

На правах рукописи



КУРАКСИН АНТОН АЛЕКСАНДРОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕЗОСКОПИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Орел – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева»

Научный руководитель

Шемякин Александр Владимирович
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Дорохин Сергей Владимирович
доктор технических наук, доцент, декан
автомобильного факультета ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж

Кущенко Лилия Евгеньевна
кандидат технических наук, доцент кафедры
эксплуатации и организации движения
автотранспорта ФГБОУ ВО «Белгородский
государственный технологический
университет имени В.Г. Шухова»,
г. Белгород

Ведущая организация –

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет (МАДИ)», г. Москва

Защита состоится **«12» ноября 2020 г. в 14:00 часов** на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.111.03 по защите диссертаций на соискание степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «ТулГУ», ФГБОУ ВО «ЛГТУ» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д.77, ауд. 426.**

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте (www.oreluniver.ru) ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» и в фундаментальной библиотеке по адресу по адресу: 302028, г. Орел, пл. Каменская д.1.

Автореферат разослан «__» _____ **2020 г.** Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (www.oreluniver.ru) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации в двух экземплярах направлять в диссертационный совет по адресу:

302026 г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Телефон для справок +7(960)6476660 E-mail: srmostu@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.111.03

В.В. Васильева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Математические модели как инструменты, позволяющие исследовать сложные процессы реального мира, в том числе транспортную инфраструктуру, без капитальных затрат, являются востребованным инструментом решения многих проблем в различных сферах народного хозяйства.

Интенсивный рост автомобильного парка в городах привел к исчерпанию пропускной способности улично-дорожных сетей. Поэтому вопрос оценки эффективности организации дорожного движения в условиях высокой загрузки стал более остро, особенно для крупных и крупнейших городов.

При поиске лучших стратегий управлением транспортными потоками, принятию оптимальных решений при проектировании новых объектов транспортной инфраструктуры, а также выбору рациональной организации дорожного движения необходимо принимать максимально эффективные транспортные решения.

Таким образом формализация движения транспортных потоков является очень сложным процессом и требует применения различных инструментов и технологий моделирования транспортных потоков. Учитывая вышеизложенное, можно говорить о высокой актуальности темы диссертационного исследования.

Степень разработанности темы исследования.

Наибольший вклад в исследование проблем оценки эффективности организации дорожного движения в том числе на основе моделирования транспортных потоков внесли следующие отечественные и зарубежные ученые: Сильянов В.В., Клинковштейн Г.И., Донченко В.В., Михайлов А.Ю., Зырянов В.В., Наумова Н.А., Дорохин С.В., Barcelo I., Brilon W., Cremer, M., Daganzo C., Drew D., Gasis, D., Haight, F., Herman R., Kerner B., Mahmassani, H., Nagel K., Zhou, X. и др.

Анализ российских и зарубежных работ по моделированию транспортных систем в настоящее время выявил не полную разработанность тематики применения параметров, получаемых из мезоскопической транспортных моделей к вопросу комплексной оценки эффективности мероприятий в сфере организации дорожного движения.

Целью работы являлось совершенствование методов оценки эффективности организации дорожного движения на основе комплексной математической модели мезоскопического уровня.

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

1. Проанализировать методы, модели и существующие подходы моделированию транспортных потоков и применение их к оценке эффективности ОДД.

2. Разработать и теоретически обосновать методику интегральной оценки эффективности организации дорожного движения на основе показателей мезоскопической модели.

3. Разработать мезоскопическую модель транспортной системы на примере г. Рязань.

4. Апробировать методику интегральной оценки эффективности ОДД на примере города Рязань.

5. Предложить и апробировать практические методики локальной оценки эффективности на основе мезоскопической модели.

Объект исследования – автотранспортные потоки, методы и средства ОДД, улично-дорожная сеть города.

Предмет исследования – методы оценки эффективности организации дорожного движения.

Рабочая гипотеза: состоит в том, что процесс оценки эффективности следует производить не по отдельным критериям, а по комплексу предварительно отобранных ключевых показателей, позволяющих принимать более эффективные решения, связанные со сферой ОДД в крупном городе.

Научная новизна работы заключается в:

1. Установлении зависимости интегральной оценки эффективности ОДД в условиях плотного транспортного потока от ключевых показателей функционирования транспортного коридора, предусматривающей:

а) разработку компьютерной модели транспортных потоков на мезоскопическом уровне;

б) экспертный выбор ключевых показателей интегральной эффективности работы транспортной системы;

в) геометрическую модель сравнения эффективности (К) для различных вариантов управления дорожным движением в зоне исследования сравнивающей площадь (S1) многоугольника, соответствующего показателям, достигаемым в свободных условиях в рамках компьютерной модели и площади (S2) соответствующая показателям, достигаемым в загруженных условиях. Для вычисления интегрального показателя эффективности используется следующее выражением $K = (S1/S2) \cdot 100$.

2. Предложена методика и математическая модель оценки динамических матриц корреспонденций. Особенностью метода является использование в качестве априорной информации данные получаемые от сигналов bluetooth собираемых на УДС города. Впервые введен параметр априорной информации о распределении путей позволяющий оценить динамическую матрицу корреспонденции в соответствии со следующим выражением: $OD_{ij} = O_{ij} \cdot BOD\%_{ij}$.

3. Разработан метод определения коэффициентов снижения пропускной способности при поочередном блокировании препятствием полос движения. Предлагается использование следующего уравнения:

$$P_{ин} = P_n \cdot k_{ред}$$

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработано устройство для сканирования bluetooth сигналов на УДС крупного города, позволяющее производить мониторинг транспортных потоков.
2. Разработана методика создания компьютерной мезоскопической модели элемента УДС средствами программного обеспечения DTALite/Nexta.
3. Разработана компьютерная мезоскопическая модель центральной части города Рязани.
4. Разработаны практические методики оценки частных показателей эффективности ОДД на основе результатов мезоскопического моделирования.
5. Результаты работы внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева».

