

На правах рукописи



ПЕЧАТНОВА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

**МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Омск 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)».

Научный руководитель: **Сафронов Кирилл Эдуардович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей» (г. Омск).

Официальные оппоненты: **Новиков Иван Алексеевич**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. И.И. Шухова», транспортно-технологический институт, директор (г. Белгород).

Петров Артур Игоревич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский Индустриальный Университет», доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» (г. Тюмень).

Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный университет»** (г. Красноярск)

Защита диссертации состоится: «15» декабря 2021 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета ВАК РФ Д 212.250.02 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» по адресу 644080, г.Омск, проспект Мира, 5, ауд.3124. Тел. (3812)650323, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» и на сайте университета по адресу: <https://sibadi.org/about/units/institut-magistratury-i-aspirantury/studies/dissertations/65627/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направлять в диссертационный совет по адресу: 644080, г. Омск, проспект Мира, 5 ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». Тел. (3812) 65-03-23, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

Автореферат разослан «21» октября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.250.02,
доктор технических наук, профессор



Кузнецова
Виктория Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Состояние безопасности дорожного движения (БДД) является серьезной социально-экономической проблемой: ежегодные суммарные издержки от дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в РФ составляют 2–3% ВВП. Наиболее высокой тяжестью последствий характеризуются аварии на участках автомобильных дорог федерального значения (ФАД): на них в среднем регистрируются около 9% от общего числа ДТП за год и около 23% погибших (свыше четырех тысяч человек). Основными причинами ДТП на ФАД являются изменяющиеся условия движения при сохраняющихся постоянных параметрах дороги, а также наличие проблем в системе управления БДД.

В «Стратегии безопасности дорожного движения в РФ на 2018–2024 годы» поставлена цель, достичь нулевой смертности на дорогах к 2030 году. Одним из актуальных направлений ее реализации является обеспечение БДД на ФАД на основе совершенствования системы оперативного управления БДД – оперативного реагирования на повышенный риск возникновения конфликтной ситуации (КС) на основе выбора и реализации ответственными службами мероприятий по обеспечению БДД в срок до 24 часов. Под КС в работе понимается дорожно-транспортная ситуация в определенных времени и участке дороги, при наступлении которой произойдет ДТП, если в действиях участников движения не наступят изменения и сохранится прежний режим движения.

Совершенствование системы оперативного управления БДД представлено в виде методики, которая направлена на решение важной государственной задачи – снижение смертности на дорогах.

Степень разработанности темы. Оценке потенциальной аварийности участков автомобильных дорог посвящены работы В.Ф. Бабкова, В.В. Чванова; изучению условий возникновения КС – Е.В. Шашиной; исследованиям риска ДТП и влияния отдельных факторов на аварийность – Т. Brijs, I. Norros, S. Innamaa, F. Malin, A. Theofilatos, A. Ziakopoulos, E. Papadimitriou, G. Yannis. Анализ и систематизация причин ДТП представлены в трудах отечественных ученых В.В. Амбарцумяна, В.Т. Капитанова, В.И. Коноплянко, А.Н. Новикова, И.А. Новикова, В.В. Сильянова, Р.В. Николаевой и др., зарубежных исследователей Д.В. Капского, Donald R. Drew. Вопросы управления в системе обеспечения БДД рассмотрены в трудах Luca Persia, С.А. Евтюкова, П.А. Кравченко, Е.М. Олещенко, А.И. Петрова, В.И. Колесова, В.В. Каревой, А.В. Колосова, Э.А. Сафронова, К.Э. Сафронова.

Целью диссертационной работы является разработка методики обеспечения БДД на ФАД на основе оперативного реагирования на повышенный риск возникновения конфликтных ситуаций.

Задачи исследования:

1) Разработка математической модели оценки уровня потенциального риска возникновения ДТП на участках ФАД на основе совокупности постоянных дорожных характеристик.

2) Определение зависимостей относительного риска возникновения ДТП от элементов внешней среды на участках ФАД.

3) Разработка математической модели формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды, а также программного приложения для расчета и прогноза риска возникновения КС.

4) Разработка методики обеспечения БДД на ФАД на основе оценки риска возникновения КС и совершенствования системы оперативного управления БДД, а также системы практических рекомендаций по ее использованию.

5) Оценка потенциального социально-экономического эффекта использования результатов исследований на ФАД.

Объект исследования: обеспечение БДД на участках ФАД путем оперативного реагирования на повышенный риск возникновения конфликтных ситуаций.

Предмет исследования: закономерности, связывающие элементы внешней среды, постоянные дорожные характеристики с риском возникновения КС на участках ФАД.

Научная новизна работы:

1. Установлена закономерность, позволяющая определить уровень потенциального риска возникновения ДТП на участках ФАД на основе совокупности постоянных дорожных характеристик с помощью разработанной математической модели.

2. Получены новые зависимости величины относительного риска возникновения ДТП от значений элементов внешней среды, которые позволили создать математическую модель формирования риска КС.

3. Установлено влияние совокупности постоянных дорожных характеристик и внешней среды на риск возникновения КС, которое позволяет осуществлять его прогнозирование.

Теоретическая значимость работы заключается в получении новых зависимостей относительного риска возникновения ДТП от элементов внешней среды, математической модели оценки уровня потенциального риска на основе совокупности постоянных дорожных характеристик, математической модели формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды, методики обеспечения БДД на ФАД, которые вносят вклад в развитие теории обеспечения БДД и создают условия для повышения знаний о процессе формирования риска возникновения КС на ФАД.

Практическая значимость работы заключается в прикладном характере исследования, результаты которого используются различными организациями, что подтверждено актами внедрения. Результаты используются в ККУ «УГОЧС и ПБ в Алтайском крае» при прогнозировании риска возникновения ДТП на ФАД в сложных метеорологических условиях, а также в УГИБДД ГУ МВД России по Алтайскому краю в целях повышения эффективности деятельности. Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». Получены два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Методология и методы исследования. Статистический анализ и анализ временных рядов применен для оценки показателей аварийности и ее динамики, методы математического моделирования, теории относительного риска, элементы факторного, корреляционного, кластерного и дискриминантного анализа использовались при разработке математических моделей и зависимостей, позволяющих оценить риск возникновения КС; методы теории управления организационными системами, нечетких множеств, экспертного оценивания применены при разработке элементов системы оперативного управления БДД. Обработка данных осуществлялась с помощью программ Statistica и MS Excel.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель оценки уровня потенциального риска возникновения ДТП на участке ФАД, обусловленного совокупностью постоянных дорожных характеристик.

