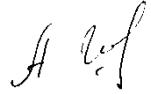


На правах рукописи



ШЕВЦОВА АНАСТАСИЯ ГЕННАДЬЕВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА
ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРНЫМ
ОБЪЕКТОМ**

Специальность 05.22.10 - «Эксплуатация автомобильного транспорта»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Орел – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

Научный руководитель - **Боровской Алексей Евгеньевич**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Басков Владимир Николаевич**,
доктор технических наук, профессор
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., кафедра «Организация перевозок и управления на транспорте», г. Саратов

Пышный Владислав Александрович,
Кандидат технических наук, ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», кафедра «Автомобили и автомобильное хозяйство», г. Тула

Ведущая организация - ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», г. Ростов-на-Дону

Защита состоится **«24» марта 2016 г. в 10:00 часов** на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 999.030.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77, аудитория 426.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте (www.gu-unprk.ru) ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, аудитория 340.

Автореферат разослан **«20» января 2016 г.** Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» (www.gu-unprk.ru) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации (vak2.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29. Телефон для справок +79058569797

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.030.03



А.А. Катунин

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одной из наиболее важных проблем в области организации дорожного движения, является перегруженность улично-дорожной сети, что негативно сказывается на экологической обстановке и экономической ситуации всей страны. Негативный эффект выражается в перерасходе топлива, а также в потерях времени водителей и пассажиров при следовании в пути. Одной из основных причин возникновения данной проблемы, являются более высокие темпы роста автомобилизации в сравнении с темпами развития улично-дорожной сети. Обеспеченность городских жителей автомобилями, способствует изменению состава транспортного потока, который оказывает значительное влияние на все параметры дорожного движения и способы его организации.

Согласно официальным данным службы ГИБДД в большинстве городов Российской Федерации на дорогах преобладают легковые автомобили, которые составляют 80-90% от общей численности парка. К легковым транспортным средствам относят большое разнообразие автомобилей от небольших купе до фэтонов и громоздких внедорожников, отличных в первую очередь по конструктивным характеристикам – габаритной длине (от 2,5 м до 5,8 м.). Разница габаритной длины оказывает влияние на значение динамического габарита и, соответственно, на пропускную способность улично-дорожной сети, что требует постоянного контроля и совершенствования особенно при использовании технических систем управления движением.

Актуальность темы определяется необходимостью развития метода расчета циклов регулирования на регулируемых перекрестках и определения уровня адаптивности режимов работы к расширенным характеристикам транспортного потока.

Степень ее разработанности. Известные из научно-исследовательских и практических работ результаты теоретико-прикладных исследований в области организации дорожного движения, показали, что не в полной мере отражены вопросы рационального управления с учетом характеристик транспортного потока.

Развитие теоретико-методических подходов к организации дорожного движения на улично-дорожной сети на основе рационального управления светофорным объектам требует постановки и решения научной задачи.

Цель работы – снижение потерь времени для участников дорожного движения за счет рационального управления светофорным объектом.

Для достижения цели были **поставлены следующие взаимосвязанные задачи:**

1. Выполнить анализ методик определения характеристик транспортного потока и существующих подходов к управлению светофорным регулированием.
2. Разработать методику сбора информации об основных характеристиках транспортного потока на основе краткосрочного анализа с использованием систем видеofиксации.

3. Теоретически обосновать взаимосвязь конструктивных параметров легковых транспортных средств и величины пропускной способности при светофорном регулировании.

4. Разработать математическую модель определения пропускной способности регулируемого перекрестка с учетом конструктивных характеристик легковых транспортных средств и определить на ее базе уточненную методику расчета длительности цикла регулирования.

5. Осуществить оценку предложенной математической модели и методики расчета длительности цикла регулирования с помощью определения эколого-экономических показателей с использованием продуктов имитационного моделирования.

Объект исследования – процесс движения транспортных средств на регулируемом перекрестке.

Предмет исследования – влияние основных характеристик транспортного потока на величину пропускной способности регулируемого перекрестка.

Научная новизна исследования заключается в разработке теоретико-методических подходов к повышению эффективности светофорного регулирования за счет использования конструктивных параметров легковых автомобилей и состоит в:

1. Получении уравнения взаимосвязи конструктивных параметров легковых автомобилей и пропускной способности регулируемого перекрестка.

2. Теоретическом обосновании значений коэффициентов присутствия, отражающих состав транспортного потока на регулируемом перекрестке.

3. Формировании математической модели отражающей взаимосвязь конструктивных параметров легковых автомобилей и пропускной способности регулируемых перекрестков.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика сбора информации об основных характеристиках транспортного потока на основе краткосрочного анализа с использованием систем видеофиксации.

2. Уравнение взаимосвязи конструктивных параметров легковых автомобилей и пропускной способности регулируемого перекрестка.

3. Математическая модель, отражающая взаимосвязь конструктивных параметров легковых автомобилей и пропускной способности регулируемых перекрестков и уточненная на ее базе методика расчета длительности цикла регулирования.

4. Результаты натурных исследований регулируемых перекрестков с применением разработанной математической модели.

5. Результаты оценки предложенной математической модели и методики расчета длительности цикла регулирования с помощью эколого-экономических показателей и имитационного моделирования.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанные в диссертационном исследовании теоретико-методические подходы, позволяют получить эффективную длительность необходимого режима работы светофорного

объекта и обеспечить максимальный пропуск транспортных средств по всем направлениям на разрешающий сигнал.

Результаты исследования имеют прикладной характер и могут быть использованы при реализации программ развития систем управления дорожным движением на перекрестках. Практическое использование полученных результатов позволяет снизить задержки на регулируемых перекрестках, что позволит повысить комплексную эффективность функционирования улично-дорожной сети посредством систем светофорного регулирования, в том числе автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД).

