

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (СИБАДИ)»

На правах рукописи



ПЕЧАТНОВА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

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

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Сафронов Кирилл Эдуардович

Омск 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ И ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	11
1.1 Безопасность дорожного движения как приоритетная государственная задача	11
1.2 Анализ показателей аварийности по местам совершения ДТП	16
1.3 Анализ методов обеспечения БДД	21
1.3.1 <i>Анализ зарубежного опыта повышения БДД</i>	21
1.3.2 <i>Основные тенденции повышения БДД в России</i>	25
1.4 Методы оценки риска возникновения ДТП на участках ФАД	32
1.5 Определение факторов риска возникновения КС с использованием комплекса ВАДС	39
1.5.1 <i>Состав и характеристика фактора дорога – Д</i>	41
1.5.2 <i>Состав и характеристика фактора среда – С</i>	44
Выводы по главе 1	48
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОВОКУПНОСТИ ПОСТОЯННЫХ ДОРОЖНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА УРОВЕНЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДТП НА ФАД	50
2.1 Характеристика автомобильной дороги А-322	50
2.2 Обоснование постоянных дорожных характеристик фактора дорога – Д	54
2.3 Разработка математической модели оценки уровня потенциального риска возникновения ДТП на участках ФАД	58
Выводы по главе 2	67
3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РИСКА КС В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧНО МЕНЯЮЩЕЙСЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ	69
3.1 Обоснование выбора динамичных элементов фактора среда – С	69
3.2 Определение зависимостей относительного риска возникновения ДТП от элементов внешней среды	73
3.3 Модель формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды ...	88

3.4 Разработка программного приложения для оценки и прогнозирования риска возникновения КС	91
Выводы по главе 3	94
4. МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ФЕДЕРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ	96
4.1 Структура системы оперативного управления на ФАД	96
4.2 Экспертная оценка значимости активных элементов в системе оперативного управления БДД	100
4.3 Экспертная оценка оперативных мероприятий по обеспечению БДД	103
4.4. Применение нечеткого логического вывода для определения величины критериального требования	108
4.5 Методика обеспечения безопасности дорожного движения на ФАД	114
4.5.1 <i>Пример реализации методики обеспечения безопасности дорожного движения на ФАД на примере Алтайского края</i>	<i>120</i>
4.6 Практические рекомендации по использованию методики обеспечения БДД на ФАД	122
4.7 Перспективы совершенствования обеспечения БДД на ФАД	126
4.8 Определение социально-экономического эффекта внедрения результатов исследований	128
Выводы по главе 4	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
Список сокращений	135
Список литературы	136
ПРИЛОЖЕНИЕ А	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	163
ПРИЛОЖЕНИЕ В	164
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	166
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	168

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Состояние безопасности дорожного движения (БДД) является серьезной социально-экономической проблемой: согласно официальным сведениям ежегодные суммарные издержки от дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в РФ находятся в пределах 2–3% ВВП. По итогам 2019 года на дорогах в ДТП было ранено 164 360 чел. и погибло 16 980 чел. В результате дорожных аварий гибнут и получают травмы преимущественно люди трудоспособного возраста, что усугубляет демографическую и социальную проблему общества.

ДТП, зафиксированные на участках автомобильных дорог федерального значения (ФАД), отличаются высокой тяжестью последствий и большим экономическим ущербом, а также могут способствовать образованию транспортных задержек. Это связано с тем, что участки ФАД характеризуются высокой скоростью движения транспортного потока, а также отличаются социально-экономической значимостью, поскольку связывают между собой регионы, их центры, столицу РФ и зачастую являются частью международных коридоров. Основными видами ДТП на ФАД являются столкновения и опрокидывания. На ФАД вне населенных пунктов в среднем регистрируются около 9% от общего по РФ числа ДТП за год и около 23% погибших (свыше четырех тысяч человек), при этом, согласно сведениям Федеральной службы государственной статистики, на конец 2019 года протяженность ФАД составляла всего 3,7% от общей протяженности дорожной сети РФ.

Изменить ситуацию должна «Стратегия безопасности дорожного движения в РФ на 2018 – 2024 годы» (Стратегия). Одним из основных направлений ее реализации, позволяющим направленно снизить показатели аварийности на ФАД, является совершенствование системы оперативного управления БДД, под которым понимается оперативное реагирование 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. Закономерности возникновения КС могут быть смоделированы на основе анализа массива данных ДТП, а выбор необходимых оперативных мероприятий ответственными службами должен базироваться на сравнении риска возникновения КС с его критическим значением. К сожалению, исследований в данном направлении недостаточно.

Актуальность исследования связана с решением важной государственной задачи по обеспечению БДД на ФАД, снижению показателей аварийности путем применения оперативного управления БДД, основанного на оценке риска возникновения КС в заданных времени и участке ФАД.

Рабочей гипотезой является предположение о том, что мониторинг сочетания постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды позволит с помощью моделирования оценить риск возникновения КС в определенных времени и участке ФАД и предотвратить ДТП.

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 и практическая значимость работы.

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 (приложение Д). 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 (приложение Г).

Информационно-эмпирическая база. В качестве исходной информации использованы отчётные данные УГИБДД МВД по Алтайскому краю, МО МВД «Топчихинский», МО МВД «Алейский», ОМВД «Шипуновский», МО

МВД «Поспелихинский, МО МВД «Рубцовский», УГИБДД по городу Барнаулу, ККУ «УГОЧС и ПБ в Алтайском крае», ФКУ «ЦУКС ГУ МЧС по Алтайскому краю», ФКУ «Управление федеральных автомобильных дорог «Алтай» Федерального дорожного агентства, ПК ЦУП, а также результаты собственных исследований и материалы, опубликованные в отечественной и зарубежной литературе.

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, октябрь 2015 г.;
- XVIII городская научно-практическая конференция молодых ученых «Молодежь – Барнаулу», Барнаул, ноябрь 2016 г.;
- Международная конференция «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования», Барнаул, ноябрь 2017 г.;
- XI всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» AS'2017, Новокузнецк, декабрь 2017 г.;
- XX Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, октябрь 2019 г.;
- V Международная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ» «Архитектурно-строительные и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации», Омск, декабрь 2020 г.;

– VII международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орел, май 2021 г..

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.

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ И ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

1.1 Безопасность дорожного движения как приоритетная государственная задача

Современное развитие экономики и общества неразрывно связано с использованием транспортной системы, основная ее роль – грузовые и пассажирские перевозки. По многим показателям автомобильный транспорт занимает лидирующие позиции. Наряду с другими видами транспорта он обслуживает различные отрасли экономики, удовлетворяет потребности производства и сельского хозяйства в перевозках, а также повышает скорость и объемы обращения продукции, способствует увеличению мобильности населения, его экономических и культурных связей [1]; в то же время отличается следующими преимуществами: манёвренностью, доставкой грузов «от двери до двери», относительной независимостью от местоположения объектов (территориальная доступность), видов грузов [2], а также является средством оказания экстренной помощи, основным способом доставки различных грузов с территорий, не имеющих водных и железнодорожных путей сообщения. Автомобильный транспорт вовлечен в социальный процесс: ежедневно жители страны используют личный и общественный автомобильный транспорт для достижения своих социальных целей (повышение деловой активности, карьерный рост) [3]; кроме того, он обеспечивает мобильность трудовых ресурсов. Все это повышает роль автомобильного транспорта в единой транспортной системе в условиях рыночной экономики и необходимости обеспечения взаимосвязи регионов и международной интеграции при активно развивающихся сферах производства и техники.

По информации Федеральной службы государственной статистики автомобильный транспорт является основным видом транспорта в сфере

грузооборота и пассажирских перевозок [4, 5]. Анализ данных представлен на рисунке 1.1.

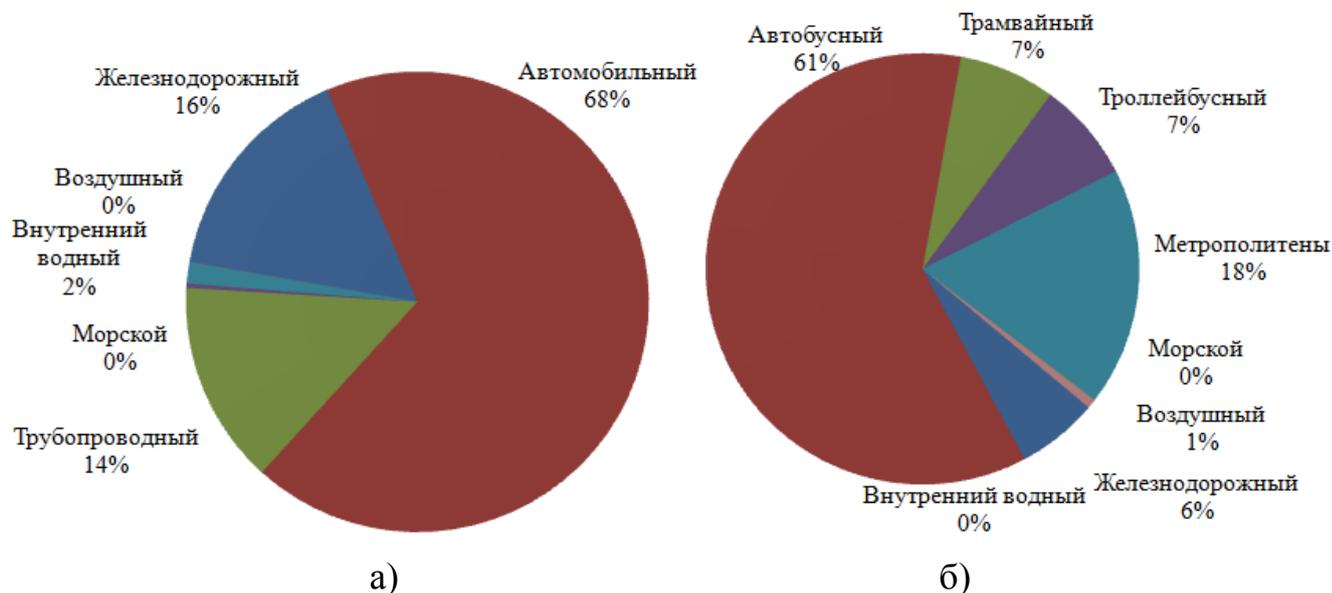


Рисунок 1.1 – Объем перевозок:

а) грузов по видам транспорта;

б) пассажиров по видам транспорта общего пользования

Повышение влияния автомобильного транспорта на развитие экономики и общества требует качественного обеспечения функционирования дорожного движения [6]. Кроме того, увеличение роли транспорта ведет к усиливающимся процессам автомобилизации [7], ее динамика (отношение числа зарегистрированных транспортных средств (ТС) всех типов к численности населения РФ) отражена на рисунке 1.2. В период с 2015 по 2019 годы показатель автомобилизации увеличился более чем на 8%.

Интенсивное развитие автомобильного транспорта не соответствует темпам роста дорожной сети и ее пропускной способности [8]. Участие в дорожном движении большей части населения приводит к увеличению отдельных показателей аварийности и масштабов ущерба в результате дорожных аварий [9]. В настоящее время отмечается значимость проблемы дорожно-транспортной аварийности (ДТА) – совокупности ключевых показателей: количества ДТП, числа пострадавших, погибших, тяжести последствий ДТП и материального ущерба от ДТП.

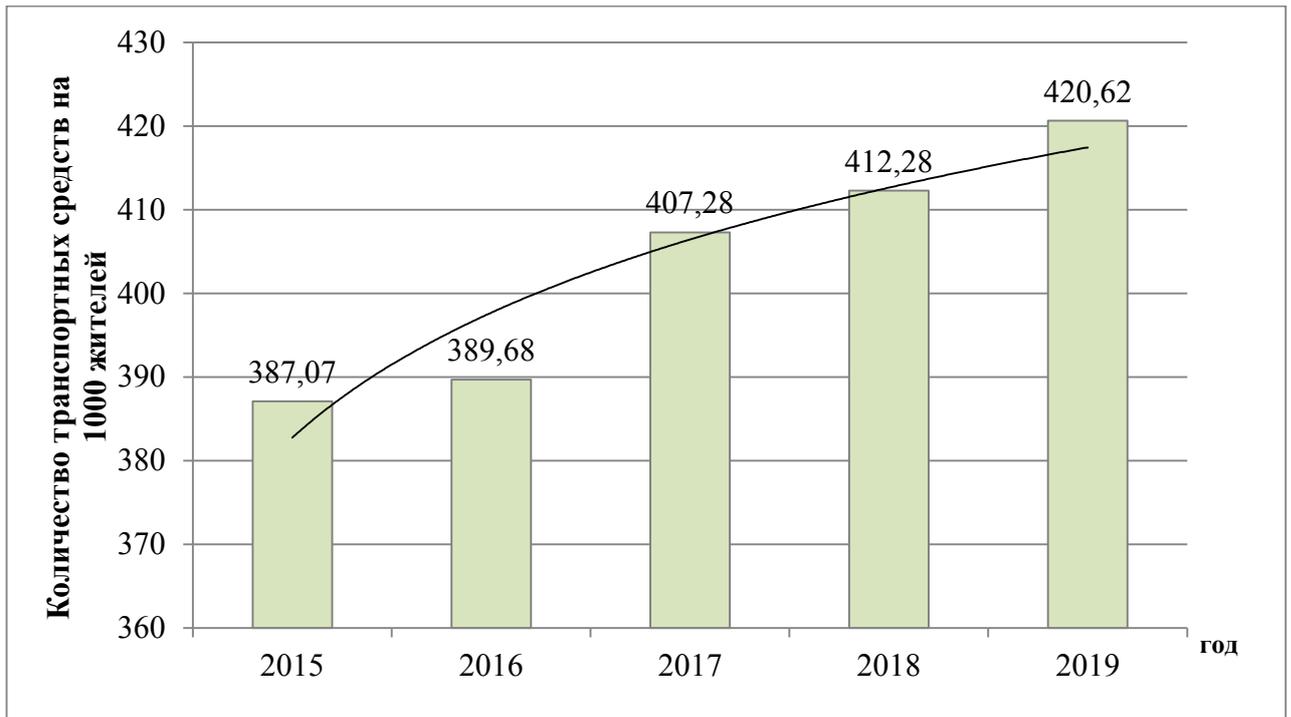


Рисунок 1.2 – Динамика автомобилизации, Россия, 2015–2019 годы

Согласно официальной информации: «ежегодные экономические потери страны от ДТП составляют около 2% ВВП» [10]. В работе [11] приводятся сведения о том, что только материальный ущерб от ДТП в России составляет 2,5% ВВП. Отмечается проблема неполного учета последствий ДТП и их материального эквивалента: «не оценивается простой транспорта, невыполнение плановых перевозок, стоимость потерянного груза, потеря рабочего времени при оформлении ДТП, возникновение транспортных заторов, опоздания пассажиров, снижения скорости движения транспортного потока и их последствий» [12]. В [13] отмечены проблемы учета косвенных последствий ДТП: «учет косвенных потерь весьма затруднителен, так как помимо производственных потерь включает в себя моральные потери, которые трудно описать и подвергнуть оценке». Приведенные сведения позволяют определить, что экономический ущерб признан значительным на государственном уровне и является недооцененным. Кроме того, выявлена прямая взаимосвязь между уровнем ВВП и количеством погибших в ДТП [14], поэтому на фоне государственной задачи по повышению уровня ВВП,

снижение ДТА является серьезной задачей, требующей для ее решения комплексного подхода.

Проблема ДТА отличается выраженным социально-демографическим аспектом. В частности, ее особенностью является то, что в результате ДТП страдают и погибают преимущественно люди трудоспособного возраста (треть погибших составляют граждане в возрасте 26–40 лет согласно [15]). Согласно официальным данным ГИБДД РФ [16], ежегодно в России в ДТП более 200 тыс. человек получают травмы и погибает порядка 20 тыс., что сопоставимо с численностью небольшого города (рисунок 1.3). За последние 5 лет в ДТП погибло более 97 тыс. человек, а пострадало более миллиона.

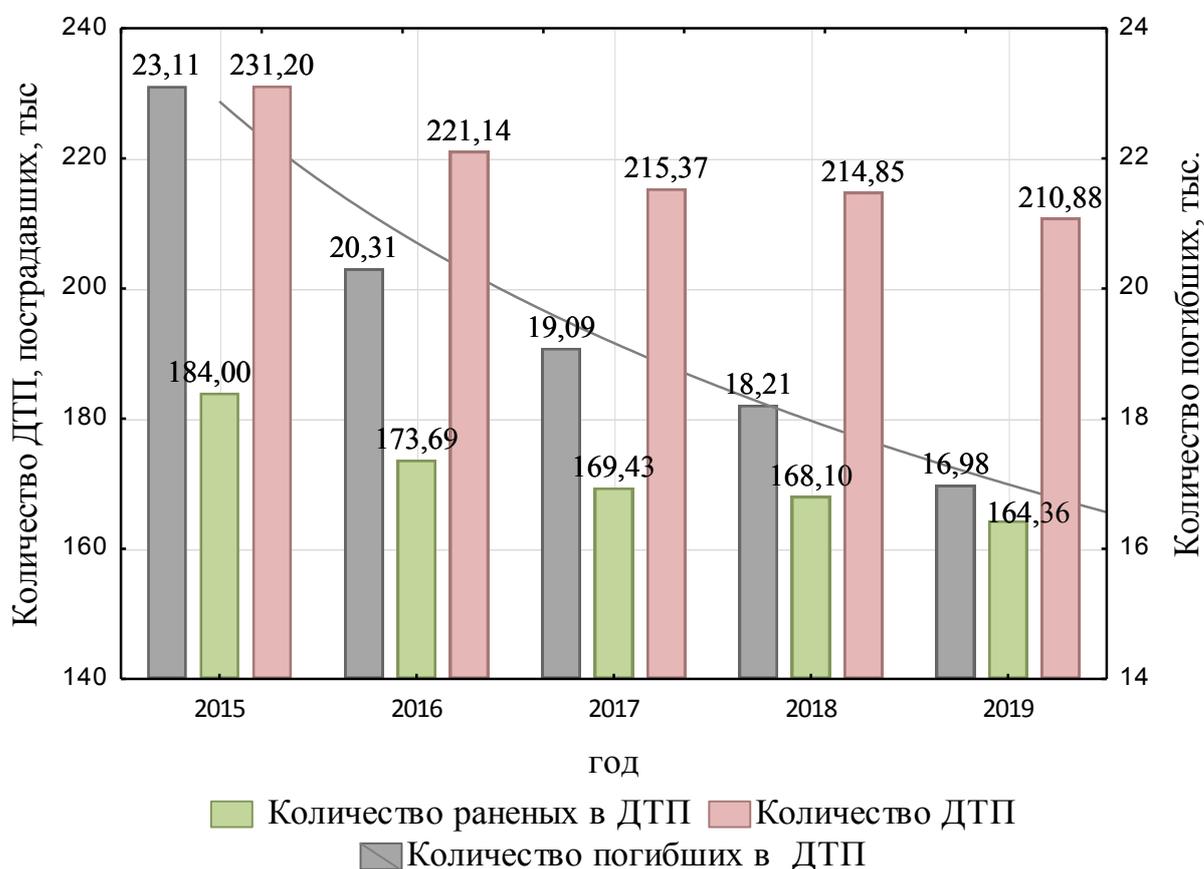


Рисунок 1.3 – Динамика основных показателей ДТП в РФ за 2015 – 2019 годы

Высокая аварийность обостряет напряженную демографическую ситуацию в стране: смертность населения в результате ДТП превышает ее по некоторым другим основным причинам (убийства, туберкулез и др.), среди трудоспособного населения рассматриваемый показатель превышает аналогичный в результате

инфаркта миокарда (помимо перечисленных), а среди детей до 14 лет гибель в результате ДТП находится на 4 месте в ряду ведущих причин смертности [4, 12]. Кроме того, ДТА представляет собой серьезную проблему в области предупреждения ЧС: ДТП с особо тяжкими последствиями занимают около 60% ЧС техногенного характера, на местном уровне – 90% [17].

В 2019 году основные ежегодные показатели аварийности снизились по отношению к 2014 году: количество ДТП – более чем на 35 тыс., число пострадавших – более чем на 40 тыс., погибших – более чем на 9 тыс. Однако тенденция снижения аварийности не является устойчивой, и скорость уменьшения показателей замедляется (рисунок 1.4). Это говорит о снижении эффективности превентивных мероприятий.

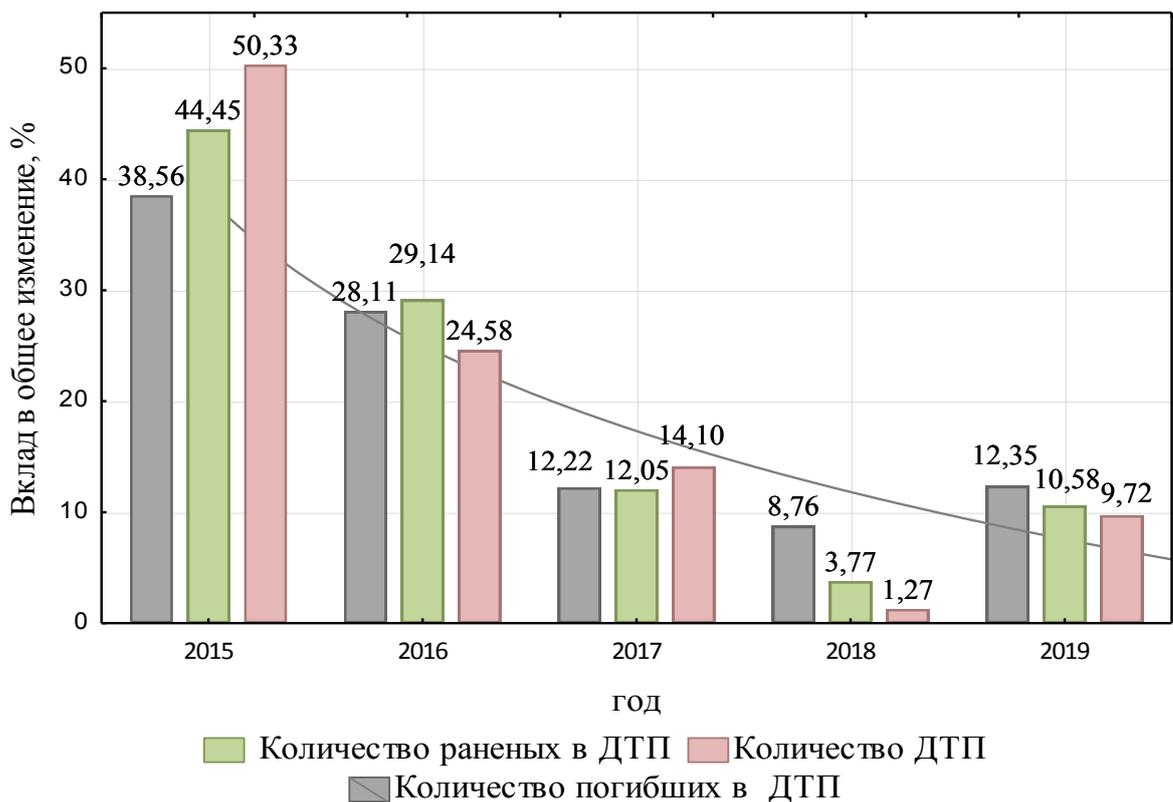


Рисунок 1.4 – Изменение показателей аварийности в РФ за 2015 – 2019 годы

Радикально изменить ситуацию с аварийностью призвана "Стратегия безопасности дорожного движения в РФ на 2018–2024 годы" (Стратегия), в

которой поставлена цель: достижение нулевой смертности к 2030 году, что ставит задачу по ускорению темпов снижения смертности и аварийности в стране [10].

Однако для этого необходимо разработать и реализовать инновационные методы повышения БДД. Анализ накопленного опыта реализации программ БДД показал, что динамика показателей аварийности напрямую связана с экономическим состоянием в стране. В работе [18] убедительно показано, что во время кризисов использование автотранспорта снижается, на эту же долю падает и аварийность; в период восстановления экономики показатели аварийности постепенно восстанавливаются, и тем они выше, чем выше рост экономики. В связи с этим для реализации Стратегии необходимо учитывать экономический фактор: планируемый рост уровня жизни населения может способствовать повышению нагрузки на систему БДД. Для существенного снижения показателей аварийности и достижения целей Стратегии необходимы научные исследования и новые комплексные меры по обеспечению БДД.

Снижение показателей ДТА представляет собой важную государственную задачу, характеризующуюся значительным социально-экономическим ущербом, на ее решение направлено данное исследование.

1.2 Анализ показателей аварийности по местам совершения ДТП

Для анализа структуры аварийности по местам совершения ДТП проанализированы данные ГИБДД РФ о ДТП с пострадавшими на территории России за период 2015–2019 годов, который показал, что в среднем 25% аварий происходит вне населенных пунктах, при этом в них погибло в среднем 55% от общего числа погибших в стране. Анализ количества ДТП по различным типам дорог в населенных пунктах и за их пределами представлен на рисунке 1.5. За пределами населенных пунктов наиболее распространены ДТП на федеральных автомобильных дорогах (ФАД) и дорогах регионального или межмуниципального

значения. На ФАД регистрируются 8,3–10,2% всех ДТП, при этом, согласно сведениям Федеральной службы государственной статистики, на конец 2019 года протяженность ФАД занимает 3,7% от общей протяженности дорожной сети РФ [4]. Всего на ФАД вне населенных пунктов в 2019 году совершено 13664 ДТП, в которых погибло 3645 и пострадало 20751 человек [19].

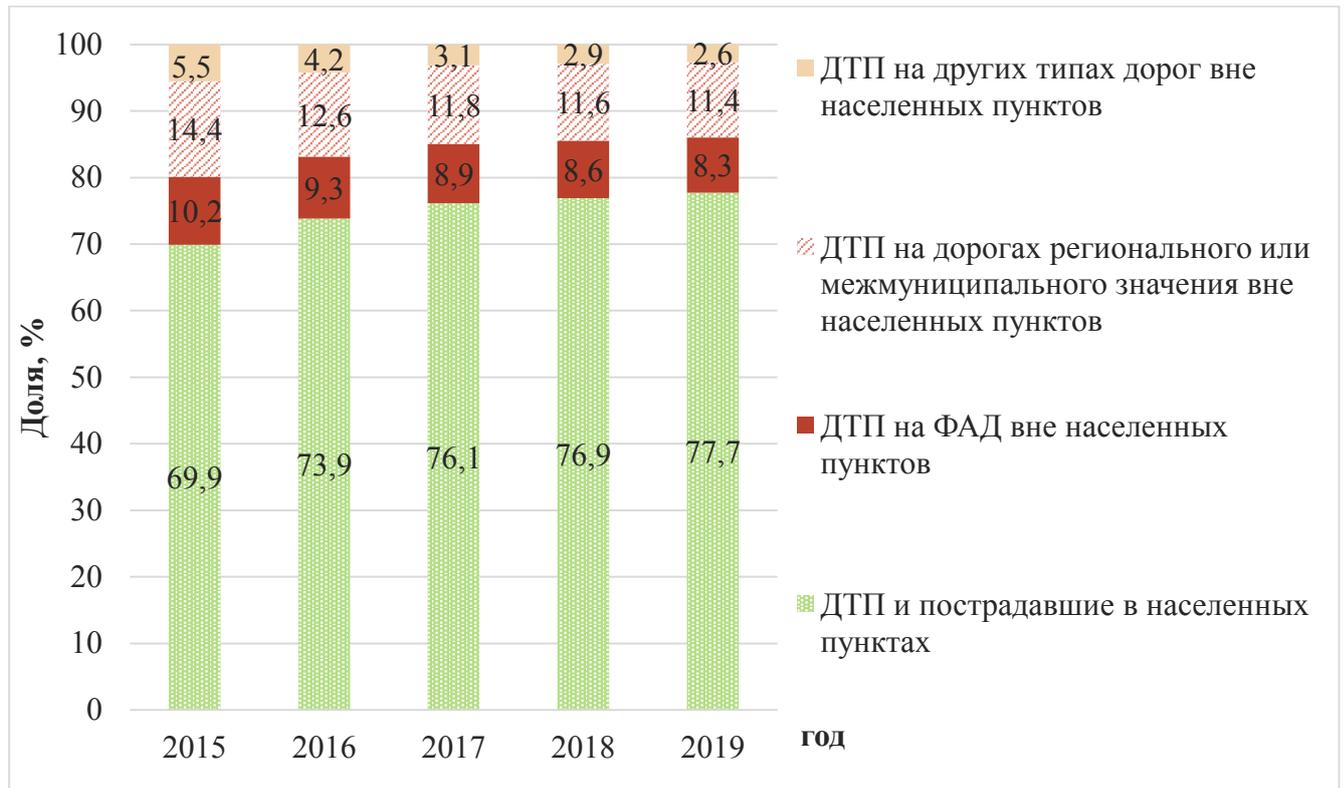


Рисунок 1.5 – Распределение ДТП по типам дорог, 2015–2019 годы

Расчет тяжести последствий ДТП (отношение количества погибших к 100 пострадавших в ДТП) показал, что ее значение за пределами населенных пунктов выше в 2,7–2,9 раз. Это объясняется более высокой скоростью транспортного потока при монотонном режиме движения. Кроме того, большая часть участков дорог вне населенных пунктов слабо интегрирована с интеллектуальной транспортной системой (ИТС), отмечается низкий уровень информирования участников движения о текущем уровне опасности, обусловленным факторами аварийности [20].

Анализ тяжести последствий по типам дорог показал, что наиболее высокими значениями отличаются ФАД, что обусловлено высокой

интенсивностью транспортного потока и его скоростью движения при недостаточной эффективности предупреждающих мероприятий (рисунок 1.6). При этом ФАД имеют важное экономико-хозяйственное значение, поскольку представляют собой основу дорожной сети России и связывают регионы, субъекты РФ, крупнейшие транспортные узлы между собой и с зарубежьем.

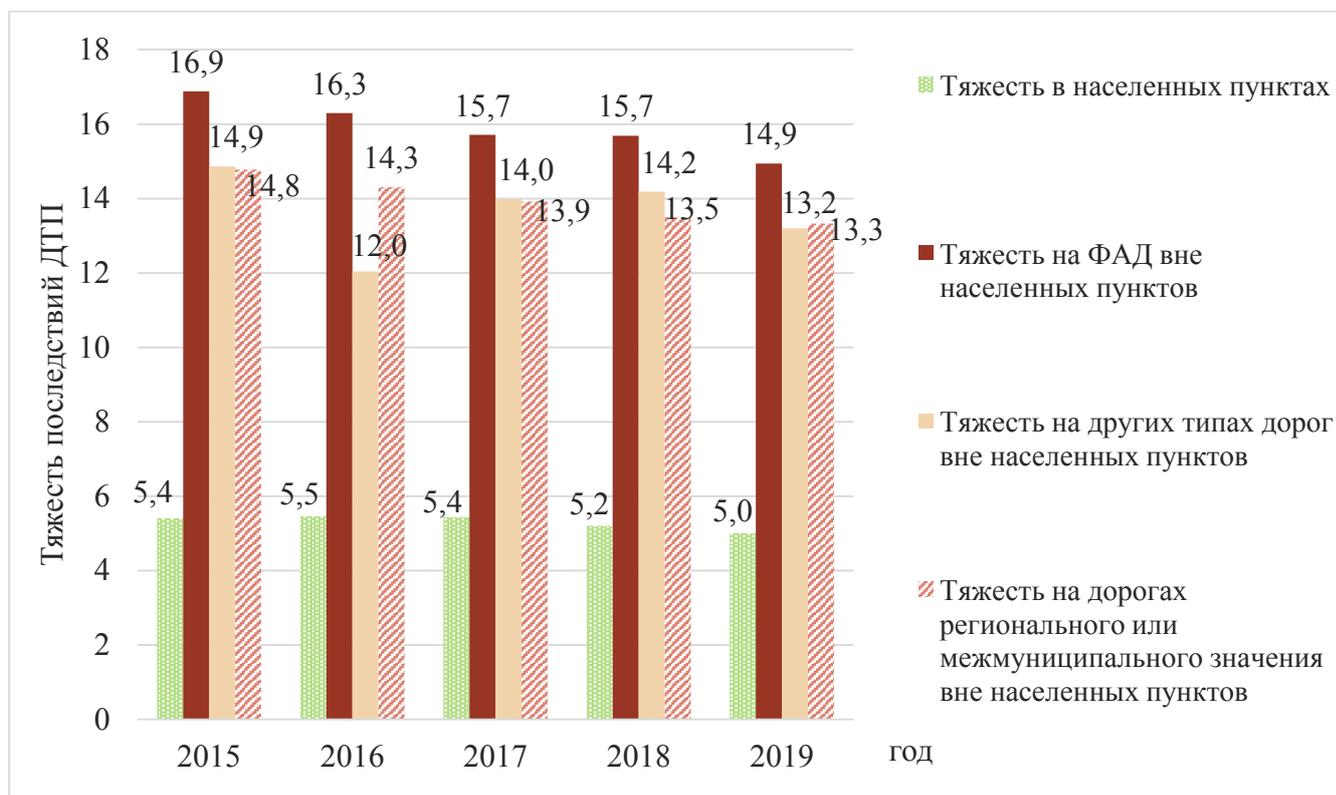


Рисунок 1.6 – Тяжесть последствий ДТП по типам дороги, 2015–2019 годы

Тяжесть последствий ДТП на ФАД вне населенных пунктов в 2019 году в России составила 14,9 погибших на 100 пострадавших. Анализ по регионам СФО показал, что практически во всех субъектах он превышает среднероссийское значение (рисунок 1.7). Это может быть связано с низкой плотностью ФАД, обусловленной высокой площадью регионов округа, климатическими условиями, особенностью которых является высокая подвижность и амплитуда показателей метеорологических условий, а также удаленностью отдельных участков ФАД от региональных центров, что зачастую приводит к несвоевременному реагированию ответственных служб.