Соответствует пункту 7 паспорта специальности: *Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы.*

2. Математическая модель формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды.

Соответствует пункту 7 паспорта специальности: *Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы.*

3. Методика обеспечения БДД на основе совершенствования системы оперативного управления БДД на участках ФАД, базирующейся на оценке риска возникновения КС.

Соответствует пункту 5 паспорта специальности: *Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков.*

Степень достоверности полученных результатов обеспечена репрезентативностью и объемом выборок, корректным применением методов анализа и обработки данных, отсутствием противоречий между полученными результатами и ранее сделанными выводами.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались автором и обсуждались на следующих конференциях: всероссийские научно-практические конференции по математике в 2015 г., 2017 г., 2019 г., Барнаул; научно-практическая конференция «Автомобильный транспорт сегодня: проблемы и перспективы», Воронеж, 2015 г.; XVIII городская научно-практическая конференция молодых ученых «Молодежь – Барнаулу», Барнаул, 2016 г.; международная конференция «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования», Барнаул, 2017 г.; XI всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» AS'2017 г. Новокузнецк, 2017 г.;

XX Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 2019 г.; V Международная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2020 г; VII международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орел, 2021.

Личный вклад автора состоит во включенном участии на всех этапах процесса выполнения диссертационной работы, в обосновании актуальности темы, постановке цели, задач исследования, определении структуры работы, в формулировке выводов, научных положений, разработке зависимостей, математических моделей, методики, описанных в диссертации, в непосредственном участии соискателя в получении исходных данных, личном участии в апробации результатов, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Публикации. По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 5 в журналах, индексируемых в Scopus и/или Web of Science, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы: диссертационная работа включает: введение, четыре главы, заключение, список литературы из 167 наименований, 5 приложений. Общий объем диссертации составляет 156 страниц машинописного текста. Работа содержит 41 рисунок, 23 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, приведены результаты исследования, их практическая значимость, указано количество публикаций автора, содержится информация об апробации, структуре и объеме диссертационной работы.

В первой главе представлено исследование показателей аварийности с позиции социально-экономических проблем, их анализ по местам совершения ДТП, результаты изучения ведущих направлений обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) и основных методов оценки риска возникновения ДТП и КС на ФАД, обоснован выбор факторов для дальнейшего моделирования.

Дорожно-транспортная аварийность представляет собой серьезную социально-экономическую проблему. За последние 5 лет в ДТП погибло более 100 тыс. человек, пострадало более миллиона. Анализ показателей аварийности по местам совершения ДТП показал, что наибольшей тяжестью последствий характеризуются ДТП на ФАД. Наиболее распространенным видом ДТП на этих участках являются столкновения.

Базовым документом в сфере обеспечения БДД является «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 год»; одним из направлений является совершенствование системы управления БДД. Анализ уровней управления показал, что наиболее проблемная сфера – оперативное управление БДД, в рамках которого в срок до 24 часов осуществляются оперативные мероприятия по обеспечению БДД. В его рамках требуется

краткосрочная оценка и прогноз угрозы возникновения ДТП, что целесообразно выразить риском возникновения КС.

Логико-структурный подход позволил определить, что для совершенствования оперативного управления БДД на ФАД необходимы: определение зависимостей относительного риска ДТП от внешней среды, разработка математической модели, позволяющей оценить уровень риска возникновения ДТП, обусловленный совокупностью постоянных дорожных характеристик, разработка математической модели формирования риска КС в условиях динамично меняющейся внешней среды в определенных времени и участке ФАД и программного приложения для его расчета, а также разработка методики обеспечения БДД на основе оценки риска КС.

На оперативном уровне управления БДД ключевой является информация о времени и месте, где требуется проведение мероприятий, в связи с чем основой оперативного реагирования являются данные о риске возникновения КС в пространственно-временной ячейке «участок дороги – время». В рамках комплекса Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда (ВАДС) опасность участка дороги обуславливается совокупностью элементов фактора дорога – Д, а его опасность во времени – совокупностью факторов дорога – Д и среда – С. Принято, что в отсутствие оперативных мероприятий по обеспечению БДД, распределение вероятностей участия в ДТП по причине исключительно факторов В и А во времени и пространстве равномерно (отсутствуют отрезки дороги или промежутки времени, где более вероятно появление «опасных» водителей и ТС), поэтому факторы В и А в работе элиминированы и не рассматриваются. Вариация риска КС в ячейках «участок дороги – время» определяется только вариацией факторов Д и С, которые выбраны для дальнейшего моделирования.

Во второй главе определено множество элементов фактора дорога – Д и представлены результаты математического моделирования оценки уровня потенциального риска возникновения ДТП на участках ФАД на основе совокупности постоянных дорожных характеристик.

Для дальнейших исследований выбрана дорога А-322 "Барнаул – Рубцовск – государственная граница с Республикой Казахстан", которая согласно основным характеристикам является типичным представителем ФАД РФ. На ней ежегодно регистрируются аварийно-опасные участки (АОУ): в 2019 году отмечено два АОУ, на которых произошло 7 ДТП (8,4% от всех отчетных ДТП на дороге).

Для дальнейшего моделирования получены и обработаны данные о ДТП с пострадавшими и без жертв, произошедшие с 2012 по 2019 год. Общая выборка составила 2016 ед. ДТП. Моделирование проводилось на километровых участках дороги (i-ые участки).