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование выполнено на основе трудов ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации дорожного движения, в числе которых М.Б. Афанасьев, Д. Дрю, Г.И. Клиновштейн, В.А. Корчагин, Ю.А. Кременец, Е.М. Лобанов, А.Ю. Михайлов, А.Н. Новиков, П. Пржибыл, В.В. Сильянов, А.И. Шутов, М.Р. Якимов, A. J. Miller, K.M. Kockelman, D.A. Scraggs, R.W. Stokes, F.V. Webster и многие другие специалисты. Теоретико-методологической основой исследования явились натурные наблюдения, статистический анализ, математическое моделирование, экспериментальные методы обследования транспортных потоков.

Информационная база исследования. Законодательные и нормативные правовые акты, Транспортная стратегия Российской Федерации, Федеральные и региональные целевые программы развития транспортных систем, материалы федеральных и региональных органов власти и управлений, статистические данные.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов подтверждается большим объемом экспериментального материала, применением математических методов расчета пропускной способности регулируемого перекрестка с последующим определением необходимой длительности режима работы светофорного объекта и проведением апробации в центральной части г. Белгорода.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» по пункту 5 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и пункту 7 «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

Апробация работы. Основные положения и результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на Международных научно-практических конференциях и форумах: «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств» (Пенза 2012, 2014); 1st International Scientific Conference «European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches» (Stuttgart, Germany, 2012 г.), «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху» (Харьков 2013), «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного

комплекса» (Орел, 2013, 2014, 2015), «Организация и безопасность движения» (Тюмень, 2013, 2014, 2015), «Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта» (Тула 2015), 27th European conference on operational research (Scotland, Glasgow 2015), Всероссийский форум студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах» (Санкт-Петербург 2014), International Scientific (SPbWOCSE 2014).

Работа выполнена в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований 13-07-12121_офи_м «Разработка научно-методологических основ прогнозирования изменения характеристик внутригородских транспортных потоков с учетом базовых социально-экономических показателей населенного пункта на основе матриц корреспонденций».

Реализация результатов работы. Основные теоретические результаты исследования реализованы в виде алгоритма определения исходных величин и последующего расчета необходимого режима работы светофорной сигнализации на регулируемом перекрестке с целью управления транспортными потоками и апробированы в реальных условиях городской территории г. Белгорода, рекомендованы к внедрению МБУ «Управление Белгорблагоустройством» администрации г. Белгорода и Управлением государственной инспекции безопасности дорожного движения (УГИБДД) управления министерства внутренних дел (УМВД) России по Белгородской области.

Материалы исследования используются в учебном процессе при обучении бакалавров и магистров по дисциплинам «Технические средства организации дорожного движения», «Организация дорожного движения» на кафедре «Организация и безопасность движения» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 14 статьях, в том числе в 5 ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, в 3 изданиях включенных в зарубежную аналитическую базу данных SCOPUS, получено свидетельство о регистрации базы данных № 2014620795.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 109 наименований и пяти приложений. Текст диссертации изложен на 135 страницах, включает 48 таблиц, 46 рисунков.

2 ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, определены цели и задачи исследования, раскрыты научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ современных проблем определения основных характеристик транспортного потока, рассмотрены существующие подходы по проведению выборочного исследования основных характеристик транспортного потока, выявлены положительные и отрицательные стороны каждого из них. Определено, что сегодня нет единого мнения относительно длительности

выборочного обследования, в зависимости от преследуемой цели выбирается необходимый промежуток. Поэтому существует необходимость разработки методики сбора информации об основных характеристиках транспортного потока за минимальный промежуток времени с максимально точным конечным результатом.

Выполнен анализ исследований в области изучения состава транспортного потока, который показал, что большинство из них направлены на выявление эквивалентного автомобиля в потоке или приведение его к единому составу с помощью коэффициентов приведения. Большое разнообразие легковых транспортных средств, отличных в первую очередь по габаритной длине (от 2,5 м до 5,8 м.), не учитывается при проведении исследований состава транспортного потока, несмотря на тот факт, что основной поток (80-90%) в городах составляет данный тип подвижного состава. Выполнен обзор существующих систем классификаций легковых транспортных средств. Определена необходимость проведения исследований по оценке влияния конструктивных параметров легковых транспортных средств на основные характеристики транспортного потока, в частности при использовании светофорного регулирования.

Определено, что пропускная способность перекрестков со светофорным регулированием рассчитывается с использованием такого понятия как «поток насыщения», который является основополагающей характеристикой в процессе его анализа и проектирования. Рассмотрены основные подходы исследования потока насыщения, определены основные его значения, которые варьируются в довольно обширном диапазоне от 1572 до 2000 ед/ч, использование которых при расчете режимов работы светофорной сигнализации может привести к тому, что длительность цикла и продолжительность работы зеленого сигнала светофора в большинстве случаев не всегда точно соответствует условиям движения, а, следовательно, эффективность работы светофорного объекта снижена. Установлено, что при определении потока насыщения не учитываются конструктивные параметры легковых транспортных средств, что требует разработку математической модели расчета с их учетом и уточнение модели определения режима работы светофорного объекта. Погрешность при вычислении пропускной способности дает основу для использования неэффективных режимов работы светофорной сигнализации, и, как следствие: снижение уровня обслуживания на перекрестках, увеличение выбросов вредных веществ в окружающую среду, а в целом, снижение комплексной (транспортной, экологической и экономической) эффективности светофорного объекта.

Во второй главе разработаны теоретико-методические подходы и методики анализа основных характеристик транспортного потока – интенсивности и состава.

С целью определения разнородности подвижного состава и детального анализа классификации легковых автомобилей было выполнено исследование въездных транспортных потоков в г. Белгород. Доказано и подтверждено, что основной поток составляют легковые автомобили (>90%).