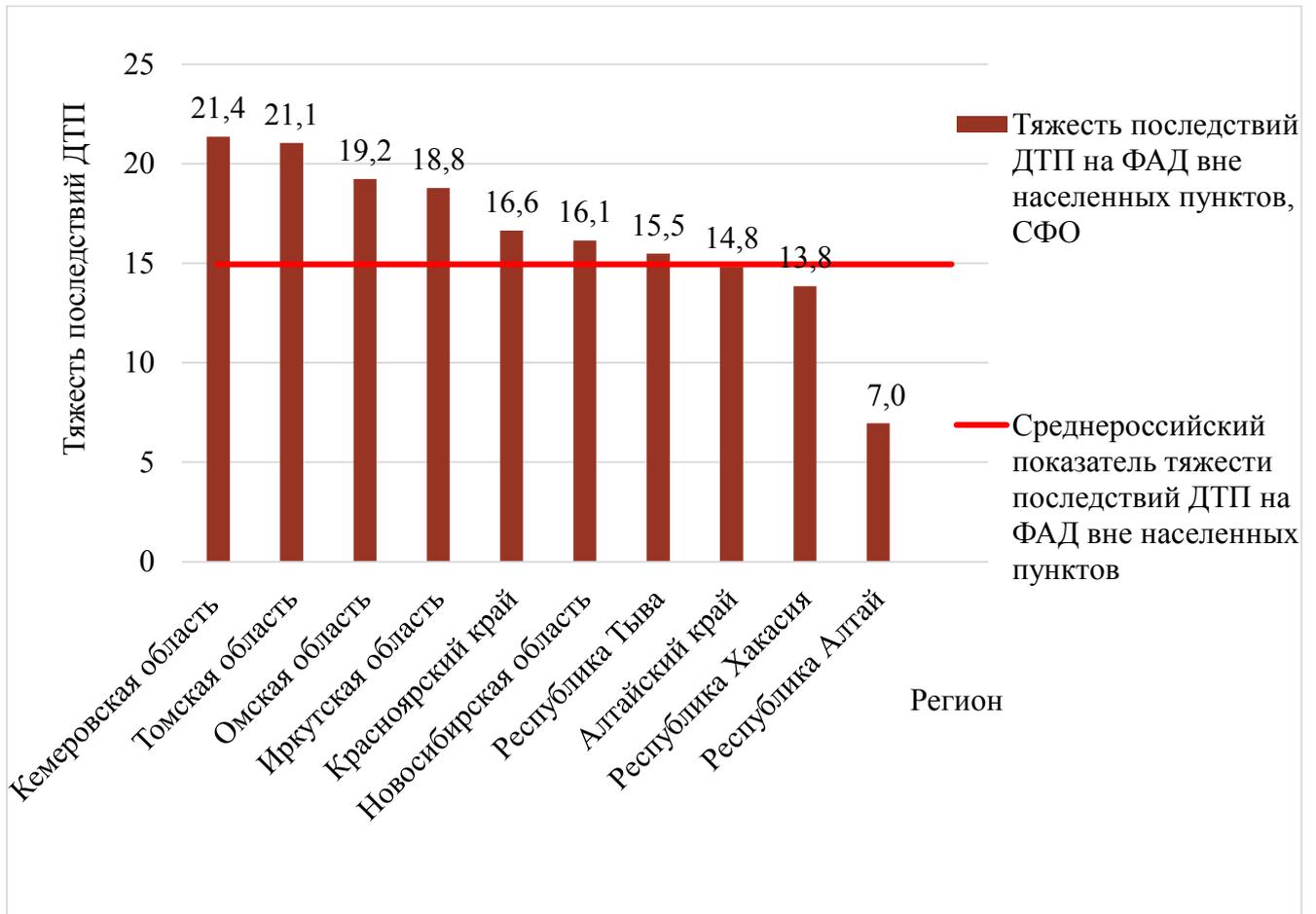


Рисунок 1.7 – Тяжесть последствий ДТП на ФАД по регионам СФО, 2019 год

Анализ причин ДТП на ФАД в рамках нарушений ПДД показал, что основным видом является «нарушение правил расположения ТС на проезжей части» (рисунок 1.8). Однако в соответствии со сложившейся судебной практикой к данному пункту могут быть отнесены различные ошибки водителей, «выразившиеся в том, что водитель не выдержал безопасный боковой интервал до обгоняемого автомобиля», «не определил ширину проезжей части и выехал на сторону движения, предназначенную для встречного движения» и пр. [21], т.е. является наиболее общим пунктом и указывается при отсутствии явных признаков грубых нарушений ПДД.



Рисунок 1.8 – Непосредственные нарушения ПДД при ДТП на ФАД

Проведенный анализ косвенно свидетельствует о том, что одной из причин ДТП на ФАД является неадекватное восприятие водителями изменившихся условий движения при сохраняющихся постоянных дорожных характеристиках.

Необходимость решения проблем ДТА на ФАД подтверждается работами российских ученых: «решение проблемы транспортной аварийности на относительно небольшой по протяженности федеральной автодороге может дать значительный эффект» [22], а также согласуется с принципом Парето: «20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий – 20% результата» [20]. Снижение показателей аварийности на ФАД может дать результат, заключающийся в значительном уменьшении смертности по причине ДТП.

Анализ показателей аварийности (тяжести последствий ДТП) по типам дорог показал, что основной вклад вносят участки ФАД. Анализ подходов к обеспечению БДД позволит выделить основные направления исследований по снижению аварийности и смертности на ФАД.

1.3 Анализ методов обеспечения БДД

1.3.1 Анализ зарубежного опыта повышения БДД

Применяемые в разных странах стратегии обеспечения БДД отличаются как подходами, так и эффективностью. Наиболее результативными являются исследования и мероприятия, применяемые в Европейском регионе ВОЗ, который отличается наименьшей смертностью в ДТП [23]. Европейский регион ВОЗ, включает в себя 53 страны (в том числе Российскую Федерацию). Низкая дорожная аварийность в большинстве европейских стран обусловлена структурным объединением усилий различных секторов, ответственных за БДД [24].

Большая часть стран ЕС имеют национальные стратегии по борьбе с аварийностью с целевыми ориентирами и регулярным мониторингом показателей БДД. Основой национальных стратегий стран ЕС является Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза об управлении безопасностью автодорог [25]. В последних поправках к Директиве упоминается о том, что ЕС должен к 2050 году максимально приблизиться к нулевой аварийности (стратегия Vision Zero), а также о сокращении летальных исходов и тяжелых травм на 50% в период с 2020 по 2030 годы [26], кроме того, принята концепция «прощающих дорог» (forgiving road): повышение уровня безопасности дорог до такого уровня, что ошибки водителя не приведут к ДТП.

В Директиве закреплено обязательное проведение оценки безопасности проектируемых и эксплуатируемых дорог. В документе указываются основные этапы обеспечения БДД: оценка воздействия на безопасность дороги (RIA), проверка (аудит) безопасности дорог (RSA), регулярная проверка безопасности дорог (RSI), построение рейтингов безопасности сети (NSR), выделение участков с высоким уровнем риска (HRS) [25, 27]. Первые два этапа проводятся на

проектируемых дорогах; RSI, NSR, HSR – на эксплуатируемых. RSI является периодической проверкой характеристик дороги, обнаружения ее дефектов, требующих обработки в целях безопасности движения [25] и обычно включает в себя три шага: подготовка документации, выезд на участки дорог с проведением измерений и составление отчета о выявленных недостатках [28]. NSR – метод выявления, анализа и классификации участков эксплуатируемой дорожной сети в соответствии с их потенциалом с целью повышения БДД и снижения затрат на аварии. HRS заключается в анализе и ранжировании наиболее проблемных участков дороги (большое число ДТП со смертельным исходом). NSR и HRS рекомендуется проводить не реже чем каждые три года. После составления рейтинга группой экспертов формирует перечень мероприятий по улучшению дорожной обстановки на выделенных участках [25].

Определение риска возникновения ДТП осуществляется в процедуре оценки дорог (RAP) на основе присвоения баллов участкам дорог. Процедура имеет две формы: картирование рисков – risk mapping (нанесение на карту уровня смертности и серьезных травм в соответствии с цветной кодировкой) и определение рейтинга – star rating (определение рейтинга на основе кодирования характеристик дороги и окружающей среды) [29]. Для картирования рисков используется только информация о ДТП со смертельным исходом или тяжелыми последствиями для участников аварии. Типичным участком для оценки является 20-километровый отрезок дороги, на котором произошли 20 или более ДТП за три года, участки должны быть схожими (например, двухполосные). Риск рассчитывается с учетом среднегодового дневного объема движения. Используется 5 уровней опасности: низкий, низкий средний, средний, высокий средний, высокий, значения границ различны для каждой страны. Основная организация, осуществляющая картирование рисков – EuroRAP определяет экономический потенциал для повышения БДД на участках дорог [30]. Рейтинг дорог (star rating) обеспечивает объективную оценку уровня безопасности дороги на основе ее характеристик. При составлении рейтинга дорог оцениваются дорожные характеристики, которые регистрируются для каждого стометрового

участка дороги. В ситуации, когда значение меняется в пределах стометрового сегмента отмечается наихудший случай (с точки зрения БДД). Каждому участку дороги присваивается «звезда»: от 1 (черные) самые опасные до 5 (зеленые) самые безопасные. Рейтинг определяется на основе значения относительного риска смерти или серьезной травмы для каждой группы участников дорожного движения, который в свою очередь рассчитывается с помощью аддитивно-мультипликативной модели [31].

Однако использование приведенных процедур возможно только при наличии достоверных и точных данных о ДТП. Кроме того, качественное использование методики требует учета местных особенностей. Основой оценки риска ДТП является информация о ДТП с погибшими или пострадавшими в тяжелой форме, что также является недостатком. В различных работах отмечаются следующие недостатки метода оценки рейтинга дорог (star rating): в [32] указывается на недостатки в сфере учета скорости движения реальных водителей; в [33] на ограниченность используемых моделей. Работы преимущественно на аварийных участках также не приведут к стабильному снижению риска и нулевой смертности. Великобритания перешла от очаговой борьбы с проблемой ДТП к комплексному охвату всей дорожной сети, что привело к значительному улучшению показателей БДД [34].

В Директиве определены основные принципы управления БДД, конкретные способы и методы реализации должны приниматься на государственном уровне [35]. Кроме того, не во всех странах, принявших Директиву, управление БДД осуществляется в полной мере, что связано с недостатком финансирования и неполной базой знаний в области реализации мероприятий по БДД; это является основной причиной их недостаточной эффективности [36].

В рамках национальной политики в области БДД рядом государств приняты специализированные стратегии. Одной из наиболее успешных является стратегия Vision Zero (концепция нулевой смертности) – политика БДД, принятая шведским парламентом в 1997 году (аналогичная политика была принята в Норвегии, Дании, Швейцарии, Исландии) [37]. Суть стратегии в том, что недопустимо,

чтобы кто-либо погиб при использовании автотранспортной системы [38]. Снижение аварийности при этом достигается за счет улучшения инфраструктуры дорог («дороги, прощающие ошибки водителей»), а также с помощью повышения ответственности за ДТП дорожных служб и организаций, отвечающих за БДД перед участниками дорожного движения [39]. В рамках проекта существующие и проектируемые дороги в Швеции переоборудованы по схеме «2+1» (трехполосная дорога с одной встречной и двумя попутными полосами, рядность чередуется через несколько километров) [40]. Кроме того, для дополнительного предупреждения тяжелых ДТП использован контроль скорости потока: значительно увеличено число камер фиксации нарушений ПДД [40], внедрены компоненты ИТС [27].

В Нидерландах принята стратегия *Duurzaam Veilig* (Устойчивая безопасность), ее основой являются две группы принципов. К первой группе относится проектирование дорог: функциональность дорог, однородность транспортного потока и психологический эффект восприятия дороги участниками движения. Ко второй группе относится обеспечение БДД: распределение ответственности между структурами, задействованными в обеспечении БДД и введение инноваций, в том числе на основе регулярного анализа ДТП [41]. В 2007 году эффективность стратегии оценена в виде снижения количества погибших на 30%. Основное внимание уделяется человеческому фактору: исходя из требований, компетенций, ограничений и уязвимости людей, система дорожного движения может быть реально адаптирована для достижения максимальной безопасности [27, 41].

Австралийская системы *Safe System* (Система безопасности) основана на изучении опыта *Vision Zero* и *Duurzaam Veilig*. Основой стратегии также является создание дорожной сети на основе признания ошибок участников дорожного движения, распределение ответственности между организациями, отвечающих за БДД и утверждение приоритета безопасности над скоростью перемещения [27, 42].

Обеспечение БДД в европейских странах базируется на оценке риска ДТП. Успешные системы управления БДД за рубежом реализуются с учетом местных особенностей, поэтому подходы и модели оценки риска возникновения ДТП нуждаются в доработке в связи со значительными различиями в законодательных, нормативно-правовых базах, технических регламентах, правилах, документах по стандартизации, общем государственном устройстве и культурных особенностях.

1.3.2 Основные тенденции повышения БДД в России

Современная система обеспечения БДД в России является государственной и определяется рядом нормативно-правовых актов, среди которых одним из ключевых является ФЗ №196-ФЗ «О безопасности дорожного движения», в котором закреплены правовые основы, полномочия и основные принципы повышения БДД.

Согласно документу, полномочия и ответственность в области обеспечения БДД распределены между Правительством Российской Федерации, федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления, осуществляется координация между перечисленными органами, а также между общественными объединениями, юридическими и физическими лицами [43]. Кроме того, региональные органы власти обязаны разрабатывать первоочередные меры по устранению причин и условий совершения ДТП на дорогах.

Государственное обеспечение БДД организовано на трех уровнях: федеральном, региональном и муниципальном, которые являются взаимосвязанными. В отношении обеспечения БДД на ФАД ответственность несут владельцы автомобильных дорог (региональные представители – подведомственные организации Росавтодора на праве оперативного управления). Кроме того, в рассматриваемом нормативно-правовом акте указано, что

«федеральные органы исполнительной власти по соглашению с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации могут передавать им осуществление части своих полномочий в области обеспечения безопасности дорожного движения» [43]. Принятие решений о проведении мероприятий по повышению БДД на ФАД может приниматься на федеральном и региональном уровне при наличии действующих соглашений.

В качестве центрального принципа обеспечения БДД в указанном законе закреплён программно-целевой подход.

До 2020 года в РФ действовала федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах» (ФЦП), которая была направлена на снижение показателей ДТА на основе мероприятий по повышению культуры вождения, качества знаний в области ПДД и пропаганде БДД, развития системы оказания экстренной помощи и других направлений.

В ФЦП органам исполнительной власти субъектов РФ рекомендовано разработать аналогичные программы по снижению аварийности. В 2013 году в Алтайском крае была принята долгосрочная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в Алтайском крае на 2013-2020 годы», утвержденная постановлением Администрации Алтайского края от 08 ноября 2012 года №606. В 2013 году данная программа вошла в состав государственной программы «Обеспечение прав граждан и их безопасности» (согласно постановлению Администрации края от 30 декабря 2013 года №706) [44]. По состоянию на начало 2021 года программный подход к обеспечению БДД реализуется в качестве подпрограммы 2 «Повышение безопасности дорожного движения в Алтайском крае» в рамках государственной программы Алтайского края «Обеспечение прав граждан и их безопасности», в которой утверждены комплексные мероприятия, направленные на снижение уровня ДТА в регионе.

Реализация целевых программ позволила снизить показатели аварийности, однако в связи с климатическими, экономическими и прочими особенностями регионов страны, ее эффективность в них значительно различается [45]. В соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской

Федерации в настоящее время приоритетным научным направлением является «противодействие техногенным угрозам» [46], к которым можно отнести ДТП. Кроме того, практика показала, что отсутствие в программах повышения БДД фазы научно-исследовательских и проектных работ снижает их эффективность.

В соответствии с поручением Президента РФ от 11 апреля 2016 года №Пр-637ГС в 2018 году принята «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы» (Стратегия), которая в настоящее время является базовым документом, определяющим конкретные направления решения проблемы ДТП. Стратегия служит основой для принятия последующих федеральных, региональных и муниципальных государственных программ, в которых перечислены планируемые мероприятия по профилактике ДТП и обеспечению БДД, а также их объем. Согласно документу «в качестве целевого ориентира на 2024 год устанавливается показатель социального риска, составляющий не более 4 погибших на 100 тыс. а также стремление к нулевой смертности в дорожно-транспортных происшествиях к 2030 году» [10]. Для достижения поставленных целей необходима серьезная работа не только по снижению числа погибших в ДТП, но и снижению общего уровня ДТА.

Среди основных направлений Стратегии: «изменение поведения участников дорожного движения, повышение защищенности от ДТП и их последствий наиболее уязвимых участников дорожного движения, совершенствование организационно-правовых механизмов допуска транспортных средств и их водителей к участию в дорожном движении, совершенствование системы управления БДД» и другие [10].

Большинство задач выполняется на общегосударственном уровне без дифференциации по типам дорог. Одним из направлений, позволяющим реализовать направленный подход к повышению БДД на ФАД является совершенствование системы управления БДД, которое, в соответствии с теорией управления, можно определить, как организацию комплексной системы, включающей порядок функционирования различных служб, задачей которой

является воздействие на процесс дорожного движения с целью предупреждения ДТП на ФАД.

Классическая иерархия уровней управления, согласно треугольнику Энтони [47], включает три уровня, которые в сфере обеспечения БДД можно представить следующим образом:

1) Стратегический уровень (долгосрочный): в его рамках ставятся цели на годовой или многолетний период. В рамках стратегического уровня принимаются федеральные законы и государственные программы.

2) Tактический уровень (среднесрочный) осуществляется сроком до года.

3) Оперативный уровень (краткосрочный): в его рамках в течение 24 часов ответственными службами осуществляется выбор и реализация оперативных мероприятий, направленных на обеспечение БДД в определенных времени и участке дороги.

Анализ существующей системы управления БДД, а также изучение исследований российских ученых в данной сфере показал, что наиболее проблемной областью является оперативное управление БДД (на региональном уровне). В то же время повышение эффективности рассматриваемого уровня управления является актуальной задачей, поскольку он «способствует снижению дорожной аварийности и учитывает соответствующую динамику в условиях изменчивости факторов окружающей среды» [48].

Оценка международного опыта (п.1.3.1) показала, что основным критерием в системе управления может выступать риск возникновения ДТП, который, в соответствии с теорией риска, применительно к ФАД можно определить, как частоту возникновения ДТП на километровом участке дороги в год (ДТП/год).

В работе [49] убедительно показано, что в целях прогнозирования и краткосрочной оценки более адекватно использовать понятие конфликтной ситуации (КС), которая согласно ОДМ 218.6.011-2013 определяется как «дорожно-транспортная ситуация, возникающая между участниками дорожного движения или между участником движения и обстановкой дороги, при наступлении которой произойдет ДТП, если в действиях участников движения не

наступят изменения и они будут продолжать движение в прежнем режиме» [50]. Риск возникновения КС может быть оценен на основе анализа ДТП.

Сохраняя заданный в ОДМ 218.6.011-2013 [50] и исследовании [49] подход к понятию КС, в данной работе она определена как 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. Выявление времени и места наступления таких ситуаций является основой оперативного управления БДД, которое можно определить, как оперативное реагирование на повышенный риск возникновения КС на основе выбора и реализации ответственными службами мероприятий по обеспечению БДД в срок до 24 часов.

В настоящее время на оперативном уровне управления БДД можно выделить следующие группы недостатков:

1) Недостатки в системе оперативного мониторинга показателей факторов аварийности: отсутствие единого подхода к выбору факторов аварийности. В настоящее время отмечается недооценка влияния условий движения на БДД, в то время как российскими учеными убедительно показано их значительное влияние на аварийность [51, 52, 53]. Кроме того, не используется количественный учет влияния внешней среды на риск возникновения ДТП: ответственными государственными структурами устанавливается только качественные связи, например, «переменчивая погода, а также осадки в виде снега, зачастую провоцируют всплеск ДТП» [54].

2) Недостатки в количественной оценке уровня аварийности на участках ФАД, обусловленного совокупностью постоянных дорожных характеристик. В настоящее время оценка риска возникновения ДТП на каждом из участков дорог проводится не в полной мере и основные усилия, включая проведение специальных обследований, сосредоточены на аварийно-опасных участках, или участках, характеризующихся недостатками транспортно-эксплуатационного содержания [55], в то время как риску возникновения аварий и КС на других

участках уделяется гораздо меньшее внимание и не дается его количественная оценка.

3) Отсутствие математической модели, позволяющей оценить риск возникновения КС или ДТП в определенных времени и участке ФАД с учетом влияния динамично меняющейся внешней среды. Эта характеристика необходима для принятия решений о необходимости и выборе оперативных мероприятий по обеспечению по БДД в конкретных условиях движения. Отсутствие математических моделей значительно уменьшает эффективность практических мероприятий по предупреждению ДТП: «в любой области деятельности принятие управленческих решений базируется на соответствующем модельном обеспечении» [56]. Кроме того, отсутствует программное приложение, позволяющее оценить риск в краткосрочной перспективе.

4) Проблема неэффективной координации многочисленных структур, деятельность которых связана с обеспечением БДД [57]. Это связано с отсутствием алгоритмов взаимодействия, процессов принятия решений. Также отмечаются проблемы разделения ответственности [58], «отсутствие строгих приемов управления» [59]. Различный подход к принятию решений в области обеспечения БДД отдельными ответственными службами, недостаточная их координация снижает результат реализации превентивных мероприятий. Выделенные недостатки обуславливаются отсутствием единой методики обеспечения БДД на основе оперативного управления БДД.

Таким образом, определена научная задача: отсутствие научно-обоснованной методики обеспечения БДД на ФАД на основе математических моделей оценки риска возникновения КС в определенных времени и месте и совершенствования элементов системы оперативного управления БДД.

С помощью логико-структурного подхода выявленные группы недостатков трансформированы в задачи по совершенствованию системы оперативного управления БДД на ФАД в соответствии с основными задачами рассматриваемого направления Стратегии [10]. Результаты представлены на рисунке 1.9.

Для организации проведения мониторинга состояния БДД, оценки изменения показателей и индикаторов необходимы: определение зависимостей влияния элементов внешней среды на относительный риск возникновения ДТП, разработка математической модели, позволяющей оценить уровень риска возникновения ДТП, обусловленного совокупностью постоянных дорожных характеристик на участке ФАД, разработка математической модели формирования риска возникновения КС, а также программного приложения для автоматизации расчета его показателя. Для повышения координации усилий органов власти и других субъектов деятельности по обеспечению БДД предлагается разработка методики обеспечения БДД на ФАД на основе оценки риска возникновения КС и совершенствования системы оперативного управления БДД.



Рисунок 1.9 – Задачи по совершенствованию системы оперативного управления БДД на ФАД в рамках Стратегии

Одним из ведущих направлений снижения аварийности на ФАД в России является совершенствование системы оперативного управления БДД. Для реализации данного направления необходимо решить ряд задач, среди которых разработка соответствующих зависимостей, математических моделей и методики обеспечения БДД на ФАД на основе оценки риска возникновения КС. Для выбора перспективных подходов к моделированию закономерностей в рассматриваемой области целесообразно обратиться к результатам исследований российских и зарубежных ученых.

1.4 Методы оценки риска возникновения ДТП на участках ФАД

Для определения основных методов и подходов к оценке дорожно-транспортной опасности (риска возникновения ДТП, КС или других аналогичных показателей) проанализирован ряд результатов научных исследований, среди которых выбраны те, которые могут использоваться на ФАД.

Метод линейных графиков коэффициентов аварийности (разработан В.Ф. Бабковым), основан на анализе условной опасности на каждом типовом участке дороги. Он базируется «на отношениях количества ДТП в фактических дорожных условиях к количеству ДТП в эталонных дорожных условиях, которые возникли бы после прохождения по участку дороги одного миллиона автомобилей. Такие отношения являются частными коэффициентами аварийности (K_i)» [51]. «Под эталонными дорожными условиями на двухполосных дорогах общего пользования в равнинной и холмистой местности понимают горизонтальные и прямолинейные участки автомобильных дорог с усовершенствованным покрытием, с шириной проезжей части 7,5 метра и с твердыми широкими обочинами, имеющими краевые укрепленные полосы по 0,75 метра» [51]. В качестве дорожных условий выбраны: «интенсивность движения, ширина проезжей части, обочин, продольный уклон, радиусы кривых в

плане, расстояние видимости, ширина мостов, прямые участки, тип пересечения, пересечения в одном уровне, видимость на пересечении, число полос движения, расстояние от застройки до проезжей части, длина населенного пункта, характеристика покрытий, ширина разделительной полосы, расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 метров» [51].

Опасность выражается итоговым коэффициентом аварийности $K_{ав}$ и определяется как произведение частных коэффициентов аварийности [51]:

$$K_{авар} = \prod_{i=1}^{17} K_i. \quad (1.1)$$

По значениям итогового коэффициента аварийности строят линейный график. На него наносят план и продольный профиль дороги.

В качестве дополнения к методу возможна оценка аварийности с учетом тяжести последствий осуществляемая путем добавления сомножителя тяжести к итоговой формуле.

В работах [51, 60] предложено использование графиков сезонных коэффициентов аварийности, которые строятся с использованием поправочных сезонных коэффициентов, отражающих изменение показателей элементов дороги, однако такой подход не позволяет учесть высокую подвижность элементов внешней среды.

Автор метода указывает, что «перечень коэффициентов не является исчерпывающим, а их значение окончательным», а также отмечает перспективу учета изменения транспортно-эксплуатационных свойств дороги в результате различных факторов, в том числе погодных условий [51]. Развитие описанного метода отражено в работах В.В. Чванова, Н.Г. Шешера и других ученых [61, 62, 63, 64].

К недостаткам метода относят следующие: частные коэффициенты аварийности устанавливаются на основе анализа причин и адреса происшествий (требуется информация о месте с точностью до метров) по карточкам ДТП,

однако информация в них не всегда соответствует действительности, поскольку зависит от компетенции сотрудника ГИБДД, выехавшего на место ДТП.

Метод линейных графиков коэффициентов безопасности (разработан В.Ф. Бабковым), основан на расчете «отношения максимальной скорости движения на участке к максимальной скорости въезда автомобилей на этот участок (начальная скорость движения)» [60].

Основой метода является расчет эпюр скоростей движения на дороге и выявления места и величины перепадов скорости, по которым и осуществляется оценка безопасности. В соответствии со значениями полученных коэффициентов определяется степень опасности участка дороги (неопасный, опасный и очень опасный). Метод имеет ряд ограничений: учет движения одиночного автомобиля, что характерно только для дорог с малой интенсивностью, кроме того не учитываются участки постепенного снижения скорости, необходимые для безопасного въезда на кривые малых радиусов, узкие мосты; принципиальное отсутствие возможности учета психологического восприятия водителем дорожных условий [60].

Метод конфликтных ситуаций (разработан К. Хайденом) в настоящее время применяется для оценки опасности сложных участков автомобильных дорог и разработки планов их реконструкции. Основой метода является экспериментальное определение количества КС, и с помощью выражения (1.2), определяется вероятное число аварий [65]:

$$P_a = \eta_{\text{кфс}} \cdot n'_{\text{кфс}}, \quad (1.2)$$

где P_a – прогнозируемая аварийность (ДТП/год);

$\eta_{\text{кфс}}$ – коэффициент приведения конфликтных ситуаций к авариям;

$n'_{\text{кфс}}$ – среднегодовое число конфликтных ситуаций, кфс/год.

В настоящее время данный метод основан на показателях маневров автомобилей: изменении скорости и траектории движения, продольных и

поперечных ускорений, которые устанавливаются с помощью автомобильных лабораторий.

К недостаткам метода можно отнести невысокую точность и трудности в определении КС, «поскольку он не учитывает ряд факторов, связанных с аварийностью, особенно при относительно небольшом числе аварий» [66].

В настоящее время данное направление исследуется рядом ученых, в том числе Д.В. Капским, А.И. Рябчинским, Е.Н. Котом и др. [65, 66, 67].

Метод конфликтных точек впервые разработан Г. Раппопортом [68, 69]. Конфликтная точка является местом пересечения траекторий конфликтующих автомобилей [70]. Ее опасность (происшествий/год) определяется по формуле:

$$g_i = K_i \cdot M_i \cdot P_i \cdot \frac{25}{K_r} \cdot 10^{-7}, \quad (1.3)$$

где K_i – коэффициент опасности конфликтной точки (зависит от характеристики пересечения, направления движения ТС, радиуса поворота и пр.);

M_i, P_i – интенсивности движения транспорта в конфликтной точке, авт./сут.;

K_r – коэффициент годовой неравномерности движения.

Общая опасность движения на перекрестке определяется как сумма опасностей конфликтных точек (аддитивная форма). Метод используется для определения риска возникновения ДТП на перекрестках и пересечениях транспортных и пешеходных потоков, и применяется в основном для оценки безопасности в населенных пунктах.

Развитием данного метода занимаются различные ученые, в том числе В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин; результаты, направленные на определение прогнозных показателей вероятности возникновения ДТП, представлены в работе [71].

Экспертный метод. Основан на опыте специалистов, которые в результате длительного и качественного выполнения своих профессиональных обязанностей могут самостоятельно оценить риск возникновения ДТП. Однако результаты такого метода зависят от компетенции экспертов, и в основном используются в

качестве первичной оценки. Метод целесообразно использовать при отсутствии статистических или экспериментальных данных.

Многофакторное регрессионное моделирование представлено в работах различных авторов. В работе [22] представлена методика оценки БДД в местах концентрации ДТП на двухполосных участках ФАД с помощью расчета коэффициента относительной аварийности для участков, представляющих собой пересечение дорог в одном уровне, для прочих мест в зависимости от радиуса кривизны (кривая большого, среднего и малого радиуса). В качестве входных переменных используются отдельные дорожные характеристики: суточная интенсивность движения, расстояние видимости, ширина обочины и др. Модели для определения коэффициента относительной аварийности представляют собой степенные уравнения. Метод рекомендуется использовать только для мест концентрации ДТП.

В работе зарубежных авторов [72] представлен алгоритм определения причинно-следственной связи между количеством ДТП и средними скоростью и интенсивностью движения на участке на основе регрессионного моделирования.

В настоящее время отсутствуют единые утвержденные методики оценки риска ДТП произвольного участка ФАД, а отдельные результаты имеют свои ограничения.

Зарубежный опыт. Учеными из ЕС проводятся исследования для разработки новых моделей объективного анализа ДТП. Основой многих исследований является методика, изданная в США – Highway Safety Manual (HSM). Ее состав включает в себя четыре части: часть А – введение, основы БДД; часть В – методы определения участков с высоким потенциалом для повышения БДД; часть С – методы прогнозирования средней аварийности в зависимости от параметров дороги; часть D – методы оценки уровня изменения аварийности в зависимости от принятых мер [73]. Для оценки потенциальной опасности участка – уровня средней аварийности ($N_{predicted,i}$), в руководстве HSM предлагается мультипликативная модель на основе трех сомножителей:

$N_{SPE,i}$ – аварийности при стандартных (базовых) условиях, AMF – коэффициента изменения аварийности (на основе отличий участка дороги от стандартного) и Co_x – поправочного коэффициента, который определяется в зависимости от местных условий [74]:

$$N_{predicted,i} = N_{SPE,i} \cdot (AMF_1 \cdot AMF_2 \cdot \dots \cdot AMF_n) \cdot Co_x. \quad (1.4)$$

Для определения аварийности при базовых условиях определяется тип участка (дорога вне населенных пунктов с двумя полосами движения; с большим количеством полос; городские и пригородные дороги) и по соответствующей для выбранного типа функциональной зависимости определяется искомое значение. Коэффициенты изменения аварийности также определяются с помощью формул для каждой дорожной характеристики, отличающейся от базовой. Поправочные коэффициенты отражают местные условия: изменение интенсивности движения, погодные условия и пр. [75]. Однако в настоящее время отсутствуют методики по определению поправочного коэффициента, в том числе в различных климатических условиях России.

Результаты анализа основных подходов к определению дорожно-транспортной опасности представлены в таблице 1.1. Приведенный перечень не является исчерпывающим, но отражает основные научные направления, наиболее обсуждаемые исследователями в выбранной сфере.

Таблица 1.1 – Результаты анализа основных подходов к определению дорожно-транспортной опасности

Название метода (автор)	Учитываемые факторы	Вид модели
Метод линейных графиков коэффициентов аварийности (В.Ф. Бабков)	Дорожные характеристики	Мультипликативная
Метод линейных графиков коэффициентов безопасности (В.Ф. Бабков)	Дорожные характеристики, эпюры скоростей	Кратная

Название метода (автор)	Учитываемые факторы	Вид модели
Метод конфликтных ситуаций (К. Хайден)	Данные об отрицательных продольных и поперечных ускорениях	Мультипликативная
Метод конфликтных точек (Г. Раппопорт)	Интенсивность движения, характеристики перекрестка	Аддитивная
Экспертный метод	Произвольные	Экспертный опрос
Многофакторное регрессионное моделирование	Дорожные характеристики, скорость, интенсивность движения	Смешанная
Highway Safety Manual	Дорожные характеристики	Мультипликативная

В настоящее время существует ряд подходов к определению дорожно-транспортной опасности. В качестве вида модели для расчета многие исследователи используют мультипликативную форму, что соответствует положениями теории риска: при независимости факторов, совокупный риск можно оценить на основе произведения частных рисков. Общий порядок оценки риска закреплен в ГОСТ Р 51897-2011, он представляет собой «процесс, охватывающий идентификацию риска, анализ риска и сравнительную оценку риска» [76]. В качестве первого этапа оценки риска возникновения КС (идентификации риска) можно выделить выбор и обоснование факторов аварийности. Выявлено, что к факторам, используемых при моделировании, ученые относят постоянные дорожные характеристики, что доказывает необходимость их учета. В то же время определена недостаточность разработанности методов и моделей оценки риска возникновения КС на участках ФАД в условиях динамично изменяющейся внешней среды (в результате совокупного действия погодных условий, времени суток и др.); в том числе основной метод оценки КС не позволяет прогнозировать и оценивать риск их возникновения на основе данных о состоянии внешней среды. В то же время многие исследователи [77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85] отмечают высокую

значимость ее влияния на возможность возникновения аварии. Полученные выводы свидетельствуют о необходимости разработки математической модели, позволяющей оценить риск возникновения КС на ФАД на основе совокупности постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды.