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач использовались методы математического и компьютерного моделирования, теории алгоритмов, вычислительного эксперимента, математической статистики, наблюдения и измерения.

Положения, выносимые на защиту

1. Методика интегральной оценки эффективности ОДД, основанная на результатах моделирования транспортных потоков на мезоскопическом уровне.
2. Комплексная компьютерная мезоскопическая модель центральной части города Рязань.
3. Метод определения коэффициентов снижения пропускной способности при поочередном блокировании препятствием полос движения.
4. Результаты экспериментальных исследований на УДС города Рязани.

Степень достоверности и апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: научно-практических конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева (2013-2015 гг.); международной научно-практической конференции «Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования» (г. Воронеж, ВГЛТУ, 20-21 марта 2014 г.; II Молодёжной международной научно-практической конференции «Молодые учёные – альтернативной транспортной энергетике» (г. Воронеж, ВГЛТУ, 17-18 декабря 2015 года); II международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» г. Орел, ОГУ, 17-18 мая 2016 года. 17-18 мая 2016 года; 12-ой международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» г. Санкт-Петербург, 28-30 сентября 2016 года; 13-ой международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» г. Санкт-Петербург,

27-29 сентября 2018 года; международной конференции «Цифровые технологии в логистике и инфраструктуре», г. Санкт-Петербург, 10-11 октября 2019 года.

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».

Реализация результатов работы. Результаты диссертационного исследования в настоящее время используются специалистами АСУДД город Рязань для разработки организации дорожного движения в городском округе – город Рязань и оценки эффективности действующих режимов управления светофорными объектами в центральной части города.

Созданная в исследовании мезоскопическая модель используется специалистами отдела развития и информационных технологий управления транспорта администрации города Рязани, как инструмент при принятии управленческих решений в области организации дорожного движения.

Также исследования использованы в учебном процессе кафедры «Организация транспортных процессов и безопасность жизнедеятельности». Разработки используются в процессе выполнения лабораторных, курсовых работ по дисциплинам «Моделирование транспортных процессов», «Городской транспортный комплекс» в Рязанском государственном агротехнологическом университете им. П.А. Костычева.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ. Из них 5 работ опубликованы в изданиях, определённых в перечне ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ и 3 статьи опубликованы в изданиях, включенных в перечень научных изданий SCOPUS.

Структура и объемы работы. Диссертация состоит из пяти разделов, основных выводов, заключения, списка использованных источников из 107 наименований; изложена на 170 страницах машинописного текста, содержит 81 рисунок, 37 таблиц, 35 формул. Список приложений включает 4 наименования и изложен на 14 листах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе представлен анализ существующих подходов к моделированию транспортных потоков на различных уровнях детализации процесса дорожного движения. Выявлены основные проблемы применения транспортных моделей к оценке эффективности организации дорожного движения. Определено, что меры макроскопического и микроскопического моделирования не позволяют всесторонне определять эффективность мероприятий в организации дорожного движения на сетевом и локальном уровне. Приведен комплексный обзор программных инструментов для моделирования транспортных потоков, обоснован и выбран инструмент для построения компьютерной мезоскопической модели позволяющей на своей основе разрабатывать новые методики оценки эффективности ОДД. Была определена необходимость детального исследования и разработки технологии мезоскопического моделирования и компьютерной модели мезоскопического уровня, с целью разработки новых методик оценки эффективности ОДД.

Во второй главе разработан теоретико-методический подход к интегральной оценке эффективности ОДД на основе результатов мезоскопического моделирования транспортных потоков.

Вопрос интегральной оценки эффективности ОДД является важной задачей, требующей полноценной количественной оценки и применения современных теоретически обоснованных моделей транспортного потока. Оценку эффективности мероприятий по ОДД в зоне исследования, предполагается производить путем сопоставления предварительно отобранных ключевых показателей из мезоскопической модели транспортной системы с некоторой идеальной моделью моделируемой транспортной системы, по которой так же рассчитаны необходимые ключевые показатели средствами моделирования.

Моделирование на мезоскопическом уровне производится для следующих видов состояния транспортной сети:

- свободная (идеальная) сеть – УДС, работающая в условиях низкой загруженности в районе 10–15% от максимальной;
- загруженная сеть – Работа УДС в текущих условиях. Например, утренний или вечерний час пик. Так же сюда можно отнести работу УДС в условиях влияния различных событий на УДС (например, рабочие зоны, ДТП и пр.).

Для оценки влияния ключевых показателей эффективности рассчитанных на основе симуляции, была проведена процедура группировки, за тем в каждой группе были подсчитаны общие баллы путем экспертной оценки специалистами в сфере ОДД. В таблице 1 представлены результаты

оценки влияния ключевых показателей на различные аспекты функционирования транспортной системы на территории крупного города.

Таблица 1 – Таблица оценки влияния ключевых показателей на эффективность ОДД на основе параметров, получаемых из мезоскопических моделей

№ п/п	Показатель (К)	Влияние на качество ОДД	Влияние на надежность	Влияние на окружающую среду	Влияние на БДД	Влияние на информационное обеспечение участников движения	Общая оценка
Группа показателей 1							
1	Среднее время в пути (минут)	5	4	3	2	5	19
2	Суммарное время в пути (минут)	5	1	1	1	1	9
3	Количество ТС (прив. ед.)	3	2	1	2	3	11
Группа показателей 2							
4	Суммарная дистанция (км)	3	2	2	2	2	11
6	Темп движения (мин/км)	5	5	3	4	5	22
5	Средняя скорость (км/час)	4	4	3	4	5	20
8	Количество ТС в очереди (прив. ед.)	3	3	3	3	2	14
Группа показателей 3							
9	Средняя задержка (min)	4	3	3	4	4	18
10	Средний уровень загрузки (%)	4	3	3	4	3	17
7	Процент длины заторов (%)	5	4	4	5	5	23
Группа показателей 4							
11	Временной индекс	4	5	3	3	5	20

12	Плановый индекс	3	4	3	3	4	17
13	Буферный индекс	3	4	3	3	4	17
Группа показателей 5							
14	Среднее значение CO	2	1	5	3	5	16
15	Среднее значение CO2	2	1	4	3	4	15
16	Среднее значение NOX	2	1	4	3	4	15

В таблице 2 представлен выбранный перечень ключевых параметров оценки эффективности ОДД на основе предварительного отбора.