Для определения конечного множества элементов фактора дорога – Д рассчитаны коэффициенты парной корреляции Пирсона / Спирмена между значениями 18 элементами фактора дорога – Д и среднегодовой аварийностью на i-ых участках дороги. В результате выделены 12 переменных d_p , коэффициент корреляции которых значим на уровне $p < 0,05$: d_1 – сумма центральных углов, d_2 – объединенная характеристика продольного уклона дороги (сумма произведений величин уклона на его протяженность), d_3 – максимальная величина уклона, d_4 –

число полос движения, d_5 – протяженность зоны с возможностью появления животных, d_6 – моста, d_7 – ограждения, d_8 – зоны необеспеченной видимости, d_9 – характеристика перекрестка, d_{10} – пешеходного перехода (в баллах), d_{11} – сумма мощности объектов придорожного сервиса, d_{12} – среднегодовая интенсивность (постоянный компонент интенсивности движения). Эти элементы определены как совокупность постоянных дорожных характеристик: $D = \{d_p\}_{p=1}^{12}$.

Основой для моделирования явилось определение типовых участков: обладающих схожей или одинаковой совокупностью показателей выбранных элементов фактора дороги – D . Они должны характеризоваться соответственно одинаковым уровнем потенциального риска – риска возникновения ДТП на i -ом километровом участке дороги (ДТП/год), обусловленного совокупностью постоянных дорожных характеристик.

Задача моделирования уровня потенциального риска возникновения ДТП решена в два этапа. На первом этапе применен кластерный анализ: методом k -средних все участки разделены на 4 кластера, каждый из которых представляет собой группу участков со схожими значениями постоянных дорожных характеристик. Анализ межгрупповой и внутригрупповой дисперсии показал, что различия между кластерами значимы.

В кластерах рассчитана средняя аварийность (ДТП/год), что является уровнем потенциального риска K_p^i , его значение представлено в таблице 1. Цветовая градация уровня риска позволяет наглядно оценить уровень потенциального риска.

Таблица 1 – Уровень потенциального риска в кластерах (K_p^i)

Номер кластера	Количество участков в кластере	Потенциальный риск (ДТП/год)	Уровень
1	4	8,02	«красный»
2	26	2,07	«оранжевый»
3	92	1,50	«желтый»
4	177	0,91	«зеленый»

На втором этапе с помощью линейного дискриминантного анализа установлено правило определения кластера в зависимости от значений совокупности постоянных дорожных характеристик. Реализована стандартная процедура его проведения: зависимыми переменные – номера кластеров, независимые – постоянные дорожные характеристики; включены все переменные. Получены классификационные функции:

$$DF_1(d_p) = -57,68d_1 - 0,04d_2 + 0,38d_3 + 9,19d_4 - 48,55d_5 + 173,51d_6 - 11,76d_7 + 51,71d_8 - 0,94d_9 - 3,14d_{10} + 0,19d_{11} + 0,07d_{12} - 314,80; \quad (1)$$

$$DF_2(d_p) = -33,45d_1 + 0,02d_2 + 0,11d_3 + 11,59d_4 - 18,72d_5 + 16,76d_6 - 6,41d_7 - 1,31d_8 - 0,77d_9 - 3,38d_{10} + 0,05d_{11} + 0,11d_{12} - 49,43; \quad (2)$$

$$DF_3(d_p) = -45,22d_1 + 0,01d_2 + 0,25d_3 + 12,12d_4 - 0,89d_5 + 28,68d_6 - 4,13d_7 - 13,64d_8 - 0,77d_9 - 3,99d_{10} - 0,01d_{11} + 0,15d_{12} - 35,94; \quad (3)$$

$$DF_4(d_p) = -14,56d_1 - 0,01d_2 + 0,10d_3 + 12,85d_4 - 1,69d_5 + 25,48d_6 - 3,32d_7 - 4,30d_8 - 1,24d_9 - 2,88d_{10} - 0,01d_{11} + 0,09d_{12} - 23,11. \quad (4)$$

где $DF_z(d_p)$ – линейная классификационная функция, z – индекс классификационной функции.

Анализ модели показал, что Лямбда Уилкса составила 0,03; p -уровень значимости F -критерия меньше 0,001, доля верно классифицированных участков составила 95,32%, что говорит о корректности результатов моделирования.

Для определения уровня потенциального риска (K_D^i) i -ого участка необходимо выполнение следующих шагов:

1) Расчет значений четырех классификационных функций на основе выражений (1) – (4), определение индекса классификационной функции, значение которой оказалось максимальным, и установление соответствующего номера кластера.

2) Определение значения уровня потенциального риска на основе номера кластера и таблицы 1.

Математическая модель, позволяющая оценить уровень потенциального риска возникновения ДТП на i -ом участке ФАД (K_D^i):

$$K_D^i = \begin{cases} 8,02 \text{ ДТП/год, при } DF_1(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 2,07 \text{ ДТП/год, при } DF_2(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 1,50 \text{ ДТП/год, при } DF_3(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 0,91 \text{ ДТП/год, при } DF_4(d_p) = \max DF_z(d_p) \end{cases} \quad (5)$$

где d_p^i – p -ые постоянные дорожные характеристики на i -ом участке ($p=1 \dots 12$);

$DF_z(d)$ – классификационные функции, $z=1, 2, 3, 4$, (1) – (4).

В третий главе определены зависимости относительного риска возникновения ДТП от элементов внешней среды на участках ФАД и представлены результаты разработки математической модели формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды, а также программного приложения для расчета и прогноза.

Обоснование элементов фактора среда – С основано на обеспечении их независимости и анализе исследований. Множество элементов внешней среды $S = \{s_e\}_{e=1}^4$ представляет собой: s_1 – переменный компонент интенсивности движения; s_2 – метеорологические условия; s_3 – проведение дорожно-строительных работ; s_4 – время суток.

Для определения зависимостей и разработки математической модели информационная база (сведения о ДТП с пострадавшими и с без жертв с 2012 по 2019 год на А-322) была разделена на две выборки: данные за 2012–2018 годы использовались для моделирования (обучающая); 2019 год – для проверки адекватности моделей и зависимостей (тестовая). Данные о значениях элементов внешней среды в момент ДТП получены из официальных источников: дата, время место ДТП – УГИБДД по АК; погодные условия – архивы метеословий; время

суток – автоматизированный расчет в соответствии с координатами ДТП; дорожные работы и интенсивность движения – ФКУ «Упрдор Алтай».