1.5 Определение факторов риска возникновения КС с использованием комплекса ВАДС

В настоящее время все факторы аварийности разделяют на четыре взаимосвязанные группы, которые в совокупности представляют собой комплекс Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда (ВАДС). Анализ его составляющих используется учеными и в частности представлен в работах [86, 87].

Каждый из четырех факторов представляет собой совокупность элементов (факторов второго уровня): водитель – В (состояние здоровья, опыт вождения, соблюдение ПДД и другие), автомобиль – А (исправность механизмов и узлов, наличие систем активной безопасности транспортного средства и другие), дорога – Д (постоянные геометрические параметры дороги, характеристики дорожной одежды, искусственных дорожных сооружений, обустройства автомобильных дорог и другие), среда – С (погодные условия, время года, наличие других участников движения и другие переменные характеристики внешней среды) [88, 89, 90, 91]. Состояние БДД может быть выражено:

$$O = \langle V, A, D, C \rangle. \quad (1.5)$$

Несмотря на то, что многие исследователи указывают на подавляющую роль фактора водитель – В при ДТП (в частности [92]), другие ученые отмечают тесную взаимосвязь ошибок человека-водителя с элементами внешней среды и дороги. Так ошибочная оценка водителем дорожной ситуации обычно возникает в

сложных дорожных условиях, сон за рулем фиксируется на монотонных затяжных прямых участках дорог в утреннее или ночное время суток. При этом причиной аварии указывается «несоответствие скорости конкретным условиям движения» «нарушение расположения ТС на проезжей части» и пр.; официально причиной ДТП и ее виновником является водитель [93]. В настоящее время признано, что негативное сочетание дорожных условий может являться истиной причиной ошибок водителя [36, 94, 95], а их вклад в аварийность недооценен [22, 82, 96, 97].

Целью разработки математической модели, позволяющей оценить текущий риск возникновения КС, является совершенствование системы оперативного управления БДД. Информационной основой управления на данном уровне являются данные о времени и месте приложения усилий, т.е. о конкретных пространственно-временных ячейках «участок дороги – время», в которых необходимо проведение оперативных мероприятий. Поэтому, для принятия решений о необходимости и выборе вида оперативного реагирования требуются данные о риске возникновения КС в этой ячейке. Опасность участка дороги обуславливается совокупностью элементов фактора дорога – Д, а его опасность во времени – на основе совокупности факторов дорога – Д и среда – С. Принято, что при отсутствии оперативных мероприятий по БДД, распределение вероятностей участия в аварии в результате совокупности исключительно факторов В и А во времени и пространстве равномерно (отсутствуют отрезки дороги или промежутки времени, где более вероятно появление «опасных» водителей и ТС).

На наш взгляд вариация риска в ячейках «участок дороги – время» обуславливается только вариацией факторов Д и С. Выделенные факторы создают условия движения: «реальная обстановка на дороге, в которой находится транспортное средство в данный момент (дорожные условия, транспортный поток, состояние окружающей среды)» [98]. В связи с этим в рамках данной работы факторы водитель – В и автомобиль – А элиминированы и не рассматриваются.

Таким образом, выбранные факторы комплекса ВАДС (фактор дорога – Д и среда – С) с учетом принятых допущений, позволяют оценить риск возникновения КС в определенных времени и участке ФАД. Для дальнейших исследований требуется определить состав элементов, из которого состоит каждый из выделенных факторов.

1.5.1 Состав и характеристика фактора дорога – Д

К элементам фактора дорога – Д относят постоянные, стабильные характеристики состояния среды движения ТС среди которых конструктивные элементы дороги (план трассы, продольный и поперечный профили), состояние покрытия, характеристики искусственных сооружений, характеристики пересечений; элементы обустройства дороги и объекты дорожного сервиса; объекты придорожного сервиса.

К основным элементам плана и профиля дороги относят следующие: число полос движения, ширина проезжей части, укрепленной части обочины, общая ширина обочины, продольный уклон, радиус кривизны, и другие. К характеристикам искусственных сооружений (мостов, тоннелей, эстакад) относят их протяженность, также рассматривается число полос и их ширина. Требования к геометрическим элементам автомобильных дорог определяются категорией дороги и ГОСТ 52399-2005 «Геометрические элементы автомобильных дорог». Сеть ФАД РФ с твердым покрытием в основном (на 76%) представлена участками II технической категории и III технической категории. В таблице 1.2 представлены отдельные нормативные требования к элементам дорог; ее анализ позволяет сделать вывод о схожести требований для участков II и III категорий, что позволяет в дальнейшем не разделять такие участки в рамках моделирования влияния элементов дороги на аварийность.

Таблица 1.2 – Требования к значениям элементов автодороги в зависимости от ее категории [99, 100]

Показатели элементов дороги	Категория дороги	
	II	III
Общее число полос движения	2	2
Ширина полосы движения, м	3,75-3,5	3,5
Ширина обочины, м, не менее	3,75-2,5	2,5
Ширина разделительной полосы	–	–
Пересечение с автодорогами	В одном уровне	В одном уровне

Элементы плана, поперечного и продольного профиля оказывают значительное влияние на аварийность. Анализ обобщенного зарубежного опыта указывает на следующие закономерности: для обеспечения безопасности движения ширина полосы движения должна быть от 3,7 до 4,3 м [101]. Однако отдельные участки ФАД в России имеют ширину полосы 3,5 м (является допустимым). Значение продольного уклона (подъема) оказывает влияние не только на движение грузовых ТС в зимний период, но и на расстояние видимости. Безопасное расстояние видимости для торможения равно минимальному расстоянию, которое требуется, чтобы водитель автомобиля, движущегося с расчетной скоростью, успел остановить автомобиль, не доезжая до замеченного на дороге объекта, кроме того, на двухполосных дорогах следует предусмотреть возможность обгона медленно движущихся автомобилей (безопасное расстояние видимости для обгона) [101]. Состояние дорожного покрытия также оказывает влияние на уровень аварийности при его несоответствии нормативным требованиям [102]. Его показатель оценивается специальной комиссией. Регулярная оценка ровности дороги позволяет выявлять проблемные места и устранять недостатки. На ФАД такие проверки проводятся регулярно.

К элементам обустройства дороги относят «комплекс зданий и сооружений обслуживания движения, технических средств и устройств, предназначенных для организации и обеспечения безопасности дорожного движения» и др. [103]. Установка технических средств организации движения зависит от значений элементов плана, продольного и поперечного профиля дороги и определяется

действующими нормативами. Анализ расстановки дорожных знаков может применяться для оценки условий движения (например, возможности появления животных) при отсутствии или невозможности проведения натурных исследований.

К объектам придорожного сервиса относят «здания и сооружения, расположенные на придорожной полосе и предназначенные для обслуживания участников дорожного движения в пути следования (мотели, гостиницы, кемпинги, станции технического обслуживания, автозаправочные станции, пункты питания, торговли, связи, медицинской помощи, мойки, средства рекламы и иные сооружения)» [104]. К этой группе отнесены и площадки отдыха водителей, поскольку такие площадки обычно находятся вблизи объектов придорожного сервиса и самостоятельная оценка их вклада в аварийность затруднена.

Отдельно следует рассмотреть интенсивность движения – «количество транспортных средств, проходящих через поперечное сечение автомобильной дороги в единицу времени» [105]. Исследования Бабкова В.Ф. и обобщение им российского и зарубежного опыта показали, что влияние интенсивности движения на аварийность представляет собой колоколообразную кривую на участке от 500 до 20 000 ТС/сутки, наибольшая относительная аварийность наблюдается при интенсивности 10 000 – 11 000 ТС/сутки; на участке от 500 до 11 000 ТС/сутки зависимость рассматриваемых переменных представляет собой практически прямую пропорциональность [51]. В работе выдвинута гипотеза о том, что интенсивность движения транспортных потоков является двухкомпонентным элементом: первый компонент – среднегодовая интенсивность движения является постоянной величиной и обусловлена расположением участка дороги, второй – переменной и зависит от времени (часа, месяца, дня недели). Постоянный компонент может быть отнесен к элементу фактора дорога – Д.

Фактор дорога – Д включает в себя большое число элементов. Обобщая результаты исследований ведущих ученых в данной области и нормативные

документы [51, 101, 106], выделены основные элементы рассматриваемого фактора, перечень которых представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Базовый состав элементов фактора дорога – Д

Фактор	Состав фактора – элементы фактора
Фактор дорога – Д	Сумма центральных углов
	Объединенная характеристика продольного уклона дороги
	Максимальная величина уклона
	Число полос движения
	Протяженность моста
	Протяженность ограждения
	Протяженность зоны недостаточной видимости
	Характеристика перекрестков
	Характеристика пешеходных переходов и остановочных пунктов
	Протяженность дороги с возможностью появления животных
	Количество и мощность объектов придорожного сервиса
	Среднегодовая интенсивность движения
	Ширина проезжей части
	Ширина укрепленной части обочины
	Общая ширина обочины
	Протяженность прямого участка
	Наличие перекрестка в зоне 100 метров
Протяженность нахождения в черте населенного пункта	

Представленные в таблице 1.3 элементы являются базовым составом фактора дорога – Д, который может служить базовым для моделирования риска возникновения КС и ДТП на участках ФАД II и III категорий.

1.5.2 Состав и характеристика фактора среда – С

К элементам фактора среда – С относят динамично изменяющиеся в течение времени условия, характеризующие дорожно-транспортную ситуацию. Время года и час суток нельзя рассматривать в качестве независимых переменных,

поскольку их влияние на БДД объясняется воздействием интенсивности движения и временем суток.

Влияние среды передаётся водителю различными прямыми способами: посредством нарушения зрительного восприятия (изменения качества видимости во время осадков, ослепление от отражения фар встречных автомобилей на мокрой дороге [107, 108]), посредством изменения надежности управления автомобилем (ухудшение сцепления с дорогой в результате мокрого покрытия, влияние бокового ветра на устойчивость ТС), а также путем изменения вероятности безаварийного результата ошибок водителя (при увеличенной интенсивности движения, резком изменении условий движения – проведении дорожно-строительных работ). Кроме того, длительное движение в сложных метеорологических или астрономических условиях может оказывать не только прямое влияние на водителя, но и опосредованное: ухудшение физиологических показателей, усиление усталости приводит к увеличению количества ошибок, результатом которых являются ДТП. Водитель может компенсировать влияние внешней среды, меняя скорость движения, избегая опасных маневров, соблюдая режим труда и отдыха, а также может воздержаться от поездки, тем самым полностью исключив вероятность попасть в ДТП, но для этого у него должны быть веские и убедительные аргументы риска его возникновения.

Одним из основных элементов рассматриваемого фактора является переменный компонент интенсивности движения, отражающий ее изменение во времени и зависящий от часа суток, дня недели и месяца. Доказано, что интенсивность движения является элементом, напрямую воздействующим на риск возникновения ДТП [109, 110, 111]. Согласно исследованиям российских и зарубежных ученых [112, 113, 114] увеличение интенсивности движения ведет к увеличению частоты ДТП. Согласно работе [115] увеличение интенсивности ведет к повышению тяжести ДТП.

Значительное влияние на БДД оказывают метеорологические условия – «состояние атмосферы, характеризуемое значениями метеорологических элементов в определенный момент времени или за определенный срок, или за

время развертывания того или иного процесса, мероприятия и т.д.» [116]. К метеорологическим элементам (компоненты фактора среда – С) относят «те характеристики состояния атмосферы и атмосферные процессы, которые непосредственно наблюдаются на метеорологических станциях» [116]. В исследованиях [117, 118] показано, что погодные условия оказывают существенное влияние на БДД. Для оценки влияния на рассматриваемого элемента на риск возникновения КС или ДТП целесообразно использовать компоненты, подлежащие обязательному контролю на большинстве метеостанций и существенное влияние которых подтверждается исследованиями российских и зарубежных ученых, в том числе в работах [118, 119, 120, 121]. Среди их можно выделить следующие: температура воздуха 2 м над поверхностью Земли, °С; атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря, мм.рт.ст.; изменение атмосферного давления за 3 часовой период, мм.рт.ст; порывы ветра, м/с; величина осадков, накопленных за 12 часов, мм; горизонтальная дальность видимости, км; перепад суточной температуры, °С.

Следует отдельно отметить проведение дорожно-строительных работ. Согласно [122] дорожно-строительные работы разделяются на долговременные и краткосрочные; по типу на реконструкцию, капитальный ремонт, ремонт, содержание. Они влияют на беспрепятственное движение транспортного потока, способствуют значительному снижению скорости движения, ограничивают пропускную способность дороги, способствует резкому изменению условий движения; наличие рабочих, строительной техники и объектов также повышают вероятность возникновения ДТП [123, 124]. Среди причин ДТП в местах проведения дорожных работ исследователи выделяют следующее: «водители своевременно не информированы об изменившихся дорожных условиях, об опасности, вызванной дорожными работами, характере этой опасности» [77]. Для снижения потенциальной опасности мест производства дорожных работ необходим контроль за своевременным исполнением требований по организации движения и ограждению мест их проведения, а также повышение информированности участников дорожного движения. Это доказывает, что

проведение дорожно-строительных работ является важным элементом фактора среда – С.

Время суток является важным элементом внешней среды, способствующим возникновению ДТП: «в условиях снижения естественной освещенности в сумеречное и ночное время отмечается значительное увеличение зрительной нагрузки», кроме того уровень освещенности влияет на функциональное состояние водителя: человек за рулем испытывает высокое нервное напряжение, а также «в темное время суток на трассах вне населенных пунктов, где водитель вынужден часто осуществлять переключение на ближний свет фар, исключается возможность своевременного реагирования на опасность вследствие преобладания тормозного пути над дальностью освещения светом фар» [9]. В работах [125, 126, 127, 128] представлены отдельные результаты влияния периода (часа) и времени суток на аварийность. Поскольку время суток носит астрономический характер, целесообразно использовать его соответствующее деление: день (Солнце над горизонтом), гражданские (до погружения центра Солнца под линию горизонта на 6°), навигационные (погружение центра Солнца от 6° до 12° под линию горизонта), астрономические сумерки (погружение центра Солнца от 12° до 18° под линию горизонта) и ночь (более чем на 18° под линию горизонта).

Состав фактора среда – С может быть представлен четырьмя основными элементами (таблица 1.4). Анализ российских и зарубежных исследований доказал значительное влияние представленных элементов на БДД.

Таблица 1.4 – Базовый состав элементов фактора среда – С

Фактор	Состав фактора – элементы фактора
Фактор среда – С (внешняя среда)	Интенсивность движения (переменный компонент)
	Метеорологические условия: температура воздуха 2 м над поверхностью Земли, °С; атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря, мм рт.ст.; изменение атмосферного давления за 3 часовой период, мм.рт.ст; порывы ветра, м/с; величина осадков, накопленных за 12 часов, мм; горизонтальная дальность видимости, км; перепад суточной температуры, °С
	Проведение дорожно-строительных работ: реконструкция, капитальный ремонт, ремонт, содержание

Фактор	Состав фактора – элементы фактора
	Время суток: день, гражданские, навигационные, астрономические сумерки и ночь

Представленные в таблице 1.4 элементы являются базовым составом фактора среда – С, который может служить для определения соответствующий зависимостей возникновения КС и ДТП на участках ФАД.

Выводы по главе 1

1. Анализ состояния БДД в РФ показал, что ДТП наносят экономике и обществу огромный ущерб. Показатели аварийности в последние годы снижаются, однако темпы снижения не соответствуют поставленным в Стратегии целям. Для повышения БДД и приближения к нулевой смертности на дорогах необходимы новые комплексные решения, которые должны формироваться с использованием научного подхода.

2. Анализ показателей аварийности по местам совершения ДТП показал значимость проблемы аварийности на участках ФАД, что обусловлено большим количеством ДТП и наибольшей тяжестью последствий в сравнении с другими типами дорог.

3. Анализ «Стратегии безопасности дорожного движения в РФ на 2018–2024 годы» показал, что для достижения поставленных в ней целевых показателей необходимо совершенствование системы оперативного управления БДД на ФАД. В результате анализа существующих проблем и подходов к обеспечению БДД выявлены приоритетные направления научных исследований, сформулирована цель исследования, предмет, объект, рабочая гипотеза и поставлены задачи, представленные в ведении.

4. Исследование основных подходов к оценке риска возникновения КС показало, что среди основных факторов, учитываемых при его определении,

ученые выделяют дорожные характеристики, а перспективной основой моделирования является использование теории риска.

5. На основе анализа комплекса ВАДС и поставленной цели исследования выделены факторы для дальнейшего моделирования риска возникновения КС на ФАД, к которым отнесены условия движения: фактор дорога – Д и фактор среда – С; определен базовый состав их элементов.

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОВОКУПНОСТИ ПОСТОЯННЫХ ДОРОЖНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА УРОВЕНЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДТП НА ФАД

2.1 Характеристика автомобильной дороги А-322

Математические модели и зависимости должны быть адекватными, а также обладать свойством масштабирования, т.е. характеризоваться возможностью использования на других аналогичных дорогах, независимо от их расположения и протяженности. Это ставит задачу выбора ФАД, на примере которой будет проведено моделирование. Для проведения дальнейшей работы выбрана автомобильная дорога А-322 «Барнаул – Рубцовск – государственная граница с Республикой Казахстан» (рисунок 2.1), которая является ФАД России и обеспечивает автомобильное сообщение РФ, в том числе регионов Западной Сибири, с Республикой Казахстан, Киргизией, Китаем и другими государствами ближнего и дальнего зарубежья.

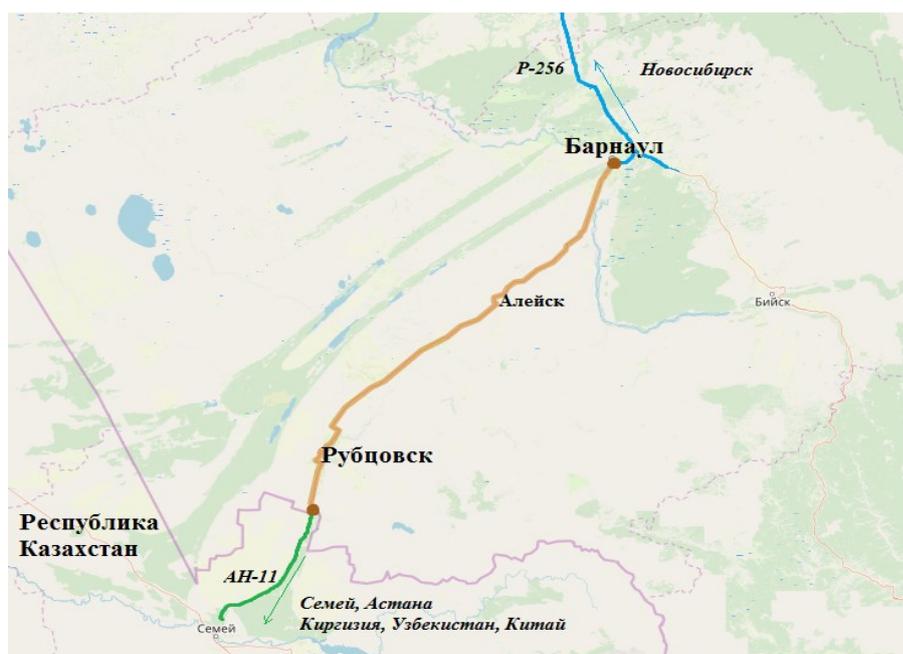


Рисунок 2.1 – Схема автомобильной дороги А-322 "Барнаул – Рубцовск – государственная граница с Республикой Казахстан"

Протяженность автомобильной дороги А-322 составляет 321 км. Из них 307 км расположены за пределами г. Барнаула, его пригородной зоны и г. Рубцовска и эти участки выбраны для дальнейшего моделирования. Среднегодовая интенсивность движения за пределами городов составляет от 2000 до 10000 автомобилей в сутки в зависимости от участка дороги. Выбранная дорога состоит из отрезков II и III технических категорий, что является типичной характеристикой для России: сеть ФАД РФ с твердым покрытием в основном (на 76%) представлена участками II технической категории (38,7%) и III технической категории (37,3%) (по состоянию на 2015 год [129]).

Дорога на всем своем протяжении находится в умеренном климатическом поясе (область континентального климата), что характерно для большей части дорог Западной Сибири. Это также обосновывает ее выбор для дальнейшего моделирования.

Анализ основных показателей ДТА свидетельствует о наличии устойчивого высокого уровня аварийности (рисунок 2.2). Тяжесть последствий ДТП в период 2012–2019 годы составила в среднем 17,4 погибших на 100 пострадавших в ДТП.

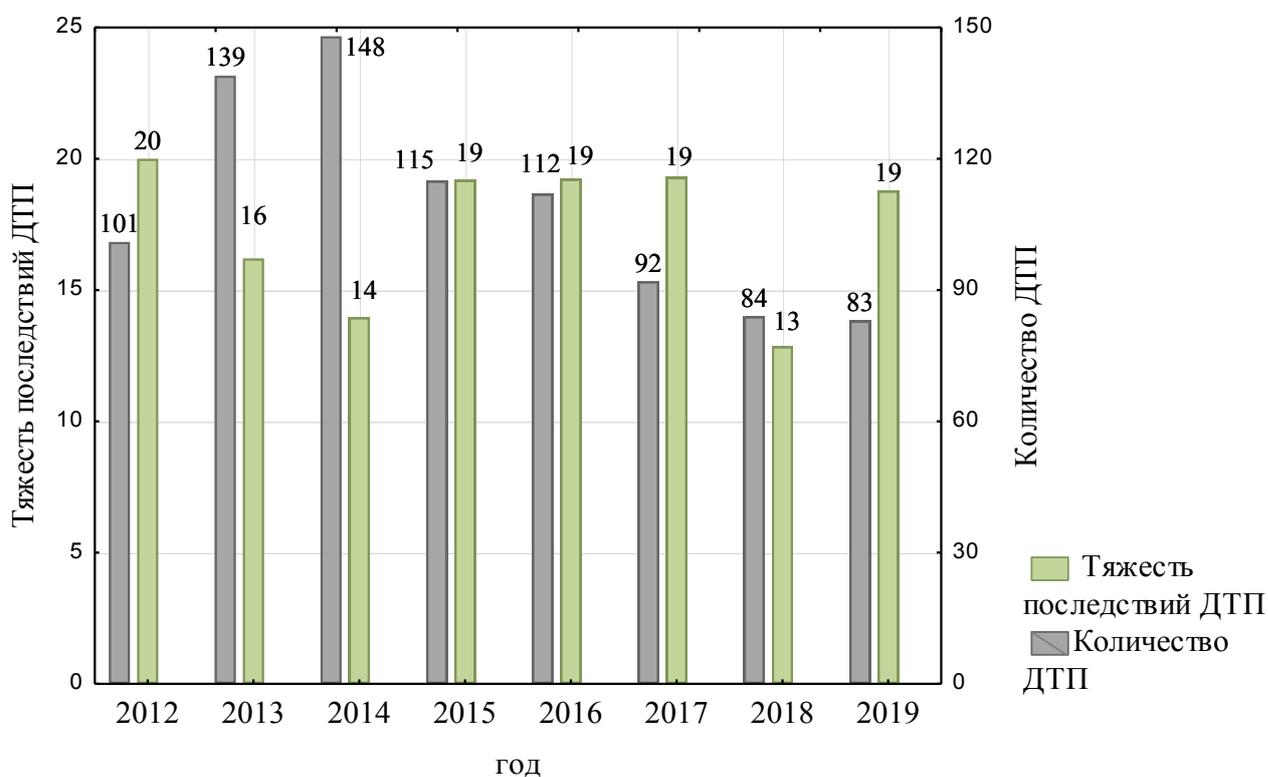


Рисунок 2.2 – Аварийность на дороге А-322 за период 2012–2019 годы

По итогам 2019 года по сравнению с 2018 годом зафиксирован рост числа раненых (на 20,5%), погибших (на 88,9%) при незначительном снижении количества ДТП (на 1,2%). Анализ распределения видов ДТП за период 2015 – 2019 годов показал, что основными видами ДТП являются столкновения ТС (53%) и опрокидывания ТС (16%).

Дорога проходит по территории шести муниципальных районов: Калманского, Топчихинского, Алейского, Шипуновского, Поспелихинского, Рубцовского. Линейный график аварийности (рисунок 2.3), построенный на основе суммы ДТП, подлежащих обязательному включению в государственную статистическую отчетность (с пострадавшими и/или погибшими – отчетные ДТП) за выбранный период времени (2012 – 2019 годы), зафиксированных на километровых участках дороги, показал, что аварийность на отдельных участках дороги значительно отличается. Наиболее аварийными являются участки с пересечениями и подъездами к районным центрам и городам. Однако отмечены и другие участки повышенной аварийности (39 км, 106 км, 128 км, 130 км, 289 км).

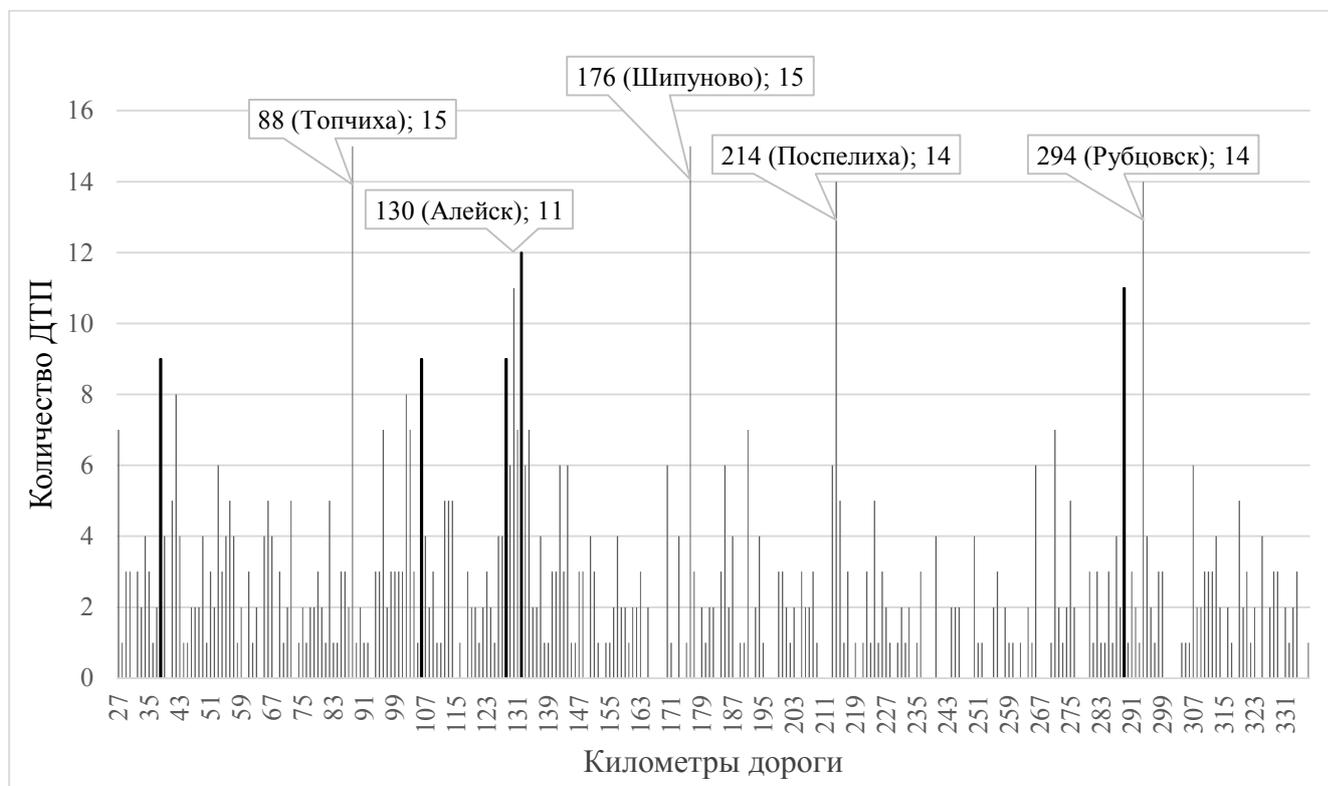


Рисунок 2.3 – Линейный график аварийности на участках А-322 за период 2012 – 2019 годы, отчетные ДТП

В течение года ДТП распределяются неравномерно. С целью сравнения распределения ДТП с пострадавшими в течение года на исследуемой дороге и на ФАД РФ рассчитаны средние месячные доли в годовой структуре аварийности. Результат представлен на рисунке 2.4; в целом распределения схожи: наибольшая часть аварий происходит в летнее время с июля по сентябрь, а наименьшая – в период с февраля по апрель.

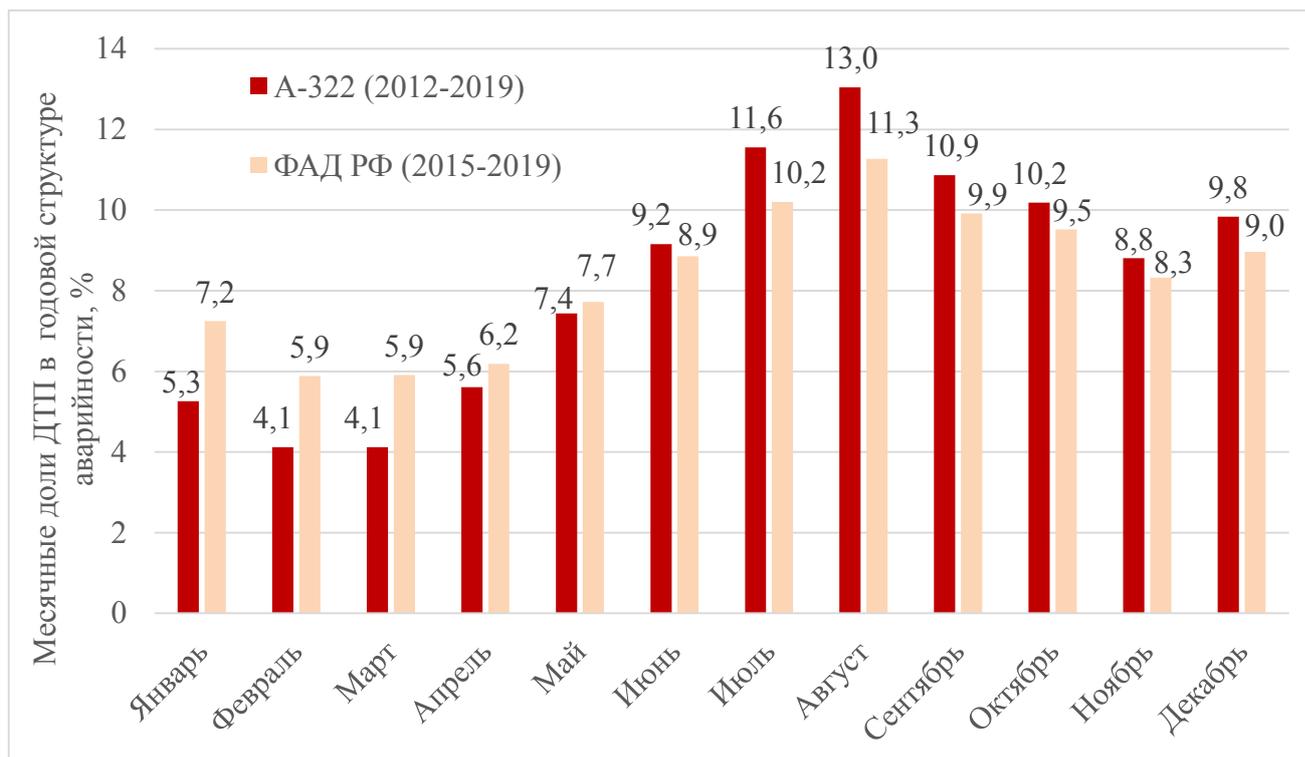


Рисунок 2.4 – Средние доли ДТП по месяцам года, отчетные ДТП, за период 2015 – 2019 годов

На исследуемой дороге фиксируются ДТП различной тяжести, как ДТП–ЧС (в которых пострадало от 10 человек и/или погибло от 5 человек), так и ДТП с материальным ущербом (без пострадавших). Количество ДТП с материальным ущербом составляет около 70% от общего числа ДТП в год; анализ таких аварий необходим при исследовании аварийности [130].

Средняя ежегодная аварийность на основе данных о ДТП с пострадавшими составляет 0,35 ДТП/км, а на основе всей совокупности аварийности (суммарно отчетных ДТП и ДТП с материальным ущербом) 1,18 ДТП/км.

На дороге ежегодно регистрируются аварийно-опасные участки дороги (АОУ), однако количество ДТП на них вносит небольшой вклад в суммарную аварийность на дороге: в 2019 году зарегистрировано два АОУ, на которых произошло 7 ДТП (8,4% от общего числа отчетных ДТП на выбранной ФАД). Вследствие этого, для значительного снижения аварийности на дороге необходим анализ всех ДТП, в том числе ДТП с материальным ущербом.