Согласно западноевропейской классификации легковых автомобилей по габаритной длине, оценка исследуемых въездных городских подходов показала

значительное (>10%) распределение классов легковых автомобилей в общем транспортном потоке (рис.1).

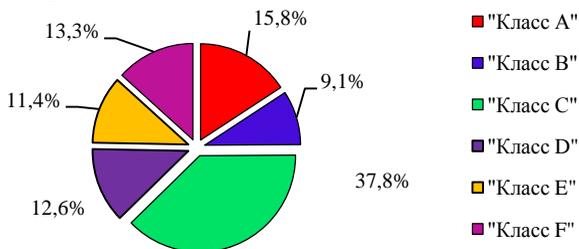


Рисунок 1 – Распределение легковых автомобилей по классам

Данное распределение свидетельствует о необходимости его учета при исследовании характеристик транспортного потока, необходимых к использованию при расчете режима работы светофорного объекта и требует постоянного учета и мониторинга.

Для разработки метода краткосрочного анализа учета основных характеристик транспортного потока, выполнено исследование изменения величины интенсивности в течение недели для каждого часа суток на регулируемых пересечениях г. Белгорода (рис.2).

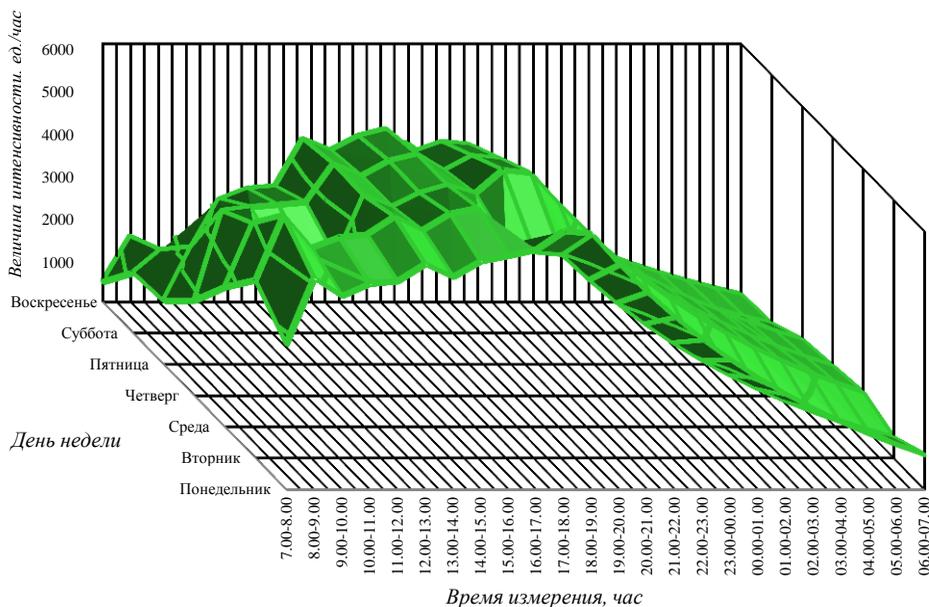


Рисунок 2 – Изменение величины интенсивности в течение недели для каждого часа суток на пересечениях г. Белгорода

Определена функциональная зависимость величины интенсивности от времени суток. Наиболее точно с высокой долей вероятности и рассчитанной величиной аппроксимации ($>0,87$), распределение интенсивности описывается полиномиальной функцией распределения в третьей степени:

$$F_i(x) \equiv P(X \leq x) = \sum_{k=0}^{|x|} C_n p^k q^{n-k}, x \in R \quad (1)$$

С использованием формулы (2) определено наличие корреляционной связи:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

где x_i – значение интенсивности в день x в час i ; y_i – значение интенсивности в день x в час i ; \bar{x} – среднее значение интенсивности в день x ; \bar{y} – среднее значение интенсивности в день y .

Определенная зависимость распределения и наличие корреляционной связи свидетельствуют о том, что изменение исследуемой величины, как в дни недели, так и в часы суток будут происходить идентично. Что позволяет использовать одинаковую продолжительность краткосрочного анализа на аналогичных пересечениях.

С целью формирования методики краткосрочного анализа и определения его продолжительности выполнена проверка существующих и предложенной методики исследования основных характеристик транспортного потока – интенсивности и его состава.

1. «Методика 1». Измерение пиковой интенсивности и анализ состава ТП произведено в течение 5-ти минутного периода ($T = 5$ мин), и переведено к часу при помощи пикового коэффициента ($K_{\text{пик}} = 12$):

$$N_a = N_T \cdot K_{\text{пик}} \quad (3)$$

где N_T – величина интенсивности, полученная в течение анализируемого периода, ед/ч; $K_{\text{пик}}$ – пиковый коэффициент, используемый для перевода полученной интенсивности в час.

2. «Методика 2». $T=10$ мин., $K_{\text{пик}}=6$.

3. «Методика 3». $T=15$ мин., $K_{\text{пик}}=4$.

4. «Методика 4». $T=20$ мин., $K_{\text{пик}}=3$.

5. «Методика 5». $T=30$ мин., $K_{\text{пик}}=2$.

6. «Методика 6». $T=60$ мин., $K_{\text{пик}}=1$.

Проведенные экспериментальные исследования представленных методов сбора данных об основных характеристиках транспортно потока с различной длительностью анализируемого периода (табл. 1), позволили определить необходимую длительность выборочного метода, позволяющие получить максимально точные значения интенсивности движения и состава транспортного потока с наименьшей величиной отклонения в 0, 9% и 2,7% соответственно.

На данном этапе сформирована методика краткосрочного анализа основных характеристик транспортного потока, позволяющая учесть конструктивные параметры транспортных средств.

