингвистической переменной  $\beta_1$  – количество ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал.

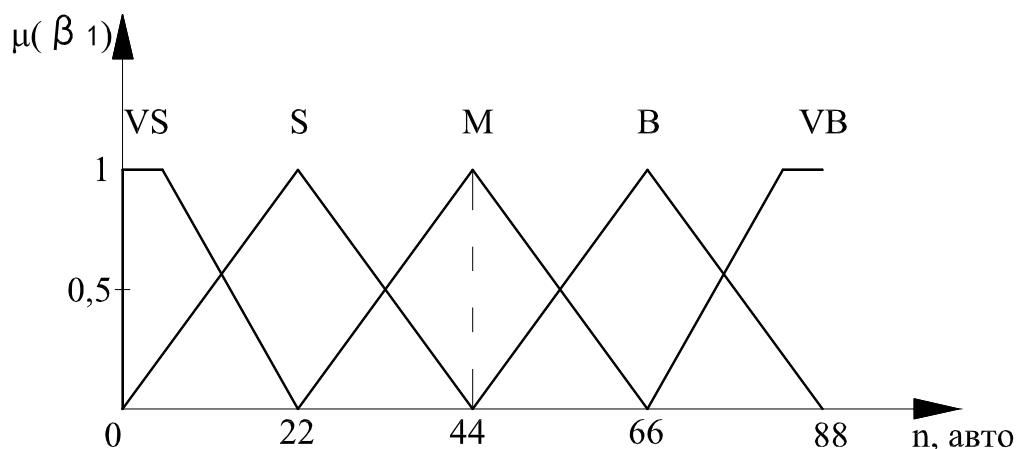


Рисунок 19 – Функции принадлежности для лингвистической переменной  $\beta_1$  – количество ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал

Для построения ФП входных переменных проведен расчет количества ТС и его темп изменения. Результаты измерений получены на основании анализа статистических данных, представленных на рисунке 8-12. Темп изменения количества ТС определяется следующим образом:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_{\text{конеч}} - n_{\text{нач}}}{\Delta t}, \quad (20)$$

где  $n_{\text{конеч}}$  – количество ТС в конечный момент времени,  $n_{\text{нач}}$  – количество ТС в предыдущий момент времени,  $\Delta t = 1$  мин – период измерения количества ТС.

Результаты расчетов для количества ТС, подъезжающих к перекрестку, представлены в таблице 6. Полные расчеты для исследуемого периода представлены в приложении А.

Таблица 6 – Обработка статистических данных

№ п/п	понедельник		вторник		среда		четверг		пятница	
	Ко- личе- ство ТС n, авт	Про- извод- ная коли- чество ТС								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4	-	5	-	5	-	5	-	5	-
2	8	4	11	6	11	6	12	-7	9	4
3	10	2	9	-2	9	-3	9	-3	10	1
4	12	2	4	-5	5	-4	5	-4	5	-5
5	13	1	6	2	7	2	7	2	7	2
6	15	2	12	6	12	5	11	4	11	4
7	16	1	7	-5	7	-5	7	-4	7	-4
8	14	-2	14	7	14	7	14	7	16	9
9	18	4	17	3	13	-1	18	4	15	-1
10	19	1	17	-	17	4	18	-	14	-1
11	15	-4	11	-6	11	-6	12	-6	10	-4
12	12	-3	11	-	11	-	11	-1	10	-
13	10	-3	11	-	11	-	11	-	13	3
14	11	1	21	10	21	10	21	10	20	7
15	17	6	22	1	25	4	22	1	19	-1

Область значений лингвистической переменной  $\beta_2$  – темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал разбиты на пять диапазонов, присвоив каждому из них качественную характеристику (терму):

- NB (Negative Big) – «отрицательное большое» [-24; -24; -19; -9];
- NS (Negative Small) – «отрицательное малое» [-19; -9; 0];
- Z (Zero) – «нулевое» [-9; 0; 9];
- PS (Positive Small) – «положительное малое» [0; 9; 19];
- PB (Positive Big) – «положительное большое» [9; 19; 24; 24].

Для получения формы нечетких терм, характеризующих лингвистическую переменную  $\beta_2$  – темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал, по расчетным данным из таблицы 6 сформирована таблица 7, содержащая статистические величины, согласно теории принятия решений, основанных на положениях нечеткой логики [109]. Значения, полученные в результате расчетов темпа изменения количества ТС  $\frac{dn}{dt}$ , скапливающихся на запрещающий сигнал разбиты на 11 интервалов – такое количество выбрано, исходя из попадания в каждый интервал хотя бы одной расчетной точки. В каждой из пяти строк, соответствующих каждому из диапазонов, содержится количество попаданий расчетных значений в один из интервалов, вместе они образуют матрицу  $(v_{ij})$ ,  $i \in 1 \dots 5$ ,  $j \in 1 \dots 11$ .

В последней строке таблицы 7 приведены элементы, равные  $v_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^n v_{ij}$ .

Из этих значений выбрано максимальное. В этой строке выбран максимальный элемент  $v_{\Sigma max} = \max v_{\Sigma j}$ . В расчетах  $v_{\Sigma max} = 38$ .

Таблица 8 – Статистические данные расчета темпа изменения

количества ТС  $\frac{dn}{dt}$ , скапливающихся на запрещающий сигнал

Лингвистический терм	Количество значений $\frac{dn}{dt}$ , попадающих в соответствующий интервал										
	(-24;-18)	(-18;-14)	(-14;-10)	(-10;-6)	(-6;-2)	(-2;2)	(2;6)	(6;10)	(10;14)	(14;18)	(18;24)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NB	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	1	1	6	12	9	0	0	0	0	0
Z	0	0	0	5	26	18	10	7	0	0	0

Окончание таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PS	0	0	0	0	0	8	9	5	1	0	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	11	1	2	1
$v_{\Sigma}$	1	1	1	17	38	35	19	23	2	2	1

Далее все элементы  $v_{ij}$  таблицы (кроме последней строки) преобразованы по формуле:

$$v_{ij} = \frac{v_{ij} \cdot v_{\Sigma_{\max}}}{v_{\Sigma_j}}. \quad (21)$$

Для построения ФП лингвистической переменной найдены максимальные элементы в строке преобразованной таблицы 8  $v_{i\max} = \max v_{ij}$ .

Таблица 8 – Преобразованные статистические данные расчета темпа изменения количества ТС  $\frac{dn}{dt}$ , скапливающихся на запрещающий сигнал

Лингвистический терм	Преобразованные значения $v_{ij}$											
	(-24;-18)	(-18;-14)	(-14;-10)	(-10;-6)	(-6;-2)	(-2;2)	(2;6)	(6;10)	(10;14)	(14;18)	(18;24)	$v_{i\max}$
NB	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
NS	0	38	38	13,4	11,4	9,8	0	0	0	0	0	38
Z	0	0	0	11,2	26	19,5	20	13,2	0	0	0	26
PS	0	0	0	0	0	8,7	18	18,6	19	0	0	19
PB	0	0	0	0	0	0	0	13,2	19	38	38	38

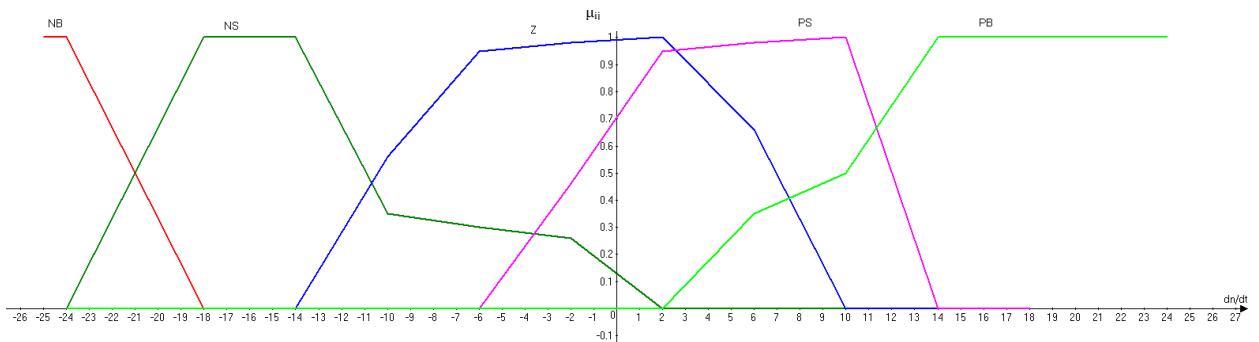
Значения функций принадлежности вычислены по формуле:

$$\mu_{ij} = \frac{v_{ij}}{v_{i\max}}. \quad (22)$$

В результате сформирована таблица 9 значений ФП лингвистической переменной  $\beta_2$  и график ФП представленный на рисунке 20.

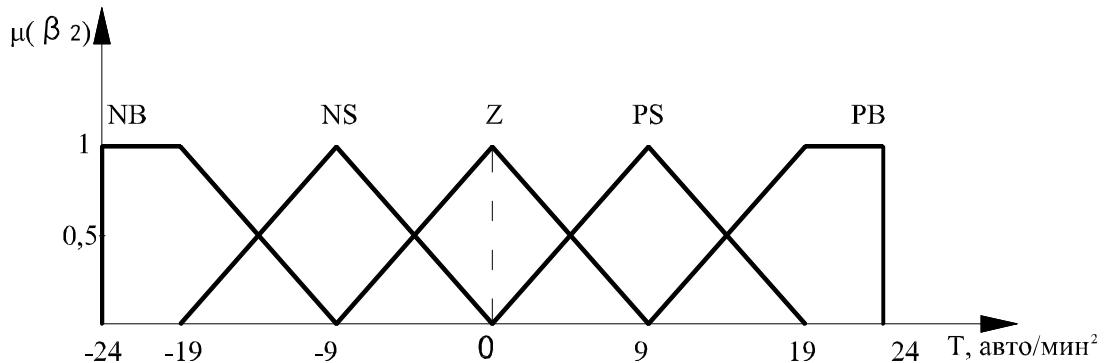
Таблица 9 – Таблица расчетных значений ФП лингвистической переменной  $\beta_2$

Лингвистический терм	Значения ФП $\mu_{ij}$											
	(-24;-18)	(-18;-14)	(-14;-10)	(-10;-6)	(-6;-2)	(-2;2)	(2;6)	(6;10)	(10;14)	(14;18)	(18;24)	
NB	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	1	1	0,35	0,3	0,26	0	0	0	0	0	0
Z	0	0	0	0,56	1	0,98	1	0,66	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0,46	0,95	0,98	1	0	0	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0,5	1	1	1

Рисунок 20 – ФП лингвистической переменной  $\beta_2$ 

При построении графика каждое полученное значение  $\mu_{ij}$  было отложено по оси ординат. В результате все отображенные точки соединили между собой, получив многоугольные ФП.

На рисунке 21 представлены ФП для лингвистической переменной  $\beta_2$  – темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал, интерполированные относительно графика на рисунке 20.

Рисунок 21 – ФП для лингвистической переменной  $\beta_2$  – темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал

Для характеристики переменной  $\beta_3$  – коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги диапазон изменения показателя составляет от 0,2 до 0,8.

С учетом этого область значений лингвистической переменной  $\beta_3$  лежит в интервале [0,2; 0,8]. Для описания лингвистической переменной  $\beta_3$  введены 5 ФП, распределенных по всему диапазону значений переменной:

- VS (Very Small) – «очень малое» [0,2; 0,2; 0,25; 0,35];
- S (Small) – «малое» [0,2; 0,35; 0,65];

- M (Medium) – «среднее» [0,35; 0,5; 0,65];
- B (Big) – «большое» [0,5; 0,65; 0,8];
- VB (Very Big) «очень большое» [0,65; 0,75; 0,8; 0,8].

На рисунке 22 представлены ФП для лингвистической переменной  $\beta_3$ .

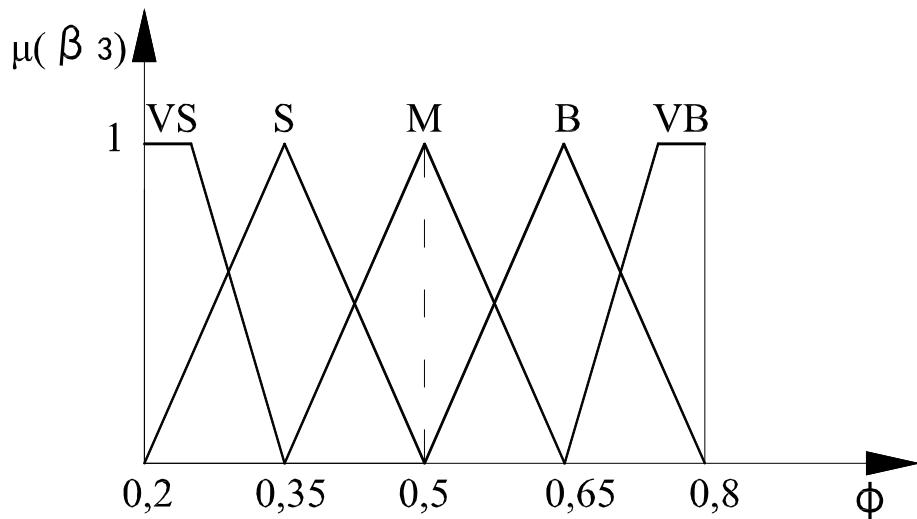


Рисунок 22 – ФП для лингвистической переменной  $\beta_3$  – коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги

Исходя из условий формирования управляющих сигналов СО на основании статистических данных, принят диапазон значений выходной лингвистической переменной  $\Delta\beta_4 = [20; 72]$ . Для описания переменной  $\beta_4$  введены 5 ФП, равномерно распределенных по всему диапазону изменения:

- VS (Very Small) – «очень малое» [20; 20; 23; 33];
- S (Small) – «малое» [20; 33; 46];
- M (Medium) – «среднее» [33; 46; 59];
- B (Big) – «большое» [46; 59; 72];
- VB (Very Big) – «очень большое» [59; 69; 72; 72].

На рисунок 23 представлены ФП для лингвистической переменной  $\beta_4$  – длительность разрешающего сигнала.

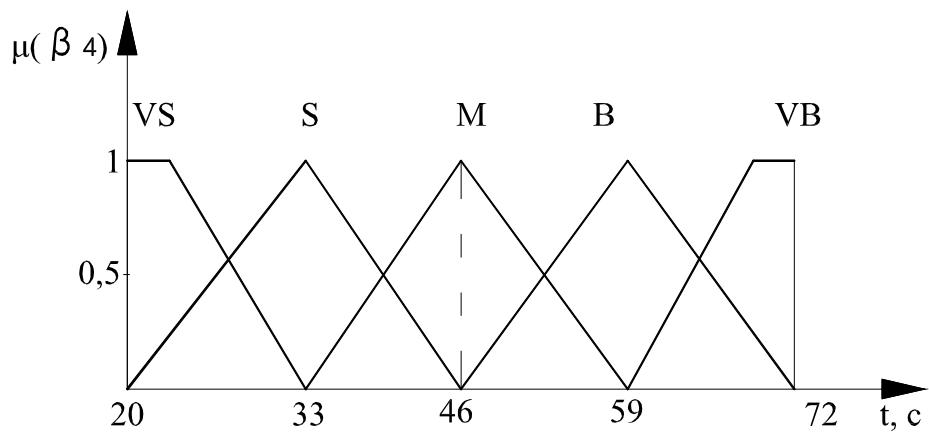


Рисунок 23 – ФП для лингвистической переменной  
 $\beta_4$  – длительность разрешающего сигнала

Существуют множество различных способов для построения нечетких правил в создании нечеткой модели. Наиболее быстрый и легкий способ основан на изучении опыта эксплуатации системы управления и моделирования действий оператора для достижения поставленных целей, т.е. не требуется проводить аналитические вычисления для выработки управляющего воздействия.

Ниже представлены результаты исследования эффективного управления СО:

1. Состояние системы определяет темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал (отношение разности между конечным количеством ТС и начальным к изменению времени) (его величину и знак). Если полученное значение велико (мало), это означает, что длительность разрешающего сигнала велика (мала); если оно положительно (или отрицательно), это означает, что длительность разрешающего сигнала увеличивается (уменьшается).
2. Основная задача управления СО – это создание оптимальной длительности фазы (оптимального режима управления светофорными циклами). При этом необходимо, чтобы во всех направлениях не создавалась такая очередь из ТС, которая бы не успевала покинуть перекресток в момент разрешающего сигнала светофора или же стремилась быть минимальной независимо по главной или второстепенной дороги.

3. Изменение разрешающего сигнала светофорного регулирования напрямую зависит от интенсивности движения.
4. Управляющее воздействие выражается в выборе управляющих сигналов для каждой фазы светофорного регулирования.

Для системы управления СО составлены 125 правил нечеткой продукции на основе статистических данных, полученных в результате измерений и существующей таблицы коэффициентов сцепления [110]. Все правила используются с весовым коэффициентом  $k_b = 1$  и приведены в таблице 10.