Таблица 2 – Выбранный перечень ключевых параметров оценки эффективности ОДД

№ п/п	Средне время в пути (минут) (K1)	Темп движения (мин/км) (K2)	Процент длины заторов (%) (K3)	Временной индекс (K4)	Среднее значение CO (K5)
Количество баллов	19	22	23	20	16

В целях оценки вариантов организации ОДД или влияния инцидентов на рассматриваемую область моделирования необходим расчет некоторой идеальной модели и ключевых показателей, достигаемых в свободных (идеальных) условиях. Затем, все стратегии и сценарии управления дорожным движением необходимо сравнивать с эталонной транспортной ситуацией. В связи с тем, что возможный разброс сравниваемых интегральных показателей может принимать большие абсолютные максимальные значения, необходимо применить процедуру нормирования выбранных ключевых показателей по следующему выражению.

$$K_{norm} = (Kx - min)/(max - min) \quad (1)$$

где K_{norm} – нормируемое значение ключевого показателя;

Kx – фактическое значение ключевого показателя;

min – возможное минимальное значение ключевого показателя;

max – возможное максимальное значение ключевого показателя.

Нормированные показатели предлагается представить в виде геометрической модели (лепестковая диаграмма рисунок 1). Использование такого вида диаграммы позволяет, еще до вычисления комплексной

интегральной эффективности, производить визуальное сопоставление различных вариантов организации движения в зоне моделирования.

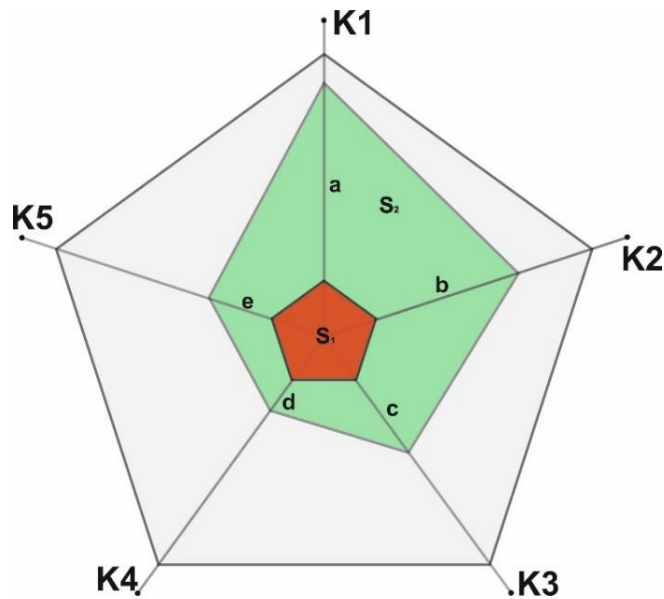


Рисунок 1 – Геометрическая модель интегральной эффективности ОДД на основе показателей мезоскопической модели

Выбранный набор ключевых показателей формирует группу треугольников, с известными сторонами и углом между ними. Таким образом относительная площадь искомого многоугольника будет вычисляться следующим образом:

$$S_k = \frac{1}{2} \cdot \sin 72^\circ \cdot (ab + bc + cd + de + ea) \quad (2)$$

где S_k – площадь многоугольника;

$a-e$ – стороны треугольников, образованные ключевыми показателями эффективности ОДД лежащие в диапазоне от 0 до 1.

Для интегральной оценки эффективности организации дорожного движения предлагается использовать следующее выражение:

$$K_{1-5} = \frac{S_1}{S_2} \cdot 100 \quad (3)$$

где K_{1-5} – ключевые показатели эффективности ОДД на сети, полученные из мезоскопической модели;

S_1 – площадь многоугольника, соответствующая показателям, достигаемым в свободных (идеальных условиях);

S_2 – площадь многоугольника, соответствующая показателям, достигаемым в загруженных условиях.

Так же в рамках второй главы исследования был изучен вопрос влияния дорожных инцидентов на эффективность функционирования

организации дорожного движения. Общая классификация инцидентов в дорожном движении представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация инцидентов в дорожном движении

№ п/п	Название	Описание
1	Мега-событие	Особо крупное событие влияющее на транспортную систему в периоды проведения различных мероприятий на территории города или региона (соревнования, парады, митинги и пр.)
2	ДТП	Событие, возникшее в процессе движения ТС по элементам УДС и с его участием, при котором поврежденные транспортные средства не могут покинуть пределы дороги или дорожного сооружения.
3	Препятствие	Неподвижный объект на полосе движения (неисправное транспортное средство, дефект проезжей части, посторонние предметы), не позволяющий продолжить движение по этой полосе или снижающее её эксплуатационные свойства.
4	Рабочая зона	Участок дороги или дорожного сооружения, на котором проводятся работы по строительству, реконструкции, капитальному ремонту, ремонту или содержанию, размещаются дорожные машины, материалы, механизмы и рабочие. Данные участки значительно влияют на параметры транспортного потока
8	Прочие события	Остальные события не вошедшие в выше представленную классификацию

Инциденты на УДС сильно снижают пропускную способность элементов УДС (отрезков и узлов) при этом становится важным исследование этого влияния и составления шаблонов при возникновении инцидента в транспортной сети для применения последних в моделях мезоскопического уровня, а также в сфере оценок эффективности ОДД.

Исследования динамических характеристик транспортного потока при случайных инцидентах целесообразно использовать имитационное компьютерное моделирование на микроуровне.