Таблица 1 – Основные показатели методик сбора основных характеристик транспортного потока

Методика	Т, мин.	$K_{тик}$	Максимальное отклонение N, %	Минимальное отклонение N, %	Среднее отклонение, %	Среднее отклонение при анализе состава ТП, %
«Методика 1»	5	12	5,5	0,5	2,3	17,8
«Методика 2»	10	6	3,4	0,2	1,3	15,2
«Методика 3»	15	4	3,4	0,2	1,1	8,1
«Методика 4»	20	3	2,7	0	0,9	2,9
«Методика 5»	30	2	2,7	0	0,8	2,7
«Методика 6»	60	1	0	0	0	2,1

В дальнейшем для достижения основной цели исследования и решения одной из основных поставленных задач определены основные методы, включающие в себя, используемые при расчете величины потока насыщения, которые были условно классифицированы на классический и современный (рис. 3).

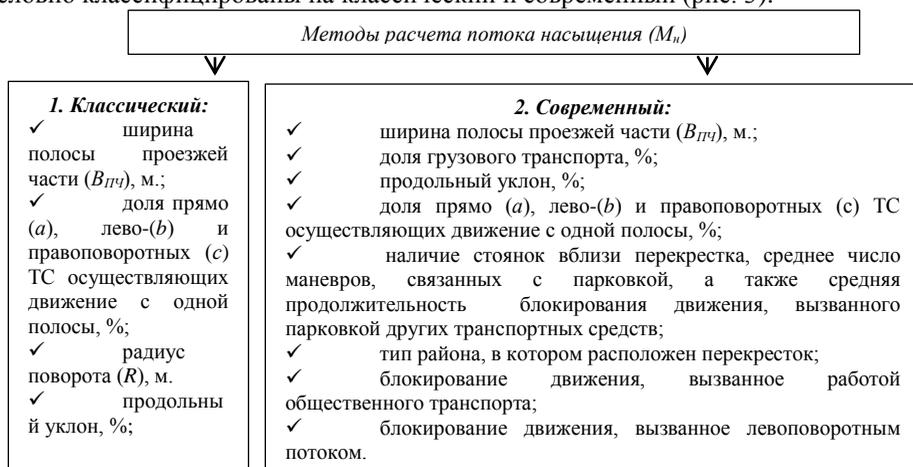


Рисунок 3 – Условная классификация методов расчета потока насыщения

Анализ методов расчета величины потока насыщения показал, что ее значение зависит от временного интервала, который необходим автомобилю, чтобы пересечь стоп-линию при включении разрешающего сигнала. Количество таких интервалов в час и будет составлять величину потока насыщения. Аналитически это можно выразить следующим образом:

$$M_n = \frac{3600}{t_{об}} \quad (4)$$

где M_n – потока насыщения, ед/ч; 3600 – количество секунд в часе, с; $t_{об}$ – время необходимое транспортному средству что бы проехать стоп-линию, с.

Подстановкой в формулу (4) базовые значения потока насыщения при классическом и современном методе, определено время, которое закладывается при определении искомой величины. Так, для классического метода продолжительность движения = 1,95 с. ($M_n = 1850$ ед/ч при $B_{ПЧ} = 3,0$), для современного = 1,89 с. ($M_n = 1900$ ед/ч). Параметры, оказывающие влияние на величину M_n (рис. 3), изменяют

длительность интервала движения $t_{\text{до}}$, и согласно формуле (4), снижают или увеличивают базовое значение. Следовательно, при минимальном временном интервале движения будет получено максимальное значение M_n :

$$t_{\text{до}} = \min \Rightarrow M_n = \max \quad (5)$$

В данном исследовании поток насыщения был определен как максимальная интенсивность разъезда транспортных средств, при нормальных условиях (дорожное покрытие III категории и выше без продольного уклона, отсутствие влияния ТС и пешеходов, движущихся в конфликтующем направлении) и 100% действии разрешающего сигнала:

$$M_n \begin{cases} = N_{\max} \\ \Downarrow \\ T_n = G_c = 100\% \\ \Downarrow \\ = \text{const} \end{cases} \quad (6)$$

В свою очередь, постоянное значение потока насыщения, используемое при определении длительности цикла, свидетельствует о равномерном движении с сохранением дистанции безопасности.

Поэтому расчет потока насыщения с учетом конструктивных параметров легковых автомобилей при движении прямо расчет будет сведен к следующим формулам:

- расчет динамического габарита, м:

$$L_0 = l_a + d \quad (7)$$

где L_0 – динамический габарит автомобиля, м; l_a – габаритная длина автомобиля, м; d – дистанция безопасности до впереди идущего автомобиля, м.

- расчет дистанции безопасности, м:

$$d = T v_a + \frac{v_a^2}{(2j)} \quad (8)$$

где T – время, необходимое водителю для подготовки тормозов к действию, с; v_a – скорость движения автомобиля, м/с; j – величина установившегося замедления, м/с².

- расчет времени, необходимого водителю для подготовки тормозов к действию, с :

$$T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \quad (9)$$

где t_1 – время реакции водителя, с; t_2 – время срабатывания тормозного привода, с; t_3 – время нарастания замедления, с.

- определение времени движения, при прохождении стоп-линии на разрешающий сигнал светофора, с:

$$t_{\text{до}} = L_0 / g \quad (10)$$

Расчет величины потока насыщения с использованием формулы 4. С использованием формул 4, 7-10, рассчитана величина потока насыщения для каждого класса легкового автомобиля (рис. 4), согласно западноевропейской классификации с использованием средней габаритной длины, определенной по выборке основных представителей каждого класса.