В качестве примера приведены пять характерных правил нечеткого вывода:

- 1) ЕСЛИ  $\beta_1 = VS$  И  $\beta_2 = NB$  И  $\beta_3 = VS$  ТО  $\beta_4 = S$ ;
- 2) ЕСЛИ  $\beta_1 = S$  И  $\beta_2 = PS$  И  $\beta_3 = B$  ТО  $\beta_4 = M$ ;
- 3) ЕСЛИ  $\beta_1 = B$  И  $\beta_2 = Z$  И  $\beta_3 = B$  ТО  $\beta_4 = M$ ;
- 4) ЕСЛИ  $\beta_1 = VB$  И  $\beta_2 = NS$  И  $\beta_3 = VB$  ТО  $\beta_4 = B$ ;
- 5) ЕСЛИ  $\beta_1 = VB$  И  $\beta_2 = PB$  И  $\beta_3 = VB$  ТО  $\beta_4 = VB$ .

Первое правило может быть интерпретировано на естественном языке следующим образом: если «Количество ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал»  $\beta_1$  – «очень малое» (VS – Very Small) И «Темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал»  $\beta_2$  – «большое отрицательное» (NB – Negative Big) И «Коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги»  $\beta_3$  – «малое» (VS – Very Small), ТО «Длительность разрешающего сигнала»  $\beta_4$  – «малое» (S – Small).

Таблица 10 – Правила системы нечеткого вывода

Номер правила	Входные переменные			Выходная переменная
	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	
1	2	3	4	5
1	VS	NB	VS	S
2	VS	NS	VS	S
3	VS	Z	VS	S
4	VS	PS	VS	S
5	VS	PB	VS	S
6	S	NB	VS	S
7	S	NS	VS	S
8	S	Z	VS	S

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5
9	S	PS	VS	S
10	S	PB	VS	S
11	M	NB	VS	S
12	M	NS	VS	S
13	M	Z	VS	M
14	M	PS	VS	M
15	M	PB	VS	M
16	B	NB	VS	M
17	B	NS	VS	M
18	B	Z	VS	M
19	B	PS	VS	M
20	B	PB	VS	B
21	VB	NB	VS	B
22	VB	NS	VS	B
23	VB	Z	VS	B
24	VB	PS	VS	B
25	VB	PB	VS	B
26	VS	NB	S	S
27	VS	NS	S	S
28	VS	Z	S	S
29	VS	PS	S	S
30	VS	PB	S	S
31	S	NB	S	S
32	S	NS	S	S
33	S	Z	S	S
34	S	PS	S	S
35	S	PB	S	M
36	M	NB	S	S
37	M	NS	S	M
38	M	Z	S	M
39	M	PS	S	M
40	M	PB	S	B
41	B	NB	S	M
42	B	NS	S	M
43	B	Z	S	M
44	B	PS	S	B
45	B	PB	S	B
46	VB	NB	S	M
47	VB	NS	S	M
48	VB	Z	S	B
49	VB	PS	S	B
50	VB	PB	S	B
51	VS	NB	M	VS
52	VS	NS	M	VS
53	VS	Z	M	VS
54	VS	PS	M	S
55	VS	PB	M	S

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5
56	S	NB	M	S
57	S	NS	M	S
58	S	Z	M	S
59	S	PS	M	M
60	S	PB	M	M
61	M	NB	M	S
62	M	NS	M	S
63	M	Z	M	M
64	M	PS	M	M
65	M	PB	M	B
66	B	NB	M	M
67	B	NS	M	M
68	B	Z	M	M
69	B	PS	M	B
70	B	PB	M	B
71	VB	NB	M	B
72	VB	NS	M	B
73	VB	Z	M	B
74	VB	PS	M	B
75	VB	PB	M	VB
76	VS	NB	B	S
77	VS	NS	B	S
78	VS	Z	B	S
79	VS	PS	B	S
80	VS	PB	B	S
81	S	NB	B	S
82	S	NS	B	S
83	S	Z	B	S
84	S	PS	B	M
85	S	PB	B	M
86	M	NB	B	S
87	M	NS	B	S
88	M	Z	B	M
89	M	PS	B	M
90	M	PB	B	M
91	B	NB	B	M
92	B	NS	B	M
93	B	Z	B	M
94	B	PS	B	B
95	B	PB	B	B
96	VB	NB	B	B
97	VB	NS	B	B
98	VB	Z	B	B
99	VB	PS	B	B
100	VB	PB	B	B
101	VS	NB	VB	S
102	VS	NS	VB	S

Окончание таблицы 10

103	VS	Z	VB	S
104	VS	PS	VB	S
105	VS	PB	VB	S
106	S	NB	VB	S
107	S	NS	VB	S
108	S	Z	VB	S
109	S	PS	VB	M
110	S	PB	VB	M
111	M	NB	VB	S
112	M	NS	VB	S
113	M	Z	VB	M
114	M	PS	VB	M
115	M	PB	VB	M
116	B	NB	VB	M
117	B	NS	VB	M
118	B	Z	VB	M
119	B	PS	VB	B
120	B	PB	VB	B
121	VB	NB	VB	B
122	VB	NS	VB	B
123	VB	Z	VB	B
124	VB	PS	VB	VB
125	VB	PB	VB	VB

Формирование поверхности нечеткого вывода для разработанной нечеткой модели  $\beta_4$  – длительность разрешающего сигнала реализовано в системе *Matlab* и описано в следующем подразделе.

### 3.3 Реализация системы нечеткого вывода в среде *Matlab* для формирования управляющего сигнала светофорным объектом

Формирование поверхности нечеткого вывода для разработанной модели на базе правил системы управления СО применен алгоритм Мамдани [106]. Выбор данного алгоритма является целесообразным в виду простоты использования при настройке регулятора и качества реализации алгоритмов управления.

Последовательность алгоритма сводится к выполнению основных этапов нечеткого вывода. Этапы процесса нечеткого вывода описываются следующим образом. В процессе фазификации для каждого из подусловий базы не-

четких правил « $G_j = a_{ji}$ » определяются степени истинности каждого условия, рассчитанного по (23) [104]:

$$b_{ij} = m_{a_{ij}}(G_j), \quad (23)$$

где  $i = 1 \div n$ ,  $n = 125$  – количество правил системы нечеткого вывода,  $j = 1 \div k$ ,  $k = 3$  – количество входных лингвистических переменных,  $m_{a_{ij}}(\nu_k)$  – ФП терма  $\beta_k$ .

Процедура агрегирования определяет истинность представленных условий по имеющимся правилам нечеткой продукции. Полученная база правил имеет множество условий, которое включает в себя некоторое количество подусловий. Все подусловия объединены связкой «И», так называемой нечеткой конъюнкцией. В результате, истинность каждого определена с помощью выражения в соответствии с нечетким моделированием и управлением [111]:

$$b_i = \max(b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}), \quad (24)$$

где  $m$  – количество подусловий для  $i$ -го правила.

Целью процедуры активизации является нахождение степени истинности и значения ФП заключения правил системы нечеткого вывода. При условии, что значения весовых коэффициентов равны 1, степень истинности  $i$ -го условия равна степени истинности  $c_i$  заключения, при этом  $i$  – номер правила. Для определения значений ФП правил системы нечеткого вывода для выходной лингвистической переменной  $\beta_4$ , осуществлено методом min-активации [104]:

$$m_{di} = \min(c_i /, m_{di}). \quad (25)$$

Для нахождения ФП для выходной лингвистической переменной  $\beta_4$  применяется процедура аккумуляции, состоящая в объединении всех степеней истинности заключений правил системы нечеткого вывода. Аккумуляция осуществляется в соответствии с выражением [104]:

$$m(\nu_4) = \max(m_{di}(\nu_4), m_{du}(\nu_4)), \quad (26)$$

где  $u = 1 \div n$  и  $u \neq i$ .

Процесс дефазификации производится на основании метода центра площади по формуле [104]:

$$\frac{\int_{Min}^u M(\beta_4) d\beta_4}{\int_{Min}^{Max} M(\beta_4) d\beta_4}, \quad (27)$$

где  $Min$  и  $Max$  – левая и правая точки интервала носителя [103] нечеткого множества лингвистической переменной  $\beta_4$ ,  $u$  – результат дефазификации.

Для реализации системы нечеткого вывода в среде *Matlab* имеется специальный пакет *Fuzzy Logic Toolbox*. В его состав входят следующие графические средства редактирования элементов систем нечеткого вывода:

1. Редактор систем нечеткого вывода *FIS*.
2. Редактор ФП систем нечеткого вывода (*Membership Function Editor*).
3. Редактор правил системы нечеткого вывода (*Rule Editor*).
4. Программа просмотра правил системы нечеткого вывода (*Rule Viewer*).
5. Программа просмотра поверхности системы нечеткого вывода (*Surface Viewer*).

Основным средством создания и редактирования систем нечеткого вывода в графическом режиме является редактор *FIS*, графический интерфейс которого представлен на рисунке 24.

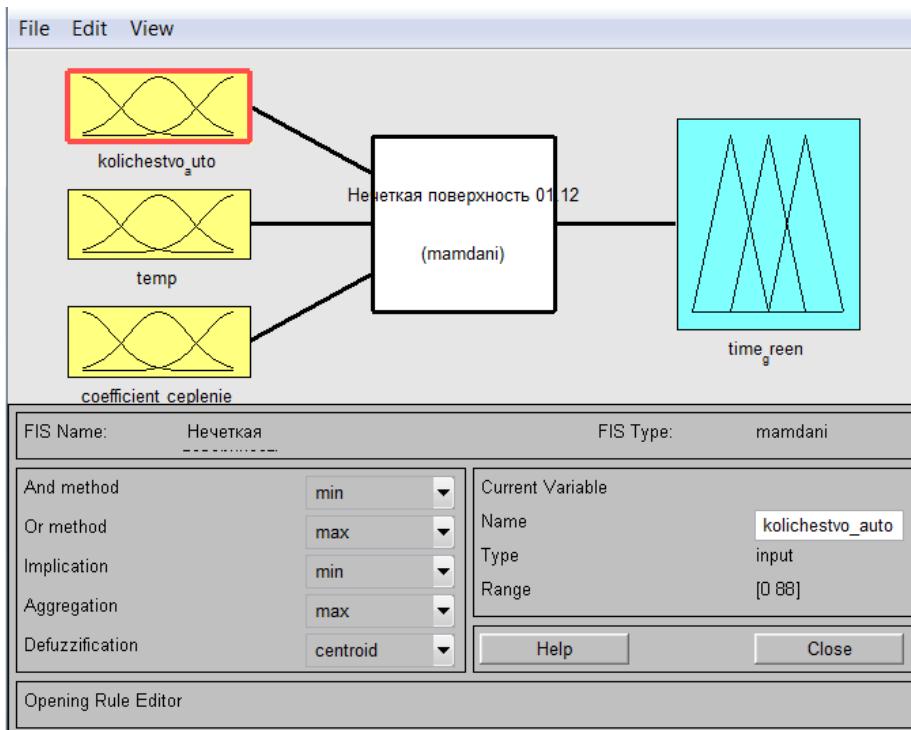


Рисунок 24 - Графический интерфейс редактора *FIS*

Для построения системы управления СО определены три входные переменные для фаззи-регулятора:

- *Kolichestvo auto*, соответствующая лингвистической переменной  $\beta_1$  – количество ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал»;
- *Temp*, соответствующая лингвистической переменной  $\beta_2$  – темп изменения количества ТС, скапливающихся на запрещающий сигнал;
- *Sceplenie*, соответствующая лингвистической переменной  $\beta_3$  – коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги.

Задается одна выходная переменная *Time*, соответствующая лингвистической переменной  $\beta_4$  – длительность разрешающего сигнала.

В нижней части окна редактора FIS необходимо выбрать алгоритмы выполнения нечеткого логического умножения и сложения. Определен алгоритм *min* для нечеткого логического умножения и алгоритм *max* для нечеткого логического сложения.

Далее с помощью редактора *Matlab* определены ФП термов для каждой из переменных системы нечеткого вывода. Графический интерфейс редактора ФП для входных и выходных переменных представлен на рисунках 25 – 28.

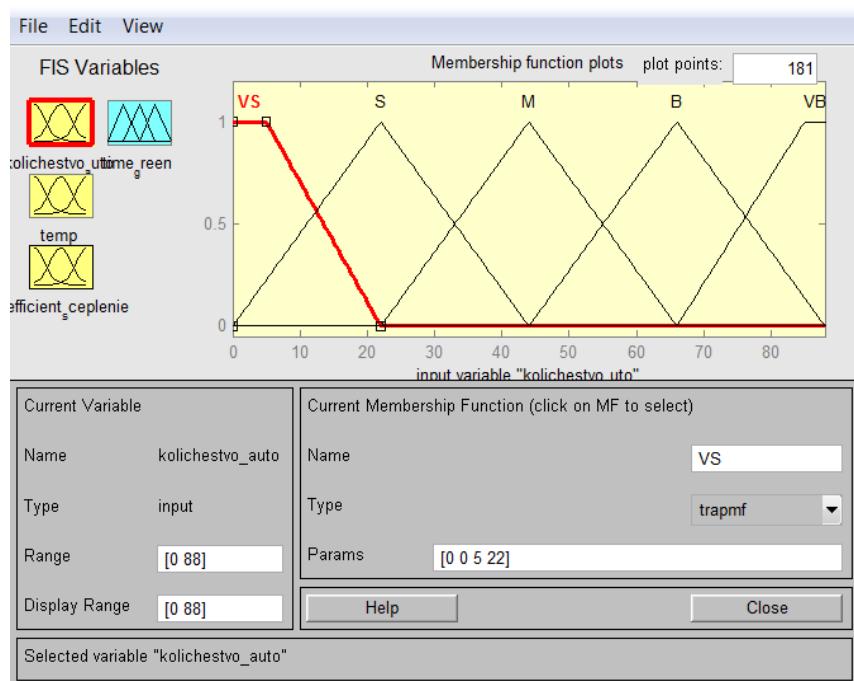


Рисунок 25 – Графический интерфейс редактора ФП для входной переменной *Kolichestvo auto*

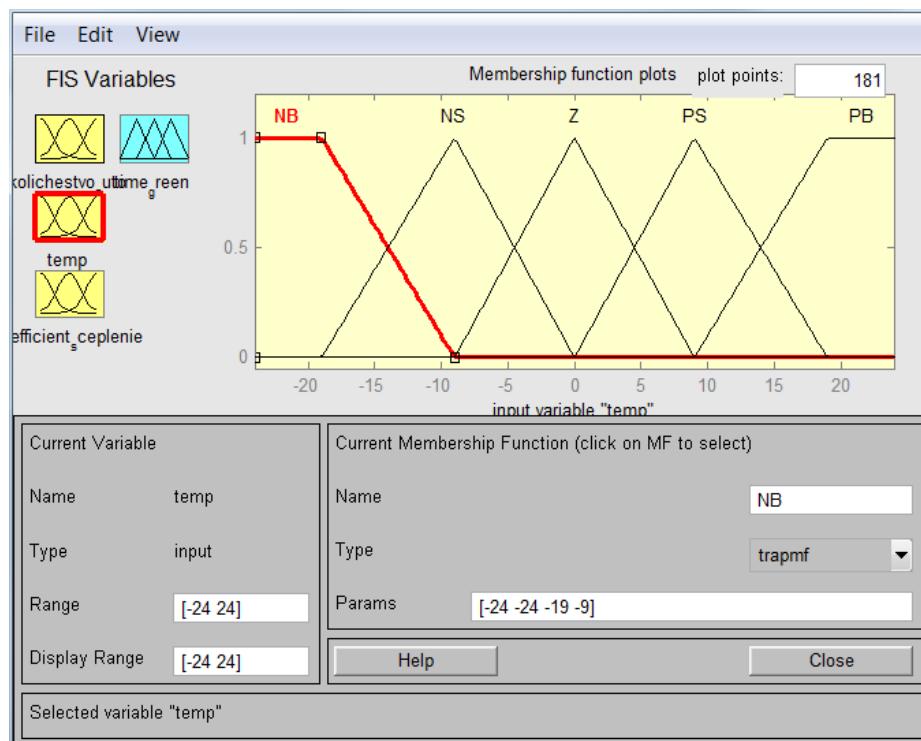


Рисунок 26 – Графический интерфейс редактора ФП  
для входной переменной *Temp*

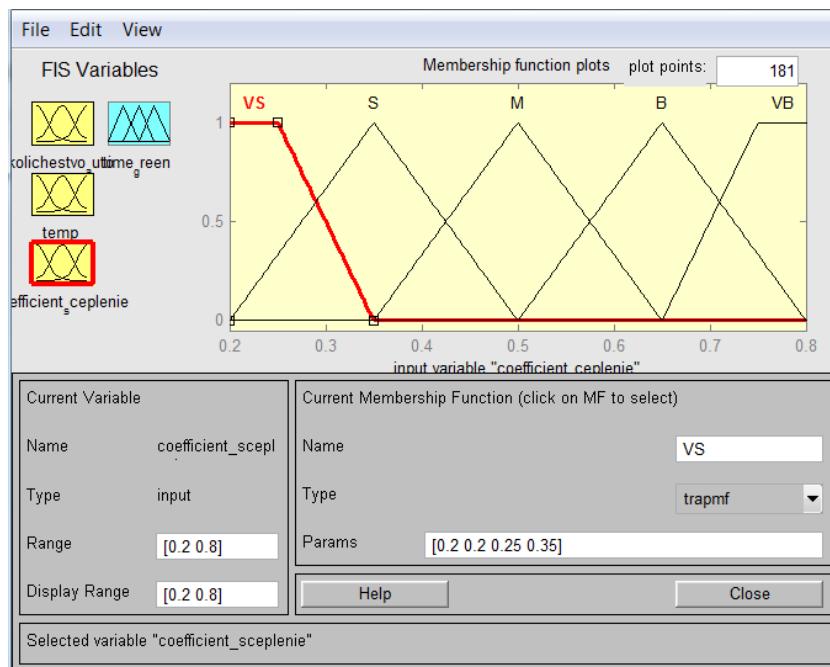


Рисунок 27 – Графический интерфейс редактора ФП для входной переменной *Sceplenie*

В нижней части окна редактора указывается имя нечеткой переменной, ее тип (входная или выходная) и диапазон изменения. Те же параметры необходимо указывать для каждой из лингвистических термов. Исходя из выше описанной методики, в рассматриваемой системе нечеткого вывода используются ФП лингвистических термов треугольного и трапециевидного типа.