Использование микроскопических моделей позволяет наиболее полно анализировать процессы, происходящих в транспортном потоке при возникновении инцидентов.

Для вычисления коэффициентов была создана микроскопическая имитационная модель в среде PTV VISSIM. На рисунке 8 представлен процесс моделирования инцидента на магистральной улице при блокировании 3 полос для движения. На основании микроскопической были

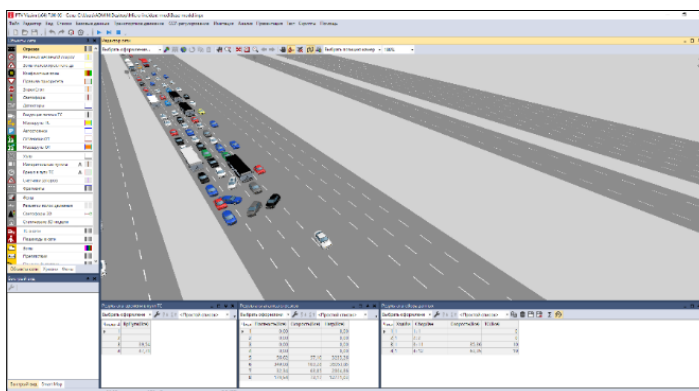


Рисунок 2 – Процесс моделирования инцидентов на микроуровне в среде PTV VISSIM

получены показатели редукиции (снижения) пропускной способности для различных категорий улиц (таблица 4). Под редукицией пропускной способности подразумевается средний коэффициент снижения практической пропускной способности при возникновении инцидента.

Таблица 4 – Экспериментально рассчитанные коэффициенты редукиции для различных категорий улиц и дорог

Категория улицы	Тип инцидента	Блокировано полос в одну сторону		
		1 полоса	2 полосы	3 полосы
Магистральные дороги скоростного движения (8 полос)	Препятствие/ рабочая зона/ДТП	0,31	0,56	0,79
Магистральные улицы общегородского значения с непрерывным движением (8 полос)	Препятствие/ рабочая зона/ДТП	0,28	0,55	0,78
Магистральные дороги с регулируемым движением (6 полос)	Препятствие/ рабочая зона/ДТП	0,49	0,53	N/A
Транспортно-пешеходные улицы (4 полосы)	Препятствие/ рабочая зона/ДТП	0,57	N/A	N/A

Установлено, что изменение коэффициента редукиции с ростом числа полос носит не пропорциональный характер (см. таблицу 4). То есть следует учитывать тип автомобильной дороги где произошел инцидент при назначении величины снижения пропускной способности.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям и разработке методики и мезоскопической модели центральной части города Рязани. Для апробации, разработанной методики создания мезоскопической модели, в рамках диссертационной работы выбран наиболее проблемный с точки зрения загруженности участок УДС города Рязани. Общая схема создания математической модели мезоскопического уровня представлена на рисунке 3.

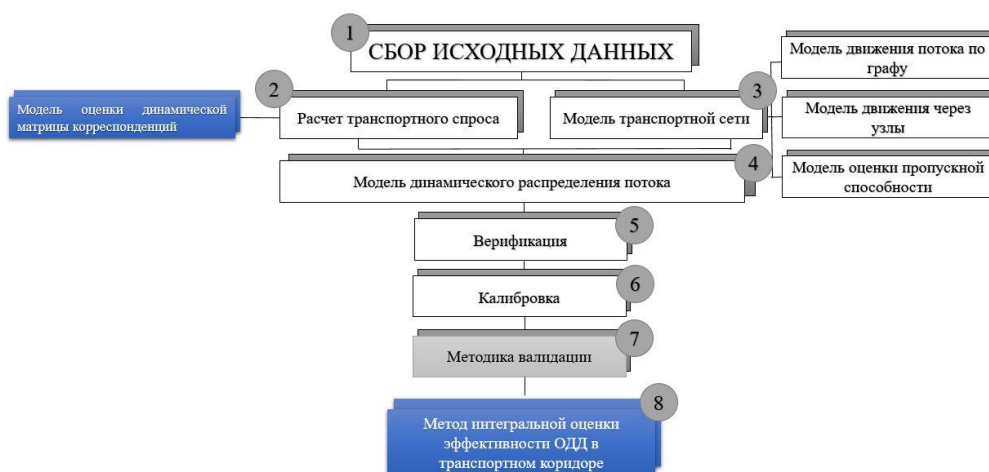


Рисунок 3 – Схема разработки компьютерной модели мезоскопического уровня

В таблице 5 представлено более подробное описание каждого блока модели мезоскопического уровня.

Таблица 5 – Описание блоков мезоскопической модели

Название блока	Описание
Исходные данные	Пропускная способность, интенсивность движения, GPS/ГЛОНАСС треки, данные о работе светофорных объектов, существующая организация дорожного движения
Модель сети	Транспортные районы, узлы, сегменты
Модель спроса	Расчет динамических матриц межрайонных корреспонденций
Калибровка	Поиск и устранение ошибок модели сети, ошибок исходных данных
Представление результатов	Визуализация расчетов в виде графиков и списков
Поддержка принятия решений	Принятие решений в сфере оценки эффективности принятых решений в сфере организации дорожного движения, транспортного планирования и управления транспортными потоками

В целях проведения процедур валидации, верификации, калибровки мезоскопической модели были проведены экспериментальные исследования на УДС города Рязани. Моделируемый участок начинается от пересечения Московского шоссе с ул. Народный бульвар и до пересечения ул. Соборной и ул. Ленина. Участок расположен в центральной части города Рязани, по которому осуществляется транспортная связь крупных административных районов.

В него входят следующие объекты: ул. Народный бульвар, Московское шоссе, ул. Западная, ул. Мервинская, Михайловское шоссе, ул. Вокзальная, ул. Чкалова, Проезд Завражного, Первомайский проспект, ул. Дзержинского, ул. Типанова, ул. Каширина, ул. Павлова, ул. Пожалостина, ул. Сенная, ул. Маяковского, ул. Соборная и ул. Ленина, ул. Семинарская.