В ходе расчетов было установлено что величина M_n принимает максимальное значение при средней скорости потока от 20 до 40 км/ч, что характерно для движения в городских условиях:

$$\begin{cases} 1836 \text{ед/ч} \geq M_n \text{ max} \leq 2104 \text{ед/ч} \\ 20 \text{км/ч} \geq M_n \text{ max} \leq 40 \text{км/ч} \end{cases} \quad (10)$$

Для поворотного движения, значение M_n рассчитывалось с учетом поворотной специфики, используя формулы 9, 10.

$$L_{\text{пов}} = R_{\text{пов}} * \angle \text{пов} \quad (11)$$

где $L_{\text{пов}}$ - динамический габарит при повороте автомобиля, м. $R_{\text{пов}}$ - радиус поворота транспортных средств, м. $\angle \text{пов}$ - угол поворота, рад.

$$\angle \text{пов} = \arcsin\left(\frac{L_{\text{д}}}{R_{\text{пов}}}\right) \quad (12)$$

где $L_{\text{д}}$ - динамический габарит, м.

Полученные величины M_n для различных классов легковых автомобилей предложено свести к одной к одной величине, которая зависит от процентного соотношения каждого класса легкового автомобиля в общем транспортном потоке и определяется уравнением взаимосвязи конструктивных параметров легковых автомобилей и пропускной способности регулируемого перекрестка:

$$M_n = M_{n \text{ max } A} * k_A + M_{n \text{ max } B} * k_B + \dots M_{n \text{ max } n} * k_n \quad (13)$$

где $M_{n \text{ max } A} \dots M_{n \text{ max } n}$ – максимальное значение потока насыщения в зависимости от типа движения (прямо, направо, налево) и класса легкового автомобиля, ед/ч; $k_A \dots k_n$ – коэффициент присутствия, определяющий процентное соотношение каждого класса легкового автомобиля в общем транспортном потоке; n – один из шести общепринятых классов легковых автомобилей.

На данном этапе было установлено, что величина потока насыщения будет различной при учете расширенных характеристик транспортно потока. Определив разнородность транспортного потока можно будет рассчитать коэффициенты присутствия каждого рассматриваемого класса, используемых при расчете M_n , с использованием формулы:

$$k_{A \dots n} \dots k_{F \dots n} = \frac{\alpha_{A \dots n} \dots \alpha_{F \dots n}}{100\%} \quad (14)$$

где $k_{A \dots n} \dots k_{F \dots n}$ – коэффициент присутствия каждого класса легкового автомобиля; $\alpha_{A \dots n} \dots \alpha_{F \dots n}$ – процентное соотношение каждого класса легкового автомобиля в транспортном потоке, полученное в ходе натурного исследования, %; n – номер въездного направления.

Согласно натурным исследованиям городских транспортных потоков на примере г. Белгорода были определены значения коэффициентов присутствия, отражающих состав транспортного потока (табл. 2).

Таблица 2 – Значения коэффициентов присутствия для городских транспортных потоков на примере г. Белгорода

k_A	k_B	k_C	k_D	k_E	k_F
0,15	0,11	0,35	0,13	0,11	0,14

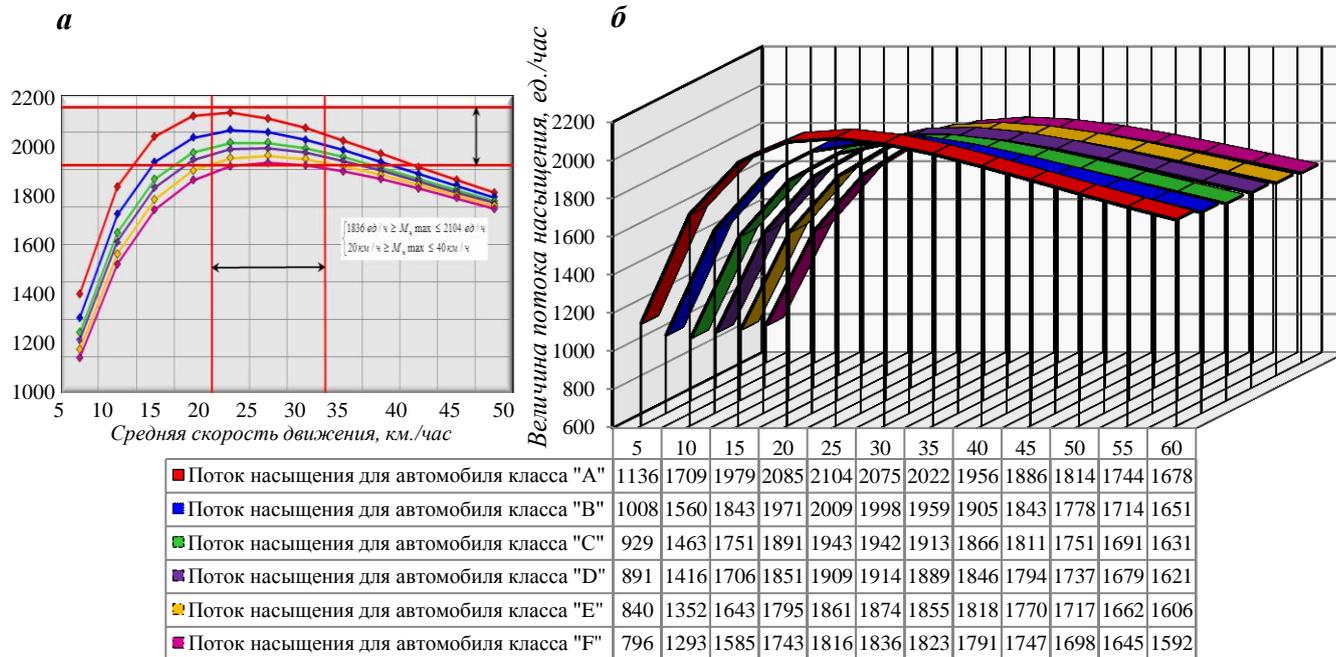


Рисунок 4 – Значение величины потока насыщения в зависимости от класса легкового автомобиля и средней скорости движения а) двухмерная плоскость; б) трехмерная плоскость

С целью снижения трудозатрат при проведении расчета величины потока насыщения, в данной главе была разработана база данных и зарегистрирована в государственном реестре под № 2014620795, позволяющая получать необходимое значение потока насыщения для каждого класса легкового автомобиля в зависимости от различных факторов.