В качестве основы для определения зависимостей выбрана теория относительного риска. Независимость элементов фактора среда – С позволяет оценить их совокупное влияние на относительный риск возникновения ДТП с помощью коэффициента опасности среды K_s , который определен как произведение частных коэффициентов:

$$K_s = \prod_{e=1}^4 K_{s_e}, \text{ где } K_{s_e} = f(s_e). \quad (6)$$

Задача установления зависимостей состоит в определении функции частного коэффициента $K_{s_e} = f(s_e)$, который является безразмерным и отражает влияние e -го элемента ($s_e, e = 1 \dots 4$) на величину относительного риска возникновения ДТП.

Для определения зависимости относительного риска ДТП от переменного компонента интенсивности движения (s_1) проведен анализ данных об интенсивности движения на шести действующих пунктах учета интенсивности движения (ПУИД) за 2015 и 2017 годы, который показал, что неравномерность интенсивности движения определяется часом суток по дням недели и месяцем года. Рассчитаны соответствующие коэффициенты неравномерности ($k_{\text{деньнед}}$ и $k_{\text{мес}}$) для каждого ПУИД, произведение которых – итоговый коэффициент неравномерности отражает переменный компонент интенсивности движения. С помощью F -критерия Фишера доказана возможность применения полученных коэффициентов на любых временных промежутках.

При определении зависимости относительного риска возникновения ДТП от интенсивности движения (K_{s_1}) принято, что он прямо пропорционален коэффициенту неравномерности. Для повышения точности оценки предложено использовать доли близости к правому и левому ПУИД и выражение для расчета K_{s_1} представляет собой:

$$K_{s_1} = (\alpha \cdot k_{\text{деньнед}}^a + \beta \cdot k_{\text{деньнед}}^b) \cdot (\alpha \cdot k_{\text{мес}}^a + \beta \cdot k_{\text{мес}}^b), \quad (7)$$

где α – доля близости к правому ПУИД ($\alpha \in [0; 1]$); β – доля близости к левому ПУИД ($\beta \in [0; 1]$); $k_{\text{деньнед}}^a$ – коэффициент времени суток – дня недели по правому ПУИД; $k_{\text{мес}}^a$ – коэффициент месяца по правому ПУИД; $k_{\text{деньнед}}^b$, $k_{\text{мес}}^b$ – аналогичные коэффициенты по левому ПУИД.

Для определения влияния совокупности метеорологических условий s_2 на относительный риск возникновения ДТП проведен расчет частных коэффициентов влияния шести независимых компонентов ($k_{s_2(w)}$): $s_{2(1)}$ – величина осадков, накопленных за 12 часов; $s_{2(2)}$ – порывы ветра; $s_{2(3)}$ – изменение атмосферного давления за 3 часовой период; $s_{2(4)}$ – перепад суточной температуры; $s_{2(5)}$ – горизонтальная дальность видимости; $s_{2(6)}$ – обобщенная переменная на основе температуры воздуха и атмосферного давления.

Для расчета $k_{s_2(w)}$ выбран метод сравнения относительных частот в двух группах: группа ДТП (данные о количественном значении компонента в момент ДТП – E), группа климатических наблюдений (условно – генеральная совокупность G). Количественная ось w -ого компонента разбита на интервалы $(\eta, \mu]$ по правилу Стерджеса, в полученных интервалах определены частности: $N_{Eg}^{(\eta, \mu]}$ и $N_{Gg}^{(\eta, \mu]}$. Оценка значимости различия распределений в группах E и G проводилась по критерию согласия χ^2 . Для каждого из компонентов критерий χ^2 превышал критическое значение, что доказывает различие на уровне значимости $p=0,05$. Коэффициент влияния w -ого метеорологического элемента в интервале $(\eta, \mu]$ рассчитывался с помощью выражения (8); $k_{s_2(w)}$ представляет собой совокупность $k_{s_2(w)}^{(\eta, \mu]}$ на количественной оси компонента.

$$k_{s_2(w)}^{(\eta, \mu]} = \frac{N_{Eg}^{(\eta, \mu]}}{N_{Gg}^{(\eta, \mu]}}. \quad (8)$$

Проверка зависимостей проведена на основе сравнения результатов на обучающей и тестовой выборках с использованием критерия согласия χ^2 расчет которого доказал адекватность зависимостей.

С целью получения непрерывных зависимостей относительного риска возникновения ДТП от значений компонентов (метеозадающих) проведена аппроксимация; в качестве аргументов функции приняты середины интервалов $(\eta, \mu]$. Результатом являются нелинейные зависимости:

$$k_{s_2(1)} = 0,587 \cdot 10^{-3} \cdot s_{2(1)}^3 - 0,018 \cdot s_{2(1)}^2 + 0,142 \cdot s_{2(1)} + 0,972; \quad (9)$$

$$k_{s_2(2)} = 0,002 \cdot s_{2(2)}^4 - 0,098 \cdot s_{2(2)}^3 + 2,235 \cdot s_{2(2)}^2 - 22,063 \cdot s_{2(2)} + 80,072 \quad (10)$$

$$k_{s_2(3)} = 0,009 \cdot s_{2(2)}^3 - 0,034 \cdot s_{2(2)}^2 + 0,016 \cdot s_{2(2)} + 0,944; \quad (11)$$

$$k_{s_2(4)} = 0,003 \cdot s_{2(4)}^2 + 0,023 \cdot s_{2(4)} + 0,879; \quad (12)$$

$$k_{s_2(5)} = -2,355 \cdot s_{2(5)}^{-0,348}; \quad (13)$$

$$k_{s_2(6)} = 0,015 \cdot s_{2(6)}^5 + 0,081 \cdot s_{2(6)}^4 + 0,056 \cdot s_{2(6)}^3 - 0,269 \cdot s_{2(6)}^2 - 0,032 \cdot s_{2(6)} + 1,126. \quad (14)$$

Коэффициент детерминации превышает 0,89 для всех компонентов.