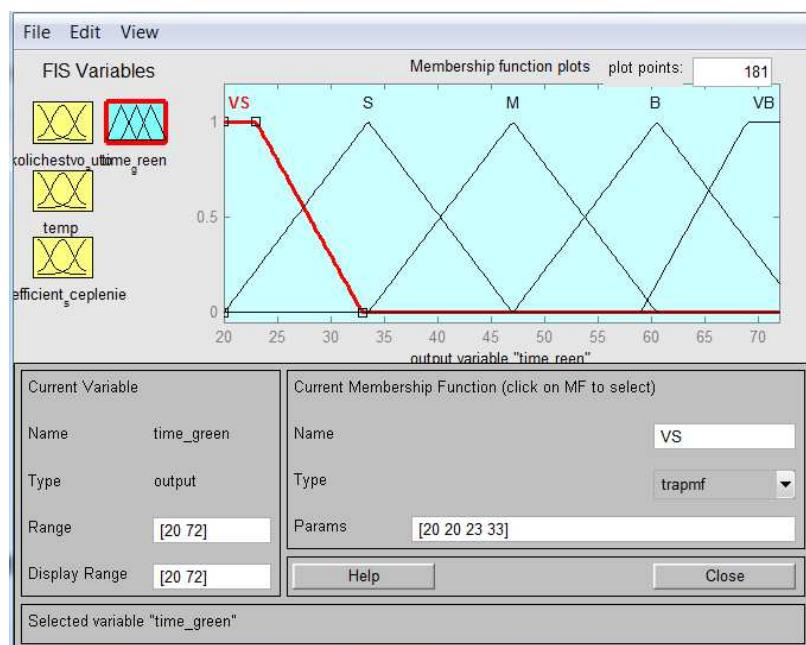


Рисунок 28 – Графический интерфейс редактора ФП для выходной переменной *Time*

Для задания 125 правил разрабатываемой системы нечеткого вывода применялся редактор правил системы *Matlab*. Весовой коэффициент для каждого правила равен единице. Связь подусловий в правилах нечеткой продукции осуществляется с помощью операции логического умножения.

С целью оценки работы построенной системы нечеткого вывода для управления СО необходимо открыть программу просмотра правил системы *Matlab* и ввести значения входных переменных.

Результат расчета сигнала управления СО на основании нечеткого вывода проиллюстрирован на примере:  $\beta_1 = 44$  – количество автомобилей;  $\beta_2 = 5$  – это свидетельствует о том, что темп изменения интенсивности имеет различный характер;  $\beta_3 = 0,4$  – значение коэффициента сцепления. В результате процесса нечеткого вывода получили, что  $\beta_4 = 47$  – сигнал управления. Просмотр полученных в результате правил выполняется в графическом интерфейсе и представлен на рисунке 29.

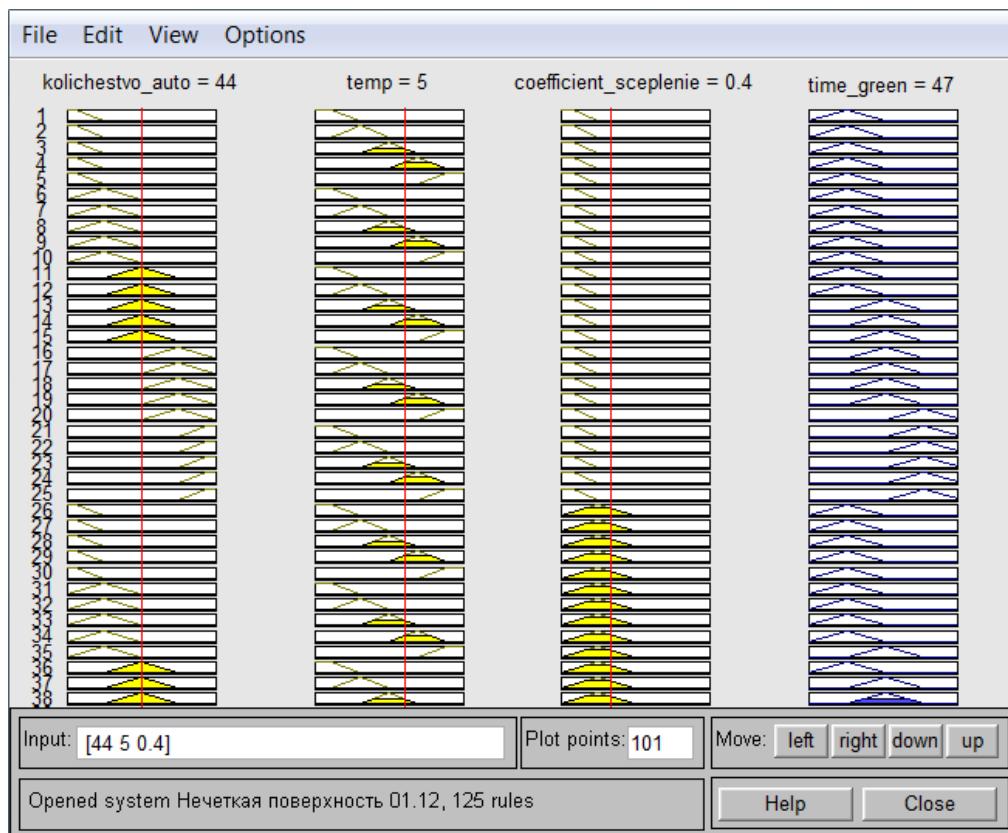


Рисунок 29 – Графический интерфейс программы просмотра правил после выполнения процедуры нечеткого вывода

Для общего анализа разработанной нечеткой модели системы управления СО полезна визуализация соответствующей поверхности нечеткого вывода (рисунок 30).

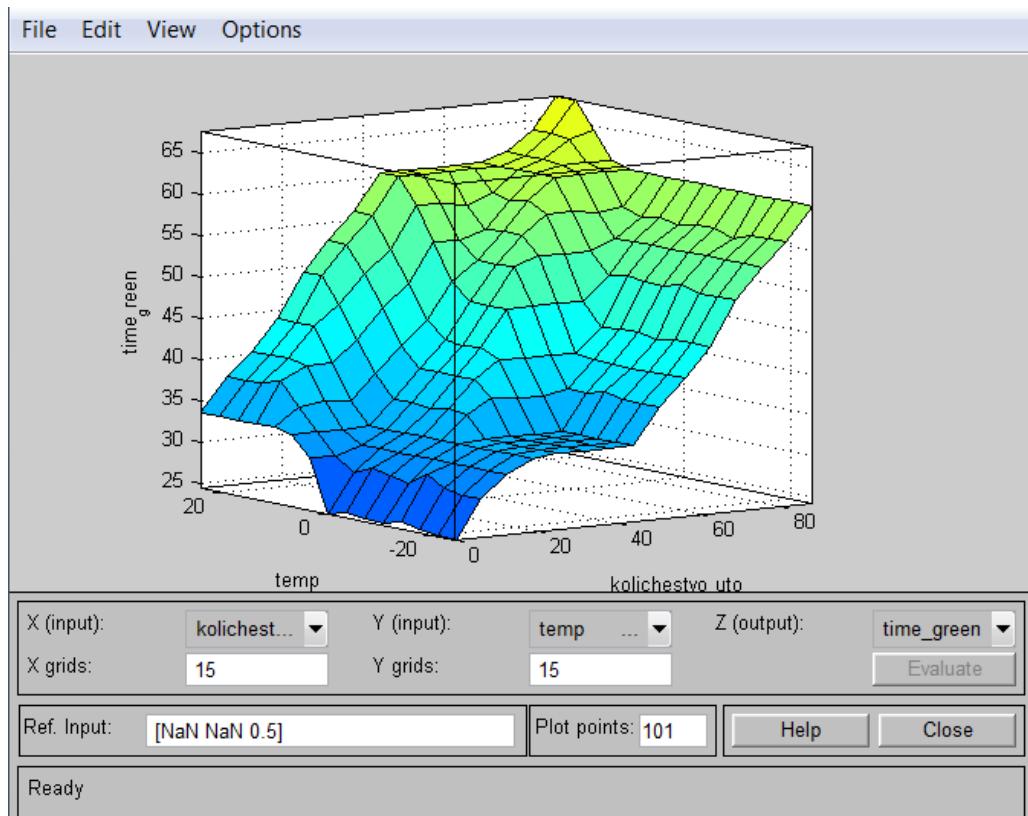


Рисунок 30 – Поверхность нечеткого вывода

Представленная на рисунке 30 поверхность нечеткого вывода позволяет установить зависимость значения выходной переменной  $\beta_4$  от значений входных переменных  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  и  $\beta_3$  нечеткой модели системы управления СО. Данная зависимость может быть использована при программировании контроллера, а также при реализации управляющего алгоритма в качестве табличных решений.

Таким образом, задачу получения управляющего сигнала для СО можно решить, используя систему нечеткого вывода.

## ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Из статистических данных видно, что в течение суток происходит изменение интенсивности движения, которое требует определенную длительность разрешающих сигналов. При использовании жесткого программного управления видно, что задержка ТС неоправданно растет. Для компенсации негативного воздействия целесообразно использовать адаптивную систему управления, которая имеет обратную связь с транспортным потоком. Она реализуется при помощи детекторов транспорта, находящихся в зоне перекрестка и фиксирующих непрерывный поток информации о параметрах ТП.
2. Анализ факторов, влияющих на процесс возникновения заторов и систем управления СО показывает возможность применения методов нечеткого вывода для построения математической модели в системе управления СО.
3. Приняты три входных лингвистических переменных для модели нечеткого вывода, образующих входной вектор  $\beta = [\beta_1, \beta_2, \beta_3]$ , и одна выходная лингвистическая переменная  $\beta_4$ . Обоснованы виды ФП для входных и выходных лингвистических переменных. В рассматриваемой модели нечеткого вывода приняты к использованию треугольные и трапециевидные ФП. Разработана база правил, имеющая в своем составе 125 правил нечеткой продукции.
4. Представлена реализация разработанной модели нечеткого вывода в пакете Fuzzy Logic Toolbox среды Matlab. Для оценки работоспособности и адекватности предлагаемой модели нечеткого вывода проведен анализ графического интерфейса программы просмотра правил и поверхности нечеткого вывода для построения модели в системе управления СО.

## ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В четвертой главе осуществлены расчеты по определению экономической эффективности мероприятий при ОДД на участках УДС, которые расположены на пересечениях района Харьковской горы города Белгорода. При уменьшении возникновения заторовых явлений необходимо произвести расчет показателей экономической эффективности. К таковым показателям относятся: снижение задержек ТС на рассмотренном участке УДС города, годовую экономию топлива, снижение потерь от выбросов вредных веществ в атмосферу.

Обычно к показателям экологического состояния окружающей среды относят суммарное значение выбросов окислов азота и окиси углерода в единицу времени, а также уровень шумового загрязнения [111]. Допустимая концентрация токсичных веществ в воздухе ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) определяется как разность предельно допустимой концентрацией и концентрацией токсичных веществ в воздухе.

По каждому из определенных токсичных компонентов необходимо выполнять оценку массовых выбросов по существующим стандартным методикам [112]. Они позволяют производить расчеты не только для перекрестков со светофорным регулированием, а также для перегонов УДС городов.

На сегодняшний день существуют несколько программ отечественного происхождения. Они позволяют оценивать количество массовых выбросов вредных веществ в окружающую среду от транспортных средств на дорогах общего пользования, как в городских условиях, так и в загородных.

К расчетным программам относятся:

«МАГИСТРАЛЬ» – данная программа предназначена для определения количества выбросов вредных веществ (оксид углерода, азота, углеводороды, сажа, различные соединения свинца) автомобильным транспортом в условиях города (методика, принятая для г. Москва в 1997 г.);

«ЭКОЛОГ ПРО» – позволяет осуществлять оценку по значению концентрации вредных веществ на различном диапазоне высот от уровня поверхности земли; учитывать при расчетах классификацию типов источников выбросов, влияние застройки городов; осуществлять взаимосвязь с различными программами, позволяющими обеспечивать обработку статистических данных, вывод в виде графической части, создание базы данных, графических карт;

программный пакет «CREDO» – использует стандартные методики, позволяющие оценивать эмиссию вредных веществ отработавших газов транспортных средств, а также уровень концентрации вредных веществ в придорожном пространстве.

В нашей стране существуют различные методики и программы для определения уровня шума и проектирования шумозащитных сооружений [113].

Таким образом, среди множества критериев оценки УДС наиболее эффективной считается методическое и программное обеспечение по оценке экологической безопасности.

#### **4.1 Определение экономии топлива на пересечениях проспекта Ватутина г. Белгорода**

С помощью программы имитационного моделирования Transyt-7FR, расход топлива определяется исходя из линейной комбинации полного пробега, задержек и остановок. Значение расхода топлива, полученное при расчете, включает в себя топливо, которое расходуется при движении, при работе двигателя на холостых оборотах, а также во время ускорения и торможения. Согласно исследователям Х. Лорикса, К. Вэлиса [114] математическая модель определения расхода топлива имеет вид:

$$F = K_{i1} \cdot TT + K_{i2} \cdot D + K_{i3} \cdot S \quad (28)$$

где  $F$  – расход топлива, л/ч;

$TT$  – полный пробег в автомобиле – км/ч;

$D$  – полная задержка, авт/ч;

$S$  – полное количество остановок в час;

$K_{ij}$  – коэффициенты модели, служащие функциями крейсерской скорости ( $V_i$ ) на каждом сегменте  $i$  [115].

По каждому направлению на рассматриваемом участке УДС с помощью программы Transyt 7FR получены значения расхода топлива при существующем и новых режимах светофорного регулирования (табл. 11, рис. 31). Это позволило произвести сравнительный анализ результатов, а также определить экономический эффект за счет уменьшения расхода топлива на исследуемых пересечениях УДС.

#### **4.1.1 Определение экономии топлива на перекрестке проспекта Ватутина - проезда Автомобилистов**

При проведении исследований на пересечении проспекта Ватутина - проезд Автомобилистов при существующих условиях дорожного движения за неделю в среднем расход топлива был равен 1525,44 лист/час. После внедрения предложенных мероприятий расход топлива составил 1200,69 литр/час (табл. 11, рис. 31). В среднем значение расхода топлива уменьшилось на 21,3%.

Таблица 11 – Результаты в существующих и проектируемых условиях по расходу топлива за недельный период на пересечении проспекта Ватутина и проезда Автомобилистов

Дни недели	Расход топлива, л/час		
	При существующем режиме светофорного регулирования	При проектируемых режимах светофорного регулирования	Разница между существующими и проектируемыми условиями
1	2	3	4
Понедельник	1729,15	1363,92	365,23
Вторник	1714,31	1353,11	361,2

Окончание таблицы 11

1	2	3	4
Среда	1735,62	1398,86	336,76
Четверг	1929,54	1608,40	321,14
Пятница	1701,05	1322,48	378,57
Суббота	1059,18	729,35	329,83
Воскресенье	809,21	628,69	180,52
Неделя	1525,44	1200,69	324,75

Положительный эффект от проведенных мероприятий представлен на графике в виде экономии топлива (рис. 31). Учитывая расход топлива при существующем и проектируемых режимах работы светофорного регулирования, наибольший положительный эффект достигается в середине недели.