Анализ полученных данных об интенсивности позволил построить гистограммы неравномерности ТП в утренний пиковый период при движении в центр города (рисунок 4).

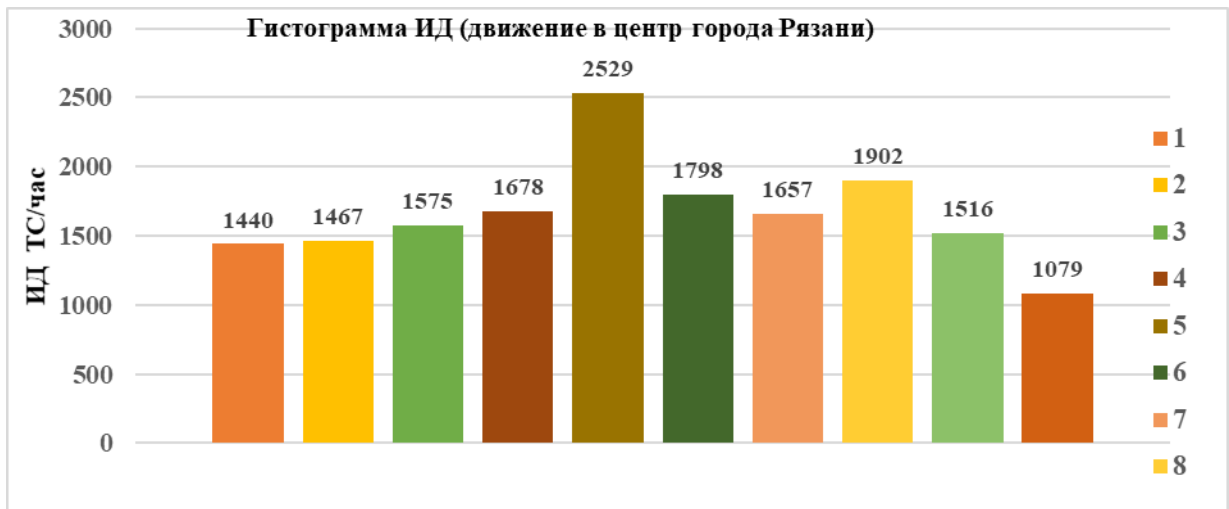


Рисунок 4 – Гистограмма изменения неравномерности транспортного потока при движении в центр города Рязани в утренний пиковый период

Второй частью экспериментальных исследований, направленных на установление характеристик транспортных потоков, была разработка методики и исследование области моделирования на основе GPS/ГЛОНАСС технологий.

На первом этапе все исследуемая область была разделена на отдельные участки. Это делалось для того, чтобы выявить параметры движения потоков отдельно по каждому перегону исследуемой зоны. Такое деление позволяет более подробно изучить отдельные участки УДС на предмет эффективности функционирования.

Соответственно были получены данные о скорости и времени проезда при движении на экспериментальном автомобиле между этими пересечениями. На рисунке 5 представлена фотография экспериментального автомобиля с размещенным в нем мобильным устройством для получения данных.

Исследование на экспериментальном автомобиле проводилось в утренний пиковый период. Исследуемый период был определен предварительными замерами интенсивности движения и составил промежуток времени с 07:00 – 09:00 часов в течении 3 дней рабочей недели (исключая понедельник и пятницу). Общий период исследований составил 3 месяца.

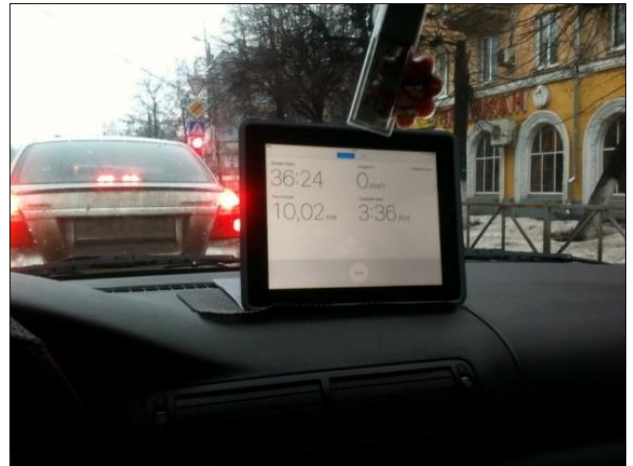


Рисунок 5 – Фотография экспериментального автомобиля

В таблице 6 представлены полученные данные скорости движения экспериментального автомобиля за весь период исследования по всем сегментам сети при движении в центр города Рязани.

Таблица 6 – Данные средней скорости движения на участках УДС

Дата	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13
02.12.18	27,5	23,4	8,15	7,7	6,3	18,7	12,9	9,3	34	36,5	22,8	9,6
18.12.18	33	25	25,5	5,8	9	13,5	7,75	20	35,9	27,7	38	9,3
25.12.18	31	23	22,7	9,2	6,9	17,4	27,3	13,7	34	36	31	8
28.12.18	33	23	33,3	5,6	9,8	11,7	8,4	23,6	24,13	34	32	8
19.01.19	27	23	16,5	3,9	6	5,2	4,8	23,8	7,52	27	26	8
21.01.19	29	25	18,5	11,1	9,1	10,1	8,8	15,4	29,9	35	24	6
25.01.19	32	24	21,4	35,2	8,4	13,5	10	13,4	27,42	30	31	6
26.01.19	33	24	19,7	7,5	9	11	8,8	7,11	27,7	28	35	8
27.01.19	30	23	21,1	9,7	8,8	7,7	26,1	19,2	29,93	33	23	8
28.01.19	29	25	44,7	11,1	9,1	12,4	14,6	32,6	7,67	27	26	7
29.01.19	33	23	43,4	3,5	5,7	33	9,4	14,3	29,93	32	29	7
01.02.19	32	25	15,2	6,7	6,6	36,2	8,6	20,0	38,73	29	25	7
03.02.19	32	24	18	8,3	9	30,7	8,7	24,1	37,31	30	32	8
05.02.19	32	23	21,6	23,6	7,4	21,6	7,3	36,7	43,28	29	29	9

Полученные данные были агрегированы до средних значений с целью получения средних показателей средней скорости на исследуемых перегонах. На рисунке 6 представлен график и гистограммы средней скорости на перегонах и времени в пути.