Для дальнейшего моделирования процессов, влияющих на риск возникновения КС на участках выбранной дороги и проверки точности его прогнозирования получены и обработаны данные о ДТП на дороге А-322, которые зафиксированы в период с 2012 по 2019 годы, т.е. реализован пассивный эксперимент. При этом учитывались как ДТП с пострадавшими, так и ДТП без жертв (только материальный ущерб). Общая выборка составила 2016 ед. ДТП. Исследование проведено на километровых участках дороги.

Анализ основных характеристик выбранной дороги подтверждает ее выбор как типичного представителя ФАД, что позволяет произвести отбор элементов выбранных факторов, реализовать моделирование формирования риска возникновения КС на ФАД, и оценить адекватность полученной модели.

2.2 Обоснование постоянных дорожных характеристик фактора дорога – Д

Учет всех параметров ведет к чрезмерному усложнению модели [131, 132], поэтому необходимо определить совокупность элементов рассматриваемого фактора, которые далее будут использованы при моделировании. Поставлена задача по определению конечного множества элементов $\{d_p\}$ и его мощности q :

$$Д = \{d_p\}_{p=1}^q. \quad (2.1)$$

Решение поставленной задачи осуществлялось в три этапа.

1. Первоначально, в качестве основных элементов выбраны 18 независимых элементов (п 1.5.1) среди которых: сумма центральных углов (на основе данных о радиусе кривизны, протяженности кривых); объединенная характеристика продольного уклона дороги (сумма произведений величин уклона на его протяженность), его максимальное значение; число полос движения; ширина проезжей части, укрепленной части обочины; общая ширина обочины (левая и правая); протяженность прямого участка; протяженность моста, ограждения; протяженность зоны недостаточной видимости; характеристики перекрестков в баллах (пересечения с дорогой, ведущей в города большие и крупные – 3, средние и малые – 2, районные центры, большие и крупные, в малые и средние населенные пункты – 1, в сады, в поле, сезонный съезд на грунтовую дорогу – 0,5); наличие перекрестка в зоне 100 метров; количество пешеходных переходов, их характеристика в баллах (переход с остановочным пунктом, ведущий в город – 3, ведущий в малые и средние населенные пункты – 2, без остановочного пункта – 1); протяженность нахождения в черте населенного пункта; протяженность дороги с возможностью появления животных (по дорожному знаку 1.26 Перегон скота); количество объектов придорожного сервиса, их мощность; среднегодовая интенсивность движения транспортного потока. Недостатки дорожного покрытия и отклонения фактических показателей от нормативных в качестве элементов рассматриваемого фактора не рассмотрены в связи с информацией ФКУ Упрдор «Алтай»: «ФАД Алтайского края соответствуют нормативам на 95%» (по состоянию на 2018 год) [133].

На исследуемой дороге действуют шесть пунктов учета интенсивности движения (ПУИД). С целью расчета необходимого показателя на участках дороги, расположенных между ПУИД, принято решение использовать его равномерное изменение. Для этого предложено определять доли близости (α , β) к ближайшим ПУИД, которые представляют собой величины, обратные расстоянию до

соответствующих ПУИД. Среднегодовая часовая интенсивность $S_{\text{среднегод } i}$ на i -ом километровом участке дороги рассчитывается с помощью выражения:

$$S_{\text{среднегод } i} = \alpha \cdot S_{\text{среднегод } a}^{\text{ПУИД } a} + \beta \cdot S_{\text{среднегод } b}^{\text{ПУИД } b}, \quad (2.2)$$

где α – доля близости к правому ПУИД, $\alpha \in [0; 1]$;

β – доля близости к левому ПУИД, $\beta \in [0; 1]$;

$S_{\text{среднегод}}^{\text{ПУИД}}$ – среднегодовая интенсивность на соответствующем ПУИД.

Расчет долей близости представлен на рисунке 2.5.

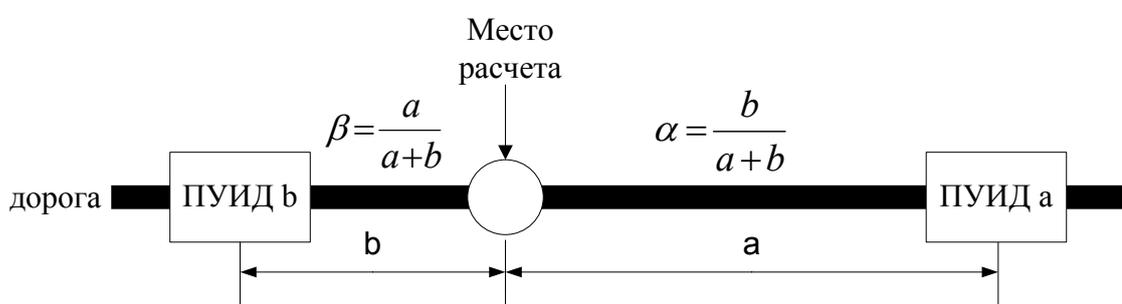


Рисунок 2.5 – Расчет долей близости α , β

2. На втором этапе сформирована таблица данных, отражающая значения элементов и средней аварийности по итогам 2012–2018 годов по каждому километровому участку выбранной дороги. В связи с ограниченной точностью данных о ДТП (во многих случаях в качестве адреса ДТП регистрируется только километр дороги без уточнения метров), принятая точность является допустимой в рамках такого анализа.

3. На третьем этапе для сокращения числа переменных проведен корреляционный анализ: рассчитаны коэффициенты парной корреляции Пирсона / Спирмена (для элементов, измеренных в порядковой шкале) между выбранными переменными и средней аварийностью на участке ФАД. Статистической гипотезой H_0 в корреляционном анализе является предположение об отсутствии связи между исследуемыми переменными ($p > 0,05$), альтернативной гипотезой H_1 – существует связь между выбранными переменными ($p \leq 0,05$).

Выбраны те элементы, уровень значимости коэффициентов корреляции которых $p < 0,05$. Результаты анализа представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты корреляционного анализа элементов фактора дорога – Д

№ пп	Элемент фактора	Значение коэффициента корреляции	Значимость для моделирования
1	Сумма центральных углов	0,24	Да
2	Объединенная характеристика продольного уклона дороги	0,32	Да
3	Максимальная величина уклона	0,34	Да
4	Число полос движения	0,46	Да
5	Протяженность моста	0,40	Да
6	Протяженность ограждения	0,27	Да
7	Протяженность зоны недостаточной видимости	0,30	Да
8	Характеристика перекрестков	0,25	Да
9	Характеристика пешеходных переходов и остановочных пунктов	0,22	Да
10	Протяженность дороги с возможностью появления животных	0,37	Да
11	Количество и мощность объектов придорожного сервиса	0,50	Да
12	Среднегодовая интенсивность движения	0,32	Да
13	Ширина проезжей части	0,01	Нет
14	Ширина укрепленной части обочины	0,01	Нет
15	Общая ширина обочины	0,08	Нет
16	Протяженность прямого участка	-0,01	Нет
17	Наличие перекрестка в зоне 100 метров	0,02	Нет
18	Протяженность нахождения в черте населенного пункта	-0,03	Нет

В результате корреляционного анализа для проведения дальнейшего моделирования выделены и обоснованы 12 значимых переменных d_p (конечное множество элементов фактора дорога – Д с мощностью $q=12$). Выбранные элементы определены как совокупность постоянных дорожных характеристик (не изменяются в процессе эксплуатации) [134, 135]. Для каждого i -го километрового участка дороги получены значения выбранных элементов с целью дальнейшего моделирования.

2.3 Разработка математической модели оценки уровня потенциального риска возникновения ДТП на участках ФАД

Моделирование влияния совокупности элементов фактора дорога – Д на уровень риска возникновения ДТП основано на совокупности 12 постоянных дорожных характеристик и среднегодовой аварийности, которая определена исходя из данных о ДТП с пострадавшими и без жертв за 2012–2018 годы на выбранной ФАД. Показатели определены для каждого километрового участка – «участок дороги между двумя смежными указателями километров на дороге» [136].

Основой для моделирования явилось определение типовых участков: участков, обладающих схожей или одинаковой совокупностью показателей выбранных элементов фактора дорога – Д, которые должны обладать соответственно одинаковым значением уровня риска ДТП (частотой), обусловленного совокупностью постоянных дорожных характеристик. В работе этот показатель определен как уровень **потенциального риска возникновения ДТП** – риска возникновения ДТП на i -ом километровом участке дороги (ДТП/год), обусловленного совокупностью постоянных дорожных характеристик. Уровень потенциального риска представлен коэффициентом опасности дороги K_D^i , значение которого является следствием влияния совокупности элементов фактора $D = \{d_p\}$:

$$K_D^i = v(d_p^i). \quad (2.3)$$

В соответствии с выбранным подходом, для решения поставленной задачи выбрано машинное обучение, которое производилось в два этапа:

1) формирование групп, объединяющих типовые участки – схожие между собой по показателям постоянных дорожных характеристик и определение уровня потенциального риска в них;

2) установление правила нахождения группы на основе информации о показателях постоянных дорожных характеристик и определения соответствующего значения уровня потенциального риска.

Основой моделирования на первом этапе выбран кластерный анализ. Он позволяет обрабатывать большие объемы данных и объединять однотипную информацию в единый кластер для дальнейшего адресного исследования каждого из них. Кластерный анализ заключается в следующем: на основе анализа степени сходства переменных, обладающих высокой схожестью, они кластеризуются в отдельный кластер (группу).

Анализ реализован следующим образом: задано множество объектов – участков дороги (километров) $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{nk}\}$, с количеством $nk=299$ (исключены отрезки дороги в пригородной зоне г. Барнаула и длительной протяженностью (более 3 км) по населенному пункту). Задано множество постоянных дорожных характеристик (выбранных элементов фактора дорога – Д): $D = \{d_1, d_2, \dots, d_q\}$, которыми обладает каждый Q_i , где $q=12$. Результат измерения p -ой дорожной характеристики объекта Q_i обозначено как d_p^i , а вектор $D^i = [d_p^i]$ размерности $p \times 1$ отвечает постоянным дорожным характеристикам каждого i -го километра дороги. Сформировано множество дорожных характеристик всех участков дороги $D = \{D_1, D_2, \dots, D_{nk}\}$. Множество фактора дорога – Д может быть представлено как nk точек в p -мерном Евклидовом пространстве E_p .

Особенностью анализа является то, что большая часть параметров d_p дискретны и многие значения параметры d_p^i принадлежащие разным Q_i одинаковы или близки.

Далее следует разбиение множества объектов (участков дороги) Q на mk кластеров: $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{mk}$, чтобы каждый участок дороги Q_i принадлежал одному и только одному кластеру, а кластеры π характеризовались объектами одинаковыми или схожими по дорожным характеристикам. Каждый кластер представляет собой группу участков дороги со схожими характеристиками, а, следовательно, влияние

рассматриваемого фактора дорога – Д на аварийность (уровень потенциального риска) одинаково для объектов, принадлежащих одному кластеру [137].

Данные предварительно стандартизованы. С помощью алгоритма К-средних участки разделены на четыре кластера ($mk=4$), со схожими дорожными условиями. Метод К-средних представляет собой выполнение следующего алгоритма: определяются центры кластеров на основе k случайно выбранных наблюдений, затем состав кластеров изменяется путем определения минимума изменчивости внутри кластеров и максимума ее между ними. Каждое следующее наблюдение ($k+1$) относится к кластеру, отличающегося минимальным значением сходства с центром тяжести. При обновлении состава кластера определяется новый центр тяжести. Алгоритм продолжается до прекращения изменения состава [138].

Кластеризация проведена в программе Statistica. Для каждого километрового участка дороги определен кластер. Результаты представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты кластеризации ФАД А-322

Номер кластера	Количество участков в кластере	Примеры участков в кластере (километры дороги)
1	4	км 55+000 – км 56+000; км 128+000 – км 129+000
2	26	км 66+000 – км 67+000 км; км 87+000 – км 88+000
3	92	км 86+000 – км 87+000 км; км 130+000 – км 131+000
4	177	км 166+000 – км 167 +000; км 289+000 – км 290+000

Анализ межгрупповой и внутригрупповой дисперсии показал, что различия между кластерами значимы.

Выбранный подход реализует гипотезу о том, что в результате случайных воздействий (например, ДТП с водителями в алкогольном опьянении) число аварий может не соответствовать потенциальному риску на каждом конкретном

участке. Это согласуется с ранее выдвинутым предположением о равномерном распределении вероятности возникновения ДТП по причине «опасных» водителей и ТС во времени и пространстве, которое позволяет использовать в качестве потенциального риска среднее количество ДТП по участкам дорог, относящихся к одному кластеру. Его расчет на основе аварийности за 2012–2018 годы представлен в таблице 2.3. Проведение дисперсионного анализа доказало значимость различий средних в кластерах.

Таблица 2.3 – Потенциальный риск ДТП в кластерах (K_D^i)

Номер кластера	Потенциальный риск (ДТП/год)	Уровень
1	8,02	«Красный»
2	2,07	«Оранжевый»
3	1,50	«Желтый»
4	0,91	«Зеленый»

Установлены четыре уровня потенциального риска возникновения ДТП: «красный», «оранжевый», «желтый» и «зеленый». Цвет ранжирован в соответствии со значением потенциального риска в кластере.

Первый кластер («красный» уровень) отличается наиболее высоким значением потенциального риска и объединяет участки с наиболее сложными дорожными условиями: сочетанием всех или нескольких следующих характеристик: высоких значений продольного уклона, значительной протяженностью мостов, зоны необеспеченной видимости, наличием перекрестка, пешеходного перехода и объектов придорожного сервиса. Примеры участков представлены на рисунке 2.6.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Примеры участков дороги первого кластера:

а) км 55+000 – км 56+000; б) км 128+000 – км 129+000

Второй кластер («оранжевый» уровень), характеризуется меньшим значением потенциального риска в сравнении с первым кластером. Он объединил участки с менее выраженной сложностью дорожных условий в сравнении с первым кластером, но более сложным в сравнении с другими. Участки характеризуются совокупностью большинством следующих характеристик: наличие значительного продольного уклона, объектов придорожного сервиса, перекрестков. Пример представлен на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Пример участка дороги второго кластера (км 87+000 – км 88+000)

Участки третьего кластера («желтый» уровень потенциального риска) в основном характеризуются совокупностью всех или отдельных следующих элементов: значительным радиусом кривизны, наличием мостов, зоны необеспеченной видимости, высокой интенсивностью движения. Пример представлен на рисунке 2.8



Рисунок 2.8 – Пример участка дороги третьего кластера (км 29+000 – км 30+000)

Отрезки четвертого кластера («зеленый» уровень потенциального риска) отличаются наиболее простыми условиями движения, в своем большинстве

представляют собой практически прямые участки. Пример представлен на рисунке 2.9.



а)



б)

Рисунок 2.9 – Примеры участков дороги четвертого кластера:

а) км 47+000 – км 48+000; б) км 206+000 – км 207+000

Вторым этапом моделирования является установление правила определения кластера в зависимости от значений совокупности постоянных дорожных характеристик. Это позволит определять кластер, а на его основе – соответствующее значение уровня потенциального риска (по таблице 2.3). Это необходимо при изменении значений элемента фактора дорога – Д, а также при определении уровня потенциального риска на других участках ФАД II и III

категорий. Применимость выбранной группы методов в целях исследования факторов аварийности подтверждается работами [139, 140], однако полученная авторами модель применяется для городских улиц, а в качестве переменных использованы виды нарушений ПДД.

Для нахождения правила определения кластера проведен линейный дискриминантный анализ с помощью программы Statistica. Целью использования данного типа анализа является поиск классификационных функций:

$$DF_z(d_p) = k_{1z}d_1 + k_{2z}d_2 + \dots + k_{qz}d_q + a, \quad (2.4)$$

где $DF_z(d_p)$ – линейная классификационная функция;

z – индекс классификационной функции;

k – коэффициенты;

d – переменные (дорожные характеристики);

q – число признаков;

a – свободный член.

Реализована стандартная процедура проведения дискриминантного анализа. В качестве зависимой переменной выбраны номера кластеров, независимыми выступили выбранные постоянные дорожные характеристики; включены все переменные. Количество классификационных функций: четыре (согласно количеству кластеров).

В результате получены следующие классификационные функции:

$$DF_1(d_p) = -57,68d_1 - 0,04d_2 + 0,38d_3 + 9,19d_4 - 48,55d_5 + 173,51d_6 - 11,76d_7 + 51,71d_8 - 0,94d_9 - 3,14d_{10} + 0,19d_{11} + 0,07d_{12} - 314,80, \quad (2.5)$$

$$DF_2(d_p) = -33,45d_1 + 0,02d_2 + 0,11d_3 + 11,59d_4 - 18,72d_5 + 16,76d_6 - 6,41d_7 - 1,31d_8 - 0,77d_9 - 3,38d_{10} + 0,05d_{11} + 0,11d_{12} - 49,43, \quad (2.6)$$

$$DF_3(d_p) = -45,22d_1 + 0,01d_2 + 0,25d_3 + 12,12d_4 - 0,89d_5 + 28,68d_6 - 4,13d_7 - 13,64d_8 - 0,77d_9 - 3,99d_{10} - 0,01d_{11} + 0,15d_{12} - 35,94, \quad (2.7)$$

$$DF_4(d_p) = -14,56d_1 - 0,01d_2 + 0,10d_3 + 12,85d_4 - 1,69d_5 + 25,48d_6 - 3,32d_7 - 4,30d_8 - 1,24d_9 - 2,88d_{10} - 0,01d_{11} + 0,09d_{12} - 23,11, \quad (2.8)$$

где 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.

Анализ модели показал, что Лямбда Уилкса составила 0,03; p -уровень значимости F -критерия меньше 0,001 что говорит о корректности результатов. В таблице 2.4 представлена матрица результатов классификации, доля верно классифицированных участков составила 95,32%.

Таблица 2.4 – Матрица результатов классификации

Кластер	Доля верно классифицированных участков	Количество участков в каждом кластере			
		1	2	3	4
1	100,00	4	0	0	0
2	96,00	0	24	0	1
3	91,67	0	1	88	7
4	97,13	0	1	4	169
В целом	95,32	4	26	92	177

Для определения уровня потенциального риска (K_D^i) на основе значений постоянных характеристик дороги i -го участка необходимо выполнение следующих шагов:

1) Определение кластера, к которому принадлежит рассматриваемый i -й участок: расчет значений четырех классификационных функций (определение веса классификации) с использованием зависимостей (2.5) – (2.8), выбор максимального из них и установление соответствующего номера кластера в соответствии с индексом классификационной функции, значение которой оказалось максимальным;

2) определение уровня потенциального риска на основе номера кластера и таблицы 2.3.

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

$$K_D^i = \begin{cases} 8,02 \text{ ДТП/год, при } DF_1(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 2,07 \text{ ДТП/год, при } DF_2(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 1,50 \text{ ДТП/год, при } DF_3(d_p) = \max DF_z(d_p) \\ 0,91 \text{ ДТП/год, при } DF_4(d_p) = \max DF_z(d_p) \end{cases} \quad (2.9)$$

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

$DF_z(d)$ – классификационные функции, $z=1, 2, 3, 4$, (2.5) – (2.8).

Применение кластерного и дискриминантного анализов, позволило провести моделирование влияния элементов фактора дорога – Д на уровень потенциального риска возникновения ДТП на участках ФАД. Полученное математическое выражение позволяет отнести участок ФАД к одному из четырех кластеров и определить на нем уровень потенциального риска, обусловленного совокупностью постоянных дорожных характеристик.

Выводы по главе 2

1. Анализ основных дорожных и климатических характеристик, а также показателей аварийности ФАД А-322 показал, что они находятся в зоне средних значений по РФ, что позволило выбрать эту дорогу в качестве базы для моделирования. Закономерности, выявленные на данной дороге, могут быть использованы на аналогичных ФАД России, расположенных в той же климатической зоне.

2. На основе корреляционного анализа из 18 базовых элементов фактора дорога – Д выделены 12 постоянных дорожных характеристик, отличающихся наиболее сильной связью со средней аварийностью на участках дорог: сумма центральных углов на участке, объединенная характеристика продольного уклона дороги (сумма произведений величин уклона на его протяженность), максимальная величина уклона, число полос движения, протяженность зоны с возможностью появления животных, моста, ограждения, зоны необеспеченной видимости, характеристика перекрестка, пешеходного перехода, сумма мощности объектов придорожного сервиса, среднегодовая интенсивность.

3. Кластерный анализ позволил разделить участки ФАД на четыре кластера, каждый из которых объединил километровые участки, схожие по совокупности показателей постоянных дорожных характеристик (типовые участки). В каждом кластере определен показатель – уровень потенциального риска K_D^i (ДТП/год).

4. С использованием дискриминантного анализа получена математическая модель, позволяющая отнести участок ФАД к конкретному кластеру и определить на нем соответствующий показатель потенциального риска K_D^i . Адекватность классификационных функций обоснована расчетом Лямбды Уилкса, уровня значимости F -критерия и матрицы классификации, доля верно классифицированных участков составила 95%.

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РИСКА КС В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧНО МЕНЯЮЩЕЙСЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

3.1 Обоснование выбора динамических элементов фактора среда – С

Базовый состав элементов фактора среда – С основан на проведенном анализе зарубежных и российских исследований в данной области (п.1.5.2), который позволил выделить четыре независимых элемента, оказывающих влияние на ДТП:

$$C = \{s_e\}_{e=1}^4 = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}, \quad (3.1)$$

где s_1 – интенсивность движения;

s_2 – метеорологические условия;

s_3 – проведение дорожно-строительных работ;

s_4 – время суток.

Для дальнейших исследований и получения адекватных зависимостей относительного риска возникновения ДТП в зависимости от элементов внешней среды необходимо обосновать конечное множество компонентов данных элементов.

Интенсивность движения (s_1). В рамках определения влияния внешней среды на возможность возникновения аварии необходимо учесть переменный компонент рассматриваемого элемента, который характеризуется изменением интенсивности движения транспортного потока. Для этого проанализированы сведения об интенсивности движения на шести действующих ПУИД за 2015 и 2017 годы. Данные представляют собой информацию о суммарном количестве ТС, прошедших через сечение дороги в прямом и обратном направлении за каждый час суток. Определено, что «характер распределения интенсивности в

течение суток в рамках одного дня недели в различные месяцы схож, а различная амплитуда вызвана сезонными колебаниями» [141, 142].

На рисунке 3.1 представлено распределение часовой интенсивности по произвольным отрезкам времени (июль и октябрь 2015 года) по данным ПУИД км 213+150, что графически подтверждает представленный вывод.

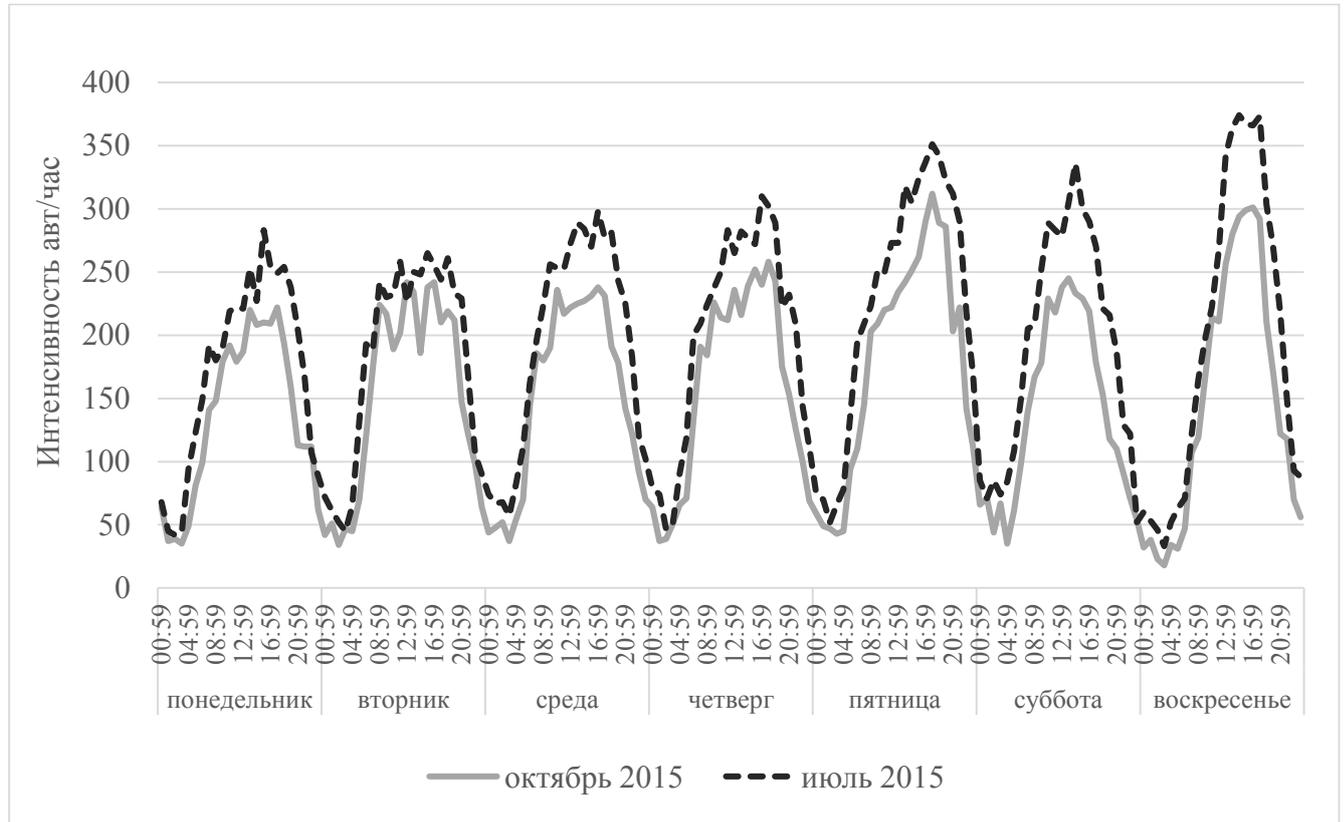


Рисунок 3.1 – Распределение часовой интенсивности на ПУИД Пospelиха (км 213+150)

Это позволяет сделать вывод о том, что переменный компонент интенсивности движения определяется часом суток по дням недели, месяцем. Определены коэффициенты неравномерности для каждого ПУИД: по времени суток – дню недели ($k_{\text{деньнед}}$) и по месяцам года ($k_{\text{мес}}$), которые получены на основе расчета относительной интенсивности. Их значения представлены в Приложении А.

Произведение представленных коэффициентов представляет собой итоговый коэффициент неравномерности – переменный компонент интенсивности движения, а добавление среднегодовой часовой интенсивности в

качестве сомножителя позволяет определить интенсивность в заданный момент времени.

Для оценки адекватности рассчитаны часовые значения интенсивности движения с использованием разработанных коэффициентов в случайно заданные даты, полученные данные сравнены с фактическими. С помощью F -критерия Фишера доказана возможность применения полученных коэффициентов на любых временных промежутках.

Метеорологические условия (s_2). В рамках анализа литературных исследований (п. 1.5.2) выбраны основные следующие основные компоненты: температура воздуха 2 м над поверхностью Земли, °С; атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря, мм. рт. ст.; изменение атмосферного давления за 3 часовой период, мм. рт. ст.; порывы ветра, м/с; величина осадков, накопленных за 12 часов, мм; горизонтальная дальность видимости, км; перепад суточной температуры, °С. Большая часть выбранных переменных могут принимать произвольные значения из теоретического промежутка $(-\infty; \infty)$, значение переменной порывы ветра находится в интервале $[10; \infty)$, горизонтальная дальность видимости: $(0; \infty)$, на практике данные интервалы сужаются согласно климатическим особенностям.

Была выполнена проверка их независимости с помощью оценки мультиколлинеарности переменных. На основе данных с пяти метеостанций, расположенных в зоне ФАД, проведен расчет парных коэффициентов корреляции Пирсона, результаты которого представлены в таблице 3.1.

Большая часть пар переменных не имеют между собой сильной линейной зависимости. Выявлена сильная отрицательная связь только в паре между температурой окружающего воздуха и атмосферным давлением, приведенным к среднему уровню моря (коэффициент корреляции Пирсона больше $|0,8|$).

Таблица 3.1 – Результаты проверки мультиколлинеарности метеорологических элементов на основе корреляционного анализа показателей за период 2015 – 2019 годы

№ пп	Показатель	Температура воздуха, °С	Атм. давление, мм.рт.ст	Изменение давления за последние 3 ч	Порывы ветра, м/с	Дальность видимости, км	Осадки, мм	Перепад суточной температуры, °С
1	Температура воздуха, °С	1,00						
2	Атмосферное давление, мм.рт.ст	-0,81	1,00					
3	Изменение давления за последние 3 ч	-0,07	0,07	1,00				
4	Порывы ветра, м/с	-0,07	-0,02	0,00	1,00			
5	Дальность видимости, км	0,37	-0,30	-0,13	-0,13	1,00		
6	Осадки, мм	0,04	-0,14	0,22	0,05	-0,13	1,00	
7	Перепад суточной температуры, °С	0,17	-0,12	-0,29	0,17	0,07	-0,11	1,00

С помощью факторного анализа, методом главных компонент, в среде Statistica эти метеозаэлементы объединены в одну переменную, расчет которой осуществляется с помощью зависимости:

$$S_{2(\text{темп,давление})} = 0,035 \cdot s_{2(\text{темп})} + 0,058 \cdot s_{2(\text{давление})} + 44,510, \quad (3.2)$$

где $S_{2(\text{темп,давление})}$ – объединенная переменная;

$s_{2(\text{темп})}$ – значение температура воздуха 2 м над поверхностью Земли, °С;

$s_{2(\text{давление})}$ – атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря, мм рт.ст.

Итоговый состав метеорологических элементов (компонентов элемента s_2 – метеорологические условия) представляет собой семь переменных, две из которых объединяются в одну с помощью зависимости (3.2).

Проведение дорожно-строительных работ (s_3). Среди видов дорожно-строительных работ для дальнейшего моделирования выбрано проведение капитального ремонта дорог и ремонта мостов, поскольку именно этот тип работ характеризуется наиболее значительным изменением условий движения и обычно связан с запретом движения по одной из полос движения и значительным изменением скорости движения.

Время суток (s_4). В качестве основы для выбора компонентов принято астрономическое деление суток (день, гражданские, навигационные, астрономические сумерки и ночь).

Для проведения дальнейшего моделирования обосновано множество элементов фактора среда – S , включающее в себя четыре основных элемента и их компоненты: интенсивность движения (итоговый коэффициент неравномерности), метеорологические условия (осадки, порывы ветра, изменение атмосферного давления за 3 часовой период, перепад суточной температуры, горизонтальная дальность видимости, обобщенная переменная на основе температуры воздуха и атмосферного давления), проведение дорожно-строительных работ (капитальный ремонт и ремонт мостов), время суток (день, гражданские, навигационные, астрономические сумерки, ночь).

3.2 Определение зависимостей относительного риска возникновения ДТП от элементов внешней среды

Получение адекватных зависимостей относительного риска возникновения ДТП от элементов внешней среды требует качественных и точных данных о ее значениях в момент ДТП.

Для исследования проанализированы все ДТП, произошедшие на ФАД А-322 за период с 2012 по 2019 год. Начальные данные (дата, время, место) получены на основе анализа карточек оперативного учета ДТП (УГИБДД ГУ МВД России по Алтайскому краю, территориальные подразделения ГИБДД в муниципальных образованиях). Однако, в связи с тем, что данный источник информации не содержит количественную информацию о значениях метеорологических условий, интенсивности движения в момент ДТП, информация о времени суток и проведении дорожно-строительных работ не характеризуется требуемым уровнем детализации (нет сведений о виде сумерек, о виде проведения дорожно-строительных работ), для каждой аварии из анализируемой выборки (2012 – 2019 годы) восстановлена информация о значениях элементов в момент ДТП: о погодных условиях – на основе архивов метеоусловий на ближайших к месту ДТП метеостанциях; о времени суток – на основе автоматизированного расчета времени суток в соответствии с координатами ДТП; о дорожных работах и интенсивности движения – от ФКУ «Упрдор Алтай». Полученные сведения являются официальной информацией и получены на основе приборов и датчиков, прошедших проверку в установленном порядке, что доказывает корректность их использования при анализе ДТП. Пример данных о ДТП, восстановленных для получения зависимостей, представлен в Приложении Б.

Для проверки адекватности зависимостей выборка разделена на обучающую (2012 – 2018 годы) и тестовую (2019 год).

В качестве основы для получения зависимостей выбрана теория относительного риска. Влияние каждого из элементов внешней среды оценен с помощью частного коэффициента K_{s_e} : e -й частный коэффициент является безразмерным и отражает влияние e -го элемента (s_e , $e = 1 \dots 4$) на величину относительного риска возникновения ДТП во времени, который отражает во сколько раз увеличивается/уменьшается риск в результате действия рассматриваемого элемента. Для получения частных коэффициентов

анализировались данные о значениях четырех элементов фактора среда – С для каждого ДТП из полученной выборки.

Интенсивность движения s_1 . На стр. 43 (п. 1.5.1) сформулирована гипотеза о двухкомпонентном составе интенсивности движения: переменный компонент и постоянный (учтен при моделировании потенциального риска на основе постоянных дорожных характеристик). Для оценки интенсивности как элемента внешней среды принято использовать итоговый коэффициент неравномерности, который рассчитывается с помощью произведения коэффициентов неравномерности времени суток – дня недели и месяца. В связи с отличием в коэффициентах неравномерности между различными ПУИД для повышения точности оценки предложено использовать доли близости к правому и левому ПУИД (рисунок 2.5). На основании выводов, полученных в п. 1.5.2 и п. 3.1 принято, что относительный риск K_{s_1} прямо пропорционален коэффициенту неравномерности. Адекватность использования коэффициентов неравномерности для оценки интенсивности движения показана в п. 3.1.