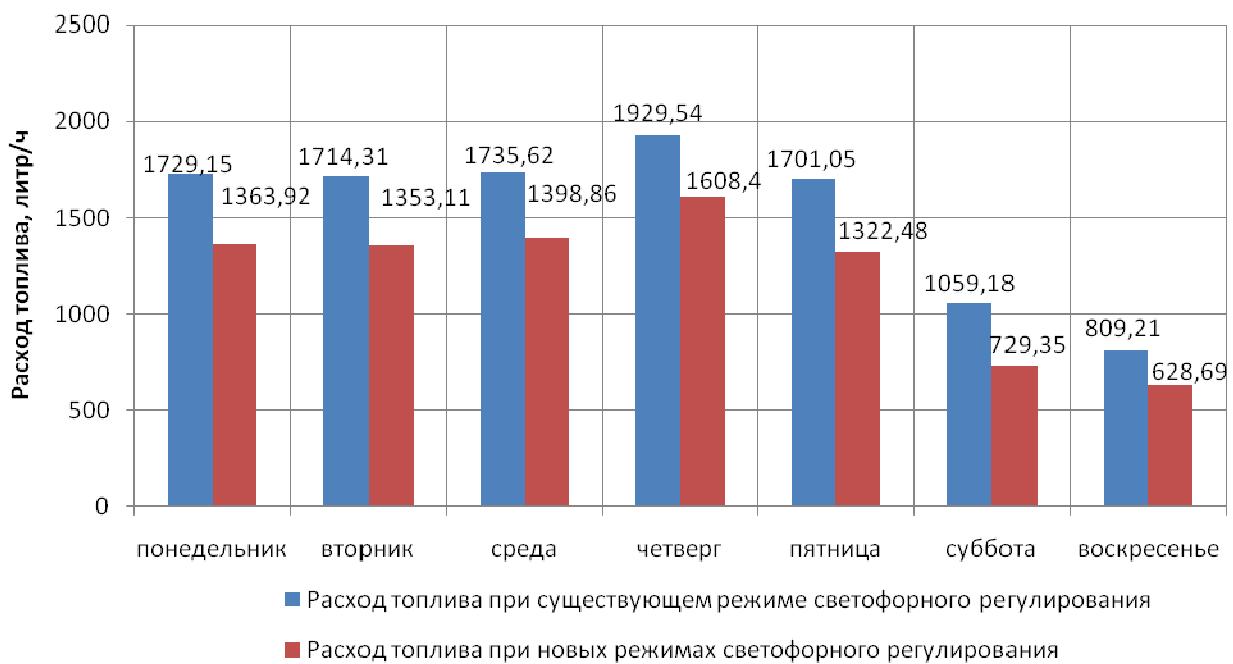


Рисунок 31 – График расхода топлива при существующем и проектируемых режимах светофорного регулирования на пересечении проспекта Ватутина и проезда Автомобилистов

В качестве положительного эффекта от внедрения проектируемых режимов светофорного цикла является экономия топлива за год марки бензина АИ-92. Цена одного литра бензина вышеуказанной марки на момент исследования принимается равной 34,70 руб.

По формуле (29) определен годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{E}_{\text{mon.}} \cdot C_{\text{AI-92}} \cdot K_n \cdot D \quad (29)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{mon.}}$  – топливная экономичность, лтр/час;

$C_{\text{AI-92}}$  – цена за 1л топлива марки АИ-92, руб;

$K_n$  – коэффициент неравномерности ТП, 0,1…0,36;

$D$  – сумма дней в году [1].

По результатам натурным обследований коэффициент  $K_n$  имеет значение 0,25 [2].

Экономия топлива рассчитывалась по выражению (30):

$$\mathcal{E}_{\text{mon.}} = PACX_{\text{сущ.}} - PACX_{\text{оптим.}} \quad (30)$$

где  $PACX_{\text{сущ.}}$  – средний расход топлива при существующих условиях организации движения, лтр/час;

$PACX_{\text{оптим.}}$  – средний расход топлива при проектируемых условиях организации движения, лтр/час [8].

В специализированном программном продукте TRANSYT – 7FR (табл. 11) при полученных данных экономия топлива на пересечении проспекта Ватутина и проезда Автомобилистов составила:

$$\mathcal{E}_{\text{mon.}} = 1525,44 - 1200,69 = 324,75 \text{ лтр/час}$$

Годовой экономический эффект от внедрения новых режимов работы светофорного регулирования на рассматриваемом перекрестке равен (29):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 324,75 \cdot 34,70 \cdot 0,25 \cdot 365 = 1028280,28 \text{ руб.}$$

#### **4.1.2 Определение экономии топлива на перекрестке проспекта Ватутина – улицы Королева**

При существующих условиях движения во время проведения эксперимента на пересечении проспект Ватутина – улица Королева недельный расход бензина составил 1159,41 лтр/час. При внедрении проектируемых режимов работы светофорного регулирования расход составил 876,41

литр/час (табл. 12, рис. 32). Экономия от снижения расхода бензина составила 24,4%.

Таблица 12 – Результаты в существующих и проектируемых условиях по расходу топлива за недельный период на пересечении проспекта Ватутина и улицы Королева

Дни недели	Расход топлива, л/ч		
	При существующем режиме светофорного регулирования	При проектируемых режимах светофорного регулирования	Разница между существующими и проектируемыми условиями
Понедельник	1199,12	909,8	289,32
Вторник	1261,81	987,49	274,32
Среда	1301,94	1009,12	292,82
Четверг	1293,86	1005,95	287,91
Пятница	1246,51	979,13	267,38
Суббота	1109,2	820,05	289,15
Воскресенье	703,43	423,33	280,1
Неделя	1159,41	876,41	283,0

Положительный эффект от проведенных мероприятий представлен на графике в виде экономии топлива (рис. 32). Учитывая расход топлива при существующем и проектируемых режимах работы светофорного регулирования наибольший положительный эффект достигается в понедельник и среду.

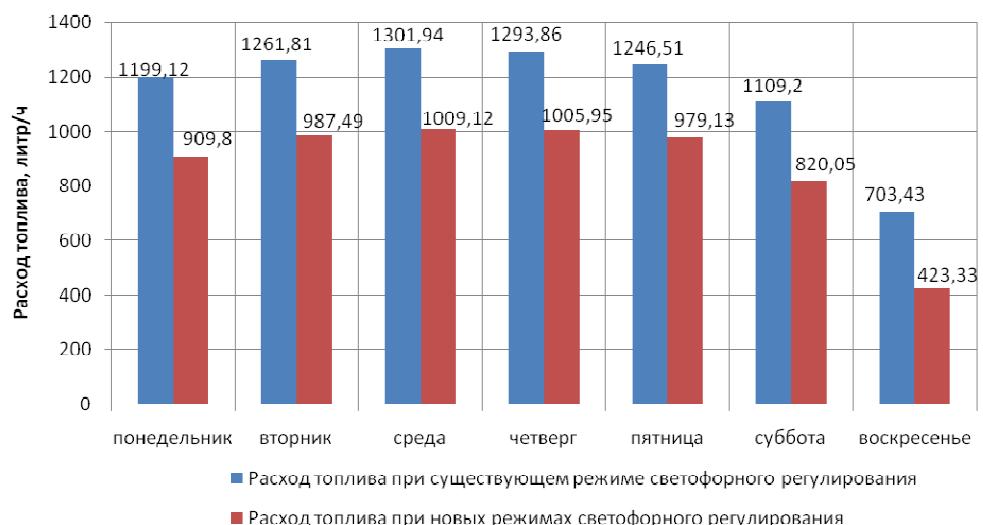


Рисунок 32 – График расхода топлива при существующем и проектируемых режимах светофорного регулирования на пересечении проспекта Ватутина и улицы Королева

Положительным эффектом от внедрения проектируемых режимов работы светофорного регулирования является годовая экономия топлива, определенная в рублях для средней марки бензина АИ-92. Стоимость литра на момент проведения расчета составляет 34,70 руб.

Годовой экономический эффект от внедрения проектируемых режимов работы светофорного регулирования на рассматриваемом перекрестке составит (29):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 283,0 \cdot 34,7 \cdot 0,25 \cdot 365 = 89608413 \text{ руб.}$$

#### **4.1.3 Определение экономии топлива на перекрестке проспекта Ватутина – улицы Костюкова**

При существующих условиях движения во время проведения эксперимента на пересечении проспекта Ватутина – улица Королева недельный расход бензина составил 516,2 л/ч. В результате проведенных мероприятий расход равен 458,91 л/ч (табл. 13, рис. 33). Снижение расхода топлива в среднем составило 11,1%.

Таблица 13 – Результаты в существующих и проектируемых условиях по расходу топлива за недельный период на пересечении проспекта Ватутина и улицы Костюкова

Дни недели	Расход топлива, л/ч		
	При существующем режиме светофорного регулирования	При проектируемых режимах светофорного регулирования	Разница между существующими и проектируемыми условиями
1	2	3	4
Понедельник	529,39	473,53	55,86
Вторник	541,05	480,1	60,95
Среда	563,89	501,74	62,15
Четверг	558,01	498,36	59,65
Пятница	515,4	472,13	43,27
Суббота	484,36	410,15	74,21
Воскресенье	421,29	376,37	44,92
Неделя	516,2	458,91	57,29

Положительный эффект от проведенных мероприятий представлен на графике в виде экономии топлива (рис. 33). Учитывая расход топлива при существующем и проектируемых режимах работы светофорного регулирования наибольший положительный эффект достигается в середине недели.

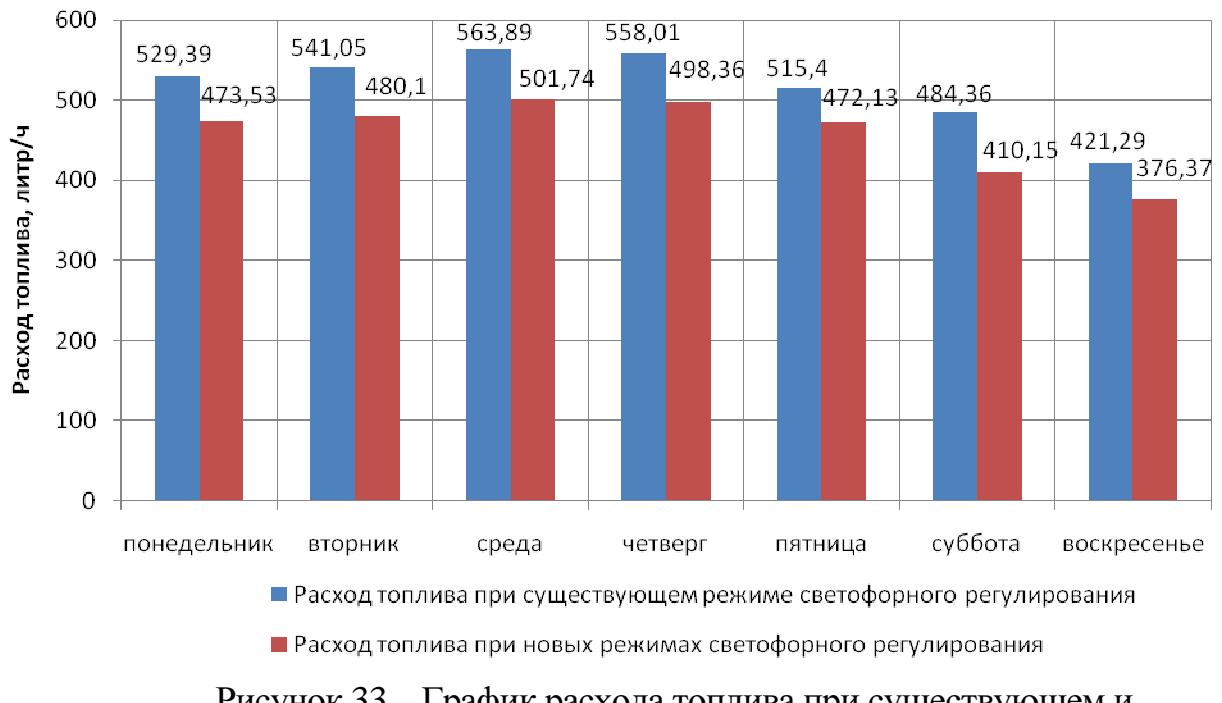


Рисунок 33 – График расхода топлива при существующем и проектируемых режимах светофорного регулирования на пересечении проспекта Ватутина и улицы Костюкова

К положительному эффекту от внедрения проведенных мероприятий отнесена топливная экономичность за год. Эффективность определялась в рублях за один литр для АИ-92 вида топлива, цена которого на время исследований была равной 34,70 руб.

От внедрения проектируемых режимов работы светофорного регулирования на рассматриваемом перекрестке экономический эффект за год составил (29):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 57,29 \cdot 34,7 \cdot 0,25 \cdot 365 = 181401,62 \text{ руб.}$$

#### **4.2 Снижение потерь от загрязнения окружающей среды**

Согласно методики Корчагина В.А. [116], народнохозяйственные потери от загрязнения воздушного бассейна  $C_3$  выбросами вредных веществ,

которые появляются в атмосфере от автомобильного транспорта с отработавшими газами в течение всего года на выбранном участке УДС определена с учетом удельного выброса вредных веществ (ВВ), и оценена т/1000 км пробега или г/1 км пробега:

$$C_3 = \frac{0,365LN_{nuk}m}{k_n} \sum D_{yoi} C_{yoi} b_i \quad (31)$$

где  $L$  – протяженность пути, км;

$N_{nuk}$  – интенсивность движения ТС в час пик, авт/ч;

$k_n$  – коэффициент, учитывающий неравномерность движения ( $k_n = 0,1$ );

$m$  – коэффициент учета повышения расхода топлива при частых остановках в процессе движения;

$C_{yoi}$  – удельный ущерб от выброса  $i$ -го вредного вещества, р/1 т вещества;

$D_{yoi}$  – удельный выброс  $i$ -го вредного вещества;

$b_i$  – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния ТС на выброс вредных веществ (при отсутствии данных можно принимать  $b_i = 1$ ).

По требованиям для расчета вредных выбросов [117] при сгорании 1 кг бензина для легковых транспортных средств экологического класса выше Евро 1, удельный выброс основных загрязняющих веществ составляет:

1. Оксид углерода (CO) – 21,5 г/кг.
2. Углеводороды в пересчете на CH<sub>1,85</sub> (включая VOC, которые содержатся в топливных испарениях) (VOC) – 2,4 г/кг.
3. Оксиды азота в пересчете на NO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub>) – 5,8 г/кг.
4. Диоксид серы (SO<sub>2</sub>) – 0,54 г/кг.

Имея значение расхода топлива на каждом из рассмотренных пересечений и номинальное значение при сгорании 1 кг топлива [118], определили значение выбросов вредных веществ при существующем и новых режимах светофорного регулирования (табл. 14, рис. 34). Исходя из значений

полученных результатов (табл. 14), по всем рассматриваемым пересечениям был установлен факт снижения выбросов ВВ.

Таким образом, при использовании полученных режимов в течение года, возможно, снизить выбросы: окиси углерода на 4,827 т, углеводорода на 0,539 т, окислов азота на 1,302 т и сернистого ангидрида на 0,121 т (рис. 34).

Таблица 14 – Значения основных ВВ при использовании существующих и рассчитанных режимов работы светофорного объекта

№ п/п	Наименование выбросов вредных веществ	При существующем режиме светофорного регулирования	При новых режимах светофорного регулирования	Разница между существующим и новых режимах светофорного регулирования
1	Окись углерода СО, т/год	23,2362	18,4087	4,827
2	Стоимость, руб/год	192901,17	152824,63	40076,53
3	Углеводороды СН, т/год	2,5938	2,0549	0,539
4	Стоимость, руб/год	58139,51	46060,63	12078,88
5	Окислы азота NO, т/год	6,2684	4,9661	1,302
6	Стоимость, руб/год	156115,36	123681,33	32434,03
7	Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub> , т/год	0,5836	0,4624	0,121
8	Стоимость, руб/год	9689,92	7676,77	2013,15

При использовании новых режимов работы светофорных циклов, концентрация ВВ была снижена на 11%, что говорит об улучшении экологической обстановки в городе Белгороде.

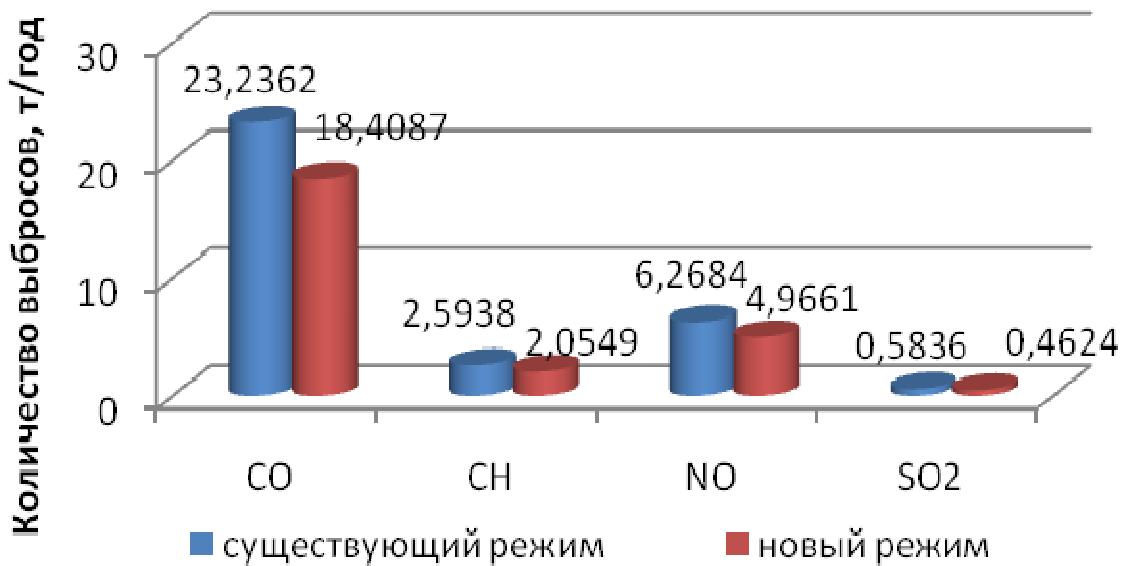


Рисунок 34 – Значения выбросов вредных веществ при существующих и проектируемых режимах работы светофорных объектов

После внедрения новых режимов работы светофорных объектов экономическая эффективность от снижения количества вредных веществ составила 86602,59 рублей.