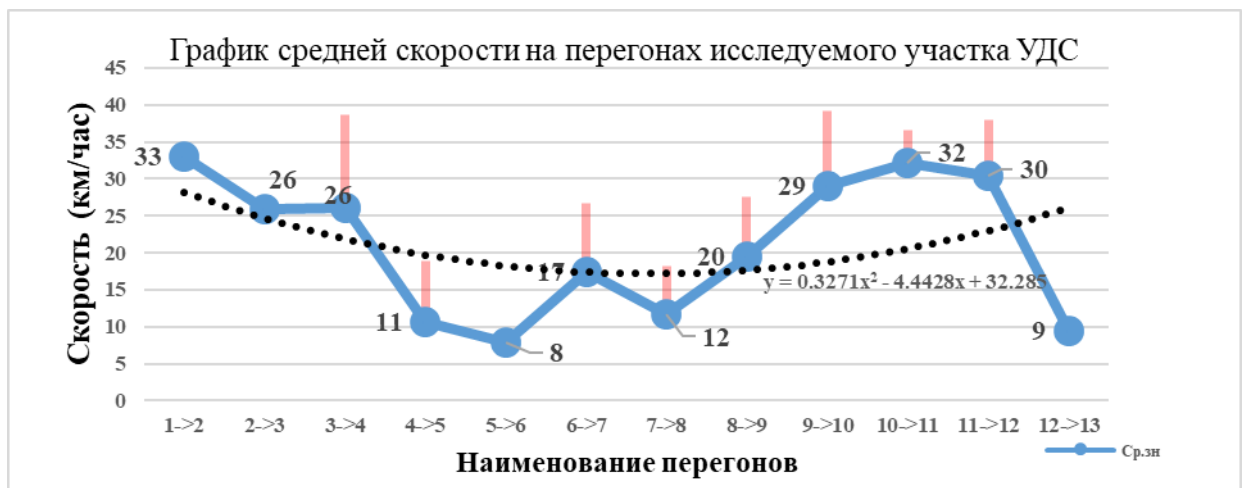
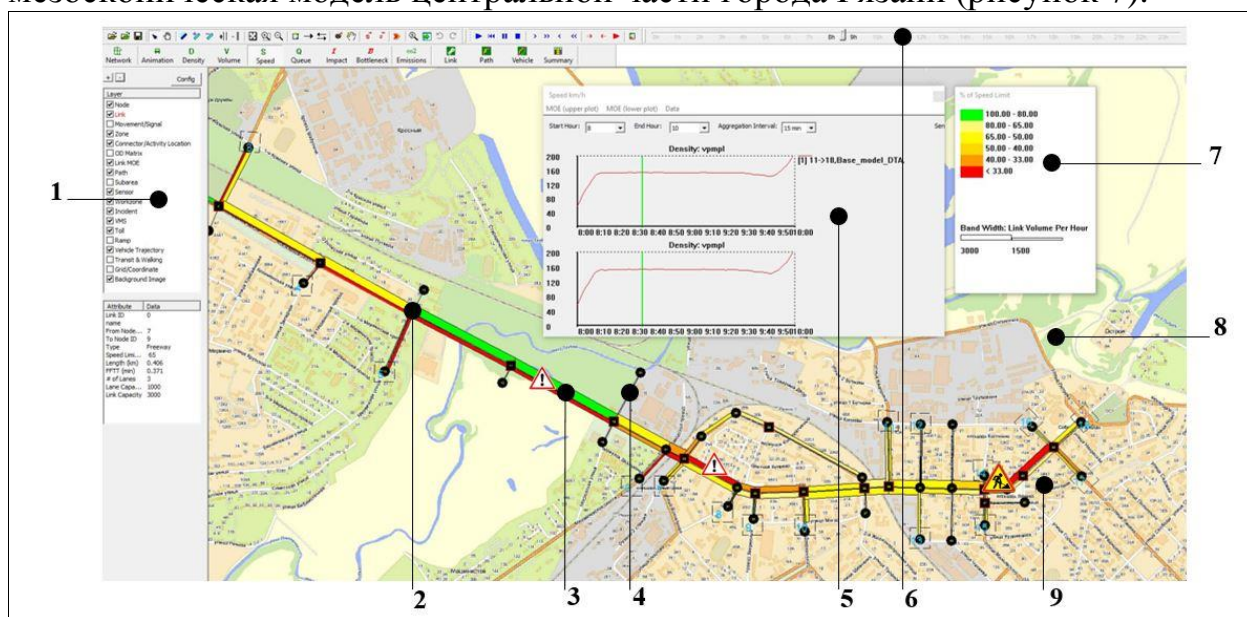


Рисунок 6 – График средней скорости на перегонах исследуемого участка УДС

Экспериментальные исследования, проведенные на УДС центральной части города Рязани, позволили определить средние показатели макропараметров по исследуемым сегментам УДС: интенсивность составила 1664 ТС/час, скорость 22 км/час, плотность 76 ТС/км.

Разработка компьютерной модели на мезоскопическом уровне. На основе программного комплекса DTA Lite/Nexta и полученных в ходе

экспериментальных исследований данных была разработана и откалибрована мезоскопическая модель центральной части города Рязани (рисунок 7).