Совокупное влияние метеоусловий на относительный риск возникновения ДТП определяется с помощью выражения:

$$K_{s_2} = \prod_{w=1}^6 k_{s_2(w)}. \quad (15)$$

При определении зависимости относительного риска возникновения ДТП от проведения дорожно-строительных работ (s_3) отмечено проведение капитального ремонта дорог и ремонта мостов: эти типы работ характеризуются наиболее значительным изменением условий движения. Выделены i -ые участки,

подвергавшиеся этим типам работ; рассчитаны частные коэффициенты – отношение числа ДТП за период проведения работ на участке к среднему количеству ДТП за аналогичный период в другие годы. Итоговый коэффициент получен путем вычисления среднего из частных коэффициентов:

$$K_{s_3} = 1,61. \quad (16)$$

Относительная стандартная ошибка составила 9,79%. Проверка адекватности зависимости на тестовой выборке осуществлена с помощью расчета относительной погрешности, величина которой составила 8% и является приемлемым результатом.

При определении зависимости относительного риска возникновения ДТП от периода суток (s_4) принято его астрономическое деление: ночь (T_1), астрономические (T_2), навигационные (T_3), гражданские сумерки (T_4) и день (T_5). Обеспечена независимость рассматриваемого элемента от интенсивности движения с помощью расчета поправочного коэффициента (k_{in}) для каждого ДТП, который вычислялся как обратное значение коэффициента интенсивности K_{s_1} . Влияние периода суток определялось как отношение суммы поправочных коэффициентов ДТП, которые произошли данный период суток к доле периода суток по его продолжительности. Зависимость влияния времени суток на относительный риск возникновения ДТП на ФАД оценивается на основе принадлежности времени t к периоду суток:

$$K_{s_4} = \begin{cases} 1,28, t \in T_1 \\ 1,15, t \in T_2 \\ 1,13, t \in T_3. \\ 1,02, t \in T_4 \\ 0,81, t \in T_5 \end{cases} \quad (17)$$

Адекватность доказана с помощью расчета критерия согласия χ^2 на примере сравнения распределений в обучающей и тестовой выборках.

Независимость и физический смысл коэффициентов K_D^i и K_S позволили разработать мультипликативную модель для определения значения риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды в определенных времени и участке ФАД ($K_{оп}^i$):

$$K_{оп}^i = g(s_e) \cdot v(d_p^i), \quad (18)$$

где $g(s_e) = K_S = \prod_{e=1}^4 K_{s_e}$, $K_{s_e} = f(s_e)$,

$$v(d_p^i) = K_D^i = \begin{cases} 8,02, \text{ при } DF_1(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 2,07, \text{ при } DF_2(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 1,50, \text{ при } DF_3(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 0,91, \text{ при } DF_4(d_p) = \max DF_z(d_p) \end{cases},$$

где $K_{s_e} = f(s_e)$ – частные коэффициенты влияния e -ого элемента внешней среды на относительный риск возникновения ДТП (7), (9) – (17);
 $DF_z(d_p)$ – классификационные функции, $z=1, 2, 3, 4$, (1) – (4).

Полученная модель отличается тем, что на основе совокупности постоянных дорожных характеристик и динамично меняющихся элементов внешней среды позволяет оценить и прогнозировать потенциальное возникновение ДТП с помощью определения риска КС на участке ФАД.

Проверка адекватности модели проводилась на основе сравнения модельных показателей риска возникновения КС (которые вычислялись с интервалом 3 часа на базе значений фактора среда – С и сведений об уровне потенциального риска) с данными о фактической аварийности (ДТП с пострадавшими и с материальным ущербом). Вычисления проводились на отрезке дороги км 97+000 – км 147+000, представляющей собой участки всех четырех кластеров, сведения получены за 2019 год. Рассчитанные модельные значения

соотнесены с информацией о ДТП: определялось, был ли повышен риск КС во время возникновения аварии. Фактически произошло 71 ДТП из которых 43 было определено с помощью моделирования, зафиксировано 2075 безопасных периодов времени из которых 1745 спрогнозировано, точность прогнозирования: 83,3%.

Для обеспечения автоматизации расчета риска возникновения КС (потенциальной опасности) разработано программное приложение на языке программирования Java (рисунок 1). Исходными данными являются: информация о метеорологических условиях, проведении дорожных работ, времени суток, сведения о часе суток, дне недели и месяце. Из базы данных извлекается информация о значениях уровня потенциального риска K_p^i . Далее определяется коэффициент среды K_s и значение $K_{оп}$, которые являются

Расчет коэффициента опасности

Температура:	5.3
Перепад температуры (за сутки):	4.1
Давление:	765.9
Изменение давления за 3 часа:	1.3
Порывы ветра:	0
Осадки:	1
Видимость:	10 и более
Месяц:	Апрель
День недели:	Понедельник
Расчетный час:	07:00
Время суток:	День

☐ Дорожные работы

Рассчитать

Коэффициент среды (во сколько раз превышен средний риск): 0.87

Потенциальная опасность участка	Потенциальная опасность (ДТП/год)
Километр дороги	
191	1.31
192	1.31
193	0.79
194	0.79
195	0.79
196	0.79
197	0.79

Рисунок 1 – Расчет на базе приложения

выходными данными программы. Тестирование показало адекватную работу приложения. На разработанную программу получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В четвертой главе предложена методика обеспечения БДД на ФАД, основанная на оценке риска возникновения КС и совершенствования системы

оперативного управления БДД, система практических рекомендаций по ее использованию, а также приведена оценка потенциального социально-экономического эффекта результатов исследований.

Предложена структура оперативного управления БДД на ФАД, где объектом являются участники и условия движения, его обобщенной характеристикой – риск возникновения КС ($K_{оп}^i$). В качестве состава субъекта управления предложено три активных элемента (АЭ). Для обеспечения мониторинга за показателями $K_{оп}^i$, инициирования процесса принятия решений и информационной его поддержки выделен информационный центр (ИЦ). Исследование проводилось на примере Алтайского края. Предлагаемый состав субъекта управления АЭ и ИЦ и схема обеспечения БДД на ФАД в выделенном регионе представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема обеспечения БДД на ФАД на примере Алтайского края

На основе экспертного оценивания определен вес каждого j -ого АЭ в системе оперативного управления БДД и множество допустимых стратегий – мероприятий $L^{АЭj} = \{l_j\}$ со стороны j -ого АЭ, а также их критериальная оценка в сфере обеспечения БДД, выраженная в виде приведенного ранга степени снижения опасности (R'_{lyj}): чем выше значение, тем больший вес имеет мероприятие в оперативном обеспечении БДД на ФАД. Пример мероприятий, реализуемых УГИБДД по Алтайскому краю (АЭ₂) представлены в таблице 2.