## **ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ**

1. Получена зависимость экономии расхода топлива при внедрении диссертационных разработок от оценки экономического эффекта за год.
2. Установлено, что при внедрении предлагаемых режимов работы светофорного регулирования количество выбросов вредных веществ в год снизится в среднем на 11%.
3. Проанализировано изменение расхода топлива ТС от внедрения предлагаемых мероприятий.
4. Выявлено, что после внедрения проектируемых режимов работы светофорного регулирования достигается экономия топлива на каждом из исследуемых перекрестков, которая в денежном эквиваленте в год составит более 2 млрд. рублей.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного анализа были определены причины и выявлены взаимосвязи возникновения транспортных заторов на регулируемом перекрестке. Установлено, что наиболее существенными факторами являются: несоответствие режима работы светофорного объекта существующим и изменяющимся параметрам транспортного потока и погодно-климатическим условиям.

2. На основании статистического анализа получены аналитические зависимости, позволяющие прогнозировать показатели возникновения заторов и в соответствии с прогнозами принимать технические решения.

3. Разработан теоретико-методический подход прогнозирования возникновения транспортных заторов, основанный на математической статистике, позволяющий осуществлять точечный прогноз количества транспортных средств на последующий промежуток времени.

4. Разработана база правил для программирования светофорного контроллера, учитывающая параметры транспортного потока и включающая в себя входные  $[\beta_1, \beta_2, \beta_3]$  и выходную  $[\beta_4]$  лингвистические переменные.

5. Разработана модель управления светофорным объектом на основе нечеткой логики, позволяющая получать длительность разрешающих сигналов светофорного объекта с учетом очереди транспортных средств и погодно-климатических условий.

6. Разработаны теоретические подходы эколого-экономической оценки мероприятий по повышению эффективности функционирования УДС на основе минимизации заторов. Реализация данных мероприятий направлена на получение годового экономического эффекта составляющего более 2 млрд. рублей в год на территории Белгорода. Уменьшение задержек транспортных средств на регулируемых пересечениях составит 12%, эколого-экономического ущерба – 8,1%. Годовое снижение выбросов вредных веществ составит 11%, ущерб от шумового воздействия будет снижен на 18,7%.

7. Научная, практическая и экономическая значимость, обоснованность теоретико-методических положений и полученных результатов работы подтверждены их использованием при разработке мероприятий по организации дорожного движения в регионе: Администрацией города Белгорода, Управлением ГИБДД УМВД России по Белгородской области и в учебном процессе БГТУ им. В.Г. Шухова при подготовке бакалавров по направлению «Технология транспортных процессов».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Организация дорожного движения: справочное пособие / А.Л. Рыбин, И.Ф. Живописцев, А.А. Шевяков, В.А. Аксенов // Под общей ред. С.В. Федотова. – М.: ФГУП «РОСДОРНИИ», 2010. – 416 с.
2. Михайлов, А.Ю., Головных, И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожной сети городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.
3. Иванов, В.Н. Об управлении организацией и безопасностью дорожного движения / В.Н. Иванов // Сб. трудов НИИАТ. – М. – 1981. – С. 14-18.
4. Клинковштейн, Г.И., Афанасьев, М.Б. Организация дорожного движения, М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
5. Семенов, В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В.В. Семенов. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 2004.
6. Ластовский, А. 7,5 минуты – и ты в «пробке»...: интервью с заместителем начальника управления ГАИ ГУВД Мингорисполкома, начальником отдела ОДД подполковником милиции К. Страховым / А. Ластовский // Вечерний Минск. – 2002. – 6 июня.
7. Словарь эксперта – автотехника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ocenchik.ru>.
8. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения, М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
9. Коноплянко, В.И. Организация и безопасность дорожного движения, М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
10. Правила дорожного движения Российской Федерации, утвержденные Постановлением Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090, в редакции от 01.07.2015 г.
11. Иносэ, Х., Хамада, Т. Управление дорожным движением, М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

12. Гай, Л.Е., Шутов, А.И., Кущенко, С.В. Заторы как следствие роста автомобилизации. Возможность снижения заторовых явлений /Л.Е. Гай, А.И. Шутов, С.В. Кущенко // М.: Автотранспортное предприятие. – 2013. – №4. – С. 25-27.
13. Журнал «За рулем», 2015. – январь.
14. Гай, Л.Е., Новиков, И.А., Воля, П.А. Анализ статистических данных как путь решения проблемы в обеспечении безопасности дорожного движения / Л.Е. Гай, И.А. Новиков, П.А. Воля // Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2013. – 16-17 квітня. – С. 89-92.
15. Кущенко, Л.Е., Ковалева, Е.А. Влияние роста автомобилизации на статистику ДТП / Л.Е. Кущенко, Е.А. Ковалева //Образование. Наука. Производство: VII Международный молодежный форум, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – 20-22 октября. – электронный ресурс.
16. Петров, В.В. Управление движением транспортных потоков в городах: монография. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 92 с.
17. Пугачев, И.Н. Организация и безопасность движения. - Хабаровск.: Изд-во Хабаровского гос. университета, 2004. – 232 с.
18. Организация дорожного движения в городах: метод. пособие / под ред. Ю.Д. Шелкова / М.: НИЦ МВД России, 1995, – 143 с.
19. Капитанов, В.Т., Хилажев, Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. М.: Транспорт, 1985 – 94 с.
20. Дрю, Д.Т. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 1972. – 423 с.
21. Клинковштейн, Г.И., Афанасьев, М.Б. Организация дорожного движения, М.: Транспорт, 1992 – 207 с.

22. Клинковштейн Г.И., Сытник В.Н. и др. Методы оценки качества организации дорожного движения: учебное пособие / Г.И. Клинковштейн, В.Н. Сытник и др. – М.: МАДИ, 2002. – 77 с.
23. Лобанов, Е.М. Транспортное планирование городов: учебник для студентов вузов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
24. Горев А. Э. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.Э. Горев, Е. М. Олещенко. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — С. 150 (256 с.).
25. Методы оценки состояния организации безопасности дорожного движения на улично-дорожной сети города / Ю.А. Побединский, Н.Г. Рудь, А.В. Куликов, К.В. Сомова // Молодёжь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России : матер. IV науч.-техн. конф. студ., аспир. и молодых учёных, Волгоград, 11-14 мая 2010 г. / ВолгГАСУ. - Волгоград, 2010. - С. 153-157.
26. Дубровин, Е.Н., Ланцберг, Ю.С. Изыскания и проектирование городских дорог / Е.Н Дубровин, М.: Транспорт, 1981. – 471 с.
27. Кущенко, С.В., Лозовая, Н.Н. Факторы, влияющие на эффективность функционирования улично-дорожной сети / С.В. Кущенко, Н.Н. Лозовая // Образование. Наука. Производство: VII Международный молодежный форум, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – 20-22 октября. – С.
28. Гай, Л.Е., Кущенко, С.В., Загородний, Н.А. Технические средства управления стоянкой транспортных средств как один из способов организации движения / Л.Е. Гай, С.В. Кущенко, Н.А. Загородний // Организация и безопасность дорожного движения: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Тюмень.: ТюмГНГУ, 2013. – С. 38-41.

29. Гай Л.Е., Новиков, И.А. Современные системы управления стояночными комплексами / Л.Е. Гай, И.А. Новиков // Фундаментальные исследования в естественной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области: сб. доклад. научно-практич. конф. часть 1, Белгород, 2013. – 12 октября. – С. 128-131.
30. Адомавичус, В.П. Исследование существующего и перспективного режима использования городских автостоянок: автореф. дис. ... канд. техн. наук : / В.П. Адомавичус. – СПб., 1971. – 21 с.
31. Jo, K. New car parks design guidance. Struct. Eng. 2002. 80, № 13, с. 13,0 ил. Англ. GB. ISSN1466-5123.
32. Potter, H. S. Parking strategies across the subregion. Proc. Inst. Civ. Eng. Munic. Eng. 2001. 145, № 1, с. 3-6. Библ. 3. Англ. GB. ISSN 0965-0903.
33. Мягков, Н.С. Математическое обеспечение градостроительного проектирования / В.Н. Мягков, Н.С. Пальчиков, В.П. Федоров. – Л.: Наука, 1989. – 144 с.
34. Цыбенко, Ю.А. Оптимальное распределение транспортных потоков по улично-дорожной сети : автореф. дис. ... канд. техн. наук :05.22.10 / Цыбенко Юрий Антонович. – М.,1984. – 18 с.
35. Живоглядов, В.Г. Теоретические принципы возникновения и упреждения заторовых состояний на автодорогах / В.Г. Живоглядов, О.Н. Бахтина // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. техн. науки. – Армавир. – 2004. – № 3. – С. 52-54.
36. Хомяк, Я.В. Организация дорожного движения / Я.В. Хомяк. – К. : Высшая школа, 1986. – 276 с.
37. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения : учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
38. Талицкий, И.И., Чугуев, В.Л., Щербинин, Ю.Ф. Безопасность движения на автомобильном транспорте: Справочник. М.: Транспорт, 1988. – 158 с.

39. Федеральный закон «О безопасности дорожного движения» (от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ с изменениями и дополнениями, внесенными Федеральным законом от 2 марта 1999 г. №41-ФЗ).
40. Бахтина, О.Н. Разработка методов расчета и оценки заторовых состояний транспортного потока на улично-дорожной сети городов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / О.Н. Бахтина. – Армавир, 2006. – 15 с.
41. Ширин, В.В. Повышение пропускной способности улично-дорожной сети города /В.В. Ширин // Вестник ХНАДУ, Харьков, 2010. – № 50. – С. 40-47.
42. Кущенко, С.В., Кущенко, Л.Е., Кайдалова, Т.Ю. Комплексный подход к снижению воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду /С.В. Кущенко, Л.Е. Кущенко, Т.Ю. Кайдалова // Международный научный журнал «Иновационная наука», Уфа, 2015. – №6. – С. 77-80.
43. Измерение шумового фона в поселке Горская в зоне строительства транспортной развязки: отчет о НИР / СПб.: СПб Гос. Университет путей сообщения, 1999. – рег. №2617. – 9 с.
44. ГОСТ 20444-85 Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. – М.: Изд-во стандартов, – 21 с.; Экологическая безопасность транспортных потоков / под ред. А.Б. Дьякова – М.: Транспорт, 1989. – 127 с.
45. <http://www.tenox.ru/zatory-na-dorogax-vliyayut-na-psixicheskoe-sostoyanie-cheloveka/>
46. <http://www.stepandstep.ru/catalog/learn-as/120776/kak-umenshit-stress-v-probkah-na-doroge.html>
47. Лобанов, Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя, М.: Транспорт, 1980. – 311 с.
48. Knoflacher, H. Untersuchung der Unfälle an Autobahneinfahrten. Band 18. Wien, «Kuratorium fur Verkehrssicherheit», 1982. – 113 s.

49. Шестокас, В.В., Самойлов, Д.С. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах, М.: Транспорт, 1987. – 207 с.: ил., табл.-библиогр.: С. 202-206.
50. [http://doprosy.ru/auto/104\\_CHto\\_takoe\\_dorozhniy\\_zator.html](http://doprosy.ru/auto/104_CHto_takoe_dorozhniy_zator.html)
51. Кущенко, Л.Е., Чушкина, В.В. Эмоциональное поведение водителя на дороге - одна из важнейших проблем на сегодняшний день / Л.Е. Кущенко, В.В. Чушкина // Образование. Наука. Производство: VII Международный молодежный форум, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – 20-22 октября. – электронный ресурс.
52. Caj Holm Queue warning system on the Helsinki Western Artery // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докл. Пятой междунар. научн.-практ конф. – СПб: Научно-образовательный центр БДД при АДИ СПбГАСУ, 2002. – С. 255-258.
53. Грекова, О. Лекарство от затора. Что такое хорошо и что такое «пробки»?/ О. Грекова, Е. Егорова, Д. Кафанов //Московский Комсомолец. – 2003. – 10 октября.
54. Грекова, О. Транспортные проблемы и их решение / О. Грекова // Мир дорог. – 2005. – 15 марта.
55. Демин, А. Чтобы избежать заторов на дорогах / А. Демин // Транспорт России. – 2014. – №11 (044).
56. Еженедельник «Аргументы и Факты», 2014. – № 49.
57. Кущенко, С.В. Повышение эффективности организации движения на основе моделирования транспортных потоков: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Кущенко Сергей Викторович. – Орел, 2012. – 133 с.
58. Дацюк, А.М. Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) в Санкт-Петербурге / А.М. Дацюк, С.И. Саблин // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докл. шестой междунар. научно-практ. конф. – СПб: Научно-образовательный центр БДД при АДИ СПбГАСУ, 2004. – С. 175-181.

59. Печерский, М.П. Общегородская автоматизированная система управления дорожным движением в г. Москва (система «СТАРТ» и ее дальнейшее развитие) / М.П. Печерский //Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докл. шестой международн. научн. - практ. конф. – СПб: Научно-образовательный центр БДД при АДИ СПбГАСУ, 2004. – С. 169-173.
60. Гай Л.Е., Кущенко С.В. Транспортный затор. Характеристика. Пути решения проблемы / Л.Е. Гай, С.В. Кущенко // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения: сб. научн. статей по материалам I Всероссийской научно-практ. конф., Саратов: Издательство«КУБиК». – 2013. – 18 апреля. – С. 20-23.
61. Гай, Л.Е., Новиков, И.А., Новописный, Е.А., Татаринцев, Е.С. Заторовые явления. Возможность их снижения / Л.Е. Гай, И.А. Новиков, Е.А. Новописный, Е.С. Татаринцев // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения: материалы IX международной заочной научно-практ. кофн. – Пенза: ПГУАС. – 2013. – 31 октября. – С. 32-36.
62. Живоглядов, В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков / В.Г. Живоглядов // Известия ВУЗов. Сев.-Кав. Регион. – 2005.
63. Живоглядов, В.Г. Теория пропуска транспортных и пешеходных потоков / В.Г. Живоглядов // Известия ВУЗов. Сев.-Кав. Регион. – 2003. – 412 с.
64. Кероглоу, Л.А. исследования пропускной способности автомобильных дорог / Л.А. Кероглоу. – М.: Автотранзистат, 1963. – 124 с.
65. Daganzo, C.F. Remarks on Traffic Flow Modeling and its Application / C.F. Daganzo // Dept. of Civil and Environmental Engeneering University of California, Berkeley.

66. Inose, Fujisaki, Hamada. Road traffic control theory based on a macroscopic traffic model // Journal of the institute of electrical engineers of Japan. – 1967. – Vol. 87. – P. 1591-1600.
67. Гай, Л.Е., Шутов, А.И., Кущенко, С.В., Воля, П.А. Моделирование транспортных потоков / Л.Е. Гай, А.И. Шутов, С.В. Кущенко, П.А. Воля // Мир транспорта и технологических машин, Орел: Госуниверситет УНПК. – 2013. – №1(40). – С. 74-79.
68. Гай, Л.Е., Новиков, И.А., Кущенко, С.В., Котухов, А.Н. Заторы. Моделирование транспортных заторов с целью снижения дорожных заторов / Л.Е. Гай, И.А. Новиков, С.В. Кущенко, А.Н. Котухов // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: материалы междунар. научно-практ. конф. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК». – 2013 – 21-23 мая. – С. 281-286.
69. Гай, Л.Е., Новиков И.А. Применение электродинамической модели для расчета показателей транспортного потока /Л.Е. Гай, И.А, Новиков // М.: Автотранспортное предприятие. – 2014. – №3. – С. 49-52.
70. Helbing, D. Rev. Mod. Phys. 73, 1067 (2001).
71. Greenberg, H. An analysis of traffic flow / H. Greenberg // Operations Research. – 1959. – Vol. 7. – P. 79-85.
72. Greenshields, B. D. A study of traffic capacity / B. D. Greenshields // Proc. (US) highway research. board. –1934. – Vol. 14. – P. 448-494.
73. 3<sup>rd</sup> Swiss Transport Research Conference, Monte Verita / Ascona, March 19-21, 2003, Traffic Jam Dynamics in Traffic Flow Models, STRC 03 Conference paper.
74. Лубашевский, И.А. Эмпирическое и теоретическое исследование устойчивости насыщенных транспортных потоков в тоннеле глубокого заложения в Лефортовою / И.А. Лубашевский, М.П. Печерский // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докл. Шестой междунар. научн.-практ. конф. – СПб: Научно-образовательный центр БДД при АДИ СПбГАСУ, 2004. – С. 232-235.