Разработанная методика исследования основных характеристик транспортного потока на регулируемых перекрестках, которая позволяет получить его расширенные характеристики, в частности учета конструктивных параметров транспортных средств и применить их при оценке эффективности светофорного регулирования на стадии определения основной расчетной величины – потока насыщения.

В третьей главе сформулирован алгоритм сбора данных, основанный на научно-методологических исследованиях, отражающий, в наиболее полной мере всю процедуру исследования, как дорожного движения, так и геометрического анализа пересечения и позволяющий представлять все данные в структурированной форме, с целью накопления и формирования базы данных. Выполнена апробация алгоритма на регулируемом перекрестке пр-т Б.Хмельницкого – пр-т Белгородского в г. Белгороде, которая подтвердила, что основным типом в составе транспортного потока являются – легковые автомобили (более 90%). Учет конструктивных параметров легковых автомобилей, в частности габаритной длины, показал высокое количество (>10%) каждого класса в общем транспортном потоке и позволил определить значение коэффициентов присутствия каждого класса.

Разработана математическая модель определения потока насыщения с учетом конструктивных характеристик легковых автомобилей (обозначена красной границей на рис.6) и уточнена методика расчета режима работы светофорного объекта на регулируемом перекрестке на основе полученной модели (рис.6). Произведена экспериментальная оценка выполненного расчета режима работы светофорного объекта для регулируемого перекрестка пр-т Б.Хмельницкого-пр-т Белгородского в г. Белгороде. Определена величина потока насыщения с учетом и без учета расширенных характеристик транспортных потоков, различие результатов в среднем составило 9,29%. Разница циклов при сравнении существующего и полученного режима работы с уточненной методикой составила 9,16% (табл. 3).

Определены 23 регулируемых перекрестка г. Белгорода, на которых произведена апробация разработанного алгоритма сбора исходных данных и определены величины потока насыщения, с последующим применением полученных значений при реализации методики расчета режима работы светофорного объекта. На основании экспериментального анализа были получены режимы работы светофорного объекта и длительности цикла в наиболее загруженные периоды (табл.3).