Итоговая зависимость для расчета влияния интенсивности в определенный момент времени на относительный риск возникновения ДТП приняло вид:

$$K_{s_1} = (\alpha \cdot k_{\text{деньнед}}^a + \beta \cdot k_{\text{деньнед}}^b) \cdot (\alpha \cdot k_{\text{мес}}^a + \beta \cdot k_{\text{мес}}^b), \quad (3.3)$$

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 (значения коэффициентов приведены в Приложении А).

Метеорологические условия s_2 . Для исследования влияния метеорологических условий на относительный риск возникновения ДТП проанализированы шесть выбранных компонентов ($s_{2(w)}$):

$S_{2(1)}$ – величина осадков, накопленных за 12 часов, мм;

$S_{2(2)}$ – порывы ветра, м/с;

$S_{2(3)}$ – изменение атмосферного давления за 3 часовой период, мм.рт.ст;

$S_{2(4)}$ – перепад суточной температуры, °С;

$S_{2(5)}$ – горизонтальная дальность видимости, км;

$S_{2(6)} = S_{2(\text{темп,давление})}$ обобщенная переменная, рассчитываемая по формуле (2.4) на основе температуры воздуха, °С и атмосферного давления, приведенного к среднему уровню моря, мм рт.ст.

Для определения зависимостей проанализированы данные о метеоусловиях в момент ДТП, полученные с пяти метеостанций, расположенных в зоне ФАД А-322. Для каждого ДТП из анализируемой выборки (2012 – 2019 годы) определялась ближайшая метеостанция и восстанавливались необходимые значения метеорологических элементов в момент аварии.

Основной гипотезой при выявлении характера влияния метеорологических элементов на относительный риск возникновения ДТП на ФАД выступило предположение о нелинейности закономерностей. Для их определения сравнивались шесть пар выборок по метеоэлементам, полученных за единый промежуток времени: информация о погодных условиях – G (сведения о количественном значении метеоэлемента за исследуемый временной период на метеостанции – климатическая частота), которую с определенной долей условности можно принять за генеральную совокупность, и выборка аварийности – E (данные о количественном значении этого метеоэлемента в момент аварий, территориально близких к метеостанции). Совокупность G отражает климатические условия района/региона. Сделана гипотеза о том, что влияние со стороны исследуемого компонента на риск существует в том случае, если распределение случайных величин в выборках значительно различается. Если распределения в выборках одинаково (графическое отражение отношений распределений представляет собой прямую параллельную оси абсцисс, пересекая ось ординат в точке $[0, 1]$), то влияние исследуемого фактора

отсутствует [143, 144]. Поскольку шкала измерения исследуемых величин является непрерывной, то определение закона ее распределения возможно с помощью разбиения возможного диапазона значений исследуемой величины на интервалы. Каждый w -й метеорологический элемент разбит на ng равных интервалов (ng определено с помощью правила Стерджеса).

В рамках каждого интервала $(\eta, \mu]$ по выборкам G и E рассчитаны относительные частоты (частоты) $N_{G(w)}^{(\eta, \mu]}$ и $N_{E(w)}^{(\eta, \mu]}$ соответственно: отношение числа появлений события (попадания в интервал) к общему количеству наблюдений. При расчете частоты в выборке E , дополнительно введен поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения ДТП по месяцам года, определенный как отношение количества ДТП за месяц года к общему числу ДТП; частость $N_{E(w)}^{(\eta, \mu]}$ рассчитывалась на основе суммы поправочных коэффициентов для каждой аварии, вместо суммы ДТП. Указанный коэффициент введен для того, чтобы исключить «влиятельность» летних ДТП (которых традиционно больше) на общий закон распределения аварий по осадкам. Различие в распределениях частостей двух групп будет отражать величину влияния метеоэлемента на аварийность. Приведенный анализ основан на одном из фундаментальных свойств относительной частости – свойстве относительной устойчивости при большом количестве измерений [145].

Для определения значимости разницы распределений использован критерий χ^2 , как один из наиболее распространенных непараметрических критериев для оценки значимости различий двух относительных показателей. Его расчет используется для проверки гипотезы о том, что наблюдаемые частоты соответствуют ожидаемым (гипотеза H_0). В данном случае наблюдаемые частоты определяются по выборке E , а ожидаемые – по выборке G . Число ожидаемых частот в каждом интервале больше пяти, что доказывает возможность применения выбранного критерия. Расчет критерия χ^2 по рассматриваемым шести компонентам показал, что гипотеза H_0 отклоняется: для каждого из выбранных

компонентов критерий χ^2 превышал его критическое значение, что доказывает различие в распределениях с вероятностью $p=0,05$.

Проведено сравнение частот между группами и рассчитан коэффициент влияния метеоэлемента в интервале $(\eta, \mu]$ с помощью выражения:

$$k_{s_2(w)}^{(\eta, \mu]} = \frac{N_{E(w)}^{(\eta, \mu]}}{N_{G(w)}^{(\eta, \mu]}} \quad (3.4)$$

Коэффициент $k_{s_2(w)}^{(\eta, \mu]}$ представляет собой величину относительного риска возникновения ДТП в результате влияния w -го метеоэлемента и отражает во сколько раз увеличивается риск, при нахождении значения w -го метеорологического элемента в интервале $(\eta, \mu]$, т. е. при $w \in (\eta, \mu]$. Зависимость относительного риска возникновения ДТП в результате действия w -го метеоэлемента представляет собой совокупность коэффициентов $k_{s_2(w)}^{(\eta, \mu]}$.

Для всей протяженности дороги принята единая закономерность влияния w -го метеорологического элемента на риск возникновения ДТП. Этот вывод подтверждается тем, что, не смотря на высокую протяженность дороги, она проходит в одной климатической зоне (умеренный континентальный по Б.П. Алисову, *Dwb* континентальный с сухой зимой и теплым летом – по В.П. Кеппену) [143].

Для проверки адекватности полученных закономерностей, представленных коэффициентами $k_{s_2(w)}^{(\eta, \mu]}$ для каждого w -го метеоэлемента проведено их сравнение с результатами, полученными на тестовой выборке с помощью аналогичных расчетов. Проверка адекватности проводилась с использованием критерия согласия χ^2 . Его расчеты показали, что для всех шести элементов метеорологических условий, гипотеза о равенстве распределений в тестовой и обучающей выборках принимается на уровне значимости $p=0,1$.

С целью получения непрерывных зависимостей относительного риска возникновения ДТП от значений метеоэлементов проведена аппроксимация; в

качестве аргументов функции приняты середины интервалов $(\eta, \mu]$. В результате для каждого метеорологического элемента получена функциональная зависимость относительного риска от значения компонента в пределах его области значений.

На рисунках 3.2 – 3.7 графически представлены результаты аппроксимации.

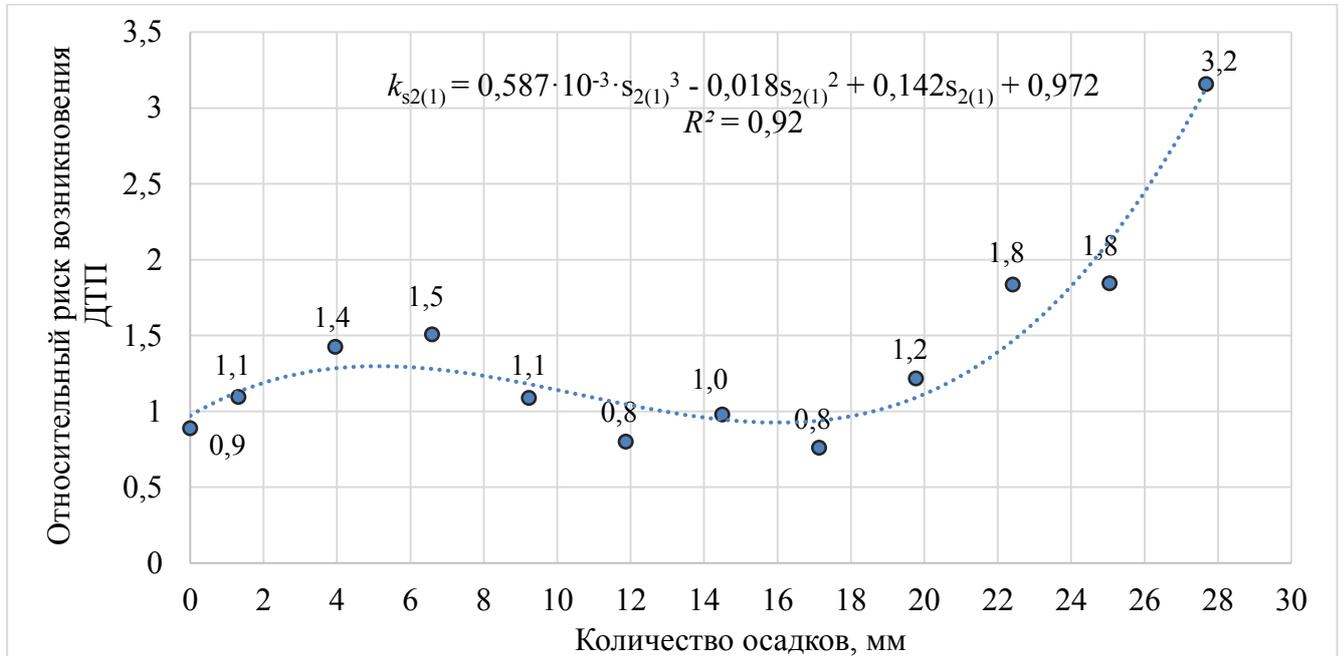


Рисунок 3.2 – Зависимость относительного риска от количества накопленных осадков

Зависимость влияния количества осадков на относительный риск возникновения ДТП имеет волнообразный характер: наибольшее влияние оказывают осадки в интервале 2,64–7,91 мм, а затем более 18,45 мм. Этот вывод позволил провести аппроксимацию с использованием полиномиальной зависимости третьего порядка:

$$k_{s_{2(1)}} = 0,587 \cdot 10^{-3} \cdot s_{2(1)}^3 - 0,018 \cdot s_{2(1)}^2 + 0,142 \cdot s_{2(1)} + 0,972. (3.5)$$

Для оценки качества аппроксимации определен коэффициент детерминации R^2 . Его значение составило 0,92. Волнообразный характер влияния может быть обоснован с точки зрения восприятия водителями обстановки.

Влияние порывов ветра (рисунок 3.3) увеличивается с ростом значения метеорологического элемента, наиболее сильное влияние оказывают порывы ветра от 21,6 м/с. При отсутствии порывов ветра, $k_{s_2(2)}$ не вычисляется.

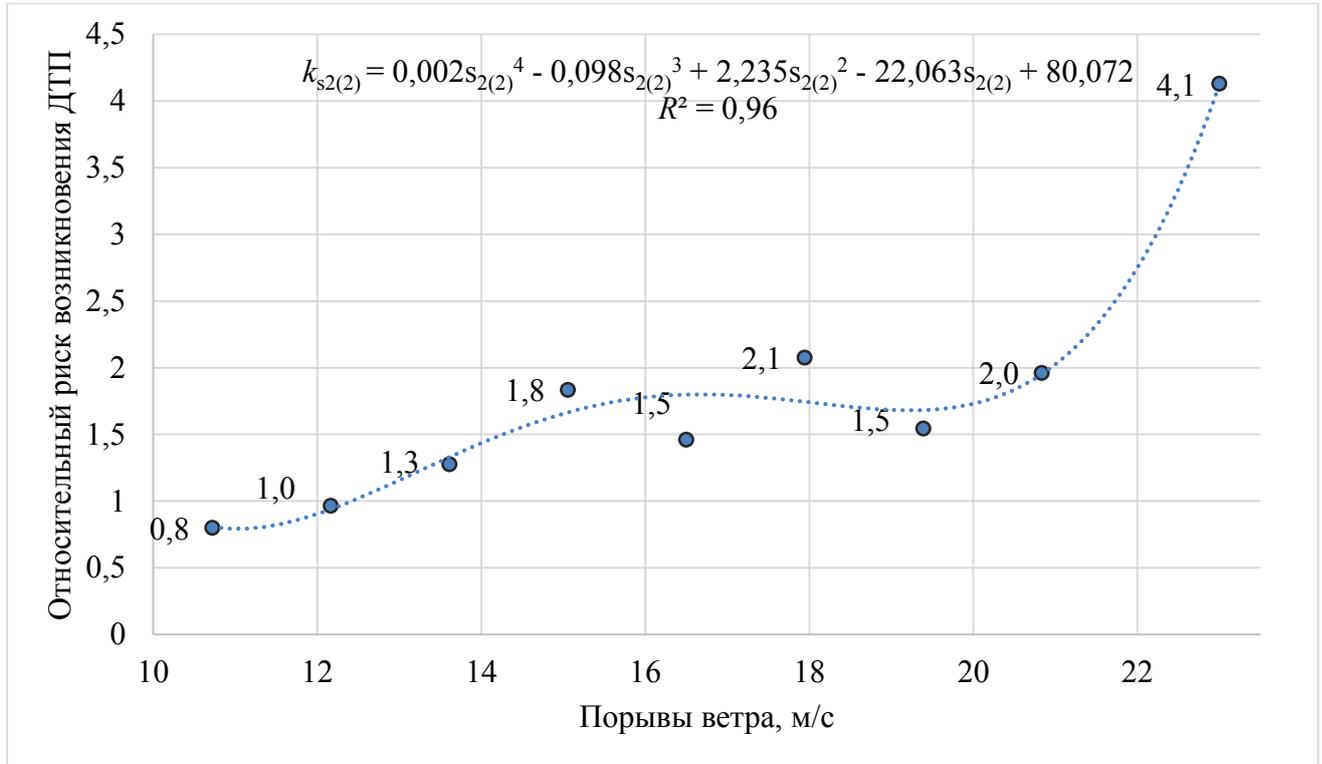


Рисунок 3.3 – Зависимость относительного риска от порывов ветра

Зависимость представляет собой полиномиальную функцию четвертого порядка, коэффициент детерминации $R^2=0,92$:

$$k_{s_2(2)} = 0,002 \cdot s_{2(2)}^4 - 0,098 \cdot s_{2(2)}^3 + 2,235 \cdot s_{2(2)}^2 - 22,063 \cdot s_{2(2)} + 80,072; s_{2(2)} > 10 \quad (3.6)$$

Характер влияния изменения давления на относительный риск возникновения ДТП также носит нелинейный характер (рисунок 3.4). Рост риска отмечается при положительном изменении рассматриваемого метеоэлемента, наибольшее увеличение фиксируется при значениях, превышающих 3,08 мм.рт.ст. Снижение давления (отрицательное изменение) практически не оказывает влияния.

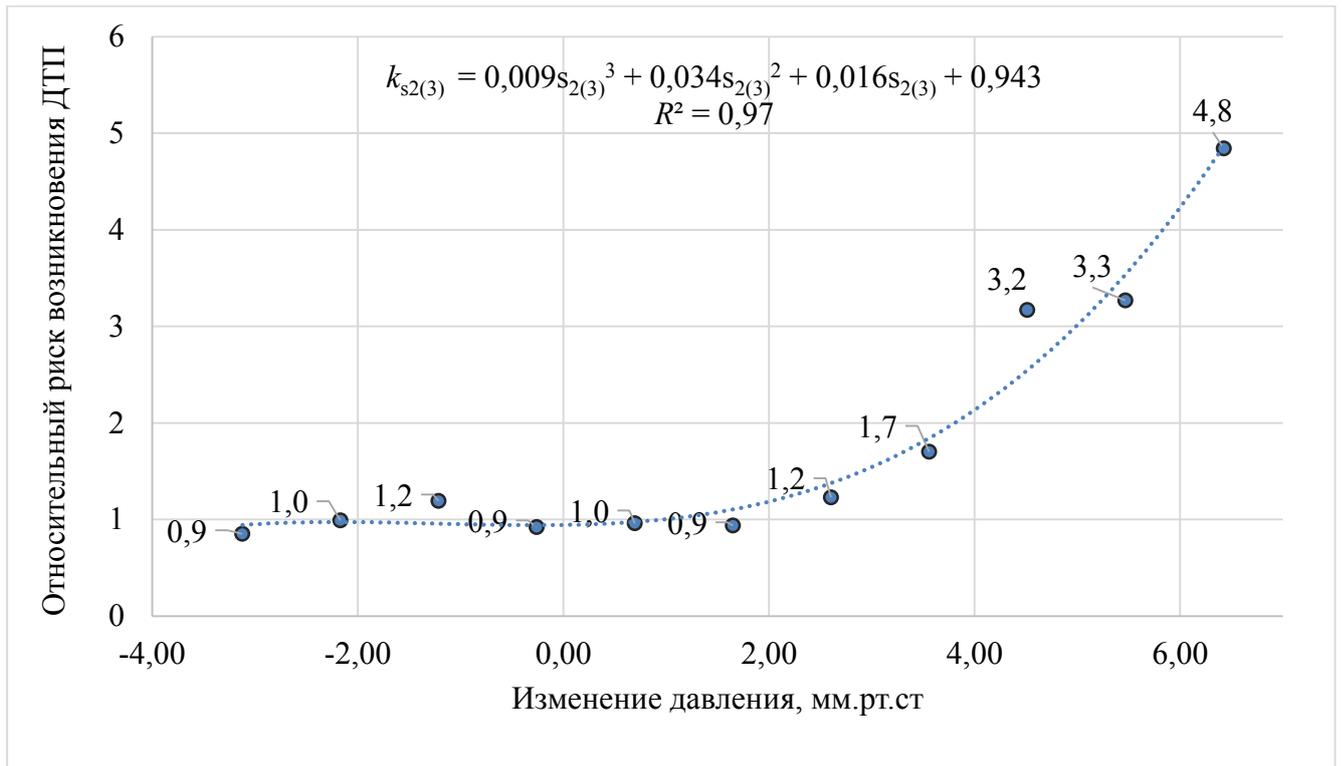


Рисунок 3.4 – Зависимость относительного риска от изменения давления

Зависимость представляет собой полиномиальную функцию третьего порядка, коэффициент детерминации $R^2=0,97$:

$$k_{s_{2(3)}} = 0,009 \cdot s_{2(3)}^3 - 0,034 \cdot s_{2(3)}^2 + 0,016 \cdot s_{2(3)} + 0,944. \quad (3.7)$$

Зависимость относительного риска возникновения ДТП от перепада суточной температуры представляет собой перевернутую колоколообразную кривую (рисунок 3.5), что позволяет аппроксимировать ее полиномиальной функцией второго порядка ($R^2=0,93$):

$$k_{s_{2(4)}} = 0,003 \cdot s_{2(4)}^2 + 0,023 \cdot s_{2(4)} + 0,879. \quad (3.8)$$

Более высокое значение метеорологического элемента по модулю соответствует более высокому относительному риску возникновения ДТП.

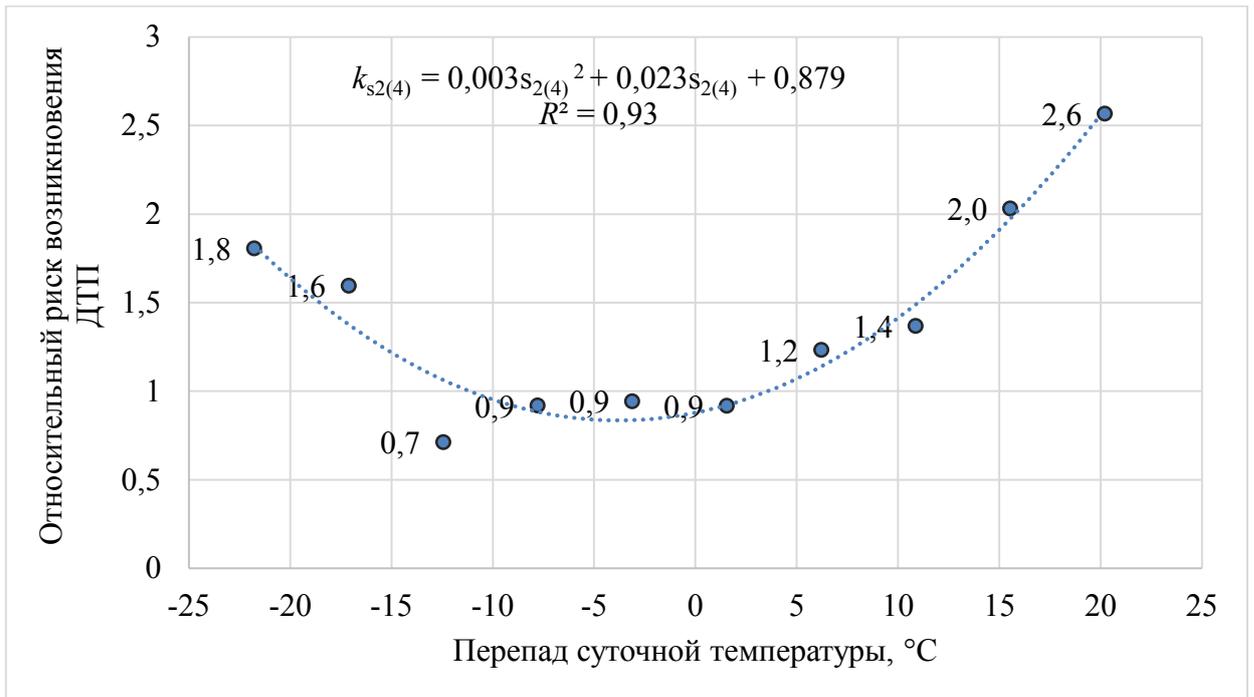


Рисунок 3.5 – Зависимость относительного риска от перепада суточной температуры

На рисунке 3.6 представлена зависимость относительного риска возникновения ДТП от дальности видимости.

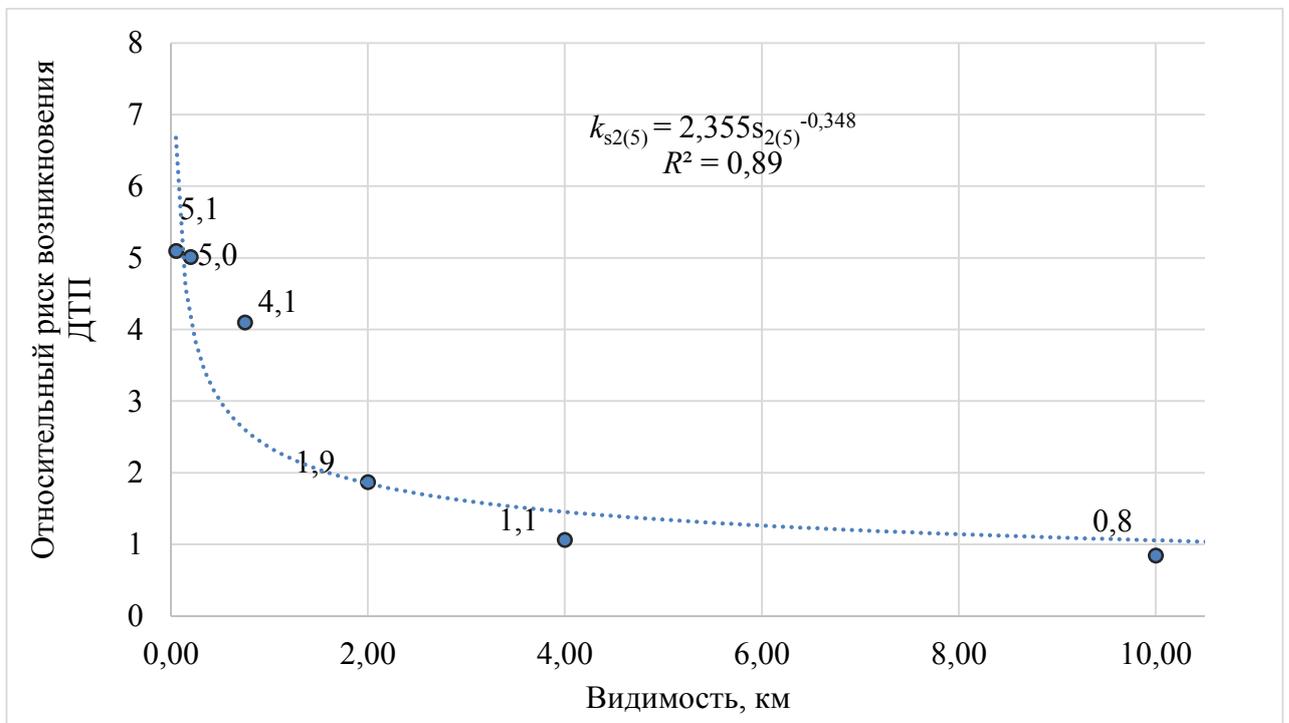


Рисунок 3.6 – Зависимость относительного риска от дальности видимости

Выявлено, что видимость менее 2 км способствует увеличению риска возникновения ДТП, наибольшее влияние отмечается при минимальном значении видимости: при снижении ее до величины менее 200 метров относительный риск возникновения ДТП увеличивается в пять раз. Характер кривой позволяет аппроксимировать ее степенной функцией ($R^2=0,89$):

$$k_{s_{2(5)}} = -2,355 \cdot s_{2(5)}^{-0,348}. \quad (3.9)$$

Зависимость относительного риска возникновения ДТП от объединенной переменной (определяется по формуле (3.2) на основе температуры и давления) представлена на рисунке 3.7.

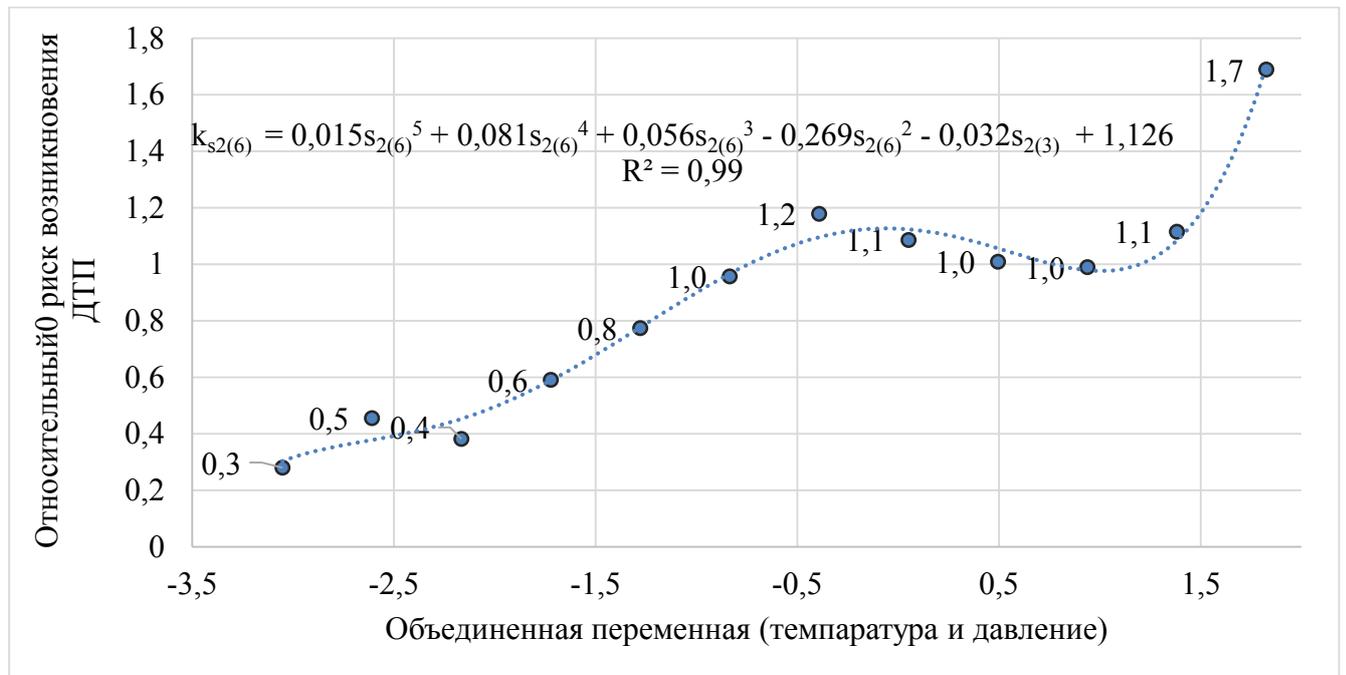


Рисунок 3.7 – Зависимость относительного риска от количественного значения объединенной переменной (температура и давление)

В результате аппроксимации получена полиномиальная функция пятого порядка ($R^2=0,99$):

$$k_{s_{2(6)}} = 0,015 \cdot s_{2(6)}^5 + 0,081 \cdot s_{2(6)}^4 + 0,056 \cdot s_{2(6)}^3 - 0,269 \cdot s_{2(6)}^2 - 0,032 \cdot s_{2(6)} + 1,126. \quad (3.10)$$

В связи с отсутствием прямого физического смысла объединенной переменной ее прямая интерпретация затруднена, однако вид регрессионной зависимости (3.2) позволяет сделать вывод о том, что увеличение объединенной переменной объясняется высокими значениями температуры и низкими значениями атмосферного давления и наоборот. Соответственно, наибольшее значение относительного риска наблюдается в двух точках: при значении температуры воздуха около 0°C и давлению около 770 мм.рт.ст; и при высоких значениях температуры (более 29°C) и низком атмосферном давлении (менее 753 мм.рт.ст).

Для определения совокупного влияния метеорологических условий на относительный риск возникновения ДТП применена мультипликативная модель, коэффициент K_{S_2} определяется с помощью выражения:

$$K_{S_2} = \prod_{w=1}^6 k_{S_2(w)}, \quad (3.11)$$

где $k_{S_2(w)}$ – коэффициент влияния w -го метеорологического элемента (компонента);

w – индекс метеорологического элемента, $w \in 1 \dots 6$.

Подобный тип анализа применен в работе [80, 81], что подтверждает применимость метода в подобных исследованиях.

При использовании модели рекомендуется учитывать недостаточную видимость, связанную с другими условиями, например, с пожарами в полях и лесах.

Проведение дорожно-строительных работ s_3 . Для моделирования влияния выбранного элемента на относительный риск возникновения ДТП на ФАД выделены участки, подвергавшиеся капитальному ремонту и ремонту мостов, отмечен период и год проведения.

На рисунке 3.8 представлен пример изменения условий движения при проведении ремонта через реку Бураниха (км 38+018) на рассматриваемой автомобильной дороге.



Рисунок 3.8 – Изменение режима движения при проведении проведения ремонта через реку Бураниха, км 38+018

Для i -го участка проведения дорожных работ рассчитано количество ДТП в период ремонта ($AC_{кр}$) и число аварий в аналогичный период в другие годы, на основе которых рассчитано среднее значение аварийности в период отсутствия ремонта ($\overline{AC}_{бр}$) [124]. Частный коэффициент влияния дорожных работ на i -ом участке рассчитывался по формуле (3.12):

$$k_{S_3}^i = \frac{AC_{кр}}{AC_{бр}}, \quad (3.12)$$

где $AC_{кр}$ – количество ДТП на i -ом участке в год проведения капитального ремонта;

$AC_{бр}$ – количество ДТП на i -ом участке в год без капитального ремонта.

Итоговый коэффициент получен путем вычисления среднего из частных коэффициентов:

$$K_{S_3} = \frac{\sum_{i=1}^{num_r} k_{S_3}^i}{num_r} = 1,61, \quad (3.13)$$

где num_r – количество участков, на которых проводился капитальный ремонт или ремонт мостов за выбранный период исследования.

Относительная стандартная ошибка составила 9,79%. Расчет коэффициента вариации ($30,1\% < 33\%$) доказал однородность совокупности и возможность использования среднего в качестве точечной оценки. Проверка адекватности зависимости на тестовой выборке осуществлена с помощью расчета относительной погрешности, величина которой составила 8% и является приемлемым результатом. Полученный коэффициент можно использовать при аналогичных условиях – ограничение движения в результате препятствия на одной из полос движения.

Время суток s_4 . Для определения зависимости риска возникновения ДТП от наступления периода суток (ночь (T_1), астрономические (T_2), навигационные (T_3), гражданские сумерки (T_4) и день (T_5)) для каждого ДТП из выборки определен соответствующий период суток, в течение которого произошла авария. В пределах года периоды суток имеют различную продолжительность и наступают в различные моменты времени [9]. Предположено, что величина влияния периода суток на относительный риск возникновения ДТП может быть рассчитана на основе сравнения двух частотей: частоты ДТП, произошедших в рассматриваемый период суток (отражает распределение аварийности по периодам суток) и частоту этого периода суток (отражает географическое положение места исследования).

Для обеспечения независимости времени суток от интенсивности движения введен поправочный коэффициент (k_{in}), который рассчитывался для каждого ДТП как обратное значение коэффициента интенсивности K_{S_1} .

Влияние T_c -го периода суток определялось с помощью выражения:

$$k_{T_c} = \frac{\sum k_{in}^{T_c}}{p_{T_c}}, \quad (3.14)$$

где $\sum k_{in}^{T_c}$ – сумма поправочных коэффициентов ДТП, которые произошли в T_c -й период суток; p_{T_c} – доля периода суток по его продолжительности; T_c – период суток: T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 .

Расчет критерия χ^2 по рассматриваемым пяти периодам суток показал, что гипотеза H_0 отклоняется: критерий χ^2 превышает критическое значение, что доказывает различие в распределениях с вероятностью $p=0,05$.