75. Kerner, B.S. Three-Phase Traffic Theory and Highway Capacity.
76. Kerner, B.S. // Phys. Rev. Lett. – 1998/ – 81. – 3797.
77. Kerner, B.S., Rehborn, H. // Phys. Rev. Lett., 79, 4030 (1997).
78. Уизем, Дж. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем. – М.: Мир, 1977.
79. Treiterer, J. The hysteresis phenomenon in traffic flow / J. Treiterer, J.A. Myers // In D.J. Buckley, editor, Proc. 6<sup>th</sup> ISTT, 13, Artarmon, New South Wales. 1974.
80. Kerner, B.S., Konhluser P. // Phys. Rev. E. – 1993. – Vol. 48. – P. R2335, 1994. – Vol. 50.
81. Nagel, K. Particle hopping models and traffic flow theory, Los Alamos National Laboratory (Received 12 September 1995).
82. Payne, H.J. Models of freeway traffic and control / H.J. Payne // Mathematical models of Public Systems. Ed. Bekey G. A. V. I La Jolla, CA: Simulation Council. – 1971. – P. 51-61.
83. Philips, W.F. A kinetic model for traffic with continuum implication / W.F. Philips // Transp. Plan. Technol. – 1979. – Vol. 5. – P. 131-138.
84. Кущенко, Л.Е., Дубров Р.А. Моделирование транспортных потоков с целью предотвращения процесса заторообразования / Л.Е. Кущенко, Р.А.Дубров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, сб. материалов междунар. заочн. научн.-практ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – 2015 – №4, ч.1. – С. 356-359.
85. Кущенко, Л.Е., Новиков, И.А., Котухов, А.Н., Чушкина, В.В. Исследование скорости накопления транспортных средств на светофорном объекте / Л.Е. Кущенко, И.А. Новиков, А.Н. Котухов, В.В. Чушкина // Научная мысль, Саратов: ИД «Наука образования». – 2015. – С. 17-25.

86. Гасников, А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, Я.А. Холодов, Н.Б. Шамрай. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
87. Nagel, K. Wagner, R, Woesler, R. Still flowing: Approaches to traffic flow and traffic jam modeling, January 2, – 2003.
88. Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – М.: Мир, 1966.
89. Печерский, М.П., Хорович, Б.Г. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.
90. Ершевский, М.Н. Магистрали скоростного и непрерывного движения в городах / М.Н. Ершевский. – М.: Стройиздат, 1967. – 216 с.
91. Живоглядов, В.Г., Бахтина, О.Н. Теоретические принципы возникновения и упреждения заторовых состояний на автодорогах / В.Г. Живоглядов, О.Н. Бахтина // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2004. – №3. – С.103-106.
92. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
93. Волков, Е.А. Численные методы / Е.А. Волков // М.: Наука, 1987 – 248 с.
94. Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С.А. Саркисяна. М.: Высшая школа, 1977 – 415 с.
95. Бахвалов, Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов. М.: Наука, 1973. – Т1. 631 с.
96. Березин, И.С., Жидков, Н.П. Методы вычислений /И.С. Березин, Н.П. Жидков. М.: Наука, 1966 – Т.1. 632 с.
97. Ланцош, К. Практические методы прикладного анализа / К. Ланцош. М.: Наука, 1966 – 318 с.
98. Рушминский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Рушминский. М.: Наука, 1971 – 352 с.

99. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. Учебное пособие для вузов. Изд. 9-е стереотипное. М.: Высшая школа. 2003г. -479с., ил.
100. Колемаев, В.А., Староверов, О.В., Турундаевский, В.Б. Теория вероятности и математическая статистика / В.А. Колемаев, О.В. Староверов, В.Б. Турундаевский. М.: Высшая школа, 1991 – 256 с.
101. Бочаров, П.П., Печинкин, А.В. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. М.: Гардарики, 1998 – 328 с.
102. Ивченко, Г.И., Медведев, Ю.И. Математическая статистика / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. М.: Высшая школа, 1984– 248 с.
103. Кущенко, Л.Е., Новиков, И.А., Окунева Г.Л. Анализ заторовых явлений с целью прогнозирования образования очереди / Л.Е. Кущенко, И.А. Новикова, Г.Л. Окунева // Мир транспорта и технологических машин, Орел: Госуниверситет УНПК. – 2015. – №4(51). – С. 76-80.
104. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. СПб.: БХВ - Петербург, 2005 – 736 с.
105. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 165 с.
106. Деменков, Н.П. Нечеткое управление в технических системах: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
107. Borisov, A., Krumberg, O. Possibility theory for decision making // Fuzzy Sets Systems. - 1983. - Vol. 9, N 1. - S. 13-24.
108. Кущенко, Л.Е., Новиков И.А. Аналитическое решение вопроса заторообразования на основе нечеткой логики / Л.Е. Кущенко, И.А. Новиков // Прогрессивные технологии транспорта и безопасности дорожного движения: материалы междунар. научно-практ. конф. – Саратов: 2015 – 25 ноября. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/95570.htm>.
109. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

110. Домке, Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие / Э.Р. Домке. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 260 с.
111. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.– 798 с.
112. Организация дорожного движения в городах: методическое пособие / Под общ. ред. Ю.Д. Шелкова. – М.: НИЦ ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.
113. Поспелов, П.И., Пуркин, В.И. Защита от шума при проектировании автомобильных дорог. – М.: МАДИ, 1985. – 119 с.
114. Пржибыл, Павел, Свитец, Мирослав. Телематика на транспорте. – Перевод с чешского О. Бузека и В. Бузковой / Под редакцией проф. В. В. Сильянова / М.: МАДИ (ГТУ), 2003 – 540 с.
115. Lorick, H.C., Wallace, C.E., Jamagin, R.E. Analysis of Fuel Consumption and Platoon Dispersion Models, University of Florida Transportation Research Center, Report No. UF-TRC-U32-TR-02, 1980.
116. Корчагин, В.А. Оценка эффективности инженерных решений: учебное пособие / В.А. Корчагин, Ю.Н. Ризаева; под ред. В.А. Корчагина. – Липецк: ЛГТУ, 2008. – 160 с.
117. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. – Изд-во: Автополюс-плюс, 2008. – 78 с.
118. Котухов, А.Н., Новописный, Е.А. Экономика дорожного движения: учебное пособие / А.Н. Котухов, Е.А. Новописный. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 235 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Обработка статистических данных

№ п/ п	понедельник		вторник		среда		четверг		пятница	
	Количество ТС n, авт	Производ- ная коли- чества ТС $\frac{dn}{dt}$ , авт/ми н <sup>2</sup>	Количество ТС n, авт	Производ- ная коли- чества ТС $\frac{dn}{dt}$ , авт/ми н <sup>2</sup>	Количество ТС n, авт	Производ- ная коли- чества ТС $\frac{dn}{dt}$ , авт/ми н <sup>2</sup>	Количество ТС n, авт	Производ- ная коли- чества ТС $\frac{dn}{dt}$ , авт/ми н <sup>2</sup>	Количество ТС n, авт	Производ- ная коли- чества ТС $\frac{dn}{dt}$ , авт/ми н <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4	-	5	-	5	1	4	-	5	-
2	8	4	11	6	11	2	8	4	11	6
3	10	2	9	-2	9	3	10	2	9	-2
4	12	2	4	-5	5	4	12	2	4	-5
5	13	1	6	2	7	5	13	1	6	2
6	15	2	12	6	12	6	15	2	12	6
7	16	1	7	-5	7	7	16	1	7	-5
8	14	-2	14	7	14	8	14	-2	14	7
9	18	4	17	3	13	9	18	4	17	3
10	19	1	17	-	17	10	19	1	17	-
11	15	-4	11	-6	11	11	15	-4	11	-6
12	12	-3	11	-	11	12	12	-3	11	-
13	10	-3	11	-	11	13	10	-3	11	-
14	11	1	21	10	21	14	11	1	21	10
15	17	6	22	1	25	15	17	6	22	1
16	27	10	16	-6	16	-9	18	-4	15	-4
17	24	-3	11	-5	11	-5	12	-6	10	-5
18	13	-11	12	1	13	2	13	1	11	1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	11	-2	8	-4	9	-4	9	-4	9	-2
20	12	1	16	8	16	7	16	7	17	8
21	13	1	13	-3	15	-1	13	-3	11	-6
22	12	-1	14	1	16	1	14	1	12	1
23	27	15	32	18	33	17	34	20	28	16
24	28	1	31	-1	34	1	34	-	26	-2
25	33	5	33	2	36	2	33	-1	31	5
26	29	-6	30	-3	31	-5	39	6	33	2
27	27	-2	27	-3	29	-2	47	8	33	-
28	29	2	28	1	36	7	64	17	32	-1
29	32	3	35	7	39	3	56	-8	35	3
30	47	15	50	15	51	12	65	9	47	12
31	48	1	49	-1	51	-	62	-3	48	1
32	50	2	48	-1	48	-3	86	24	45	-3
33	43	-7	41	-7	49	1	84	-2	45	-
34	42	-1	42	1	47	-2	85	1	41	-4
35	52	10	50	8	52	5	83	-2	49	8
36	54	2	54	4	53	1	83	-	55	6
37	51	-3	55	1	54	1	81	-2	56	1
38	50	-1	50	-5	48	-6	83	2	51	-5
39	48	-2	50	-	50	2	86	3	49	-2
40	57	9	59	9	58	8	80	-6	56	7
41	59	2	59	-	60	2	79	-1	56	-
42	64	5	62	3	63	3	77	-2	60	4
43	44	-20	38	-24	42	-21	80	3	40	-20
44	38	-6	35	-3	35	-7	78	-2	36	-4
45	29	-9	28	-7	29	-6	81	3	28	-8
46	25	-4	26	-2	28	-1	79	-2	25	-3

## Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
47	30	5	30	4	32	4	72	-7	29	4
48	25	-5	25	-5	25	-7	65	-7	22	-7
49	29	4	29	4	29	4	56	-9	29	7
50	23	-6	24	-5	30	1	45	-11	24	-5
51	18	-5	16	-8	25	-5	42	-3	13	-11
52	13	-5	10	-6	19	-6	36	-6	12	-1
53	14	1	14	4	18	-1	33	-3	12	-
54	11	-3	12	-2	14	-4	26	-7	10	-2
55	9	-3	10	-2	11	-3	21	-5	11	1
56	9	-	9	-1	10	-1	10	-11	8	-3
57	5	-4	5	-4	4	-6	5	-5	3	-5
58	3	-2	5	-	5	1	5	-	5	2
59	4	1	4	-1	5	-	4	-1	3	-2
60	3	-1	3	-1	2	-3	2	-2	3	-

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1 – Сглаженные значения

Вре- менной интер- вал	День недели														
	понедельник			вторник			среда			четверг			пятница		
	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего												
5	2,0	29,3	31,3	4,0	36,0	40,0	3,3	33,6	37,0	4,3	35,6	40,0	4,6	38,0	42,6
10	10,0	43,3	53,3	9,0	44,3	53,3	8,3	44,3	52,6	10,6	44,3	55,0	7,0	45,3	52,3
15	16,6	49,3	66,0	16,0	48,6	64,6	16,6	49,0	65,6	19,3	48,6	68,0	14,0	48,0	62,0
20	31,0	55,6	86,6	31,3	50,0	81,3	34,0	52,3	86,3	36,0	50,0	86,0	26,6	48,0	74,6
25	53,6	58,0	111,6	53,0	55,6	108,6	61,6	54,6	116,3	85,6	55,6	141,3	49,0	58,0	107,0
30	109,6	57,0	166,6	110,6	52,3	163,0	118,3	55,3	173,6	173,0	71,0	244,0	107,0	54,3	161,3
35	173,6	40,0	213,6	173,0	41,0	214,0	179,3	42,0	221,3	259,3	86,3	345,6	172,6	44,0	216,6
40	225,6	23,0	247,3	223,6	24,0	247,6	224,6	29,0	253,6	306,0	88,0	394,0	222,3	22,3	244,6
45	193,6	24,6	217	189,0	28,0	217,0	190,0	29,6	219,6	302,6	81,6	384,3	185,3	28,3	213,6
50	119,3	39,6	157,6	115,0	41,0	156,0	116,6	52,6	169,3	235,0	71,3	306,3	111,6	39,0	150,6
55	40,0	44,3	84,3	37,0	42,3	79,3	38,6	54,0	92,6	135,0	56,0	191,0	34,3	42,3	76,6
60	8,6	39,0	47,6	7,3	37,6	45,0	8,6	47,6	56,3	41,0	43,6	84,6	16,1	29,3	23,1

Таблица 2 – Линейные тренды

Вре- менной интер- вал	День недели														
	понедельник			вторник			среда			четверг			пятница		
	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего												
5	69,0	42,3	111,1	78,2	44,0	122,1	87,5	45,6	133,1	96,7	47,3	144,1	106,0	49,02	155,0
10	69,7	42,4	112,0	79,0	44,1	123,0	88,2	45,8	134,0	97,5	47,4	145,0	106,8	49,1	156,0
15	70,5	42,6	112,9	79,8	44,2	123,9	89,0	45,9	134,9	98,3	47,6	145,9	107,5	49,3	156,9
20	71,3	42,7	113,8	80,5	44,4	124,8	89,8	46,1	135,8	99,0	47,7	146,8	108,3	49,4	157,8
25	72,0	42,8	114,7	81,3	44,5	125,7	90,6	46,2	136,7	99,8	47,9	147,7	109,1	49,5	158,7
30	72,8	43,0	115,7	82,1	44,7	126,7	91,3	46,3	137,6	100,6	48,0	148,6	109,9	49,7	159,6
35	73,6	43,1	116,6	82,8	44,8	127,6	92,1	46,5	138,6	101,4	48,1	149,5	110,6	49,8	160,5
40	74,4	43,3	117,5	83,6	44,9	128,5	92,9	46,6	139,5	102,1	48,3	150,5	111,4	50,0	161,5
45	75,1	43,4	118,4	84,4	45,1	129,4	93,6	46,7	140,4	102,9	48,4	151,4	112,2	50,1	162,4
50	75,9	43,5	119,3	85,2	45,2	130,3	94,4	46,9	141,3	103,7	48,6	152,3	112,9	50,2	163,3
55	76,7	43,7	120,2	85,9	45,4	131,2	95,2	47,0	142,2	104,4	48,7	153,2	113,7	50,4	164,2
60	77,4	43,8	121,2	86,7	45,5	132,1	96,0	47,2	143,1	105,2	48,8	154,1	114,5	50,5	165,1

Таблица 3 – Линейные тренды

Вре- менной интер- вал	День недели														
	понедельник			вторник			среда			четверг			пятница		
	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего												
5	-26,5	-26,5	-26,5	-18,8	-18,8	-18,8	-5,6	-5,6	-5,6	6,3	6,3	6,3	17,1	17,1	17,1
10	-25,5	-25,5	-25,5	-17,7	-17,7	-17,7	-4,8	-4,8	-4,8	7,4	7,4	7,4	18,2	18,2	18,2
15	-24,7	-24,7	-24,7	-16,6	-16,6	-16,6	-4,0	-4,0	-4,0	8,5	8,5	8,5	19,4	19,4	19,4
20	-24,1	-24,1	-24,1	-15,5	-15,5	-15,5	-3,2	-3,2	-3,2	9,5	9,5	9,5	20,8	20,8	20,8
25	-23,6	-23,6	-23,6	-14,2	-14,2	-14,2	-2,3	-2,3	-2,3	10,5	10,5	10,5	22,2	22,2	22,2
30	-23,1	-23,1	-23,1	-13,0	-13,0	-13,0	-1,4	-1,4	-1,4	11,3	11,3	11,3	23,7	23,7	23,7
35	-22,6	-22,6	-22,6	-11,8	-11,8	-11,8	-0,4	-0,4	-0,4	12,1	12,1	12,2	25,2	25,2	25,2
40	-22,2	-22,2	-22,2	-10,6	-10,6	-10,6	0,5	0,5	0,5	12,9	12,9	12,9	26,8	26,8	26,8
45	-21,7	-21,7	-21,7	-9,5	-9,5	-9,5	1,6	1,6	1,6	13,7	13,7	13,7	28,3	28,3	28,3
50	-21,1	-21,1	-21,1	-8,4	-8,4	-8,4	2,7	2,7	2,7	14,5	14,5	14,5	29,8	29,8	29,8
55	-20,4	-20,4	-20,4	-7,4	-7,4	-7,4	3,9	3,9	3,9	15,3	15,3	15,3	31,1	31,1	31,1
60	-19,7	-19,7	-19,7	-6,5	-6,5	-6,5	5,1	5,1	5,1	16,2	16,2	16,2	32,4	32,4	32,4

Таблица 4 – Аналитическое приближение тренда

Вре- менной интер- вал	День недели														
	понедельник			вторник			среда			четверг			пятница		
	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего	Кол- во TC, X	Кол- во TC, Y	Всего
5	-26,5	-26,5	-26,5	-18,8	-18,8	-18,8	-5,6	-5,6	-5,6	6,3	6,3	6,3	17,2	17,1	17,1
10	-25,5	-25,5	-25,5	-17,7	-17,7	-17,7	-4,8	-4,8	-4,8	7,4	7,4	7,4	18,3	18,2	18,2
15	-24,7	-24,7	-24,7	-16,6	-16,6	-16,68	-4,0	-4,0	-4,0	8,5	8,5	8,5	19,4	19,4	19,4
20	-24,1	-24,1	-24,1	-15,5	-15,5	-15,5	-3,2	-3,2	-3,22	9,5	9,5	9,5	20,8	20,8	20,8
25	-23,6	-23,6	-23,6	-14,2	-14,2	-14,2	-2,3	-2,3	-2,3	10,5	10,5	10,5	22,2	22,2	22,2
30	-23,1	-23,1	-23,1	-13,0	-13,0	-13,0	-1,4	-1,4	-1,4	11,3	11,3	11,3	23,7	23,7	23,7
35	-22,6	-22,6	-22,6	-11,8	-11,8	-11,8	-0,4	-0,4	-0,4	12,1	12,1	12,1	25,2	25,2	25,2
40	-22,2	-22,2	-22,2	-10,6	-10,6	-10,6	0,5	0,5	0,5	12,9	12,9	12,9	26,8	26,8	26,8
45	-21,7	-21,7	-21,7	-9,5	-9,50	-9,5	1,6	1,6	1,6	13,7	13,7	13,7	28,3	28,3	28,3
50	-21,1	-21,1	-21,1	-8,4	-8,4	-8,4	2,7	2,7	2,7	14,5	14,5	14,5	29,8	29,8	29,8
55	-20,4	-20,4	-20,4	-7,4	-7,4	-7,4	3,9	3,9	3,9	15,3	15,3	15,3	31,1	31,1	31,1
60	-19,7	-19,7	-19,7	-6,5	-6,5	-6,5	5,1	5,1	5,1	16,2	16,2	16,2	32,4	32,4	32,4