Критериальным требованием системы оперативного управления БДД выбран уровень опасности (u_i). База правил перехода от показателя потенциальной опасности ($K_{оп}^i$) к значению приведенного уровня опасности определена на основе реализации алгоритма нечеткого вывода с помощью свободно распространяемой программы FisPro. Процесс принятия решений по выбору мероприятий осуществляется при повышенном риске возникновения КС, т.е. при $K_{оп} > K_{оп}^{крит}$. Для расчета критериального требования u_i необходимо вычесть из значения приведенного уровня опасности единицу (величина приведенного уровня опасности при $K_{оп} = K_{оп}^{крит}$). Таким образом зона повышенного риска будет характеризоваться значением уровня опасности $u_i > 0$.

Таблица 2 – Оперативные мероприятия, реализуемые УГИБДД по Алтайскому краю (АЭ₂)

Номер	Мероприятие	Приведенный ранг, R'
l_1^{A32}	Надзор за дорожным движением в стационарном положении	5
l_2^{A32}	Надзор за дорожным движением на патрульном автомобиле в движении	4
l_3^{A32}	Надзор за дорожным движением с использованием средств авиации (перспективное)	3
l_4^{A32}	Оказание содействия при приведении совместных мероприятий с АЭ ₁ и АЭ ₃	1
l_5^{A32}	Информирование населения об опасности с использованием взаимодействующих СМИ	2

Методика обеспечения БДД на основе на основе оперативного реагирования на повышенный риск возникновения конфликтных ситуаций состоит из трех этапов, включающих 11 шагов (рисунок 3). Серым тоном отмечены шаги, выполняемые ИЦ, штриховкой – АЭ.

Этап 1. Мониторинг обстановки и инициирование процесса принятия решений. На первом этапе выполняются шаги 1–3. В начальный момент времени t_0 ИЦ определяет $K_{оп}^i$ на i -ых участках дороги, на основе которого рассчитывается u_i . Выделяются участки, где $u_i > 0$ и иницируется процесс принятия решений. Индекс i далее опущен.

Этап 2. Инициирование процесса принятия решения. ИЦ доводит информацию об уровне опасности (u) до АЭ в режиме совещания. АЭ определяют интервал, к которому принадлежит u (таблица 3) и выбирают одну из рекомендуемых стратегий.

Таблица 3 – Перечень рекомендуемых стратегий в зависимости от значения уровня опасности

Интервалы, к которым может принадлежать u	Рекомендуемые стратегии
$u \in (0; 1]$	l_6^{A31}, l_5^{A32}
$u \in (1; 2]$	$l_6^{A31} + l_5^{A32}, l_5^{A31}, l_4^{A31}, l_5^{A32}$
$u \in (2; 3]$	$l_6^{A31} + l_5^{A32}, l_3^{A32}, l_4^{A31} + l_6^{A31}, l_6^{A31} + l_5^{A31}$
$u \in (3; 4]$	$l_3^{A31}, l_4^{A31} + l_5^{A32}, l_3^{A32} + l_6^{A31}, l_2^{A32}$
$u \in (4; 5]$	$l_2^{A31} + l_4^{A32}, l_3^{A31} + l_5^{A32}, l_3^{A31} + l_6^{A32}, l_4^{A31} + l_5^{A31}, l_4^{A31} + l_5^{A32}, l_4^{A31} + l_5^{A32} + l_4^{A33}, l_4^{A31} + l_3^{A33} + l_4^{A32} + l_6^{A31}, l_4^{A31} + l_5^{A33} + l_5^{A32}, l_5^{A31} + l_1^{A33} + l_6^{A31}$
$u \in (5; 6]$	$l_2^{A31} + l_4^{A32}, l_2^{A31} + l_4^{A32} + l_3^{A33}, l_4^{A31} + l_3^{A33} + l_4^{A32} + l_5^{A31}, l_4^{A31} + l_5^{A33} + l_4^{A32} + l_1^{A33}, l_4^{A31} + l_1^{A33} + l_5^{A32}, l_4^{A31} + l_1^{A33} + l_5^{A31}$
$u > 6$	$l_1^{A31} + l_4^{A32} + l_1^{A33}$

Приведенный перечень рекомендуемых стратегий является базовым, но не исчерпывающим и может быть скорректирован в процессе совершенствования системы оперативного управления БДД на ФАД.

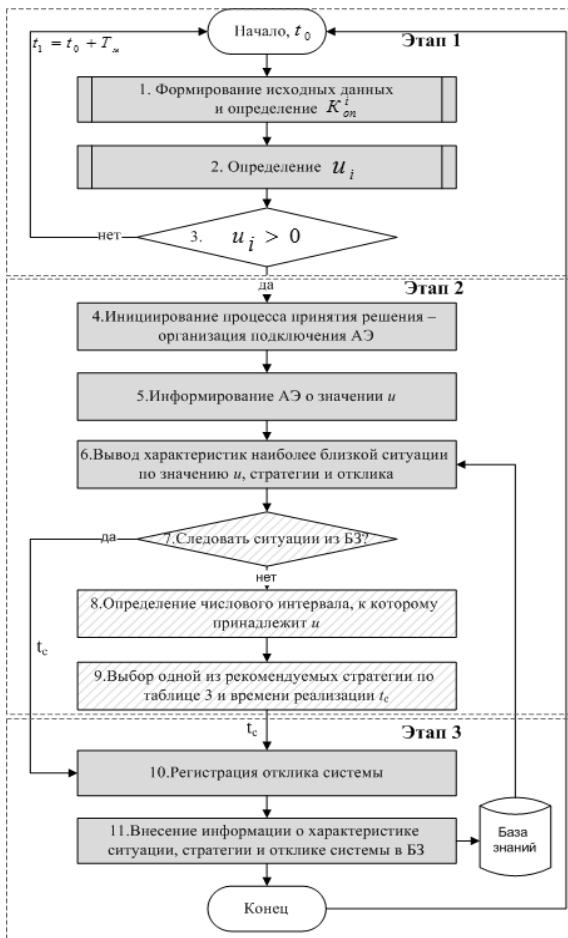


Рисунок 3 – Методика обеспечения БДД на ФАД на основе оперативного реагирования на повышенный риск возникновения КС