На рисунке: 1 – панель GIS свойств ПО DTALite/NEXTA; 2 – узлы мезомодели; 3 – расчетные эпюры скорости; 4 – отрезок графа мезомодели; 5 – вывод параметров плотности. График плотности потока; 6 – временная шкала. Учитывает изменение времени в модели. 7 – условные обозначения показателей эпюр скорости в %; 8 – картографическая основа; 9 – учет влияния инцидентов в сети

Рисунок 7 – Мезоскопическая модель центральной части города Рязани

В таблице 7 представлены рассчитанные статистические показатели адекватности динамической модели центральной части города Рязани после калибровки.

Таблица 7 – Рассчитанные показатели адекватности транспортной модели после калибровки

Сравниваемый показатель	Количество измерений	Коэффициент корреляции (0 до + 1)	Коэффициент детерминации (0 до 1)	Среднеквадратичное отклонение	Средняя ошибка аппроксимации (не более 10%)	Средняя абсолютная ошибка	Средняя относительная ошибка %
Интенсивность	17	0,86	0,79	25	5,75%	19	10,7

Анализ результатов компьютерной симуляции потоков в разработанной мезоскопической модели позволил определить усредненные характеристики функционирования УДС города Рязани. Средняя скорость в час пик (7:00 – 09: 00) составила 19,8 км/час, интенсивность 1365 ТС/час, плотность 76 ТС/км. Данные значительной степени согласуются с результатами экспериментальных исследований. Статистические показатели: показатель корреляции 0,86. ошибка сравниваемых данных (10.7%)

показывают высокую адекватность разработанной модели центральной части города Рязани.

Четвертая глава исследования посвящена апробации разработанных теоретико-методических подходов с целью определения интегральной эффективности ОДД центральной части города Рязани.

В целях апробирования методики интегральной оценки эффективности были проведены специальные модельные эксперименты с различным шагом редукции пропускной способности. В таблице 8 представлены сценарии моделирования и описание соответствующих параметров моделирования.

Таблица 8 – Описание сценариев моделирования

№ п/п	Название сценария	id сценария	Показатель редукции пропускной способности
1	Сценарий 1	Base_scenario_FFTT no work zone	0
2	Сценарий 2	AM_Peak_base_scenario_no work zone	0
3	Сценарий 3	AM_Peak_scenario_1 (red 30%)	0.3
4	Сценарий 4	AM_Peak_scenario_1 (red 50%)	0.5
5	Сценарий 5	AM_Peak_scenario_1 (red 80%)	0.8

Результаты нормирования ключевых показателей эффективности представлено в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты нормирования ключевых показателей эффективности

№ п/п	К (1-5)	min	max
1	Среднее время в пути (минут)	1	83
2	Средние выбросы CO (грамм)	1	8045
3	Темп движения (минут/км)	1	12
4	Индекс времени в пути	1	16
5	Заторы (%)	0	100

На рисунке 8 представлена визуализация моделируемых сценариев в мезоскопической модели г. Рязань.

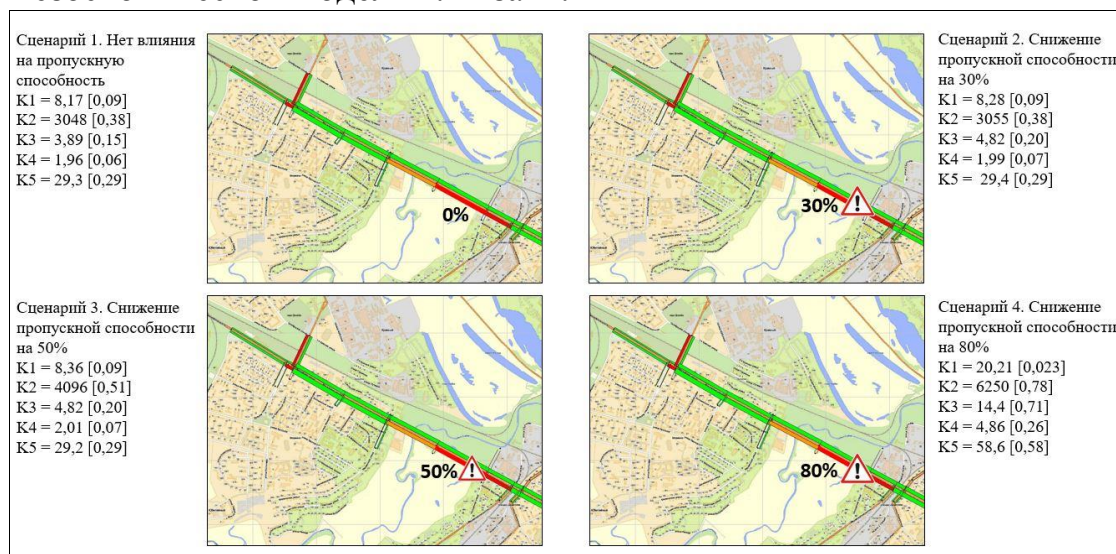


Рисунок 8 – Визуализация моделируемых сценариев мезоскопической модели г. Рязань

На рисунке 9 представлена диаграмма оценки эффективности сценариев моделирования.



Рисунок 9 – Диаграмма интегральной эффективности ОДД для различных сценариев моделирования

Таблица 10 – Результаты оценки интегральной эффективности по 5 ключевым показателям

№ п/п	Сценарий	К1-5 (интегрально)
1	Сценарий 1	6,2
2	Сценарий 2	5,7
3	Сценарий 3	4,7
4	Сценарий 4	1,8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена важная научно-практическая задача, направленная на совершенствование методов оценки эффективности организации дорожного движения на основе комплексной математической модели мезоскопического уровня.

1. Проведен анализ макро- мезо- микроскопических подходов к оценке эффективности ОДД на сетевом и локальном уровне. Установлено, что наиболее эффективным и комплексным подходом, учитывающим зависимость от времени динамические показатели работы транспортной системы, является мезоскопический уровень моделирования. Данный подход позволяет до 100 раз увеличить скорость расчета интегральных и локальных характеристик дорожного движения.