Таблица 5 – Значения коэффициентов расчета аналитического приближения тренда

№ п/п	$\mu$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
Общее кол-во	0,908	137,731	-7,790	-24,875	7,530	-27,705	9,889	22,179
Стоящие ТС	0,730	91,497	-4,872	-18,618	5,279	-19,601	6,606	16,930
Добавка ТС	0,172	46,3	-2,829	-6,271	2,147	-8,005	3,414	5,325

Таблица 6 – Значения коэффициентов

№ п/п	$\alpha_0$	$\alpha_{k1}$	$\alpha_{k2}$	$\alpha_{k3}$	$\beta_{k1}$	$\beta_{k2}$	$\beta_{k3}$	$\mu$
Общее количество ТС	137,564	-7,8583	-24,574	7,7179	-27,38	10,021	21,9162	0,8986
ТС, стоящие на запрещающий сигнал светофора	91,4806	-4,8477	-18,621	5,2601	-19,623	6,6386	16,9031	0,7308
ТС, добавляющиеся к стоящим на запрещающий сигнал светофора	46,3	-2,8288	-6,2709	2,1469	-8,005	3,4136	5,3253	0,1724

Таблица 7 – Общие значения ТС

Общее ко-личество ТС	Функция $\omega_1(t)$	$y_i$ сглаж. знач.	Значения аналитического выражения $m_y(t)$	$y_i^* \cos, \text{ при } p=1$ (k)	$y_i^* \cos, \text{ при } p=2$ (k)	$y_i^* \cos, \text{ при } p=3$ (k)	$y_i^* \sin, \text{ при } p=1$ (k)	$y_i^* \sin, \text{ при } p=2$ (k)	$y_i^* \sin, \text{ при } p=3$ (k)
31	-26,5	31,33333333		31,33333333	31,333333	31,333333	0	0	0
54	-25,5763	53,33333333	96,06005275	53,04146364	52,169049	50,725638	5,5720355	11,08308	16,47283
75	-24,7991	66,0000012	102,6472239	64,55919826	60,299699	53,407476	13,715317	26,83181	38,77682
69	-24,1517	86,66666667	108,1967373	82,42916239	70,131029	50,974883	26,768345	50,91905	70,09046
116	-23,6076	111,6666667	112,2618473	102,0222187	74,754822	34,574547	45,397261	82,95276	106,1793
150	-23,1329	166,6666667	114,5866582	144,3596824	83,409948	0,1327211	83,295017	144,2933	166,6666
234	-22,6896	213,6666667	115,1219439	172,89996	66,156074	-65,83242	125,53505	203,167	203,2721
257	-22,2385	247,3333333	114,0197079	183,8659765	26,036187	-145,1557	165,42999	245,9591	200,2588
251	-21,7428	217,0000012	111,6075338	145,2698179	-22,49936	-175,394	161,20074	215,8304	127,773
143	-21,1707	157,6666667	108,3457658	92,73507615	-48,57837	-149,8799	127,51072	149,9964	48,93657
79	-20,4988	84,33333333	104,7722347	42,20543377	-42,0891	-84,33323	73,012413	73,07954	0,134314
31	-19,7127	47,66666667	101,4404269	19,41320617	-31,85383	-45,35943	43,534337	35,46046	-14,6504
33	-18,8088	40,0000012	98,85758693	12,38491252	-32,3307	-32,40556	38,034378	23,55262	-23,4495
56	-17,7938	53,33333333	97,42917369	11,12462452	-48,69244	-31,43781	52,160207	21,75985	-43,0826
71	-16,6836	64,66666667	97,41538232	6,807304873	-63,23349	-20,12018	64,307374	13,53897	-61,4569
67	-15,5015	81,33333333	98,90416126	0,064767906	-81,33323	-0,194304	81,333308	0,129536	-81,3331
106	-14,2755	108,6666667	101,8034316	-11,26695811	-106,3303	33,316382	108,08099	-22,4125	-103,433
153	-13,0356	163,0000012	105,8532253	-33,74569838	-149,0273	95,451607	159,46858	-66,0292	-132,129
230	-11,8108	214,0000012	110,6564005	-65,93511869	-173,3697	172,76833	203,58919	-125,455	-126,282
259	-10,6262	247,6666667	115,724673	-100,5068386	-166,0923	235,31233	226,35625	-183,718	-77,2456
254	-9,50088	217,0000012	120,5351097	-108,3004033	-108,8988	216,9989	188,04261	-187,697	-0,69121
138	-8,44593	156,0000012	124,5911364	-91,55373997	-48,53734	148,52522	126,3088	-148,257	47,71017
76	-7,46407	79,33333333	127,4816073	-53,01546764	-8,476868	64,345008	59,018116	-78,8792	46,40579
24	-6,54954	45,0000012	128,9316411	-33,40472581	4,5944758	26,583517	30,151688	-44,7648	36,30863
35	-5,68911	37,0000012	128,8397228	-29,90589481	11,343921	11,568051	21,786176	-35,2181	35,14513
52	-4,86378	52,66666667	127,2969197	-45,57568121	26,212171	0,2096988	26,393845	-45,6804	52,66625
71	-4,05108	65,66666667	124,5858518	-59,95256144	43,804692	-20,03333	26,791818	-48,921	62,5362
74	-3,22767	86,33333333	121,1590871	-82,0695543	69,699371	-50,44465	26,796132	-50,9455	70,0627
114	-2,37196	116,33333333	117,5987253	-113,7550917	106,13465	-93,80978	24,356181	-47,6328	68,79804
161	-1,46651	173,6666667	114,5608654	-172,6871499	169,75965	-164,9172	18,418995	-36,6302	54,42823
246	-0,49999	221,3333333	112,7102346	-221,3330526	221,33221	-221,3308	0,3525072	-0,70501	1,057518

## Окончание таблицы 7

257	0,531597	253,6666667	112,6513325	-252,32035	248,29569	-241,6354	-26,10017	51,92329	-77,1952
258	1,624484	219,6666667	114,8629008	-214,9437006	200,9779	-178,3698	-45,30618	88,66414	-128,209
144	2,767531	169,3333333	119,6423165	-161,1369954	137,34145	-100,2503	-52,04466	99,05102	-136,469
106	3,943465	92,66666667	127,0656426	-84,72310687	62,254301	-29,11239	-37,53806	68,64046	-87,9749
28	5,130784	56,33333333	136,9676318	-48,83834987	28,34777	-0,314017	-28,07597	48,68109	-56,3325
35	6,306155	40,0000012	148,9441085	-32,40555528	12,506001	12,14236	-23,44952	37,99474	-38,1125
57	7,447046	55,0000000	162,377021	-40,94517603	5,9639069	32,065423	-36,72183	54,6757	-44,6857
73	8,53433	68,0000000	176,4802774	-45,6027336	-6,83502	54,770251	-50,44195	67,65562	-40,3016
74	9,554575	86,0000000	190,3624581	-50,69347574	-26,23655	81,624214	-69,47065	81,90021	-27,083
111	10,50178	141,3333333	203,1008349	-70,9264245	-70,1462	141,33047	-122,2479	122,6973	-0,90037
239	11,37836	244,0000000	213,819986	-99,72868658	-162,477	232,54519	-222,6885	182,0364	73,88324
382	12,1953	345,6666667	221,767788	-107,5496238	-278,7414	281,00303	-328,5095	204,4228	201,3026
416	12,97137	394,0000000	226,3817428	-82,79676196	-359,2015	233,76489	-385,2021	161,8959	317,1592
384	13,73153	384,3333333	227,3394498	-41,06650541	-375,5573	121,32406	-382,133	81,6628	364,6815
353	14,50468	306,3333333	224,5884731	-0,731823628	-306,3298	2,1954542	-306,3325	1,463643	306,3255
182	15,32083	187,6666667	218,3527556	19,1606659	-183,7541	-56,68305	-186,686	-38,1211	178,9017
28	16,20816	81,33333333	209,1149036	16,71159367	-74,46586	-47,31265	-79,59795	-32,71	66,15606
34	17,19011	39,33333333	197,5759104	12,05930374	-31,93875	-31,64366	-37,43907	-22,9571	23,36214
56	18,28283	52,33333333	184,5959817	21,16144557	-35,2197	-49,64424	-47,86409	-38,7085	16,55981
67	19,49328	62,0000000	171,1218765	30,85736551	-31,28461	-61,99803	-53,77567	-53,5282	0,493717
63	20,81809	74,66666667	158,1074131	43,7242533	-23,45746	-71,19729	-60,52521	-70,8862	-22,4957
94	22,24345	107,0000000	146,4343958	71,37718914	-11,7719	-87,08271	-79,71384	-106,35	-62,174
164	23,74587	161,3333333	136,8411338	119,5898114	15,960753	-95,9277	-108,29	-160,542	-129,716
226	25,29399	216,6666667	129,8649676	174,9212017	65,771119	-68,72339	-127,8555	-206,443	-205,479
260	26,85102	244,6666667	125,8038521	211,5294493	121,09389	-2,143153	-122,9515	-212,598	-244,657
248	28,37782	213,6666667	124,700216	194,9349829	142,02426	64,211636	-87,48598	-159,633	-203,79
133	29,83619	150,6666667	126,3481919	143,1509711	121,35369	87,449461	-46,99196	-89,2957	-122,691
71	31,19223	76,66666667	130,3230999	74,94187962	69,845124	61,605726	-16,17073	-31,6139	-45,6346
26	32,41921	23,16666667	136,0299821	23,03205933	22,629802	21,964568	-2,49373	-4,95848	-7,36561

Таблица 8 – Значения ТС, стоящих на запрещающий сигнал светофора

ТС, стоящие на красный сигнал	Функция $\omega_1(t)$	$y_i$ сглаж. знач.	Значения аналитического выражения $m_y(t)$	$y_i * \cos$ , при $p=1$ (к)	$y_i * \cos$ , при $p=2$ (к)	$y_i * \cos$ , при $p=3$ (к)	$y_i * \sin$ , при $p=1$ (к)	$y_i * \sin$ , при $p=2$ (к)	$y_i * \sin$ , при $p=3$ (к)
4	-26,5	2	0	31,33333333	31,333333	31,333333	0	0	0
6	-25,5763	10,0000000	59,30695473	53,04146364	52,169049	50,725638	5,5720355	11,08308	16,47283
20	-24,7991	16,66666667	64,41139825	64,55919826	60,299699	53,407476	13,715317	26,83181	38,77682
24	-24,1517	31,0000000	68,75514438	82,42916239	70,131029	50,974883	26,768345	50,91905	70,09046
49	-23,6076	53,66666667	71,98850419	102,0222187	74,754822	34,574547	45,397261	82,95276	106,1793
88	-23,1329	109,6666667	73,90484945	144,3596824	83,409948	0,1327211	83,295017	144,2933	166,6666
192	-22,6896	173,6666667	74,45414787	172,89996	66,156074	-65,83242	125,53505	203,167	203,2721
241	-22,2385	225,6666667	73,74033618	183,8659765	26,036187	-145,1557	165,42999	245,9591	200,2588
244	-21,7428	193,6666667	72,00316679	145,2698179	-22,49936	-175,394	161,20074	215,8304	127,773
96	-21,1707	119,3333333	69,58669842	92,73507615	-48,57837	-149,8799	127,51072	149,9964	48,93657
18	-20,4988	40,0000000	66,89790527	42,20543377	-42,0891	-84,33323	73,012413	73,07954	0,134314
6	-19,7127	8,666666667	64,35982609	19,41320617	-31,85383	-45,35943	43,534337	35,46046	-14,6504
2	-18,8088	4,0000000	62,36417243	12,38491252	-32,3307	-32,40556	38,034378	23,55262	-23,4495
4	-17,7938	9,0000000	61,22831703	11,12462452	-48,69244	-31,43781	52,160207	21,75985	-43,0826
21	-16,6836	16,0000000	61,16109085	6,807304873	-63,23349	-20,12018	64,307374	13,53897	-61,4569
23	-15,5015	31,33333333	62,24088226	0,064767906	-81,33323	-0,194304	81,333308	0,129536	-81,3331
50	-14,2755	53,0000000	64,40824823	-11,26695811	-106,3303	33,316382	108,08099	-22,4125	-103,433
86	-13,0356	110,6666667	67,47374462	-33,74569838	-149,0273	95,451607	159,46858	-66,0292	-132,129
196	-11,8108	173,0000000	71,14011209	-65,93511869	-173,3697	172,76833	203,58919	-125,455	-126,282
237	-10,6262	223,6666667	75,03647133	-100,5068386	-166,0923	235,31233	226,35625	-183,718	-77,2456
238	-9,50088	189,0000000	78,7609369	-108,3004033	-108,8988	216,9989	188,04261	-187,697	-0,69121
92	-8,44593	115,0000000	81,92717598	-91,55373997	-48,53734	148,52522	126,3088	-148,257	47,71017
15	-7,46407	36,66666667	84,21000685	-53,01546764	-8,476868	64,345008	59,018116	-78,8792	46,40579
3	-6,54954	7,0000000	85,38519586	-33,40472581	4,5944758	26,583517	30,151688	-44,7648	36,30863
3	-5,68911	3,0000000	85,35916602	-29,90589481	11,343921	11,568051	21,786176	-35,2181	35,14513
3	-4,86378	8,333333333	84,18532183	-45,57568121	26,212171	0,2096988	26,393845	-45,6804	52,66625
19	-4,05108	16,66666667	82,06502608	-59,95256144	43,804692	-20,03333	26,791818	-48,921	62,5362
28	-3,22767	34,0000000	79,33280458	-82,0695543	69,699371	-50,44465	26,796132	-50,9455	70,0627
55	-2,37196	61,66666667	76,42695091	-113,7550917	106,13465	-93,80978	24,356181	-47,6328	68,79804
102	-1,46651	118,33333333	73,84819811	-172,6871499	169,75965	-164,9172	18,418995	-36,6302	54,42823

## Окончание таблицы 8

198	-0,49999	179,3333333	72,11036724	-221,3330526	221,33221	-221,3308	0,3525072	-0,70501	1,057518
238	0,531597	224,6666667	71,68777082	-252,32035	248,29569	-241,6354	-26,10017	51,92329	-77,1952
238	1,624484	190,0000000	72,9645517	-214,9437006	200,9779	-178,3698	-45,30618	88,66414	-128,209
94	2,767531	116,6666667	76,19103393	-161,1369954	137,34145	-100,2503	-52,04466	99,05102	-136,469
18	3,943465	38,66666667	81,45155659	-84,72310687	62,254301	-29,11239	-37,53806	68,64046	-87,9749
4	5,130784	8,666666667	88,6472106	-48,83834987	28,34777	-0,314017	-28,07597	48,68109	-56,3325
4	6,306155	4,333333333	97,49550216	-32,40555528	12,506001	12,14236	-23,44952	37,99474	-38,1125
5	7,447046	10,66666667	107,5473578	-40,94517603	5,9639069	32,065423	-36,72183	54,6757	-44,6857
23	8,53433	19,33333333	118,2202208	-45,6027336	-6,83502	54,770251	-50,44195	67,65562	-40,3016
30	9,554575	36,0000000	128,844429	-50,69347574	-26,23655	81,624214	-69,47065	81,90021	-27,083
55	10,50178	85,66666667	138,7187587	-70,9264245	-70,1462	141,33047	-122,2479	122,6973	-0,90037
172	11,37836	173,0000000	147,1701035	-99,72868658	-162,477	232,54519	-222,6885	182,0364	73,88324
292	12,1953	259,3333333	153,6118073	-107,5496238	-278,7414	281,00303	-328,5095	204,4228	201,3026
314	12,97137	306,0000000	157,5952545	-82,79676196	-359,2015	233,76489	-385,2021	161,8959	317,1592
312	13,73153	302,6666667	158,8499034	-41,06650541	-375,5573	121,32406	-382,133	81,6628	364,6815
282	14,50468	235,0000000	157,3080088	-0,731823628	-306,3298	2,1954542	-306,3325	1,463643	306,3255
111	15,32083	135,0000000	153,1116847	19,1606659	-183,7541	-56,68305	-186,686	-38,1211	178,9017
12	16,20816	41,0000000	146,6016035	16,71159367	-74,46586	-47,31265	-79,59795	-32,71	66,15606
0	17,19011	4,666666667	138,2883308	12,05930374	-31,93875	-31,64366	-37,43907	-22,9571	23,36214
2	18,28283	7,0000000	128,8089142	21,16144557	-35,2197	-49,64424	-47,86409	-38,7085	16,55981
19	19,49328	14,0000000	118,8727091	30,85736551	-31,28461	-61,99803	-53,77567	-53,5282	0,493717
21	20,81809	26,66666667	109,2014136	43,7242533	-23,45746	-71,19729	-60,52521	-70,8862	-22,4957
40	22,24345	49,0000000	100,4688017	71,37718914	-11,7719	-87,08271	-79,71384	-106,35	-62,174
86	23,74587	107,0000000	93,24563923	119,5898114	15,960753	-95,9277	-108,29	-160,542	-129,716
195	25,29399	172,6666667	87,95474149	174,9212017	65,771119	-68,72339	-127,8555	-206,443	-205,479
237	26,85102	222,3333333	84,84014601	211,5294493	121,09389	-2,143153	-122,9515	-212,598	-244,657
235	28,37782	185,3333333	83,95300794	194,9349829	142,02426	64,211636	-87,48598	-159,633	-203,79
84	29,83619	111,6666667	85,15523019	143,1509711	121,35369	87,449461	-46,99196	-89,2957	-122,691
16	31,19223	34,33333333	88,14015712	74,94187962	69,845124	61,605726	-16,17073	-31,6139	-45,6346
3	32,41921	-6,16666667	92,468057	23,03205933	22,629802	21,964568	-2,49373	-4,95848	-7,36561