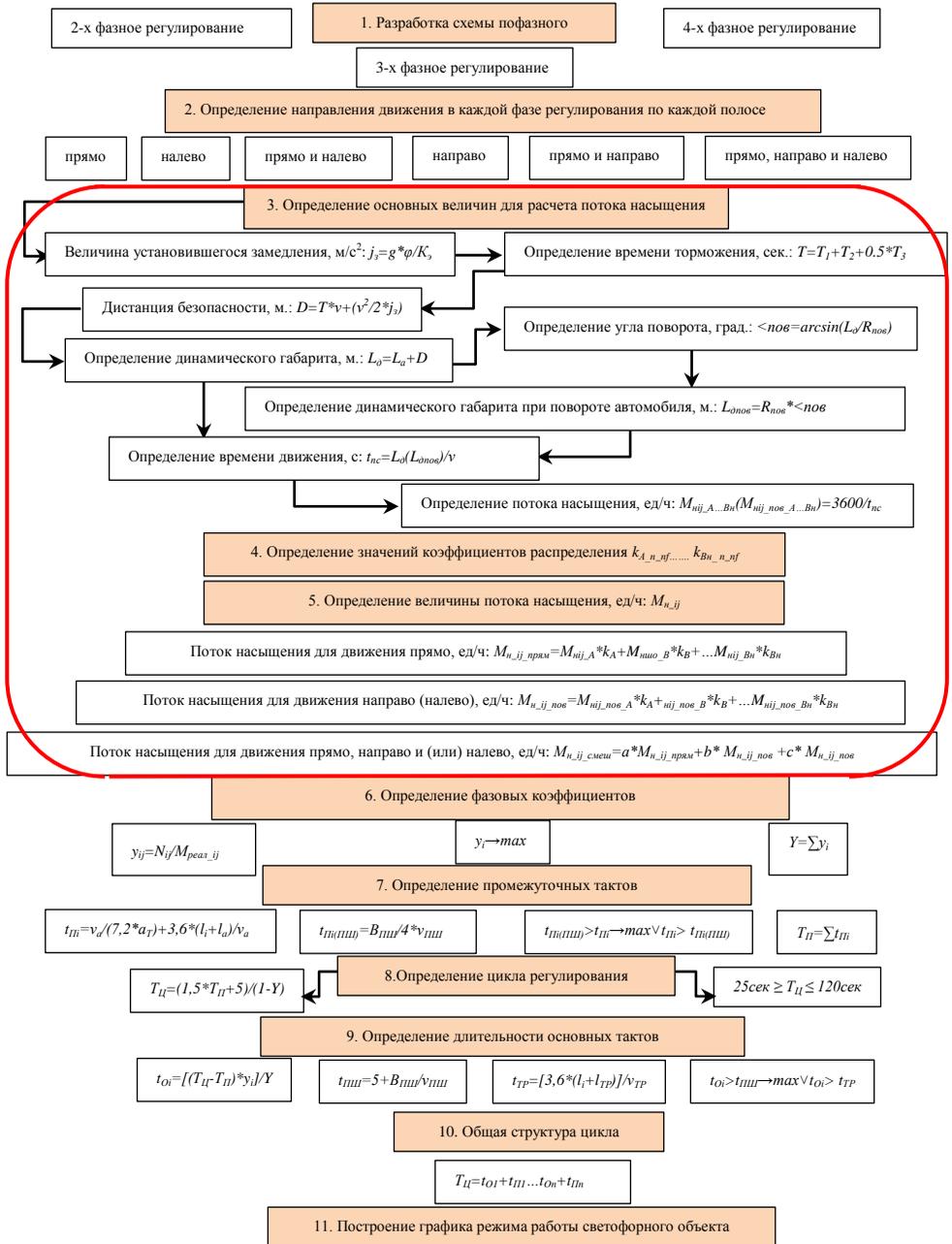


Рисунок 5 – Методика расчета режима работы светофорного объекта

Таблица 3 – Существующие и полученные длительности цикла

№ п/п	Наименование пересечения	Тц, сек._сущ.*	Тц, сек._расч с ЛА.**	Отклонение, %
1	пр. Б.Хмельницкого - пр. Белгородский	88	96	9,09%
2	пр. Славы - ул. 50-летия Бел. Обл.	70	78	11,43%
3	пр. Славы - ул. Попова	72	70	-2,78%
4	пр. Славы - ул. Н. Чумичова	64	72	12,50%
5	пр. Славы - ул. Кн. Трубецкого	82	74	-9,76%
6	пр. Славы - пр. Б.Хмельницкого	68	64	-5,88%
7	пр. Славы - ул. Белгород. Полка	80	82	2,50%
8	пр. Славы - ул. Вокзальная	76	66	-13,16%
9	ул. Преображенская - ул. Белгород. Полка	66	72	9,09%
10	ул. Преображенская - ул. Кн. Трубецкого	82	78	-4,88%
11	ул. Преображенская - ул. Н. Чумичова	74	79	6,76%
12	ул. Преображенская - ул. Попова	70	73	4,29%
13	ул. Преображенская - ул. 50-летия Бел. обл.	72	79	9,72%
14	пр. Белгородский - ул. 50-летия Бел. обл.	68	80	17,65%
15	пр. Белгородский - ул. Попова	80	70	-12,50%
16	пр. Белгородский - ул. Н. Чумичова	68	76	11,76%
17	пр. Белгородский - ул. Кн. Трубецкого	80	88	10,00%
18	пр. Белгородский - ул. Бел. Полка	72	80	11,11%
19	Народный Бульвар - ул. Попова	66	74	12,12%
20	ул. Победы - ул. Кн. Трубецкого	82	87	6,10%
21	пр. Гражданский - ул. Н. Чумичова	74	78	5,41%
22	пр. Гражданский - ул. Кн. Трубецкого	70	74	5,71%
23	пр. Гражданский - ул. Бел. Полка	76	90	18,42%

* Тц, сек._сущ. – существующая длительность цикла, полученная без учета класса ЛА; Тц, сек._расч с ЛА. – рассчитанная длительность цикла, с учетом класса ЛА

Средняя величина отклонения полученных режимов работы от существующих составляет 9,16%, максимальное отклонение равняется 18,42%, минимальное 2,50%. При расчете, длительность цикла, определенная с учетом класса легкового автомобиля, как увеличивался на несколько секунд, так и уменьшался, в таблице 3 данное явление характеризуется величиной отклонения и обозначается знаком «-» при снижении длительности цикла и имеет положительное значение при его повышении.

В главе четыре выполнен анализ результатов практической реализации разработанных теоретико-методических подходов с целью определения эффективности светофорного регулирования с помощью расчета эколого-экономических показателей с использованием имитационного моделирования и натурального эксперимента.

Качество различных вариантов схем организации движения, а так же проверку различных длительностей режимов регулирования на перекрестке оценивают средней задержкой транспортных средств, данный показатель имеет прямо пропорциональную зависимость от степени насыщения направлений – x , которая напрямую зависит от величины потока насыщения,

что поможет оценить результативность предложенного метода определения данной величины. Степень насыщения определяется по формуле:

$$x = N_j T_u / (M_{nj} t_{oj}) \quad (14)$$

где N_j и M_{nj} – соответственно интенсивность движения и поток насыщения в данном направлении, ед./ч.; t_{oj} – длительность основного такта в том же направлении, сек.; j – номер направления.

На каждом перекрестке средняя степень насыщения снижается в среднем на 6,4%, что позволяет сделать резерв на будущий прирост автомобилей и обеспечить пропускную способность полос.

Эффективность движения транспорта на регулируемых перекрестках, определяется величиной задержки автомобиля. В данном исследовании оно определено с помощью программы имитационного моделирования Transyt – 7 FR, установлено, что при внедрении полученных режимов работы задержка снижается в среднем на 15, 5%..

Годовой экономический эффект был определен по формуле:

$$\mathcal{E}_{год} = \mathcal{E}_{мон} * C_{АИ-92} * K_n * D \quad (15)$$

где $\mathcal{E}_{мон}$ - экономия топлива, литр./час; $C_{АИ-92}$ -стоимость 1л. бензина марки АИ-92, руб (34,20 руб.); K_n - коэффициент неравномерности транспортного потока 0,1...0,36; D - количество дней в году.

В результате использования разработанной математической модели и уточненной методики расчета режима регулирования светофорного объекта, позволяющая определить длительность цикла с использованием расширенных характеристик транспортного потока, получена экономия топлива в 12% и, соответственно, снижена приведенная масса вредных веществ на 11% выбрасываемых в атмосферу.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы и результаты работы

В диссертационном исследовании получены следующие основные результаты, совокупность которых свидетельствует о достижении поставленной цели и решении сформулированных задач:

1. Разработаны научные подходы и методика сбора информации об основных характеристиках транспортного потока, на основе краткосрочного анализа с использованием систем видеофиксации, позволяющая за минимальную длительность выборочного исследования ($t=20$ мин.) получить максимально точные значения интенсивности движения и состава транспортного потока с наименьшей величиной отклонения (0,9%).