Этап 3. Создание базы знаний (БЗ). После реализации мероприятий через время t_c , ИЦ производит регистрацию отклика системы в форме бинарного сигнала: 0 – ДТП не произошло; 1 – ДТП произошло. На основе информации о проводимых мероприятиях, характеристики ситуации и отклика системы ИЦ заполняет БЗ. При накоплении достаточного объема знаний в БЗ (наличие в каждом интервале u примера ситуации) рекомендуется ее использование в процессе принятия решений.

В качестве системы практических рекомендаций по внедрению и использованию методики рекомендуется выполнение следующих шагов на базе работы региональной комиссии по обеспечению БДД: 1) определение состава субъектов управления: АЭ и ИЦ; 2) оценка веса АЭ в системе оперативного управления БДД на основе экспертного оценивания; 3) формирование множества допустимых стратегий, критериальная оценка мероприятий; 4) определение уровня потенциального риска

K_D^i согласно выражению (5) на i -ых километрах выбранной ФАД; 5) выбор инструмента расчета риска возникновения КС (например, разработанного приложения, рисунок 1); 6) определение критического значения риска возникновения КС; 7) определение правила оценки критериального требования системы – уровня опасности u_i на основе нечеткой логики и формы заполнения и использования базы знаний; 8) тестирование методики обеспечения БДД на ФАД;

9) реализация системы оперативного реагирования на ФАД в режиме реального времени на основе алгоритма (рисунок 3). Также рекомендуется заключение соглашения о порядке взаимодействия по вопросу реализации методики оперативного управления БДД на ФАД. Разработанную методику предлагается применять на участках ФАД; особенно она будет эффективна при взаимодействии с ИТС.

Проведена оценка социально-экономического эффекта исследований при условии их внедрения на основе проверки адекватности модели на примере отрезка дороги А-322 (км 97+000 – км 147+000). Методической основой для расчета выбран ОДМ 218.6.025-2017. Установлено, что разработанная модель оценки риска возникновения КС позволила предсказать 11 ДТП с пострадавшими (это 61 % из 18 ДТП), в которых пострадало 20 человек (71% из 28 пострадавших) и погибло 4 человека (66% из 6 погибших). С учетом ущерба по состоянию на 2019 год от гибели (15,85 млн. руб.), травмирования человека (0,49 млн. руб.), повреждения транспорта в отчетных ДТП (0,25 млн. руб.) определено, что стоимость потенциально предотвращенных отчетных ДТП на рассматриваемом отрезке дороги длиной 50 км составила 75,952 млн руб./год.

При охвате контролем всех участков автомобильной дороги А-322 ежегодный экономический эффект составит свыше 538,47 млн. руб. Кроме того, внедрение результатов исследования позволит снизить количество погибших на 66%, предотвратить более 38 летальных исходов на выбранной дороге до 2024 года, а к 2030 году спасти более 323 жизни на ФАД региона за счет предотвращения ДТП.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Итогом проведенных исследований являются научно обоснованные выводы, развивающие теорию в области БДД, которые заключаются в следующем:

1) Разработана новая математическая модель, позволяющая оценить уровень потенциального риска K_D^i (ДТП/год) на участках ФАД на основе совокупности постоянных дорожных характеристик. Модель позволяет рассчитать числовое значение уровня потенциального риска произвольного участка ФАД. Основой модели являются классификационные функции, адекватность которых обоснована расчетом Лямбды Уилкса, уровня значимости F -критерия и матрицы классификации (доля верно классифицированных участков составила 95%).

2) Определены новые зависимости относительного риска возникновения ДТП на участках ФАД от четырех элементов внешней среды: интенсивности движения; шести компонентов метеорологических условий; проведения дорожно-строительных работ; времени суток. Зависимости позволяют рассчитать относительный риск возникновения ДТП на ФАД при текущих или прогнозируемых показателях элементов внешней среды. Их проверка на тестовой выборке подтвердила их адекватность.

3) Разработана новая математическая модель формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и динамично меняющейся внешней среды. Она позволяет определять возможность появления потенциальных ДТП на основе риска возникновения КС.

Проверка адекватности модели показала, что коэффициент точности прогнозирования составил 83%. Разработано программное приложение для автоматизации расчета и прогноза риска возникновения КС, тестирование которого показало соответствие программных и моделируемых результатов значений.

4) Разработана методика обеспечения БДД на ФАД на основе оценки риска возникновения КС и совершенствования системы оперативного управления БДД, состоящая из трех этапов: мониторинг обстановки и инициирование процесса принятия решений; процесс принятия решений; создание базы знаний. Предложена система практических рекомендаций по использованию в рамках заседаний КОБДД.

5) Проведена оценка потенциального социально-экономического эффекта использования результатов исследований на ФАД. Экономический эффект может составить свыше 538 млн. рублей в год при условии охвата контролем всех участков ФАД А-322 и многократно увеличиться при более широком внедрении. Кроме того, внедрение результатов исследования позволит снизить количество погибших на 66%, предотвратить более 38 летальных исходов на выбранной дороге до 2024 года, а к 2030 году спасти более 323 жизни на ФАД региона. Результаты внедрения методики обеспечения БДД соответствуют основным социальным потребностям и целям общества, задачам Стратегии, интересам отдельного человека и проявляются в сохранении жизни и здоровья людей за счет предупреждения ДТП.