На основе совокупности k_{T_c} получен коэффициент влияния времени суток K_{S_4} , представляющий их совокупности, расчет которого осуществляется с помощью кусочно-линейной функции в зависимости от времени:

$$K_{S_4} = \begin{cases} 1,28, & t \in T_1 \\ 1,15, & t \in T_2 \\ 1,13, & t \in T_3 \\ 1,02, & t \in T_4 \\ 0,81, & t \in T_5 \end{cases}, \quad (3.15)$$

где t – время;

T_c – период времени, соответствующий определенной части суток.

Для оценки адекватности зависимости на тестовой выборке проводились аналогичные расчеты. Полученные результаты сравнены с модельными значениями на основе критерия согласия χ^2 . Его расчеты показали, распределения обучающей и тестовой выборок могут быть приняты равными при уровне значимости $p=0,07$, что доказывает адекватность зависимости (3.15).

Коэффициенты K_{S_1} , K_{S_2} , K_{S_3} , K_{S_4} представляют собой безразмерные величины, отражающие относительный риск возникновения ДТП в зависимости от значений (показателей) соответствующих элементов внешней среды. Поскольку элементы являются независимыми, то их совокупное влияние можно оценить на основе произведения частных коэффициентов. Применение мультипликативных моделей соответствует теории риска (в данном случае риск носит детерминированный характер) и оценка относительного риска возникновения ДТП в результате действия внешней среды может быть проведена с помощью выражения:

$$K_S = \prod_{e=1}^4 K_{S_e}, \text{ где } K_{S_e} = f(s_e). \quad (3.16)$$

Использование мультипликативной функции (3.16) позволяет определить безразмерную величину относительного риска возникновения ДТП в результате совокупного влияния основных элементов внешней среды (K_S).

3.3 Модель формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и элементов внешней среды

Коэффициенты K_D^i и K_S представляют собой независимые величины: K_D^i отражает уровень потенциального риска на i -ом участке в зависимости от совокупности постоянных дорожных характеристик (фактора дорога – Д); K_S представляет собой величину относительного риска возникновения ДТП во времени в зависимости от совокупности элементов фактора среда – С. Полученные коэффициенты могут использоваться самостоятельно, однако для определения риска возникновения КС на i -ом километровом участке ФАД в определенное время требуется обобщенный коэффициент, отражающий совокупное влияние выбранных факторов. Независимость и физический смысл коэффициентов K_D^i и K_S позволяют использовать мультипликативную модель [146] для определения значения риска возникновения КС в определенный момент времени на i -ом участке ФАД ($K_{оп}^i$), которая с учетом полученных зависимостей представлена в виде:

$$K_{оп}^i = g(s_e) \cdot v(d_p^i), \quad (3.17)$$

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

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

s_e – элементы внешней среды ($e=1\dots4$);

$K_{s_e} = f(s_e)$ – частные коэффициенты влияния e -го элемента внешней среды на относительный риск возникновения ДТП (3.3), (3.5) – (3.11), (3.13), (3.15);

d_p^i – p -е постоянные дорожные характеристики на i -ом участке ($p=1\dots12$);

$DF_z(d_p)$ – классификационные функции, $z=1, 2, 3, 4$, (2.5) – (2.8).

$K_{оп}^i$ отражает значение риска возникновения КС на i -ом участке ФАД в заданное время в результате совокупного влияния факторов внешней среды и постоянных дорожных характеристик (ДТП/год).

Его расчет основан на произведении двух независимых величин: постоянном компоненте (K_D^i) и переменном (K_S), таким образом, отражен риск возникновения КС в условиях динамично изменяющейся внешней среды [146].

Полученная модель отличается тем, что позволяет определить потенциальное возникновение ДТП на основе риска КС на участке ФАД, определяемого постоянными характеристиками дороги и изменением условий внешней среды. Кроме того, на ее основе возможна оценка риска в текущий момент и осуществление прогнозирования (на основе прогнозных значений элементов фактора среда – С).

Для оценки возможности использования полученной модели в целях повышения БДД на ФАД необходимо провести анализ ее адекватности.

Оценка адекватности модели проводится на основе проверки гипотезы о том, что отклик реальной системы отличается от модельного результата не более чем на заданную величину. Чаще всего она основана на расчете F -критерия или иных параметрических критериев, применение которых требует нормальности распределения выборок. Однако отклик исследуемой системы относится к номинальной шкале (произошло ДТП / не произошло ДТП), поэтому применение таких критериев в данном случае недопустимо.

Проверка адекватности модели проводилась на основе сравнения модельных показателей риска возникновения КС, которые вычислялись с интервалом 3 часа на основе значений фактора среда – С, сведений об уровне

потенциального риска (при выявлении высокого риска на протяжении нескольких часов точки объединялись) с данными о фактической аварийности (ДТП с пострадавшими и с материальным ущербом). Вычисления проводились на отрезке дороги длиной 50 км: км 97+000 – км 147+000, представляющей собой участки всех четырех кластеров, сведения получены за 2019 год. Рассчитанные модельные значения были соотнесены с информацией о ДТП, в результате чего определялось, был ли повышен риск КС во время возникновения аварии. Итоговый результат представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Итоговый результат проверки адекватности модели

		Фактические значения	
		ДТП произошло	ДТП не произошло
Прогнозные значения	Предсказана КС	43	330
	Не предсказана КС	28	1745

Всего в заданный период фактически отмечено 71 ДТП из которых 43 было верно определено с помощью моделирования, зафиксировано 2075 безопасных периодов времени из которых 1745 спрогнозировано.

Проведена проверка модели на основе расчета коэффициента точности прогнозирования (T) по формуле:

$$T = 100\% - \frac{\sum |\text{Факт} - \text{Прогноз}|}{\text{ит}_T} \cdot 100\%, \quad (3.17)$$

где Факт – фактические значения; Прогноз – прогнозные значения, ит_T – общее количество.

Итоговая точность прогнозирования составила 83,3%. Такое значение является приемлемым в связи со следующими обстоятельствами: при прогнозе не учтена реакция служб, ответственных за БДД, которые своими действиями, предотвратили переход КС в ДТП.

Решения, принятые на основе полученного прогноза на отрезке дороги протяженностью 50 км, могли бы предотвратить 11 ДТП с пострадавшими, что позволило бы избежать ранений 20 и гибель четырех человек, а также 32 ДТП без пострадавших.

Проверка адекватности модели доказала возможность ее применения для оценки и прогнозирования риска возникновения КС в заданное время в целях повышения БДД на ФАД, что ставит необходимость разработки программного приложения для автоматизации расчета и исключению человеческих ошибок.

3.4 Разработка программного приложения для оценки и прогнозирования риска возникновения КС

Одной из наиболее распространенных моделей разработки программного обеспечения является каскадная модель, поэтому она выбрана в качестве основы для программной реализации расчета риска возникновения КС на ФАД. Первым этапом разработки программного обеспечения (в частности приложений) является анализ требований. Предполагается, что пользователями приложения могут быть работники ведомств, ответственных за БДД, и применение программы необходимо для планирования действий по повышению БДД в периоды увеличенного риска возникновения ДТП.

Следующим этапом является проектирование программного обеспечения, в рамках которого выбрана архитектура построения информационной системы, представляющая собой централизованную структуру.

Для реализации этапа программирования выбран язык Java, являющийся объектно-ориентированным языком. Одним из основных его достоинств является кроссплатформенность, которое важно при перспективном переходе органов исполнительной власти и государственных учреждений с широкораспространенного Windows на отечественное программное обеспечение.

Исходными данными для использования приложения являются: информация о метеорологических условиях; проведении дорожных работ; времени суток, а также сведения о часе суток; дне недели и месяце – для определения значения переменного компонента интенсивности движения. Из базы данных извлекается информация об уровне потенциального риска K_D^i . На основе зависимостей (3.16) и (3.17) определяется коэффициент K_S и значение риска возникновения КС ($K_{оп}^i$) соответственно. Указанные показатели являются выходными данными программы. Алгоритм расчета и работы приложения представлен на рисунке 3.9.

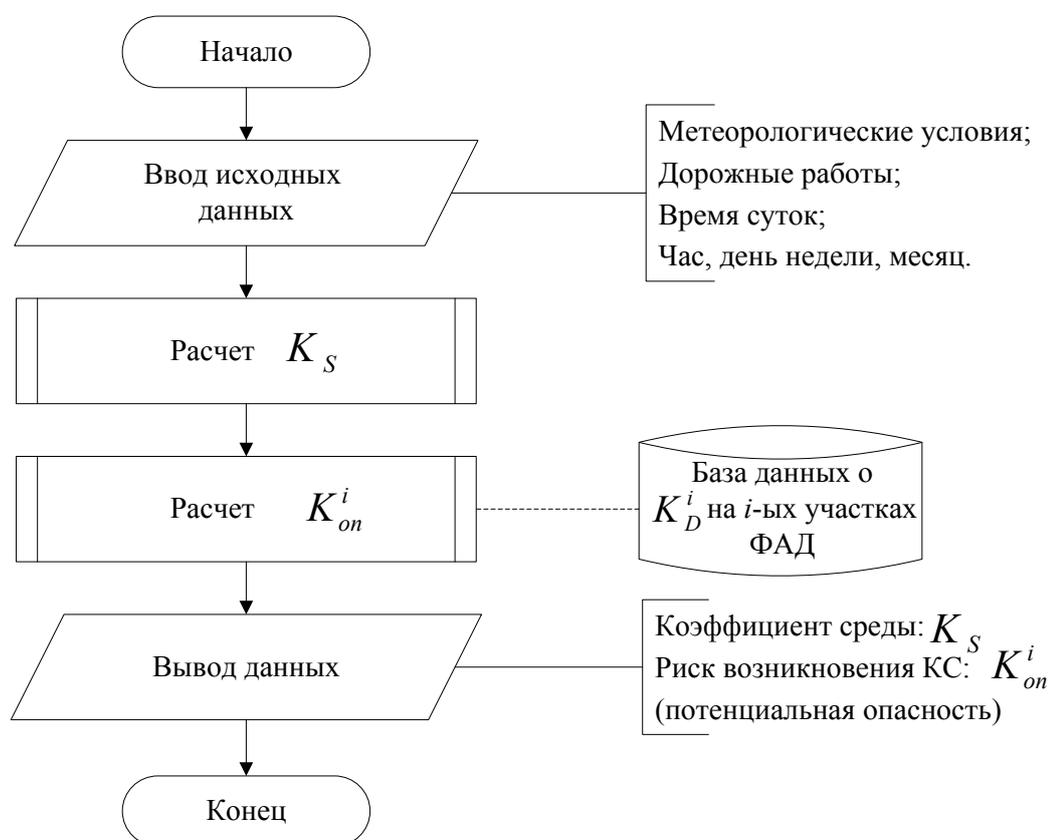


Рисунок 3.9 – Алгоритм расчета риска возникновения КС в разработанном программном приложении

Реализация разработанного программного приложения представлена на рисунке 3.10. Рекомендуется проводить расчет для отрезков дороги менее 50 км, чтобы обеспечить корректную информацию о погодных условиях и времени суток. В программном приложении риск возникновения КС обозначен как потенциальная опасность.

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

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

Рисунок 3.10 – Работа программного приложения (пример расчета риска возникновения КС – потенциальной опасности)

Тестирование показало работоспособность приложения: расчеты, проведенные с его использованием и без него, показывают одинаковые результаты. Программа имеет свидетельства о регистрации (приложение Г).

Разработанное приложение позволяет автоматизировать и ускорить расчет риска возникновения КС заинтересованными лицами и избежать ошибок по причине «человеческого фактора».

Выводы по главе 3

1. В качестве основных динамически изменяющихся во времени элементов внешней среды и их компонентов выбраны и обоснованы: интенсивность движения (переменный компонент, представляющий собой произведение коэффициентов неравномерности часа – дня недели и месяца), метеорологические условия (температура воздуха; изменение атмосферного давления за 3 часовой период; порывы ветра; величина осадков, накопленных за 12 часов; горизонтальная дальность видимости; перепад суточной температуры), проведение дорожно-строительных работ (капитального ремонта и ремонта мостов), время суток (день, гражданские, навигационные, астрономические сумерки, ночь).

2. Определены зависимости относительного риска возникновения ДТП от четырех элементов внешней среды – интенсивности движения, метеорологических условий, проведения дорожно-строительных работ, времени суток, на основе использования теории относительного риска. Зависимость относительного риска ДТП от интенсивности представляет собой прямую линейную пропорциональность; от метеорологических условий: полиномиальную функцию третьего порядка (количество накопленных осадков, изменение атмосферного давления за 3 часа), полиномиальную функцию четвертого порядка (порывы ветра), полиномиальную функцию второго порядка (перепад суточной температуры), степенную функцию (дальность видимости), полиномиальную функцию пятого порядка (объединенная переменная по переменным атмосферное давление и температура воздуха); зависимости относительного риска от

проведения дорожно-строительных работ и времени суток представляют собой кусочно-линейные функции. Проверка полученных закономерностей на тестовой выборке подтвердила их адекватность.

3. Разработана математическая модель формирования риска возникновения КС в результате совокупного действия постоянных дорожных характеристик и динамично меняющейся внешней среды. Ее основу составляет мультипликативная функция, аргументами которой является уровень потенциального риска (отражающий влияние постоянных дорожных характеристик) и относительный риск возникновения ДТП во времени в результате влияния элементов внешней среды. Проверка адекватности модели показала, что коэффициент точности прогнозирования составляет 83,3%.

4. Разработано программное приложение, позволяющее автоматизировать и ускорить расчет риска возникновения КС. Тестирование показало, что приложение может использоваться для практического применения. На разработанную программу получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, которые представлены в приложении Г.

4. МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ФЕДЕРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

4.1 Структура системы оперативного управления на ФАД

Разработка методики обеспечения БДД на ФАД включает оперативное реагирование на повышенный риск возникновения КС. В соответствии с действующим законодательством принятие решений о необходимости реализации оперативных мероприятий по повышению БДД на ФАД исполняется на региональном уровне. Уровень развития и функционирования интеллектуальной транспортной системы (ИТС) на ФАД многих регионов не позволяет применять полностью автоматизированное управление дорожным движением, поэтому в настоящее время управление БДД осуществляется уполномоченными государственными органами. Анализ их работы выявил недостатки системы оперативного управления БДД: низкая координация ответственных ведомств, отсутствие критериальных требований к принятию решений по оперативному реагированию на повышенный риск возникновения КС и алгоритмов работы, что ведет к низкой эффективности порядка взаимодействия. Трансформация проблем в цели и выявление причинно-следственной связи позволили сформировать ряд задач:

- 1) определение структуры системы управления на рассматриваемом уровне;
- 2) определение значимости субъектов в ней;
- 3) поиск и оценка множества допустимых стратегий (альтернатив);
- 4) обоснование способа расчета критериального требования (реализация сравнительной оценки риска);
- 5) определение порядка функционирования и алгоритма методики.

В качестве решения первой задачи определена структура системы управления: выделен объект (управляемая система) и субъекты (управляющие органы).

Ее объектом являются участники и условия движения (комплекс ВАДС). В работе принято, что обобщенной характеристикой состояния объекта является риск возникновения КС ($K_{оп}^i$), управляющим воздействием (решением) является мероприятия по обеспечению БДД: предотвращение перехода КС в ДТП за счет оперативных мероприятий возможно с помощью воздействия на внешнюю среду, прямого и косвенного управления транспортными потоками (информирование водителей). Результатом управления (исход решения) является бинарный сигнал: произошло ДТП/не произошло ДТП, т.е. был ли допущен переход КС в ДТП.

Состав субъекта управления представлен в виде активных элементов (АЭ). В соответствии с теорией активных систем к АЭ относятся субъекты управления, обладающие свойством активности, интересами и предпочтениями и целенаправленно осуществляющие свой выбор [147]. К ним могут быть отнесены ведомства, ответственные за БДД в какой-либо мере, и полномочия которых позволяют оперативно отреагировать на изменения внешней среды и повышение риска возникновения КС. Выделение субъектов управления в качестве АЭ позволяет учесть активность участников системы: их собственные интересы и предпочтения. Это является важным условием, поскольку структуры, ответственные за БДД имеют принадлежность к разным ведомствам. Основной функцией АЭ является принятие решения в области выбора оптимального мероприятия по повышению БДД в пределах своей компетенции.

В условиях оперативного управления БДД ключевыми задачами является обеспечение мониторинга риска возникновения КС на ФАД, информирование субъектов управления (АЭ) и обеспечение согласованности действий АЭ. Поэтому в разрабатываемой системе управления выделен информационный центр (ИЦ), который является базовым информационным центром поддержки принятия решений; его основными функциями является круглосуточный

мониторинг состояния БДД на ФАД (контроль за риском КС), инициирование процесса принятия решений, определение рекомендаций, позволяющих повысить согласованность действий АЭ (осуществление взаимодействия, координации и согласованности действий АЭ с целью предупреждения ДТП) и учет проведенных мероприятий.

На рисунке 4.1 представлена структурная схема разрабатываемой системы управления.

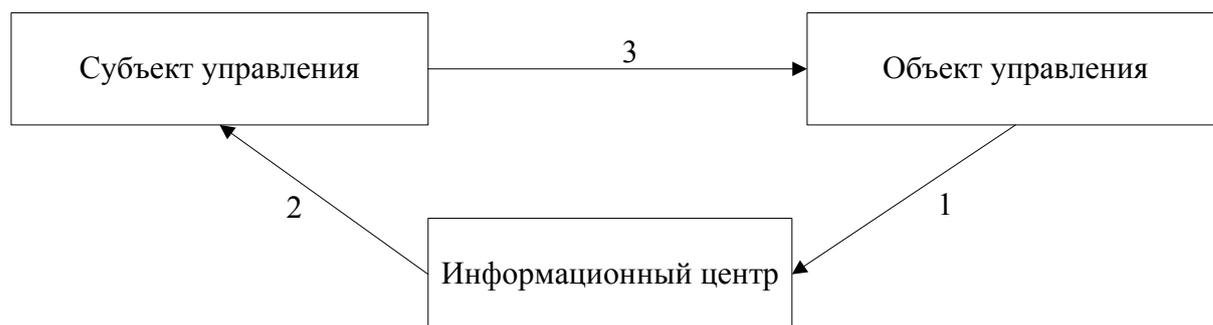


Рисунок 4.1 – Структурная схема

Состав системы управления представлен тремя элементами: субъектом управления, объектом управления и ИЦ. Связь 1 представляет собой регистрацию информационным центром состояния объекта управления ($K_{оп}^i$ и исхода решения: произошло ДТП / не произошло ДТП). Связь 2 представляет собой получение субъектом управления от ИЦ информации о необходимости принятия управленческих решений и критериальном требовании. Связь 3 является воздействием субъекта управления на объект с помощью мероприятий по повышению БДД.

Для дальнейшей разработки методики обеспечения БДД на ФАД и решения поставленных задач проведена конкретизация состава субъекта управления на примере Алтайского края. На основе анализа состава региональной комиссии по обеспечению БДД (КОБДД) и изучения полномочий и функциональных обязанностей ведомств, в какой-либо степени ответственных за БДД, определен состав системы оперативного управления БДД на ФАД. В качестве АЭ выделены: АЭ₁ – ФКУ Упрдор «Алтай»; АЭ₂ – УГИБДД по Алтайскому краю; АЭ₃ – ЦУКС

ГУ МЧС по Алтайскому краю, ККУ «УГОЧС и ПБ в Алтайском крае» [148]. Лицами, принимающими решения (ЛПР) являются руководители ведомств, или другие работники, уполномоченные руководителем принимать решения в данной сфере (например, начальник дежурной смены).

Для определения ИЦ на примере выбранного региона проведен анализ ФЗ №196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» [43], положения «О Федеральном дорожном агентстве» [149], Устава федерального казенного учреждения Управление федеральных автомобильных дорог «Алтай» Федерального дорожного агентства [150], который показал, что собственником ФАД Алтайского края на праве оперативного управления является ФКУ Упрдор «Алтай», целью деятельности которого является «обеспечение безопасного и бесперебойного движения транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования федерального значения», а одной из функций – организация круглосуточного взаимодействия с оперативными службами различных ведомств по вопросам БДД. Поэтому ИЦ в разрабатываемой системе выбран представитель ФКУ Упрдор «Алтай».

Предлагаемый состав субъекта управления АЭ и ИЦ и схема обеспечения БДД на ФАД в Алтайском крае представлены на рисунке 4.2.

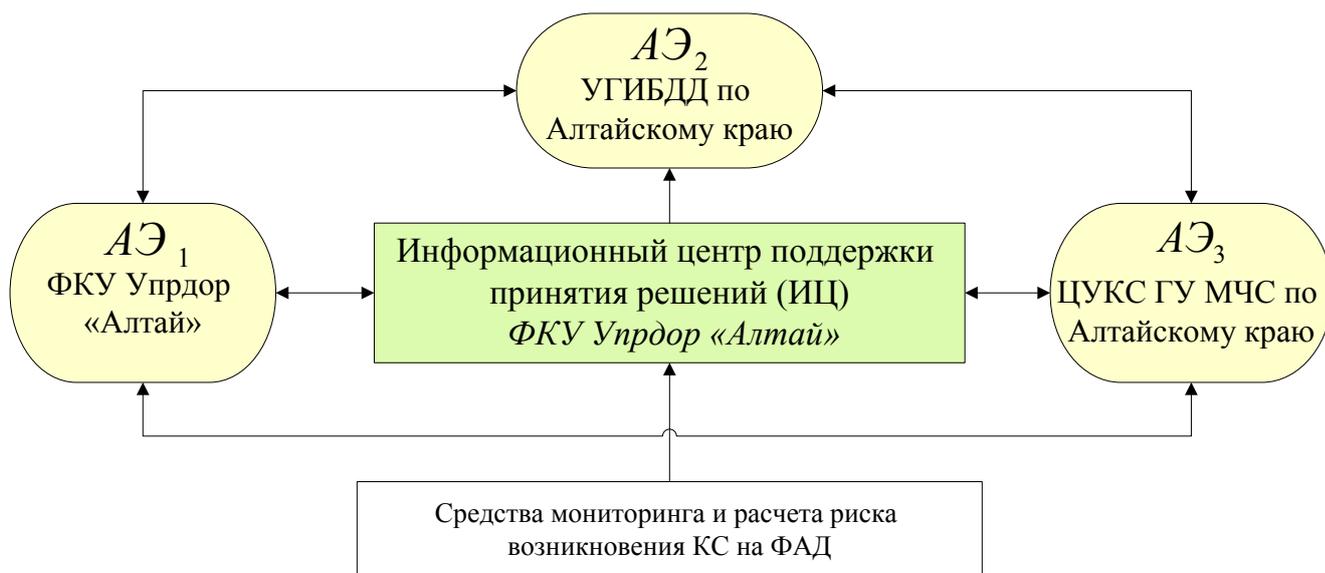


Рисунок 4.2 – Схема обеспечения БДД на ФАД на примере Алтайского края

Начальная информация поступает в ИЦ со средств мониторинга и расчета риска возникновения КС, которые могут представлять собой разработанное программное приложение (п.3.5). От ИЦ информация поступает к АЭ и осуществляется обмен ее между ними. Далее в работе действия АЭ в схемах обозначены светло-оранжевым цветом, а ИЦ – зеленым.

В результате решения одной из задач по разработке методики предложены состав и структура системы оперативного управления ФАД на примере Алтайского края.

4.2 Экспертная оценка значимости активных элементов в системе оперативного управления БДД

При решении второй задачи (п. 4.1) определено, что активные элементы могут осуществлять оперативные мероприятия по предупреждению ДТП, но не для всех АЭ основной функцией является обеспечение БДД. Анализ полномочий показал, что АЭ₁ (на примере подведомственных организаций Росавтодора) обладает функцией по обеспечению БДД (пп. 5.3.2 и 5.3.6 [149]), к функциям АЭ₂ (на примере подразделений ГИБДД) также относится принятие мер по снижению аварийности (пп. 11 – 12 [151]). Функция обеспечения БДД со стороны АЭ₃ (на примере территориальных органов МЧС) выражается через защиту населения от ЧС, предупреждение ЧС (п. 7 [152]), поскольку ЧС–ДТП являются одним из наиболее распространенных видов ЧС. АЭ₁ и АЭ₂ являются ведущими элементами системы управления БДД, а обеспечение БДД – одной из их основных функций.

Для дальнейшей разработки порядка функционирования субъектов управления необходима количественная оценка веса каждого АЭ в общей системе. В сложных системах, при условии неполноты информации используется метод экспертного оценивания [153]. Этот метод является одним из эффективных

инструментов в области аналитических исследований и представляет собой количественную обработку мнений экспертов с целью подготовки информации для принятия решений ЛПР [154, 155, 156, 157, 158].

Для оценки веса каждого АЭ_ж (объект экспертного оценивания) применен метод балльного экспертного оценивания. Была сформирована экспертная группа в составе 12 специалистов: работники ФКУ Управление автомобильных дорог «Алтай» (АЭ₁), УГИБДД по Алтайскому краю (АЭ₂), ККУ «УГОЧС и ПБ в Алтайском крае» и ГУ МЧС по Алтайскому краю (АЭ₃). Экспертам предлагалось оценить роль каждого объекта в системе оперативного управления БДД по балльной шкале: от 0 до 10, где 10 – максимальная значимость компонента; допускалось присвоение одинакового количества баллов разным объектам. Анкета заполнялась одноразово.

В результате оценивания получена сводная матрица балльных оценок $x_{j\epsilon} \in [0;10]$ отражающих вес каждого из 3-ех АЭ_ж в системе оперативного управления БДД, где $\epsilon=1,\dots,12$ – число экспертов, $j=1,\dots,3$ – количество оцениваемых объектов. Расчет компетентности экспертов произведен с помощью методики, описанной в [153]. Групповая оценка j -го объекта определялась по следующему правилу:

$$x_j = \sum_{\epsilon=1}^{16} q_{\epsilon} \cdot x_{j\epsilon}, \quad (4.1)$$

где q_{ϵ} – весовой показатель компетентности ϵ -го эксперта.

Поскольку оценивание производилось с использованием количественной шкалы, результаты можно рассматривать как реализацию случайной величины. Степень согласованности экспертов оценена с помощью расчетов дисперсий индивидуальных балльных оценок и коэффициентов вариации (Var_j):

$$Var_j = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{\epsilon=1}^{16} (x_{j\epsilon} - x_j)^2}{16-1}}}{x_j}. \quad (4.2)$$

Коэффициенты вариации $Var_j < 0,2$ указывают на хорошую согласованность мнений экспертов [153]. Результат экспертного оценивания, определенный с использованием формулы 4.1, представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Вес (важность) АЭ_j в системе оперативного управления БДД (экспертное оценивание)

Вес (важность)	АЭ ₁	АЭ ₂	АЭ ₃
Вес (групповая оценка x_j)	9,51	9,75	4,49
Вес (округленный до целого)	10	10	4

Для приведения результатов в более удобную форму проведено линейное нормирование значений с помощью зависимости:

$$W_j = \frac{x_j - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (4.3)$$

где W_j – новое значение (вес); x_j – текущее значение, x_{max} и x_{min} – максимальное и минимальное значение шкалы исходных данных. Поскольку исходными данными при экспертном оценивании являлся интервал [0; 10], то минимальное и максимальное значения приняты соответствующие.

Итоговыми характеристиками весов АЭ_j в рассматриваемой системе стали результаты, представленные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Важность АЭ_j в системе оперативного управления БДД на ФАД

Вес (важность)	АЭ ₁	АЭ ₂	АЭ ₃
W_j	1,0	1,0	0,4

Основными активными элементами системы явились АЭ₁ и АЭ₂, что соответствует выводам в результате анализа полномочий и функций ведомств.

4.3 Экспертная оценка оперативных мероприятий по обеспечению БДД

Для разработки порядка функционирования системы необходимо определение множества допустимых альтернатив, т.е. набора возможных оперативных мероприятий по обеспечению БДД, которые может реализовать каждый из АЭ (решение задачи 3 из п. 4.1). Для формализации правил принятия решений необходима количественная оценка эффективности мероприятий (критериальная оценка). В связи с тем, что в настоящее время отсутствует количественная информация об уровне снижения опасности в результате реализации конкретного мероприятия, данные задачи принято решить с помощью метода экспертных оценок.

При экспертном оценивании приняла участие группа, указанная в п. 4.2. Участники были разделены по трем профильным группам: в каждой профильной группе работали по четыре эксперта (таблица 4.3). В первую очередь эксперты предложили набор мероприятий, относящиеся к их ведомству, т.е. для каждого j -го АЭ определено множество оперативных мероприятий по обеспечению БДД (альтернатив): $l_y^{AЭj} \in L^{AЭj}$.

Таблица 4.3 – Характеристики работы профильных групп

	Профильная группа АЭ ₁	Профильная группа АЭ ₂	Профильная группа АЭ ₃
Количество экспертов	4	4	4
Оцениваемые альтернативы (мероприятия)	$l_y^{AЭ1}, y=1...6$	$l_y^{AЭ2}, y=1...5$	$l_y^{AЭ3}, y=1...5$

Экспертам предложено проранжировать список альтернатив по степени потенциального предотвращения ДТП. Минимальный балл предложено присвоить наименее эффективному мероприятию. Выбрано нестрогое

ранжирование (допускается присваивать одинаковые баллы различным мероприятиям в группе).

В результате оценивания в каждой группе получены оценки–ранги $x_{y\varepsilon}$, где $\varepsilon=1\dots n$ – число экспертов, $y=1\dots m$ – количество оцениваемых альтернатив. Групповая оценка y -го мероприятия с учетом компетентности эксперта определялась по формуле (4.1). Суммы групповых оценок по каждому мероприятию проранжированы – определен ранг степени снижения опасности (R) для каждого мероприятия [158]. Под степенью снижения опасности подразумевается величина, снижающая вероятность перехода КС в ДТП в результате реализации данного мероприятия, т.е. является показателем предотвращения / недопущения ДТП.

С целью приведения к единой шкале оценки мероприятия, проведена нормализация критерия с помощью масштабирования значений рангов в группах, для чего определена область определения рангов, которая составила [1; 6]: $x_{min}^H = 1, x_{max}^H = 6$. Рассчитан приведенный ранг R' , который является критериальной оценкой мероприятия:

$$R' = (x_{max}^H - x_{min}^H) * W + x_{min}^H, \quad (4.4)$$

где W определялось по формуле 4.3. Индекс j опущен.

Результаты ранжирования оперативных мероприятий (альтернатив) по обеспечению БДД на ФАД представлены в таблицах 4.4 – 4.7. Чем выше значение R' , тем больший вес имеет мероприятие в обеспечении БДД (предупреждении ДТП).

Мероприятия $AЭ_1$ представлены в условиях отсутствия на участках ФАД элементов ИТС, при ее временном или частичном ограниченном функционировании. Мероприятие $l_4^{AЭ1}$ включает в себя несколько видов работ, которые были объединены в один тип, поскольку имеют одно функциональное значение: оперативное приведение в соответствие техническое состояние автомобильной дороги.

Таблица 4.4 – Оперативные мероприятия, реализуемые ФКУ Управление автомобильных дорог «Алтай» (АЭ₁)

Номер	Мероприятие	Ранг степени снижения опасности, R	Приведенный ранг, R'
$l_1^{AЭ1}$	Прекращение движения ТС на участке ФАД	6	6
$l_2^{AЭ1}$	Ограничение движения ТС (запрет движения большегрузных автомобилей и автобусов, детских автобусов)	5	5
$l_3^{AЭ1}$	Установка временных знаков / диспетчерское управление знаками переменной информации (перспективное)	4	4
$l_4^{AЭ1}$	Краткосрочные работы по содержанию дороги: очистка проезжей части и/или дорожных знаков от мусора, грязи и пр., устранение скользкости, противогололедные мероприятия, зимнее содержание дороги; контроль за соблюдением требований ОДМ 218.6.019-2016 при проведении дорожно-строительных работ	2,5	2,5
$l_5^{AЭ1}$	Размещение информации на информационном табло (диспетчерское управление)	2,5	2,5
$l_6^{AЭ1}$	Размещение предупреждения на официальной странице ведомства в графе «Внимание водители» или «Оперативная информация»	1	1

Таблица 4.5 – Оперативные мероприятия, реализуемые УГИБДД по Алтайскому краю (АЭ₂)

Номер	Мероприятие	Ранг степени снижения опасности, R	Приведенный ранг, R'
$l_1^{AЭ2}$	Надзор за дорожным движением в стационарном положении	5	6
$l_2^{AЭ2}$	Надзор за дорожным движением на патрульном автомобиле в движении	4	4,75
$l_3^{AЭ2}$	Надзор за дорожным движением с использованием средств авиации (перспективное)	3	3,5
$l_4^{AЭ2}$	Оказание содействия при проведении совместных мероприятий с АЭ ₁ и АЭ ₃	1	1
$l_5^{AЭ2}$	Информирование населения об опасности с использованием взаимодействующих СМИ	2	2,25

Таблица 4.6 – Оперативные мероприятия, реализуемые ФКУ ЦУКС МЧС ГУ по Алтайскому краю, ККУ «УГОЧС и ПБ в Алтайском крае» (АЭ₃)

Номер	Мероприятие	Ранг степени снижения опасности, R	Приведенный ранг, R'
$l_1^{AЭ3}$	Рассылка предупреждения посредством смс-сообщений	5	6
$l_2^{AЭ3}$	Информирование водителей с использованием радиосвязи	4	4,75
$l_3^{AЭ3}$	Оказание содействия в расчистке дорожного полотна	3	3,5
$l_4^{AЭ3}$	Составление внеочередного прогноза ЧС-ДТП, его рассылка и размещение на официальном сайте	1	1
$l_5^{AЭ3}$	Устранение последствий неблагоприятных условий (упавших деревьев, автомобилей, тушение пожаров)	2	2,25

Для оценки согласованности мнений экспертов в каждой группе при измерении объектов в порядковой шкале (ранжировании) применен коэффициент конкордации. В случае отсутствия связанных рангов (в группах АЭ₂, АЭ₃) он имеет вид:

$$Wk = \frac{12Sum}{n^2 \cdot (m^3 - m)}, \quad (4.5)$$

где Sum – сумма квадратов отклонений (от среднего), $Sum = \sum_{y=1}^m (x_y - \bar{x})^2$; x_y – суммарный ранг для y -го объекта по всем экспертам; \bar{x} – оценка математического ожидания x_y .