2. Проведенное практическое исследование позволило определить, что в среде высокоразвитой городской агломерации, транспортный поток состоит на 80-90% из легковых транспортных средств, отличных друг от друга по конструктивному параметру – габаритной длине (от 2,5 м до 5,8 м.).

3. На основании проведенных теоретических исследований обоснованы значения коэффициентов присутствия, отражающие состав транспортного потока на регулируемом перекрестке, которые используются при определении уровня адаптивности режимов работы светофорного объекта к расширенным характеристикам транспортного потока.

4. Разработаны научно-методические подходы и математическая модель определения пропускной способности регулируемого перекрестка, позволяющая учитывать конструктивные характеристики транспортного потока.

5. На основе многомерного дискриминантного анализа, разработана и зарегистрирована база данных, позволяющая в автоматизированном режиме получать значения пропускной способности регулируемого перекрестка в зависимости от различных факторов.

6. На основе разработанной модели, уточнена методика расчета режима регулирования светофорного объекта, позволяющая определить длительность цикла с использованием расширенных характеристик транспортного потока. Выполнена экспериментальная оценка методики расчета, позволяющая в среднем изменить длительность цикла на 9,16% и снизить транспортную задержку в среднем на 15,5%.

7. Произведена оценка разработанных теоретико-методических подходов к повышению эффективности светофорного регулирования с помощью эколого-экономических показателей. Применение расширенных характеристик транспортного потока, обоснованных в разработанной математической модели определения пропускной способности и методике расчета длительности цикла регулирования позволили получить в условиях городской агломерации Белгорода годовое снижение расхода топлива в среднем на 12% и снизить массу выбросов вредных веществ на 11%.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

Издания из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций

1. Шевцова, А.Г. Методика выбора рационального режима работы светофорного объекта на автомобильном транспорте [Текст] / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 6. С. 50-53.

2. Шевцова, А.Г. Влияние изменения задержек транспортных средств на количество режимов работ светофорного объекта [Текст] / И.А. Новиков, А.Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 4. С. 62-68.

3. Шевцова, А.Г. Методы определения потока насыщения автотрассы [Текст] / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // Мир транспорта. 2013. № 3 (47). С. 44-51.

4. Шевцова, А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей [Текст] / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // Автотранспортное предприятие. 2014. № 5. С. 51-53

5. Шевцова, А.Г. Распределение состава транспортного потока на примере городской агломерации «Белгород» [Текст] / А.Е. Боровской, П.А. Воля, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. 2015. № 4. С. 103-110.

Издания включенные в зарубежную аналитическую базу данных Scopus

6. Shevtsova, A.G. Driver's reaction time in evaluation of the road capacity [Text] / A.E. Borovskoy, I.A. Novikov, A.G. Shevtsova // Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015) pp 1212-1217.

7. Shevtsova, A.G. Origin-destination matrix as a way to create a basic algorithm for simulation a load of transport network [Text] / A.E. Borovskoy, M.U. Yablonovskaya, A.G. Shevtsova // Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015) pp 1218-1223.

8. Shevtsova, A. Research of influence of time of reaction of driver on the calculation of the capacity of the highway [Text] / A. Shevtsova, I. Novikov, A. Borovskoy // Transport problems Volume 10 Issue 3 pp 53 - 59.

Научные статьи

9. Шевцова, А.Г. Реальный поток насыщения в зависимости от класса легкового автомобиля [Текст] / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // IV Международная научно-техническая конференция «Логистика промышленных регионов» г. Донецк, 2012. – С. 201-203.

10. Шевцова, А.Г. Разработка метода сбора информации по интенсивности дорожного движения [Текст] / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса // Госуниверситет – УНПК. Орел, 2013. С. 253-260.

11. Шевцова, А.Г. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в рамках национальных программ повышения безопасности дорожного движения [Текст] / А.Е. Боровской, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета / г. Харьков, 2013 выпуск 61-62. - С. 279 – 283.

12. Шевцова, А.Г. Время адаптационного периода при изменении организации дорожного движения [Текст] / А.Е. Боровской, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова // Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2013» сборник научных трудов Sword.– Том 1. – г. Одесса 2013 г., С. 41-46.

13. Shevtsova, A.G. Using of a new method of calculation of a stream of saturation at definition of a cycle of svetoforny regulation [Text] / A.E. Borovskoy, A.G. Shevtsova // «European Applied Sciences: modern approaches in scientific

researches»: Papers of the 1st International Scientific Conference. December 17-19, 2012, Stuttgart, Germany. 488 p. ISBN 978-3-8-944375-00-7 pp. 473-479.

14. Шевцова, А.Г. Адаптационный период при проведении мероприятий по организации дорожного движения [Текст] / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // Научно – производственный периодический журнал «Наука в центральной России» г. Тамбов, 2013 - С. 11-17.

Полученные объекты интеллектуальной собственности

15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620795. Пропускная способность участка улично-дорожной сети в зависимости от дорожных условий / ФГБОУ ВПО «БГТУ им. В.Г. Шухова»; Шевцова А.Г., Боровской А.Е., Новиков И.А. - N 2014620429; Заяв. 08.04.2014; Зарег. 30.05.2014

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Совершенствование организации дорожного движения на основе рационального управления светофорным объектом

АВТОРЕФЕРАТ

Подписано в печать _____.____.____ г.
п. л. 1.0 Тираж 100

Формат 60×84/16
Заказ № ____

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.