Таблица 9 – Количество ТС, добавляющихся к стоящим ТС на запрещающий сигнал светофора

Добавляющееся количество ТС	Функция $\omega_1(t)$	$y_i$ сглаж. знач.	Значения аналитического выражения $m_y(t)$	$y_i^* \cos, \text{ при } p=1$ (k)	$y_i^* \cos, \text{ при } p=2$ (k)	$y_i^* \cos, \text{ при } p=3$ (k)	$y_i^* \sin, \text{ при } p=1$ (k)	$y_i^* \sin, \text{ при } p=2$ (k)	$y_i^* \sin, \text{ при } p=3$ (k)
27	-26,5	29,33333333		31,33333333	31,333333	31,333333	0	0	0
48	-25,5763	43,33333333	36,50377448	53,04146364	52,169049	50,725638	5,5720355	11,08308	16,47283
55	-24,7991	49,33333333	38,1192414	64,55919826	60,299699	53,407476	13,715317	26,83181	38,77682
45	-24,1517	55,66666667	39,4745535	82,42916239	70,131029	50,974883	26,768345	50,91905	70,09046
67	-23,6076	58,0000000	40,45793509	102,0222187	74,754822	34,574547	45,397261	82,95276	106,1793
62	-23,1329	57,0000000	41,00565562	144,3596824	83,409948	0,1327211	83,295017	144,2933	166,6666
42	-22,6896	40,0000000	41,10564301	172,89996	66,156074	-65,83242	125,53505	203,167	203,2721
16	-22,2385	23,0000000	40,79582671	183,8659765	26,036187	-145,1557	165,42999	245,9591	200,2588
11	-21,7428	24,66666667	40,15751558	145,2698179	-22,49936	-175,394	161,20074	215,8304	127,773
47	-21,1707	39,66666667	39,30460258	92,73507615	-48,57837	-149,8799	127,51072	149,9964	48,93657
61	-20,4988	44,33333333	38,36979092	42,20543377	-42,0891	-84,33323	73,012413	73,07954	0,134314
25	-19,7127	39,0000000	37,48931586	19,41320617	-31,85383	-45,35943	43,534337	35,46046	-14,6504
31	-18,8088	36 0000000	36,78776661	12,38491252	-32,3307	-32,40556	38,034378	23,55262	-23,4495
52	-17,7938	44,33333333	36,36458033	11,12462452	-48,69244	-31,43781	52,160207	21,75985	-43,0826
50	-16,6836	48,66666667	36,28359097	6,807304873	-63,23349	-20,12018	64,307374	13,53897	-61,4569
44	-15,5015	50,0000000	36,56668789	0,064767906	-81,33323	-0,194304	81,333308	0,129536	-81,3331
56	-14,2755	55,66666667	37,19220732	-11,26695811	-106,3303	33,316382	108,08099	-22,4125	-103,433
67	-13,0356	52,33333333	38,09818596	-33,74569838	-149,0273	95,451607	159,46858	-66,0292	-132,129
34	-11,8108	41,0000000	39,19010207	-65,93511869	-173,3697	172,76833	203,58919	-125,455	-126,282
22	-10,6262	24,0000000	40,3522635	-100,5068386	-166,0923	235,31233	226,35625	-183,718	-77,2456
16	-9,50088	28,0000000	41,46162275	-108,3004033	-108,8988	216,9989	188,04261	-187,697	-0,69121
46	-8,44593	41,0000000	42,40254399	-91,55373997	-48,53734	148,52522	126,3088	-148,257	47,71017
61	-7,46407	42,33333333	43,0809411	-53,01546764	-8,476868	64,345008	59,018116	-78,8792	46,40579
20	-6,54954	37,66666667	43,4362611	-33,40472581	4,5944758	26,583517	30,151688	-44,7648	36,30863
32	-5,68911	33,66666667	43,44999835	-29,90589481	11,343921	11,568051	21,786176	-35,2181	35,14513
49	-4,86378	44,33333333	43,1497705	-45,57568121	26,212171	0,2096988	26,393845	-45,6804	52,66625
52	-4,05108	49,000000	42,60843419	-59,95256144	43,804692	-20,03333	26,791818	-48,921	62,5362
46	-3,22767	52,33333333	41,93822205	-82,0695543	69,699371	-50,44465	26,796132	-50,9455	70,0627
59	-2,37196	54,66666667	41,28039266	-113,7550917	106,13465	-93,80978	24,356181	-47,6328	68,79804

Окончание таблицы 9

59	-1,46651	55,33333333	40,7913512	-172,6871499	169,75965	-164,9172	18,418995	-36,6302	54,42823
48	-0,49999	42, 0000000	40,6265735	-221,3330526	221,33221	-221,3308	0,3525072	-0,70501	1,057518
19	0,531597	29, 0000000	40,92391222	-252,32035	248,29569	-241,6354	-26,10017	51,92329	-77,1952
20	1,624484	29,66666667	41,78795566	-214,9437006	200,9779	-178,3698	-45,30618	88,66414	-128,209
50	2,767531	52,66666667	43,27703658	-161,1369954	137,34145	-100,2503	-52,04466	99,05102	-136,469
88	3,943465	54, 0000000	45,39425641	-84,72310687	62,254301	-29,11239	-37,53806	68,64046	-87,9749
24	5,130784	47,66666667	48,08352126	-48,83834987	28,34777	-0,314017	-28,07597	48,68109	-56,3325
31	6,306155	35,66666667	51,23111396	-32,40555528	12,506001	12,14236	-23,44952	37,99474	-38,1125
52	7,447046	44,33333333	54,67279822	-40,94517603	5,9639069	32,065423	-36,72183	54,6757	-44,6857
50	8,53433	48,66666667	58,20591618	-45,6027336	-6,83502	54,770251	-50,44195	67,65562	-40,3016
44	9,554575	50, 0000000	61,60545215	-50,69347574	-26,23655	81,624214	-69,47065	81,90021	-27,083
56	10,50178	55,66666667	64,64264077	-70,9264245	-70,1462	141,33047	-122,2479	122,6973	-0,90037
67	11,37836	71, 0000000	67,10443589	-99,72868658	-162,477	232,54519	-222,6885	182,0364	73,88324
90	12,1953	86,33333333	68,81205314	-107,5496238	-278,7414	281,00303	-328,5095	204,4228	201,3026
102	12,97137	88, 0000000	69,63686624	-82,79676196	-359,2015	233,76489	-385,2021	161,8959	317,1592
72	13,73153	81,66666667	69,51216738	-41,06650541	-375,5573	121,32406	-382,133	81,6628	364,6815
71	14,50468	71,33333333	68,43967618	-0,731823628	-306,3298	2,1954542	-306,3325	1,463643	306,3255
71	15,32083	56, 0000000	66,49016293	19,1606659	-183,7541	-56,68305	-186,686	-38,1211	178,9017
26	16,20816	43,66666667	63,79809486	16,71159367	-74,46586	-47,31265	-79,59795	-32,71	66,15606
34	17,19011	38, 0000000	60,55076795	12,05930374	-31,93875	-31,64366	-37,43907	-22,9571	23,36214
54	18,28283	45,33333333	56,97289722	21,16144557	-35,2197	-49,64424	-47,86409	-38,7085	16,55981
48	19,49328	48,0000000	53,30805824	30,85736551	-31,28461	-61,99803	-53,77567	-53,5282	0,493717
42	20,81809	48, 0000000	49,79866044	43,7242533	-23,45746	-71,19729	-60,52521	-70,8862	-22,4957
54	22,24345	58,0000000	46,6662624	71,37718914	-11,7719	-87,08271	-79,71384	-106,35	-62,174
78	23,74587	54,33333333	44,0939981	119,5898114	15,960753	-95,9277	-108,29	-160,542	-129,716
31	25,29399	44,0000000	42,21267516	174,9212017	65,771119	-68,72339	-127,8555	-206,443	-205,479
23	26,85102	22,33333333	41,09175289	211,5294493	121,09389	-2,143153	-122,9515	-212,598	-244,657
13	28,37782	28,33333333	40,73594206	194,9349829	142,02426	64,211636	-87,48598	-159,633	-203,79
49	29,83619	39,0000000	41,08763665	143,1509711	121,35369	87,449461	-46,99196	-89,2957	-122,691
55	31,19223	42,33333333	42,03483988	74,94187962	69,845124	61,605726	-16,17073	-31,6139	-45,6346
23	32,41921	29,33333333	43,42373648	23,03205933	22,629802	21,964568	-2,49373	-4,95848	-7,36561

Таблица 10 – Значения точечного прогноза

Временной интервал, мин	Точечный прогноз для общего количества ТС	Точечный прогноз для стоящих ТС на красный сигнал светофора	Точечный прогноз для добавляющихся ТС
5	218,3528	153,1117	66,49016
10	209,1149	146,6016	63,79809
15	197,5759	138,2883	60,55077
20	184,596	128,8089	56,9729
25	171,1219	118,8727	53,30806
30	158,1074	109,2014	49,79866
35	146,4344	100,4688	46,66626
40	136,8411	93,24564	44,094
45	129,865	87,95474	42,21268
50	125,8039	84,84015	41,09175
55	124,7002	83,95301	40,73594
60	126,3482	85,15523	41,08764

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Акт внедрения мероприятий и рекомендаций

#### АКТ

внедрения базы правил, учитывающей длительность разрешающего сигнала светофорного объекта на пересечении проспекта Ватутина – проезда Автомобилистов города Белгорода

Мы, ниже подписавшиеся, комиссия в составе:

от Управления государственной инспекции безопасности дорожного движения управления Министерства внутренних дел России по Белгородской области, в дальнейшем Управления ГИБДД УМВД России по Белгородской области:

Толстой О.В. - временно исполняющий обязанности начальника УГИБДД УМВД России по Белгородской области;

Кравченко А.А. - начальник отдела надзора УГИБДД УМВД России по Белгородской области;

Смирнов А.В. - инспектор по ОП группы дорожного надзора отдела надзора УГИБДД УМВД России по Белгородской области.

от ФГБОУ ВПО Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова, в дальнейшем БГТУ им. В.Г.Шухова:

Евтушенко Е.И. - проректор по научной работе, д-р техн. наук, профессор;

Новиков И.А. - зав. кафедрой «Организация и безопасность движения», канд. техн. наук, доцент;

Кущенко С.В. - канд. техн. наук, доцент кафедры «Организация и безопасность движения»;

Кущенко Л.Е. - аспирант кафедры «Организация и безопасность движения».

Составили данный акт в том, что аспирантом Кущенко Л.Е. передан комплект документации к внедрению базы правил, учитывающей количество транспортных средств, скапливающихся на запрещающий сигнал светофорного объекта, темп изменения количества транспортных средств, скапливающихся на запрещающий сигнал светофорного объекта, коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги и определяющей длительность разрешающего сигнала светофорного объекта на пересечении проспекта Ватутина – проезда Автомобилистов города Белгорода, а также позволяющей уменьшить длину очереди и увеличить пропускную способность перекрестка.

Комиссия в вышеперечисленном составе единогласно одобрила результаты исследования и приняла к внедрению базу правил, согласно которой на пересечении проспекта Ватутина – проезда Автомобилистов города Белгорода предлагается использовать полученные режимы работы светофорного объекта.

Таблица 1 – Качественная характеристика (терма) количества транспортных средств, скапливающихся на запрещающий сигнал светофорного объекта

Термы	Описание термы	Диапазон
VS (Very Small)	«очень малое»	[0; 0; 22]
S (Small)	«малое»	[0; 22; 44]
M (Medium)	«среднее»	[22; 44; 66]
B (Big)	«большое»	[44; 66; 88]
VB (Very Big)	«очень большое»	[66; 83; 88; 88]

Таблица 2 – Качественная характеристика темпа изменения количества транспортных средств, скапливающихся на запрещающий сигнал светофорного объекта

Термы	Описание термы	Диапазон
NB (Negative Big)	«отрицательное большое»	[-24; -24; -19; -9]
NS (Negative Small)	«отрицательное малое»	[-19; -9; 0]
Z (Zero)	«нулевое»	[-9; 0; 9]
PS (Positive Small)	«положительное малое»	[0; 9; 19]
PB (Positive Big)	«положительное большое»	[9; 19; 24; 24]

Таблица 3 – Качественная характеристика коэффициента сцепления шин с поверхностью дороги

Термы	Описание термы	Диапазон
VS (Very Small)	«очень малое»	[0,2; 0,2; 0,25; 0,35]
S (Small)	«малое»	[0,2; 0,35; 0,65]
M (Medium)	«среднее»	[0,35; 0,5; 0,65]
B (Big)	«большое»	[0,5; 0,65; 0,8]
VB (Very Big)	«очень большое»	[0,65; 0,75; 0,8; 0,8]

Таблица 4 – Качественная характеристика длительности разрешающего сигнала светофорного объекта

Термы	Описание термы	Диапазон
VS (Very Small)	«очень малое»	[20; 20; 23; 33]
S (Small)	«малое»	[20; 33; 46]
M (Medium)	«среднее»	[33; 46; 59]
B (Big)	«большое»	[46; 59; 72]
VB (Very Big)	«очень большое»	[59; 69; 72; 72]

Предложенная база правил, учитывающая вышеуказанные параметры транспортного потока, позволяет определить длительность разрешающего сигнала светофорного объекта на пересечении проспекта Ватутина – проезда Автомобилистов города Белгорода, а также приводит к уменьшению длины очереди и увеличению пропускной способности перекрестка.

**Ожидаемый эффект от внедрения:** применение базы правил, учитывающей количество транспортных средств, скапливающихся на запрещающий сигнал светофорного объекта, темп изменения количества транспортных средств, скапливающихся на запрещающий сигнал светофорного объекта, коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги и определяющей длительность разрешающего сигнала светофорного объекта на пересечении проспекта Ватутина – проезда Автомобилистов города Белгорода позволит обеспечить годовую экономию от расхода топлива более 1 млн. рублей в год и снизить количество вредных выбросов на 11 % в год.

от Управления ГИБДД УМВД России по Белгородской области:

временно исполняющий обязанности начальника УГИБДД  
УМВД России по Белгородской области



Голстой О.В.

начальник отдела надзора УГИБДД УМВД России  
по Белгородской области



Кравченко А.А.

инспектор по ОП группы дорожного надзора отдела надзора  
УГИБДД УМВД России по Белгородской области



Смирнов А.В.

от БГТУ им. В.Г.Шухова:

проректор по научной работе, д-р техн. наук, профессор



Евтушенко Е.И.

зав. кафедрой «Организация и безопасность движения»,  
канд. техн. наук, доцент



Новиков И.А.

канд. техн. наук, доцент кафедры «Организация и безопасность  
движения»



Кущенко С.В.

аспирант кафедры «Организация и безопасность движения»



Кущенко Л.Е.

Управление ГИБДД УМВД России  
по Белгородской области



ФГБОУ ВПО Белгородского государственного  
технологического университета им. В.Г.Шухова



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Справка о практической реализации результатов НИР



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**  
**(БГТУ им. В.Г. Шухова)**

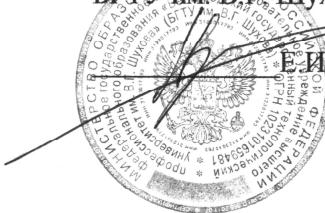
Костюкова ул., д.46, Белгород, 308012, тел.(4722)54-20-87, факс (4722)55-71-39.  
E-mail: rector@intbel.ru, http://www.bstu.ru

«08» 12 2015 № 16/25

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Утверждаю

Проректор по научной работе  
БГТУ им. В.Г. Шухова



E.I. Евтушенко

### СПРАВКА о практической реализации результатов НИР

Теоретические, методологические и прикладные исследования диссертационной работы аспиранта Кущенко Л.Е. используются с 01.09.2014 года в учебном процессе со студентами направления 23.03.01 «Технология транспортных процессов» при изучении дисциплин: «Организация дорожного движения» и «Технические средства организации движения» при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Заведующий кафедрой  
«Эксплуатации и организации  
движения автотранспорта»  
канд. техн. наук

И.А. Новиков