Эксперты из группы АЭ₁ приняли решение о назначении одинаковых рангов отдельным мероприятиям, поэтому оценка согласованности проводилась с использованием следующего выражения:

$$Wk = \frac{12Sum}{n^2 \cdot (m^3 - m) - n \cdot \sum_{i=1}^n T_i}, \quad (4.6)$$

где T_i – показатель связанных рангов в i -ой ранжировке, $T_i = \sum_{k=1}^{H_i} (h_k^3 - h_k)$; H_i – количество групп с равными рангами в i -ой ранжировке; h_k – количество равных рангов в k -ой группе связанных рангов у i -го эксперта.

Полученные коэффициенты конкордации представлены в таблице 4.7. Результаты говорят о высокой степени согласованности экспертов.

Таблица 4.7 – Коэффициенты конкордации по группам АЭ

Критерий	АЭ ₁	АЭ ₂	АЭ ₃
Wk	0,95	0,81	0,66
$\chi_{\text{эмп}}^2$	24,81	13	15,9
$\chi_{\text{табл}}^2$	11,07	5,99	9,49

При высоком значении Wk проводится проверка гипотезы о неслучайности согласия экспертов с помощью критерия Пирсона, который вычисляется следующим образом:

$$\chi_{\text{эмп}}^2 = \frac{12Sum}{n \cdot m \cdot (m+1)}. \quad (4.7)$$

В случае наличия связанных рангов:

$$\chi_{\text{эмп}}^2 = \frac{12Sum}{n \cdot m \cdot (m+1) + \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{m-1}}. \quad (4.8)$$

Полученные значения сравниваются с $\chi_{\text{табл}}^2$, который определяется по числу степеней свободы $(m+1)$ и уровню значимости, который был принят на уровне $\alpha=0,05$. В случае соблюдения условия $\chi_{\text{эмп}}^2 > \chi_{\text{табл}}^2$ мнения признаются согласованными, коэффициент конкордации значимым.

Во всех случаях выполняется условие $\chi_{\text{эмп}}^2 > \chi_{\text{табл}}^2$, что говорит о неслучайности значений коэффициента конкордации Wk , а значит все полученные ранги (критериальные оценки мероприятия) в таблицах 4.4 – 4.6 могут применяться для дальнейшей разработки методики обеспечения БДД на ФАД.

4.4. Применение нечеткого логического вывода для определения величины критериального требования

Критериальным требованием системы оперативного управления БДД выбран уровень опасности u_i . При повышенном уровне опасности необходимо инициировать процесс принятия решений и выбора мероприятий субъектами системы. В связи с этим поставлена задача по определению правил перехода от характеристики объекта управления $K_{оп}^i$ к уровню опасности u_i (задача 4 п. 4.1). Он является безразмерным и необходим для формализации управления (постановки математической задачи).

Для определения правил использована нечеткая логика, в частности алгоритм нечеткого вывода – получения нечетких заключений на основе нечетких условий с использованием понятий нечеткой логики [159]. Алгоритм процесса нечеткого вывода в нечетких системах управления включает ряд этапов: определение входных переменных, характеризующих состояние объекта, формирование базы правил, фаззификация входных переменных, аккумулярование заключений, дефаззификация выходных переменных [14].

Входной переменной является риск возникновения КС. Для определения базы правил, совокупность которых представляет собой базу правил нечетких продукций, требуется задать множество правил нечетких продукций, множество входных и выходных лингвистических переменных.

Для определения множества входной лингвистической переменной задано:

- его название «риск возникновения КС, $K_{оп}^i$ »;
- базовое терм-множество: «низкий, высокий, критический»;
- область определения: $(0; \infty)$.

С целью определения функций принадлежности $\mu(K_{оп}^i)$ использована свободно распространяемая бесплатная программа FisPro, которая позволяет реализовывать задачи моделирования на базе нечеткой логики [160].

Для определения правила и границ перехода использована сравнительная оценка риска. Низким уровнем может считаться то его значение, которое не превышает критического. Сравнение уровня опасности с критическим представлено в научных исследованиях по БДД, в частности в [84]. Оно также может быть определено на основе нормативно-правовых актов в области снижения аварийности на ФАД или целевого показателя погибших, утвержденного в региональной государственной программе по повышению БДД.

В Алтайском крае такой программой является «Обеспечение прав граждан и их безопасности», подпрограмма 2 «Повышение безопасности дорожного движения в Алтайском крае». Целью подпрограммы является уменьшение погибших до 230 человек в год к 2021 году. Вклад дороги А-322 в количество погибших в регионе составляет 12,02% (в среднем за 2015–2019 годы), соответственно критическим значением летальных исходов на рассматриваемой дороге составляет 28 человек в год. Среднее число погибших на 1 ДТП на исследуемой дороге составляет 0,34, соответственно максимально допустимое число ДТП с пострадавшими составляет 82. Доля ДТП с пострадавшими в общей совокупности аварий на дороге А-322 составляет 27,7%, поэтому, с учетом протяженности дороги, критическое значение общей аварийности на километровой участке дороги составляет 0,92 ДТП/год. В таблице 4.8 представлены критические значения риска возникновения КС для дороги А-322 на основе индикаторов указанной государственной программы.

Таблица 4.8 – Критические значения риска возникновения КС для дороги А-322 на период 2021 – 2024

	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
$K_{оп}^{крит}$	0,92	0,79	0,60	0,35

Для прочих ФАД критическое значения риска возникновения КС может быть выражено с помощью формулы (4.19).

$$K_{оп}^{крит} = \frac{Fat \cdot Per}{\psi \cdot Sh \cdot \delta}; \quad (4.9)$$

где *Fat* – целевое значение числа погибших в регионе, определяемое в рамках действующей в регионе целевой программы по повышению БДД;

Per – вклад дороги в общую аварийность в регионе (отношение числа погибших на дороге к общему числу погибших в регионе за предшествующий год);

ψ – число погибших, приходящихся на одно ДТП с пострадавшими на дороге;

Sh – доля ДТП с пострадавшими в общем числе ДТП на дороге;

δ – протяженность дороги.

Критическое значение критерия может быть изменено по соглашению субъектов системы управления в зависимости от реальной возможности исполнения мероприятий.

Ядром терм-множества «низкий» входной переменной является интервал $(0; K_{оп}^{крит}]$, которое для выбранной дороги составляет $(0; 0,92]$. Для определения ядер других терм-множеств применена гипотеза о том, что «высокий» риск возникновения КС представляет собой удвоенное значение $(2 \cdot K_{оп}^{крит})$, а «критический» – утроенное $(3 \cdot K_{оп}^{крит})$.

В качестве функций принадлежности применены наиболее распространенные стандартные функции: треугольная и трапецеидальная. Функции принадлежности входной переменной $\mu(K_{оп}^i)$ представлены с использованием программы FisPro на рисунке 4.3.

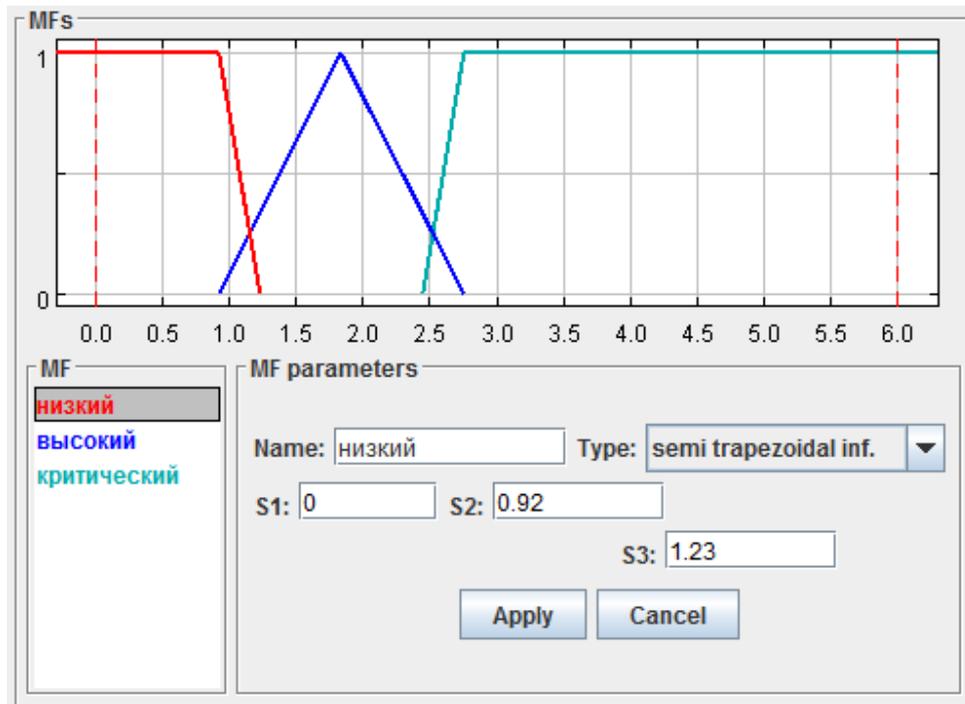


Рисунок 4.3 – Функции принадлежности входной переменной на интервале (0; 6]

Для определения множества выходной лингвистической переменной задано:

- его название «приведенный уровень опасности, u_i' »;
- базовое терм-множество «низкое, высокое, критическое»;
- область определения (0; 6].

Данный интервал выбран на основании области определения рангов мероприятий [1; 6] и интервала (0;1] – условно безопасной зоны, при котором оперативные мероприятия по БДД не требуются. Ядром терм-множества является «низкий» интервал (0; 1]; ядром терм-множества «высокий» является середина заданного интервала (3); ядром терм-множества «критический» является интервал [5; 6]. В качестве функций принадлежности выбраны трапецеидальные и треугольная. Функции принадлежности выходной переменной $\mu(u)$ представлены с использованием программы FisPro на рисунке 4.4.

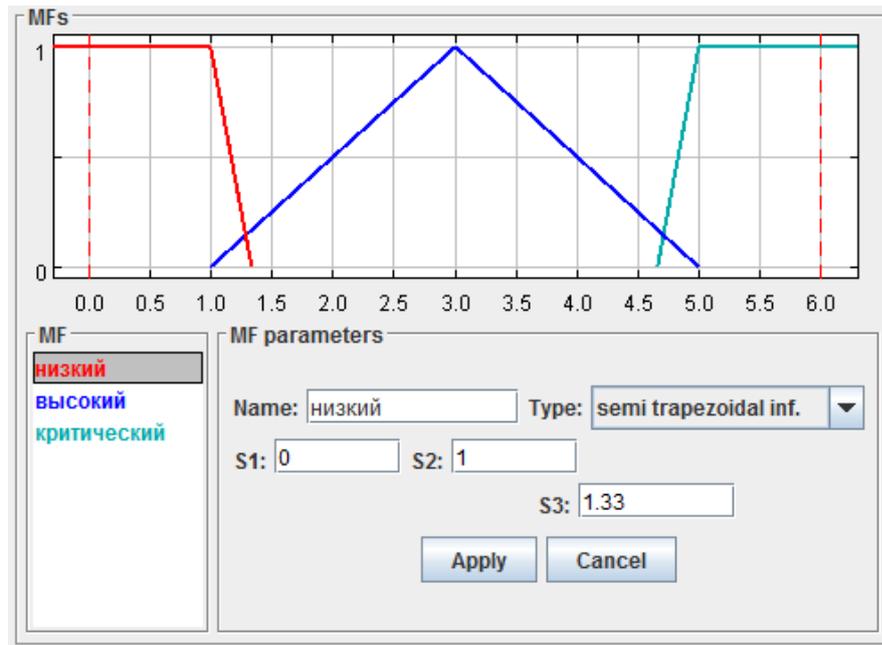


Рисунок 4.4 – Функции принадлежности выходной переменной

База правил сформирована следующим образом:

- Правило_1: «ЕСЛИ риск возникновения КС “низкий”
ТО приведенный уровень опасности “низкий”»
- Правило_2: «ЕСЛИ риск возникновения КС “высокий”
ТО приведенный уровень опасности “высокий”»
- Правило_3: «ЕСЛИ риск возникновения КС “критический”
ТО приведенный уровень опасности “критический”» (4.10)

В программе FisPro база данных сформирована следующим образом (рисунок 4.5).

Rule	Active	IF Риск возникновения КС	THEN Приведенный уровень опасности
1	<input checked="" type="checkbox"/>	низкий	низкий
2	<input checked="" type="checkbox"/>	высокий	высокий
3	<input checked="" type="checkbox"/>	критический	критический

Рисунок 4.5 – База правил

Следующим этапом процесса нечеткого вывода является фаззификация – «процесс или процедура нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе обычных (не нечетких) исходных данных» [159]. В результате фаззификации определены функции принадлежности входящей переменной к каждому терм-множеству.

Следующим этапом является агрегирование (определение степени истинности по каждому правилу), активизации (нахождение степени истинности подзаключений при наличии весовых коэффициентов правил), аккумуляция (определение функции принадлежности для выходной переменной), дефаззификации (определение числового значения выходной переменной). В программе FisPro приведенные этапы автоматизированы, пример результата нечеткого вывода представлен на рисунке 4.6.

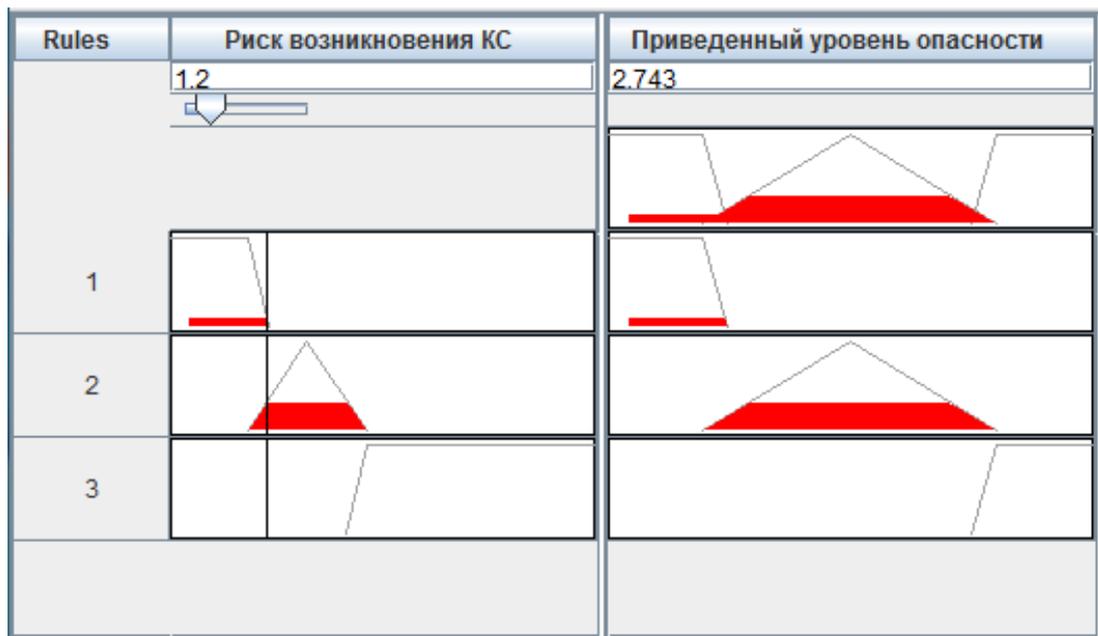


Рисунок 4.6 – Пример результата нечеткого логического вывода

Дальнейшее моделирование процесса принятия решений осуществляется в зоне повышенного риска ($K_{оп} > K_{оп}^{крит}$), поэтому для расчета критериального требования уровня опасности – u_i , необходимо вычесть из значения приведенного уровня опасности единицу (величина приведенного уровня опасности при $K_{оп} = K_{оп}^{крит}$).

С помощью метода нечеткого логического вывода и сравнению значения риска возникновения КС с его критическим значением получены правила перехода от состояния объекта управления на i -ом участке – $K_{оп}^i$ к уровню опасности u_i [161]. Уровень опасности является критериальным требованием системы управления и процесс принятия решений инициируется в зоне повышенного риска, т.е. при $u_i > 0$.

4.5 Методика обеспечения безопасности дорожного движения на ФАД

Для практического внедрения результатов исследования разработана методика обеспечения безопасности дорожного движения на ФАД на примере Алтайского края. Она включает в себя порядок функционирования («последовательность получения информации и выбора стратегии субъектами системы» [147]), который состоит из трех этапов, по каждому из этапов составлен алгоритм реализации, цветом отмечены действия, выполняемые информационным центром (ИЦ) (зеленый) и активными элементами (АЭ) (желтый):

1. Мониторинг обстановки и инициирование процесса принятия решений по выбору стратегии производится ИЦ на основе контроля за значением риска возникновения КС ($K_{оп}^i$) и уровнем опасности u_i на i -ых километровых участках дороги.

Работа в ИЦ формируется следующим образом: с определенной периодичностью времени T_m производится мониторинг: определяется $K_{оп}^i$ на всех i -ых участках дороги; на основе полученных значений и правил определения критериального требования (4.10) рассчитывается u_i .

Выделяются участки дороги, на которых ситуация находится в зоне повышенного риска: $u_i > 0$ (риск возникновения КС превышает его критическое значение), т.е. участки, на которых необходимы оперативные мероприятия по

обеспечению БДД (недопущению ДТП) и инициируется процесс принятия решений. Последовательность действий, выполняемых на данном этапе представлена на рисунке 4.7.

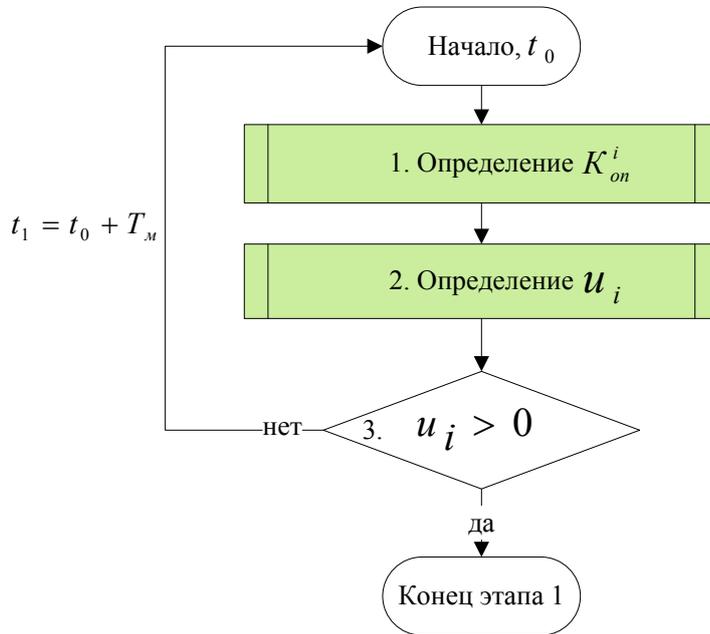


Рисунок 4.7 – Алгоритм реализации этапа 1 «Мониторинг обстановки и инициирование процесса принятия решений»

Участки с равным уровнем опасности объединяются в одну группу. При отсутствии дорожных работ или других локальных изменений условий движения участки дороги, расположенные в пределах 20–50 км будут группироваться в соответствии с кластером. В результате может быть сформирована таблица (таблица 4.9). Процесс принятия решений реализуется для каждой группы участков дороги. Индекс i далее опущен.

Таблица 4.9 – Пример формирования таблицы значений уровня опасности по участкам ФАД

Группа участков дороги	Значение u_i	Инициирование процесса принятия решений
км 129+000 – км 130+000	2,3	да
км 128+000	1,0	да
км 126+000 – км 127+000; км 131+000 – км 138+000	-0,4	нет

При отсутствии отрезков дороги, на которых необходимы оперативные мероприятия по обеспечению БДД, процесс принятия решений не инициируется. Получение информации, ее ввод, расчет $K_{оп}^i$ и u_i является функцией контроля за показателями риска и предлагается к выполнению диспетчером ИЦ в круглосуточном режиме. Повтор процесса мониторинга осуществляется через определенное время T_m , которое может быть принято стандартным (3 часа). В случае ЧС – в реальном времени.

2. *Процесс принятия решений.* На данном этапе ИЦ реализует функцию по осуществлению взаимодействия, координации и согласованности действий АЭ.

Инициирование процесса принятия решения рекомендуется реализовывать в формате селекторного совещания. После подключения АЭ, ИЦ доводит информацию об уровне опасности (u). АЭ определяют интервал, к которому принадлежит u (таблица 4.10) и в режиме оперативного обмена информацией выбирают одну из рекомендуемых стратегий. На данном шаге реализуется свойство активности АЭ: выбор одной из рекомендуемых стратегии осуществляется с учетом особенностей сложившейся обстановки, наличия реальных сил и средств. Также АЭ определяет время реализации выбранной стратегии t_c . Алгоритм реализации этапа представлен на рисунке 4.8.

В таблице 4.10 представлены рекомендуемые стратегии в зависимости от значения уровня опасности u . Обозначения мероприятий соответствуют таблицам 4.4 – 4.6 из п.4.3.

Перечень рекомендуемых мероприятий определен на основе правила (4.11): сумма критериальных оценок рекомендуемых мероприятий с учетом веса активных элементов должна быть больше или равна уровню опасности.

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{y=1}^k (R' \cdot W_j) \geq u, \quad (4.11)$$

где R' – приведенный ранг (критериальная оценка) $l_y^{AЭj}$ мероприятия; W_j – вес j -го АЭ; k – количество выбранных мероприятий j -ым АЭ.

Таблица 4.10 – Перечень рекомендуемых стратегий в зависимости от значения уровня опасности

Интервалы, к которым может принадлежать u	Рекомендуемые стратегии
$u \in (0; 1]$	$l_6^{AЭ1}; l_5^{AЭ2}$
$u \in (1; 2]$	$l_6^{AЭ1} + l_5^{AЭ2}; l_5^{AЭ1}; l_4^{AЭ1}; l_5^{AЭ2}$
$u \in (2; 3]$	$l_6^{AЭ1} + l_5^{AЭ2}; l_3^{AЭ2}; l_4^{AЭ1} + l_6^{AЭ1}; l_6^{AЭ1} + l_5^{AЭ1}$
$u \in (3; 4]$	$l_3^{AЭ1}; l_4^{AЭ1} + l_5^{AЭ2}; l_3^{AЭ2} + l_6^{AЭ1}; l_2^{AЭ2}$
$u \in (4; 5]$	$l_2^{AЭ1} + l_4^{AЭ2}; l_3^{AЭ1} + l_5^{AЭ2}; l_3^{AЭ1} + l_6^{AЭ2}; l_4^{AЭ1} + l_5^{AЭ1}; l_4^{AЭ1} + l_5^{AЭ1} + l_4^{AЭ2};$ $l_4^{AЭ1} + l_5^{AЭ2} + l_4^{AЭ3}; l_4^{AЭ1} + l_3^{AЭ3} + l_4^{AЭ2} + l_6^{AЭ1}; l_4^{AЭ1} + l_5^{AЭ3} + l_5^{AЭ2};$ $l_5^{AЭ1} + l_1^{AЭ3} + l_6^{AЭ1}$
$u \in (5; 6]$	$l_2^{AЭ1} + l_4^{AЭ2}; l_2^{AЭ1} + l_4^{AЭ2} + l_2^{AЭ3}; l_4^{AЭ1} + l_3^{AЭ3} + l_4^{AЭ2} + l_5^{AЭ1}; l_4^{AЭ1} +$ $l_5^{AЭ3} + l_4^{AЭ2} + l_1^{AЭ3}; l_4^{AЭ1} + l_1^{AЭ3} + l_5^{AЭ2}; l_4^{AЭ1} + l_1^{AЭ3} + l_5^{AЭ1}$
$u > 6$	$l_1^{AЭ1} + l_4^{AЭ2} + l_1^{AЭ3}$

Указанное правило (4.11) формирует положение о том, что реализация одного или нескольких мероприятий одним или несколькими АЭ может «компенсировать» текущий уровень опасности, тем самым позволив обеспечить БДД на выбранном участке ФАД.

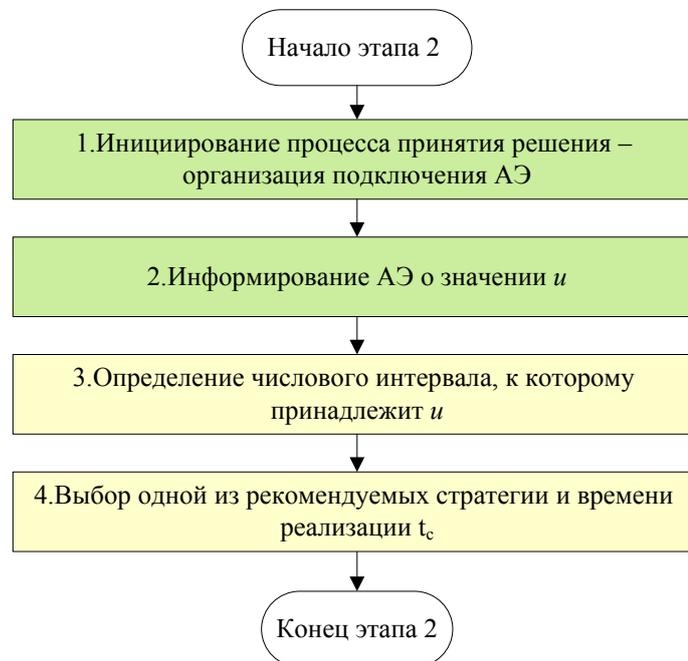


Рисунок 4.8 – Алгоритм реализации этапа 2 «Процесс принятия решений»

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

предлагают другой комплекс мероприятий, ИЦ проверяет выполнение условия (4.11) и рекомендует/не рекомендует предложенный комплекс.

3. *Создание базы знаний.* 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 диспетчером ИЦ заполняется база знаний (БЗ). Алгоритм реализации этапа представлен на рисунке 4.9.



Рисунок 4.9 – Алгоритм реализации этапа 3 «Создание базы знаний»

В таблице 4.11 представлен пример заполнения БЗ. При накоплении достаточного объема знаний в БЗ (наличие в каждом интервале u примера ситуации) рекомендуется ее использование в процессе принятия решений. Для этого определяется ситуация из БЗ, характеризующаяся наиболее близким значением уровня опасности u к уровню опасности текущей ситуации, и предлагается стратегия, реализованная в ситуации из БЗ и указывается отклик системы [162]. АЭ принимают решение, следовать ли рекомендациям, полученным на БЗ или проводить другой комплекс мероприятий.

Таблица 4.11 – Пример заполнения базы знаний

Показатели	Характеристики ситуации и выбранных стратегий
Дата, время	15.10. 2020 15:15
Участок дороги	131 км
Уровень опасности u_i	1,1
Примечание	Небольшой снегопад
Мероприятия АЭ ₁	$l_4^{AЭ1}$, Очистка дорожного полотна, $t_c=3$ ч

Показатели	Характеристики ситуации и выбранных стратегий
Мероприятия АЭ ₂	0
Мероприятия АЭ ₃	0
Отклик системы	0

Разработанная методика обеспечения БДД на ФАД на основе оперативного реагирования на повышенный риск возникновения КС с учетом формирования БЗ представлена в виде алгоритма, включающего три этапа и 11 шагов (рисунок 4.10).

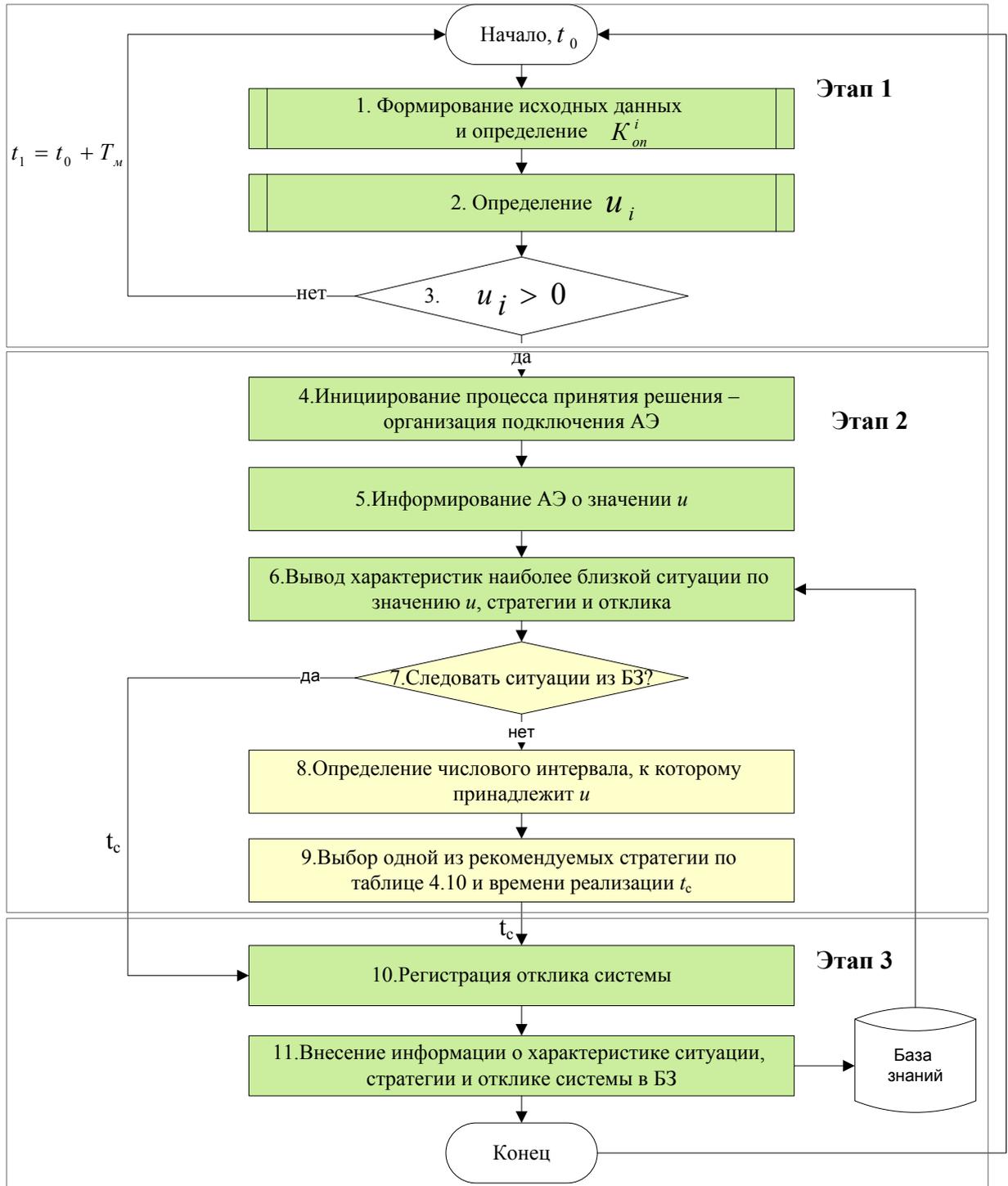


Рисунок 4.10 – Методика обеспечения БДД на ФАД

4.5.1 Пример реализации методики обеспечения безопасности дорожного движения на ФАД на примере Алтайского края

В рамках разработанной методики обеспечения БДД на ФАД на основе оперативного реагирования на повышенный риск возникновения КС рассмотрен пример ее реализации на отрезке дороги А-322 (км 32+000 по км 38+000), дата мониторинга: 14 октября 2020 года, время: 11:00.

Показатели ситуации представлены в таблице 4.12. Километровые участки выделенного отрезка относятся к кластеру 3, уровень потенциального риска каждого из них $K_D^i = 1,50$ (ДТП/год).

Таблица 4.12 – Входные параметры ситуации на заданном отрезке дороги для определения риска возникновения КС

Параметры ситуации	Значения
Уровень потенциального риска, K_D^i	1,50
Температура воздуха, С	-2
Атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря, мм.рт.ст.	766,6
Изменение давления за последние 3 часа, мм.рт.ст.	1,4
Перепад температуры воздуха за сутки, С	4
Порывы ветра, м/с	15
Количество осадков, мм	7
Дальность видимости, км	25
Время суток	День
Проведение дорожно-строительных работ	Нет
Месяц	Октябрь
Расчетный час	11:00
День недели	Среда

На этапе 1 «Мониторинг обстановки и инициирование процесса принятия решений» ИЦ на основе входных параметров (элементов фактора среда – С и уровня потенциального риска на основе постоянных дорожных характеристик) рассчитано, что риск возникновения КС в заданных времени и месте $K_{оп}^i = 3,19$. На основе этого значения определено, что уровень опасности $u_i = 4,14$. Полученный показатель превышает 0, поэтому иницируется процесс принятия решений и переход к этапу 2. Индекс i далее опущен, процесс принятия решений осуществляется для отрезка дороги (км 32+000 по км 38+000).