Перспективным направлением дальнейших исследований может стать совершенствование способов оценки риска возникновения КС на дорогах различных категорий, а также разработка путей оперативного доведения информации до участников дорожного движения. Результаты исследований могут быть использованы при совершенствовании интеллектуальных транспортных систем и беспилотных транспортных средств.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Печатнова, Е.В.** Влияние времени суток на дорожно-транспортную аварийность / Е.В. Печатнова // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. № 2 (63). – С. 194–200.
2. **Печатнова, Е.В.** Математическое моделирование колебаний суточной интенсивности движения / Е.В. Печатнова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2017. – № 4-5 (56-57). – С. 145–151.
3. **Печатнова, Е.В.** Оценка влияния количества осадков на аварийность на дорогах вне населенных пунктов / Е.В. Печатнова, К.Э. Сафронов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17. № 4 (74). – С. 512–522.
4. **Печатнова, Е.В.** Определение причин и способов снижения дорожно-транспортной смертности в регионах с повышенным социальным риском ДТП / Е.В. Печатнова, С.Н. Павлов // Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление». – 2020. – № 12. – С. 28–34.

Публикации в зарубежных изданиях, индексируемых Scopus / Web of science

5. **Pechatnova, E.V.** Assessment of Influence of Meteorological Parameters on the Risk of Accidents on Roads Outside Settlements / E.V. Pechatnova, Ya.S. Sergeeva // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2019. – 272. – 022175.

6. **Pechatnova, E.V.** Study of the relationship between time and traffic flow on motorways / E.V. Pechatnova, V N Kuznetsov // Journal of Physics Conference Series. – 2019. – 1333(1333). – 32063.

7. **Pechatnova, E.V.** Impact investigation of road characteristics on the accident rate based on the neural network modelling / E.V. Pechatnova, V N Kuznetsov // Journal of Physics Conference Series. – 2020. – 1661. – 012069.

8. **Pechatnova, E.V.** Assessment of the Conditions for Allocating Independent Road Safety ITS Subsystem / E.V. Pechatnova, V N Kuznetsov // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – 1258. – P. 136 – 145.

9. **Pechatnova, E.** Fuzzy modeling of the road traffic hazard level / E. Pechatnova, V. Kuznetsov, K. Safronov // MATEC Web of Conferences. – 2021. – 341. – 00023.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

10. **Печатнова, Е.В.** Расчет величины влияния погодных условий на потенциальную опасность движения на дорогах вне населенных пунктов / Е.В. Печатнова, В.Н. Кузнецов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019616316; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 22.05.2019.

11. **Печатнова, Е.В.** Определение коэффициента дорожно-транспортной опасности на федеральных дорогах Алтайского края / Е.В. Печатнова, В.Н. Кузнецов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665564; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 27.11.2020.

Статьи, опубликованные в российских изданиях; материалы международных и всероссийских конференций

12. Печатнова, Е.В. Моделирование опасности возникновения ДТП на трассе А322 в Калманском районе / Е.В. Печатнова // Сборник трудов всероссийской конференции по математике «МАК-2015», Барнаул, 1 – 5 июля 2015 г. – Барнаул: Изд-во АлтГУ. – 2015. – С. 151 – 155.

13. Печатнова, Е.В. Применение кластерного анализа для выявления однотипных участков автомобильной дороги / Е.В. Печатнова // Сборник трудов Всероссийской конференции по математике «МАК-2017», Барнаул, 29 июня – 1 июля 2017 г. - Барнаул: Изд-во АлтГУ. – 2017. – С. 190 – 193.

14. Печатнова, Е.В. Повышение эффективности управленческих решений в сфере безопасности дорожного движения / Е.В. Печатнова // Труды XI Всероссийской научно-практической конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве», Новокузнецк, декабрь 2017 г. – Новокузнецк: изд-во Сибирский государственный индустриальный университет; под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – 2017. – С. 235 – 237.

15. Печатнова, Е.В. Расчет коэффициента опасности дороги в зонах проведения дорожно-строительных работ / Е.В. Печатнова, А.М. Третьяков // Материалы международной научно-практической конференции «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы», Новокузнецк, ноябрь 2017 г. – Новокузнецк: Изд-во КузГТУ. – 2017. – С. 94 – 96.

16. Печатнова, Е.В. Повышение эффективности управления БДД с использованием элементов теории активных систем /Е.В. Печатнова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2018. – № 2. – С. 113 – 117.

17. Печатнова, Е.В. Система оперативного управления безопасностью дорожного движения / Е.В. Печатнова // Тезисы XX Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 28 октября–01 ноября 2019 г. – Новосибирск: Изд-во: ИВТ СО РАН. – 2019. – С. 73.

18. Оскорбин, Н.М. Оценка эффективности мероприятий по повышению безопасности дорожного движения на основе экспертных оценок / Н.М. Оскорбин, Е.В. Печатнова // Сборник трудов Всероссийской конференции по математике «МАК-2019», Барнаул, 27 июня – 1 июля 2019 г. - Барнаул: Изд-во АлтГУ. – 2019. – С. 157 – 160.

19. Печатнова, Е.В. Анализ особенностей успешных зарубежных стратегий по повышению безопасности дорожного движения / Е.В. Печатнова, В.Н. Кузнецов // Вестник Прикамского социального института. – 2019. – № 3 (84). – С. 57 – 61.

20. Печатнова, Е.В. Определение значимости влияния дорожных условий на аварийность в автомобильных дорогах федерального значения / Е.В. Печатнова, К.Э. Сафронов // Техника и технология транспорта. – 2020. – № 4 (19). – С. 6.

21. Печатнова, Е.В. Совершенствование системы управления безопасностью дорожного движения на муниципальном уровне / Е.В. Печатнова, К.Э. Сафронов // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ» «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации», Омск, декабрь 2020 г. – Омск: изд-во Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). – 2021. – С. 300 – 305.

Печатнова Елена Владимировна

МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 13.10.2021.
Формат 60х90 1/16. Бумага писчая.
Оперативный способ печати.
Усл. п. л. 1,25. Тираж 150 экз.

Отпечатано в типографии ООО «АЗБУКА»
г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98а
тел. 62-91-03, 62-77-25
E-mail: azbuka@dsmail.ru