2. Разработана и теоретически обоснована методика интегральной оценки эффективности ОДД, включающая: а) разработку компьютерной модели транспортных потоков на мезоскопическом уровне; б) экспертный выбор ключевых показателей интегральной эффективности работы транспортной системы; в) геометрическую модель сравнения эффективности (К) для различных вариантов управления дорожным движением в зоне исследования, сравнивающий площадь (S1) многоугольника соответствующего показателям достигаемым в свободных условиях и площади (S2) соответствующая показателям достигаемым в загруженных условиях. Для вычисления интегрального показателя эффективности используется следующее выражение $K = (S1/S2) \cdot 100$.

3. Разработана комплексная математическая модель мезоуровня центральной части города Рязани с уровнем корреляции расчетных и смоделированных значений равное 0,86. При этом коэффициент детерминации составил 0,69, а ошибка сравниваемых показателей не более 10%.

4. Апробирована методика интегральной оценки эффективности на примере 4 сценариев моделирования. Получены результаты позволили однозначно провести сравнительную оценку по интегральному показателю (К). Методика обладает высокой производительностью и за 30 минутный интервал времени могут быть рассчитаны десятки сценариев управления.

5. Предложены и апробированы практические методики оценки эффективности на основе мезоскопической модели. Предложен следующий набор методик: а) методика оценки уровней задержек на регулируемых пересечениях; б) методика оценки эффективности организации дорожного движения по критерию среднего времени в пути на сетевом уровне; в) методика оценки эффективности организации дорожного движения по критерию средней скорости на определенном участке маршрута; г) методика оценки эффективности организации дорожного движения по критерию уровня выбросов в атмосферу загрязняющих веществ. Предложенные методики, имеют большую практическую значимость, например, произведена оценка средних уровней задержек до и после реализации мероприятий по изменению ОДД. Методика позволила оценить и выбрать наиболее эффективный вариант по критерию задержки регулирования. Установлено, что предложенный вариант более эффективен чем базовый и позволит снизить задержку регулирования при движении с путепровода в сторону центра с 22,3 до 17,3 секунд. Существующие методики применяются в качестве инструментов при принятии решений при совершенствовании ОДД на территории г. Рязань.

**СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

а) статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Кураксин, А. А. Методика оценки адекватности транспортных динамических мультимодальных моделей мезоуровня / А. А. Кураксин // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – №2 (53). – С. 77-80.

2. Кураксин, А. А. К вопросу о технологии построения мезоскопической модели транспортной системы крупного города / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Бюллетень транспортной информации. – 2016. – № 5 (251). – С. 100-103.

3. Кураксин, А. А. Анализ производительности транспортной системы центральной части города Рязани на основе мезоскопического моделирования транспортных потоков / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Бюллетень транспортной информации. – 2016. – № 8 (254). – С. 17-19.

4. Кураксин, А. А. Методика исследования характеристик транспортного потока в центральной части города Рязань на основе технологий глобального спутникового позиционирования // А. В. Шемякин, А. А. Кураксин // Наука и техника транспорта. – 2016. – № 4. – С. 91-99.

5. Мониторинг транспортных потоков путем обезличенного детектирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth/ А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 10 (292). – С.20-23.

б) статьи в иностранных научных изданиях, включенных в международную реферативную базу данных Скопус (Scopus):

6. A. Kuraksin, A. Shemyakin, S. Borychev Meso-DTA traffic model technology for evaluating effectiveness and quality of the organization of traffic in large cities. Transportation Research Procedia 2017. – P. 378 - 383.

7. Kuraksin A., Shemyakin A., Byshov N. Decision support system for transport corridors on the basis of a dynamic model of transport flow distribution //Transportation research procedia. – 2018 – P. 386-391.

8. Shemyakin A., Kuraksin A., Mikhailova A. The architecture of a mesoscopic model of the real-time transport corridor in projects of intelligent transport system //International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019). – Atlantis Press, 2019.

в) статьи в иных рецензируемых научных журналах:

9. Кураксин, А. А. Методика оценки качества принятых решений в организации дорожного движения на регулируемых пересечениях по критерию задержки регулирования / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – №1-2. – С. 30-33.

10. Кураксин, А.А. Метод выявления узких мест в транспортной сети города на основе динамического моделирования транспортных потоков на мезоскопическом уровне / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2016. – № 4 (16). – С. 39-45.

г) статьи в сборниках трудов и научных конференциях:

11. Кураксин, А.А. Разработка предложений по оптимизации ключевых участков УДС города Рязани на основе имитационного моделирования транспортных потоков / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин, С.С. Рогов, Д.С. Рябчиков, В.А. Павлов // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (грант РФФИ 13-08-06211) ВГЛТА. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, – 2014. – С. 205-209.

12. Кураксин, А. А. Разработка технологии создания мезоскопической модели транспортной системы крупного города / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе:

проблемы и перспективы рационального использования сборник научных трудов по материалам ежегодных конференций том 2, Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, – 2015. – выпуск 2 (3). – С. 781-786.

13. Кураксин, А. А. Обзор методов оценки матриц корреспонденций / А. В. Шемякин, А. А. Кураксин // Наука и образование XXI века. Рязань: НОУ ВПО Современный технический институт, – 2015. – С. 93-101.

14. Кураксин, А. А. Анализ интенсивности и состава транспортного потока в центральной части города Рязани / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования сборник научных трудов по материалам ежегодных конференций, Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, – 2016. – том 3, выпуск 1 (4). – С. 259-263.

15. Кураксин, А. А. Методика оценки матрицы корреспонденций транспортных потоков на участках улично-дорожных сетей ограниченной размерности. / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии, и системы сельскохозяйственного производства Сборник научных трудов. – 2016. – С. 193-196.

16. Кураксин, А. А. Совершенствование методов оценки эффективности организации дорожного движения на основе применения технологий мезоскопического моделирования транспортных потоков / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции, под общей редакцией д.т.н., проф. А.Н. Новикова. Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», – 2016. С. – 371-377.