На втором этапе ИЦ организует селекторное совещание АЭ и передает АЭ значение уровня опасности. В БЗ еще нет информации о ситуациях с близкими значениями уровня опасности, поэтому шаг 6 не реализуется, а переход от шага 7 осуществляется к шагу 8. Определено, что $u \in (4; 5]$. АЭ выбрали стратегию $l_4^{AЭ1} + l_5^{AЭ2} + l_4^{AЭ3}$. Т.е. АЭ₁ осуществляет мероприятие $l_4^{AЭ1}$ «Очистка дорожного полотна и/или знаков, устранение скользкости при наличии грязи на проезжей части», АЭ₂ – мероприятие $l_5^{AЭ2}$ «Информирование населения об опасности с использованием взаимодействующих СМИ», АЭ₃ – мероприятие $l_4^{AЭ3}$ «Составление внеочередного прогноза ЧС-ДТП, его рассылка и размещение на официальном сайте», время реализации $t_c=3$ ч.

На третьем этапе, через 3 часа ИЦ регистрирует, что ДТП не произошло, отклик системы 0, и вносит информацию о характеристиках ситуации, выбранной стратегии и отклике системы в БЗ, что позволит увеличить объем знаний о положительных исходах.

Второй пример использования разработанной методики представлен в приложении В.

Данная методика направлена на обеспечение БДД на ФАД на основе оперативного реагирования на повышенный риск возникновения КС. Методика обладает свойством дальнейшего развития и масштабирования, что показано на примере ее использования на отдельно взятом участке.

4.6 Практические рекомендации по использованию методики обеспечения БДД на ФАД

В результате разработанных математических моделей, зависимостей и элементов совершенствования системы оперативного управления БДД разработана методика обеспечения БДД на ФАД на основе оценки риска возникновения КС и совершенствования системы оперативного управления БДД.

Для ее внедрения и использования в реальных условиях предлагается выполнение следующих основных этапов:

1) Определение состава субъектов управления АЭ и ИЦ. В качестве основы может быть выбрана схема, представленная на рисунке 4.2.

2) Оценка важности АЭ (W_j) в системе оперативного управления БДД на основе экспертного оценивания.

3) Формирование множества допустимых стратегий $L^{AЭj}$, выбор и критериальная оценка мероприятий, в рамках каждого АЭ (R'_{lyj}) с помощью экспертного оценивания.

4) Определение уровня потенциального риска K_D^i (согласно выражениям (2.5) – (2.8)) на i -ых километрах выбранной ФАД. Уровень потенциального риска представляет собой величину, обусловленную совокупным влиянием постоянных дорожных характеристик. Его показатели целесообразно представить в виде базы данных.

5) Выбор инструмента расчета риска возникновения КС ($K_{оп}^i$), источников получения данных о состоянии элементов внешней среды. Для автоматизации расчетов предлагается приложение, описанное в п. 3.4. Для обеспечения корректных расчетов необходимо подключить базу данных показателей K_D^i выбранной ФАД к приложению. В случае выбора других способов расчета для определения $K_{оп}^i$ рекомендуется использовать математическую модель (3.17).

6) Определение критического значения риска возникновения КС $K_{оп}^{крит}$ (согласно выражению (4.9) или другим правилам, нормативам) с целью обеспечения сравнительной оценки риска. Показатель критического значения может быть определен на один год или более длительный период.

7) Определение правила оценки критериального требования системы, уровня опасности u_i и формы заполнения и использования базы знаний. Для определения правил рекомендуется применение аппарата нечеткой логики, базовым вариантом предлагается выражение (4.10), и подход, описанный в п. 4.4; при его использовании необходимо изменить ядра терм-множеств в соответствии с полученным $K_{оп}^{крит}$.

8) Тестирование методики обеспечения БДД на ФАД (на основе алгоритма – рисунок 4.10), определение средств связи, отработка ошибок.

9) Реализация системы оперативного реагирования на ФАД в режиме реального времени на основе алгоритма (рисунок 4.10), и его описания, представленного в п.4.5.

Представленные этапы отражены на рисунке 4.11.

Выполнение первых трех этапов обеспечит формирование элементов системы оперативного управления.

Выполнение шагов 4 – 8 позволит сформировать базу для дальнейшего обеспечения БДД на ФАД.

Этап 9 является основным и реализует принцип оперативного реагирования на повышенный риск возникновения ДТП на основе мониторинга (оценки) риска возникновения КС на ФАД в условиях динамичной меняющейся внешней среды, выбора оптимальных мероприятий, которые позволят предотвратить переход КС в ДТП.

Разработанную методику предлагается применять на участках ФАД при отсутствии ИТС или при ее временной неработоспособности.

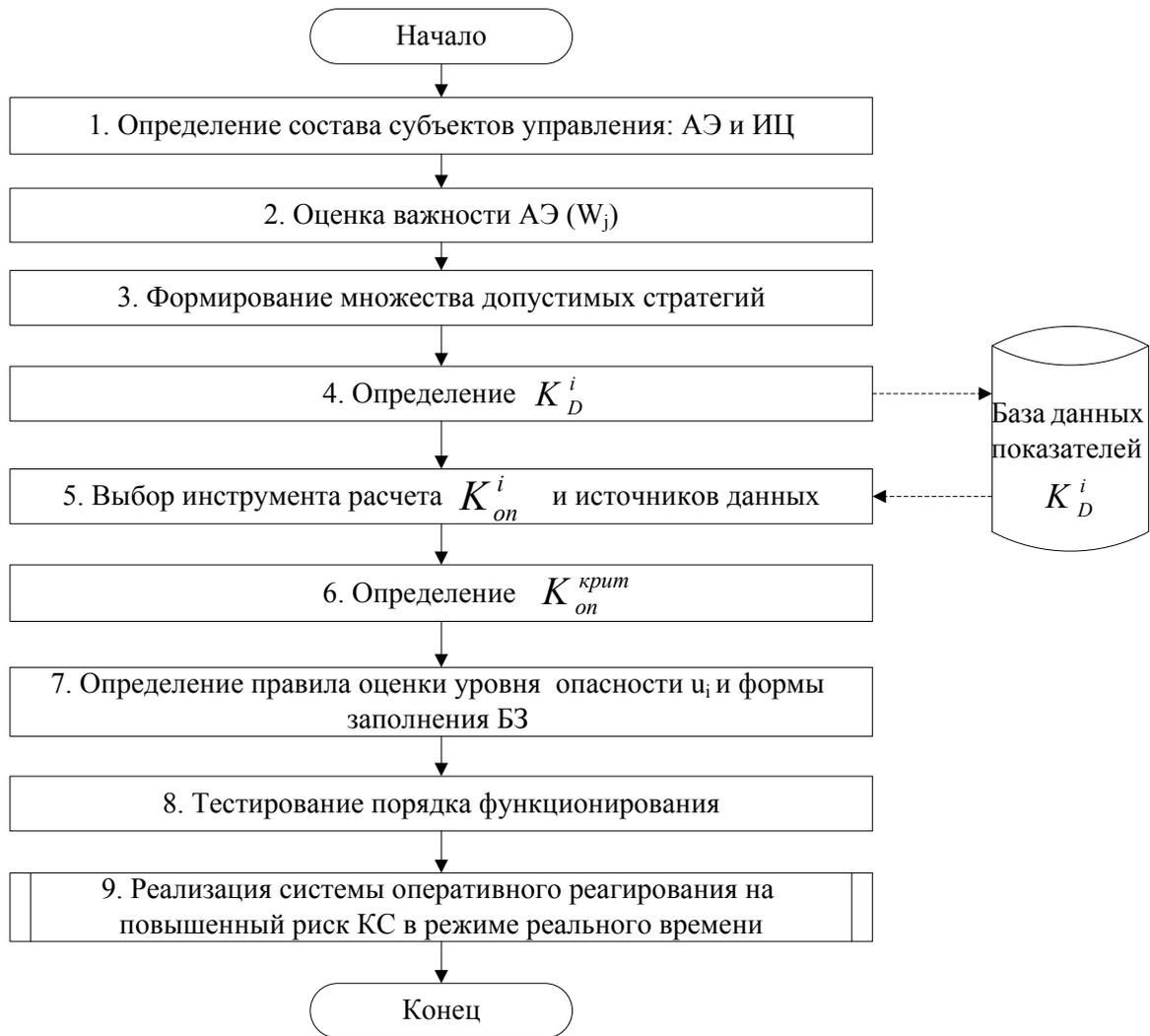


Рисунок 4.11 – Этапы практических рекомендаций по внедрению и использованию методики обеспечения БДД

Выполнение представленных этапов рекомендуется выполнять на базе работы региональной комиссии по обеспечению безопасности (КОБДД). В первую очередь требуется внесение в годовой план работы региональной КОБДД вопроса о совершенствовании системы оперативного управления БДД на ФАД. Ответственными органами являются: подведомственная организация Росавтодора в регионе, ГИБДД территориального органа МВД РФ на региональном уровне, территориальный орган МЧС РФ на региональном уровне и другие службы предупреждения ЧС. На примере Алтайского края в качестве ответственных определить ФКУ Упрдор «Алтай», УГИБДД по Алтайскому краю, ЦУКС ГУ МЧС по Алтайскому краю, ККУ «УГОЧС и ПБ в Алтайском крае. В рамках

заседания КОБДД согласовать состав участников системы управления (ответственных организаций), на основе экспертного оценивания участниками КОБДД определить вес каждого из участников системы, а также выбрать участок дороги, на основе которого будет проводиться тестирование системы управления и порядка функционирования. По итогам заседания КОБДД поставить задачи для ответственных служб по определению перечня мероприятий в рамках оперативного управления БДД, расчету приведенного ранга (степени снижения опасности) каждого из них на основе экспертного оценивания, порядка взаимодействия с подчиненными структурами и определению ответственных лиц – ЛПР. Для подведомственной организации Росавтодора в регионе дополнительно поставить задачи по определению ответственного за выполнение функций информационного центра, выбору интервала контроля за показателями потенциальной опасности, расчету уровня потенциального риска участков выбранного отрезка ФАД и внесению информации в базу данных, выбору инструмента расчета риска возникновения КС. Территориальному органу МЧС РФ на региональном уровне и другим службам предупреждения ЧС дополнительно поставить задачу по определению ответственности за реализацию каждого из мероприятий.

При следующем заседании КОБДД определить критическое значение риска возникновения КС на основе региональной целевой программы по обеспечению БДД и установить правила оценки уровня опасности. Для ответственных организаций поставить задачу по разработке проекта соглашения о порядке взаимодействия по вопросу реализации методики оперативного управления БДД на ФАД. После разработки проекта соглашения обсудить его в рамках заседания КОБДД, согласовать и утвердить его и определить дату начала тестирования системы оперативного управления БДД.

После проведения тестирования определить основные проблемы, обсудить и устранить их и при необходимости внести изменения в соглашение о порядке взаимодействия. При достижении согласия в области проведения оперативного

мониторинга и реагирования на повышенный риск возникновения КС увеличить охват ФАД системой управления БДД.

Разработанная методика обеспечения БДД и практические рекомендации по ее внедрению позволят значительно сократить аварийность на ФАД за счет своевременного принятия и реализации решений по предупреждению ДТП [163], а также ускорить процесс повышения эффективности работы системы оперативного управления БДД.

4.7 Перспективы совершенствования обеспечения БДД на ФАД

Перспективы дальнейшего совершенствования системы обеспечения БДД на ФАД могут идти по двум направлениям: совершенствование способа оценки риска возникновения КС и повышение качества функционирования системы оперативного управления.

Предложения по дальнейшему совершенствованию способа определения K_{on}^i могут включать в себя:

- определение влияния редких событий на риск возникновения КС, например, возникновение аварии в результате изменения движения вследствие произошедших ДТП;

- уточнение закономерности взаимосвязи погодных условий и аварийности в зонах морского, высокогорного и субарктического климата;

- расширение модели определения потенциального риска на основе постоянных дорожных характеристик на дорогах I и IV категорий.

Повышению качества моделирования на дорогах, характеризующихся значительными отличиями от А-322 (горные дороги, в зоне морского климата и др.), может способствовать повышение детализации и точности информации в карточках ДТП, в том числе: точная информация о месте ДТП, времени суток (с уточнением вида сумерек), количественная информация о метеорологических

условиях. При этом важным аспектом является накопление и анализ полных и качественных статистических данных о ДТП [164].

Целесообразно совершенствование программного обеспечения для расчета K_{on}^i на основе создания баз данных постоянных дорожных характеристик. При развитии ИТС на ФАД возможно изменение типа архитектуры приложения и определение входных параметров для расчета K_{on}^i на основе автоматического получения информации с автоматизированных систем метеорологического наблюдения, ПУИД и системы контроля за проведением дорожных работ.

При перспективном увеличении числа беспилотных ТС в общем транспортном потоке на ФАД роль факторов водитель – В и автомобиль – А будет уменьшаться, что позволяет сделать вывод о повышении точности моделирования.

В настоящее время одной из тенденций развития транспортных систем является совершенствование ИТС. Практика внедрения ИТС показывает высокую эффективность их применения [165]. Разработанные математические модели позволят получать более точную оценку, которая в дальнейшем может быть основой для совершенствования автоматизированного управления, сценариев смены сообщений на информационном табло и знаках переменной информации, – части перспективной системы «БДД» ИТС [146, 166]. Схема одного из перспективных вариантов передачи информации представлена на рисунке 4.12.

В рамках развития ИТС в перспективе возможно использование автоматизированного управления обеспечением БДД на основе двухвариантной системы: в роли первой вариантной системы используются решения, принятые активными элементами, в роли второй – «машинная» (компьютерная) управляющая система на основе базы знаний [162]. При накоплении достаточно большого количества опыта (информации в базе знаний о положительных результатах) возможно использование преимущественно автоматизированного варианта, что позволит уменьшить величину «человеческого фактора». Вариант работы активных элементов целесообразно осуществлять при сложных ситуациях,

данных о которых нет в базе знаний. База знаний может стать основой для реализации управления с помощью самообучающихся нейронных сетей.

Кроме того, программное обеспечение для расчета $K_{оп}^i$ и u_i' может стать базой информационного обеспечения субъектов ИТС на участках ФАД.



Рисунок 4.12 – Схема одного из перспективных вариантов передачи информации

Основной перспективой использования разработанной методики является ее интеграция с компонентами ИТС при условии их дальнейшего развития и увеличения охвата участков ФАД.

4.8 Определение социально-экономического эффекта внедрения результатов исследований

Использование методики обеспечения БДД на ФАД на основе оперативного реагирования на повышенный риск возникновения конфликтных ситуаций позволит снизить количество раненых и погибших людей за счет предотвращения

ДТП. Это подтверждается достаточно высокой точностью прогнозирования КС, представленной в п. 3.5. Для определения величины социально-экономического эффекта результатов исследований проведена оценка количества потенциально предотвращенных аварий и их экономического эквивалента.

Оценка проводилась на основе ОДМ 218.6.025-2017 «Методические рекомендации по выбору эффективных некапиталоемких мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации ДТП на автомобильных дорогах общего пользования» [167]. Согласно документу, социально-экономический ущерб от автомобильных аварий вычисляется по формуле:

$$C_{\text{ДТП}} = N_{\text{гиб}} \cdot Y_{\text{гиб}} + N_{\text{тр}} \cdot Y_{\text{тр}} + N_{\text{ТС}} \cdot Y_{\text{ТС}}, \quad (4.16)$$

где $C_{\text{ДТП}}$ – социально-экономический ущерб от ДТП за год (руб),

$N_{\text{гиб}}$, $N_{\text{тр}}$, $N_{\text{ТС}}$ – количество погибших, травмированных взрослых и транспортных средств соответственно,

$Y_{\text{гиб}}$, $Y_{\text{тр}}$, $Y_{\text{ТС}}$ – нормативные оценки потерь в результате гибели, травмирования и материального ущерба в результате повреждения автомобилей.

В документе приведены стоимостные оценки до 2017 года: $Y_{\text{гиб}}^{2017} = 16,085$ млн. руб., $Y_{\text{тр}}^{2017} = 0,496$ млн. руб., $Y_{\text{ТС}}^{2017} = 0,258$ млн. руб. Для расчета актуальных значений на 2019 год использованы индекс-дефляторы ВВП. С использованием официальной информации федеральной службы государственной статистики получены индексы-дефляторы ВВП с 2018 по 2019 год и рассчитано актуальные значения нормативов по состоянию на 2019 год: $Y_{\text{гиб}}^{2019} = 15,846$ млн. руб., $Y_{\text{тр}}^{2019} = 0,489$ млн. руб., $Y_{\text{ТС}}^{2019} = 0,254$ млн. руб.

На основе проверки адекватности модели на примере отрезка дороги А-322 длиной 50 км (км 97+000 – км 147+000) установлено, что прогноз КС позволил верно определить 11 ДТП с пострадавшими (это 61 % из 18 ДТП), в которых пострадало 20 человек (это 71% из 28 пострадавших) и погибло 4 человека (это 66% из 6 погибших). На основе представленных данных произведены расчеты

фактического ущерба от ДТП (без внедрения результатов исследования) – $S_{\text{ДТП}}^{\text{факт}}$, ущерба от ДТП при внедрении результатов исследования (отсутствие предсказанных ДТП) – $S_{\text{ДТП}}^{\text{п}}$ и экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{ДТП}}^{\text{п}}$ при внедрении результатов на основе разницы значений $S_{\text{ДТП}}^{\text{факт}}$ и $S_{\text{ДТП}}^{\text{п}}$. Исходные данные и рассчитанные значения представлены в таблице 4.13. С учетом рассчитанного норматива стоимость потенциально предотвращенных отчетных ДТП в результате прогнозирования КС на рассматриваемом отрезке дороги длиной 50 км составила 75 952 220 руб./год.

Средняя аварийность на рассматриваемом отрезке дороги составила 1,97 ДТП/год. С учетом средней аварийности на всем протяжении дороги А-322 (1,18 ДТП/год) рассчитаны значения экономического эффекта в зависимости от протяженности охваченных контролем риска дорог. Результат представлен на рисунке 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет экономического ущерба и эффекта от потенциально предотвращенных ДТП

Показатель	Стоимость единицы: $\gamma_{\text{гиб}}^{2019}$, $\gamma_{\text{тр}}^{2019}$, $\gamma_{\text{ТС}}^{2019}$ (млн. руб.)	Кол-во случаев – факт (ед.)	Ущерб фактический $S_{\text{ДТП}}^{\text{факт}}$ (млн. руб.)	Ущерб от ДТП при внедрении результатов $S_{\text{ДТП}}^{\text{п}}$ (млн. руб.)	Потенциальный экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{ДТП}}^{\text{п}}$ (млн. руб.)
Погибшие в ДТП	15,85	6	95,08	31,69	63,38
Раненые в ДТП	0,49	28	13,68	3,91	9,77
Повреждение ТС в отчетных ДТП	0,25	18	4,57	1,78	2,80
Всего			113,33	37,38	75,95

При охвате контролем всех участков ФАД А-322 экономический эффект составит свыше 538,47 млн. рублей в год.



Рисунок 4.13 – Рост экономического эффекта в зависимости от протяженности охваченных контролем дорог

Кроме того, внедрение результатов исследования позволит снизить количество погибших на 66%, обеспечить целевые показатели смертности на дороге уже в 2022 году, предотвратить более 38 летальных исходов на выбранной дороге с 2022 до 2024 года, более 113 на всех ФАД региона, а к 2030 году спасти более 323 жизней на ФАД региона за счет предотвращения ДТП.

Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о значимости социально-экономического эффекта использования результатов исследования: применение разработанной методики на основе оценки риска возникновения КС позволит не только предотвратить ущерб в результате повреждения ТС, но и обеспечить главную цель БДД – предотвращение травм и гибели людей в ДТП.

Выводы по главе 4

1. Предложена структура и состав оперативной системы управления БДД на ФАД: объектом управления являются участники и условия движения, его обобщенной характеристикой – риск возникновения КС; 4 субъектами управления

– ведомства, ответственные за БДД; для обеспечения мониторинга показателей объекта управления выделен ИЦ. На примере Алтайского края определен состав и структура субъектов управления, в качестве ИЦ выбрано ФКУ Упрдор «Алтай». К АЭ отнесены: АЭ₁ – ФКУ Упрдор «Алтай»; АЭ₂ – УГИБДД по Алтайскому краю; АЭ₃ – ЦУКС ГУ МЧС по Алтайскому краю, ККУ «УГОЧС и ПБ в Алтайском крае.

2. На основе экспертного оценивания определены вес каждого АЭ в системе оперативного управления и критериальные оценки возможных мероприятий.

3. С использованием метода нечеткого логического вывода определены правила перехода от значения риска возникновения КС к уровню опасности. Уровень опасности выбран критериальным требованием системы управления.

4. Разработана методика обеспечения БДД на ФАД на основе оценки риска возникновения КС и совершенствования системы оперативного управления БДД состоящая из трех основных этапов: мониторинг обстановки и инициирование процесса принятия решений; процесс принятия решений; создание базы знаний. Таким образом решена поставленная научная задача по разработке научно-обоснованной методики обеспечения БДД на ФАД на основе математических моделей оценки риска возникновения КС в определенных времени и месте и совершенствования элементов системы оперативного управления БДД.

5. Определены практические рекомендации по внедрению и использованию методики обеспечения БДД, которые могут быть реализованы в рамках заседаний КОБДД.

6. Определен социально-экономический эффект исследований, который в случае внедрения результатов составит 538 млн. рублей в год при условии охвата контролем всех участков ФАД А-322; кроме того, внедрение результатов позволит снизить количество ДТП и погибших в них и обеспечить целевые показатели БДД по региональной целевой программе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 жизней 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.

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 сокращений

АЭ – активный элемент.

БДД – безопасность дорожного движения.

ВАДС – комплекс «водитель – автомобиль – дорога – среда».

ВВП – валовый внутренний продукт.

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения.

ДТП – дорожно-транспортное происшествие.

ДТА – дорожно-транспортная аварийность.

ИС – информационная система.

ИТС – интеллектуальная транспортная система.

КОБДД – комиссия по обеспечению безопасности дорожного движения.

КС – конфликтная ситуация.

ЛПР – лицо, принимающее решение.

ПУИД – пункт учета интенсивности движения.

ТС – транспортные средства.

ФАД – федеральная автомобильная дорога.

ФЦП – федеральная целевая программа.

Список литературы

1. Тохиров, Т.И. Роль автомобильного транспорта в формировании экономического пространства [Электронный ресурс] / Т.И. Тохиров // LI International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education. – 2018. – Режим доступа: <https://scientific-conference.com/images/PDF/2018/53/rol-avtomobilnogo-1.pdf> (дата обращения 02.01.2020).
2. Кузнецов, В.Н. Анализ корреляционных связей между уровнем автомобилизации и экономическим развитием регионов / В.Н. Кузнецов // Modern Science. – 2019. – № 5-3. – С. 262 – 265.
3. Blaginin, V. Automobile transport infrastructure in the system of maintaining social well-being / V. Blaginin, O. Ergunova, S. Ryankova // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences. – 2018 – P.62 – 70.
4. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru> (дата обращения 09.02.2019).
5. Печатнова, Е.В. Взаимосвязь показателей автомобилизации и аварийности на примере регионов Сибирского федерального округа / Е.В. Печатнова, В.Н. Кузнецов // Инновационный транспорт. – 2019. – № 1 (31). – С. 54 – 57.
6. Коноплянко, В.И. Экономический механизм повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации / В.И. Коноплянко, В.В. Луговенко // Транспорт Российской Федерации. – 2009. – № 6 (25). – С. 26 – 29.
7. Sakharov, R.L. Risk management model in road transport systems / R.L. Sakharov, R.V. Nikolaeva, M. N. Gatiyatullin and M.M. Makhmutov // J. Phys.: Conf. Ser. 738. – 2016. – 012008.
8. Новизенцев, В.В. Скорость и безопасность дорожного движения / В.В. Новизенцев // Москва : Московский автомобильно-дорожный гос. технический ун-т (МАДИ), 2011. – 154 с.

9. Печатнова, Е.В. Влияние времени суток на дорожно-транспортную аварийность / Е.В. Печатнова // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 2 (63). – С. 194 – 200.
10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2018 года № 1-р «Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71760528/> (дата обращения: 07.07.2020).
11. Николаева, Р. В. Взаимосвязь между экономикой страны и безопасностью дорожного движения / Р. В. Николаева // Техника и технология транспорта. – 2017. – № 3 (4). – С. 15.
12. Печатнова, Е.В. Дорожно-транспортная аварийность как социально-экономическая проблема / Е.В. Печатнова // Форум молодых ученых. – 2018. – № 11-2 (27). – С. 385 – 389.
13. Симуль, М.Г. Обзор методов и подходов к оценке последствий ДТП / М.Г. Симуль // Организация и безопасность дорожного движения. Материалы X международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д. т. н., профессора Л.Г. Резника: в 2 томах. – 2017. – С. 443 – 446.
14. Сафронов, Э.А. Проблемы повышения безопасности дорожного движения в мире / Э.А. Сафронов, К.Э. Сафронов // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния. Материалы XXV Международной (двадцать восьмой Екатеринбургской) научно-практической конференции. – 2019. – С. 152 – 165.
15. Шевкуненко, М.Ю. Социально-экономический ущерб от дорожно-транспортных происшествий как угроза экономической безопасности России / М.Ю. Шевкуненко // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2019. – № 6 (75). – С. 194 – 200.
16. ГИБДД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 07.07.2020).

17. Печатнова, Е.В. Чрезвычайные ситуации в результате автомобильных катастроф / Е.В. Печатнова, Е.В. Пономаренко // В сборнике: Дальневосточная весна - 2016 Материалы 14-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности. Ответственный редактор: И. П. Степанова. – 2016. – С. 47 – 49.
18. Сафронов, Э.А. Методы повышения результативности "Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 годы" / Э.А. Сафронов, К.Э. Сафронов, Е.С. Семенова // Автомобильный транспорт. – 2018. – № 5. – С. 34 – 39.
19. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 12 месяцев 2019 года. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». – 2020. – 21 с.
20. Печатнова, Е.В. Определение причин и способов снижения дорожно-транспортной смертности в регионах с повышенным социальным риском ДТП / Е.В. Печатнова, С.Н. Павлов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 12. – С. 28 – 34.
21. Энциклопедия судебной практики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/57592925/> (дата обращения 21.10.2020).
22. Джурук, Д.С. Оценка влияния дорожных факторов на аварийность / Д.С. Джурук // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2018. – № 12. – С. 46 – 50.
23. Global status report on road safety 2018 [Электронный ресурс] // World Health Organization : официальный сайт. – Режим доступа: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/ (дата обращения 15.12.2017).
24. European facts and the Global status report on road safety 2015 [Электронный ресурс] // World Health Organization Regional Office for Europe : официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.euro.who.int/ru/publications/abstracts/european-facts-and-the-global-status-report-on-road-safety-2015> (дата обращения 25.10.2019).

25. Directive 2008.96.EC [Электронный ресурс] : Official Journal of the European Union // Access to European Union law : [сайт]. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0096> (дата обращения 25.10.2019).
26. Road infrastructure safety management [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/625191/EPRS_BRI\(2018\)625191_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/625191/EPRS_BRI(2018)625191_EN.pdf)(дата обращения 17.02.2019).
27. 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.
28. Road Safety Audit and Road Safety Inspection on the TEM network [Электронный ресурс] // UNECE. – Режим доступа: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/tem/Road_Safety_Audit_and_Road_Safety_Inspection_on_the_TEM_Network.pdf. (дата обращения 17.07.2020).
29. Request for Proposals – (Selection Based on Consultant Qualification) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://asd.md/storage/topic/thumbs/files/PDF_old_site/en/RFP_iRAP_eng.pdf (дата обращения 18.07.2020).
30. Canadian Road Assessment Program Feasibility Study - Data Collection & Analysis [Электронный ресурс] // Government of Canada : официальный сайт. – Режим доступа: https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/canrap_data_collection_analysis_jan_2009.pdf (дата обращения 15.09.2020).
31. iRAP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.irap.org/methodology> (дата обращения 19.07.2020).
32. Intan Suhana Mohd Razelan Safer Roads: Comparisons Between Road Assessment Program and Composite Road Safety Index Method [Электронный ресурс] / Intan Suhana Mohd Razelan // MATEC Web of Conferences. – 2017. – 103. – 08005. – Режим доступа: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/17/mateconf_iscee2017_08005.pdf (дата обращения 21.06.2020).

33. Jiří Ambros Exploring an alternative approach to iRAP Star Rating validation [Электронный ресурс]. / Jiří Ambros, Attila Borsos, Tibor Sipos // Conference: TRB 2017 Annual Meeting. – 2017. – Режим доступа: www.researchgate.net/publication/312168666_Exploring_an_alternative_approach_to_iRAP_Star_Rating_validation.
34. Противостояние "смерти на колёсах": обеспечение безопасности дорожного движения в Европе и Центральной Азии : создание межотраслевых партнерств для борьбы с тихой эпидемией. – Вашингтон : Регион Европы и Центральной Азии, Департамент развития людских ресурсов, Департамент устойчивого развития, Глобальный фонд безопасности движения, Всемирный банк, 2009. – 108 с.
35. Cafiso, S. Application of Highway Safety Manual to Italian Divided Multilane Highways / Salvatore Cafiso, Giacomo Di Silvestroa, Giovanni Di Guardoa // Procedia: Social and Behavioral Sciences. – 2012. – 53. – P.910 – 919.
36. Alfonsi, R. Advancements in road safety management analysis / Raffaele Alfonsi, Luca Persia, Tripodi Antonino, Davide Shingo Usami // Transportation Research Procedia 14. – 2016.– P. 2064 – 2073.
37. Jamroz, K. Polish Experience of Implementing Vision Zero / K. Jamroz, L. Michalski, J. Żukowska // Current Trauma Reports. – 2019. – №3(2). – p. 111–117.
38. Jessica Nihl'en Fahlquist Responsibility ascriptions and Vision Zero / Jessica Nihl'en Fahlquist // Accident Analysis and Prevention. – 2006. – 38 (2006). – P. 1113 – 1118.
39. Fleisher, A. A Vision for Transportation Safety. Transportation Research Record / A. Fleisher, M. L. Wier, M. Hunter // Journal of the Transportation Research Board. – 2016. – 2582. – P.72 – 86.
40. The Swedish Approach to Road Safety: «The Accident Is Not the Major Problem» [Электронный ресурс] // Citylab, 2014. – Режим доступа: <https://www.citylab.com/transportation/2014/11/the-swedish-approach-to-road-safety-the-accident-is-not-the-major-problem/382995/> (дата обращения 15.12.2017).

41. SWOV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.swov.nl/publicatie/dv3-visie-duurzaam-veilig-wegverkeer-2018-2030> (дата обращения 15.07.2020).
42. Turner, B. Recent Progress in Implementing the Safe System Approach / Blair Turner, Peter Cairney, Chris Jurewicz, David Mc Tieman // Journal of the Australasian College of Road Safety. – 2010. – P.17 – 19.
43. Федеральный закон "О безопасности дорожного движения" от 10.12.1995 N 196-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585 (дата обращения 09.02.2020).
44. Реализация региональных программ в целях обеспечения безопасности дорожного движения на территории Алтайского края [Электронный ресурс] // Министерство транспорта Алтайского края : официальный сайт. – Режим доступа: <http://mintrans22.ru/regionalnye-programmy> (дата обращения 15.09.2020).
45. Сафронов, Э.А. Управление программами повышения БДД / Э.А. Сафронов, К.Э. Сафронов, Е.С. Семенова // В сборнике: Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния. материалы XXIV Международной (XXVII Екатеринбургской, II Минской) научно-практической конференции. – 2018. – С. 311 – 318.
46. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449/page/1> (дата обращения: 16.03.2021).
47. Anthony, R N. Planning and Control: a Framework for Analysis / R N. Anthony – Cambridge MA: Harvard University Press, 1965.
48. Овчинникова, О.П., Колосов А.В. Выбор управленческих решений на основе проектирования системы безопасности дорожного движения в рамках концепции адаптивности / О.П. Овчинникова, А.В. Колосов // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2012. – № 35 (125). – С. 11 – 16.

49. Шашина Е.В. Разработка научно-методических основ оценки надёжности водителя автобуса в условиях возникновения конфликтных и чрезвычайных ситуаций : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.10 / Шашина Елена Владимировна. – Москва, 2014. – 23 с.
50. ОДМ 218.6.011–2013 «Методика оценки влияния дорожных условий на аварийность на автомобильных дорогах федерального значения для планирования мероприятий по повышению безопасности дорожного движения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/218.6.011-2013.pdf> (дата обращения 15.09.2020).
51. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для ВУЗов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1992. – 288 с.
52. Учаева, А.А. Дорожные условия и безопасность движения / А.А. Учаева, М.Х. Гатиятуллин // Техника и технология транспорта. – 2020. – № 2 (17). – С. 9.
53. Адамян, В.Л. Дорожно-транспортная безопасность и аварии на автомобильном транспорте / В.Л. Адамян, Ю.Д. Кудинова, Н.В. Бабченкова // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 16 (98). – С.56 – 58.
54. Неблагоприятные погодные условия провоцируют всплеск ДТП [Электронный ресурс] // Главное управление МВД по Свердловской области Официальный сайт МВД : [сайт]. URL: <https://66.xn--b1aew.xn--plai/news/item/13095189> (дата обращения 21.12.2020).
55. ОДМ 218.6.015-2015 «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70950534/> (дата обращения 14.09.2020).
56. Капитанов, В.Т. Некоторые аспекты вероятностно-статистического моделирования аварийности в регионах Австрии, Германии, России / В.Т. Капитанов, О.Ю. Моница, В.В. Сильянов, А.Б. Чубуков / Вестник Московского

автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – №4 (39). – С. 97 – 102.

57. Бурков В.Н., Кондратьев В.Д., Щепкин А.В. Механизмы повышения безопасности дорожного движения – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 208 с.

58. Кравченко, П. А. Безопасность дорожного движения: узел связанных проблем? / П. А. Кравченко // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – № 2 (2). – С. 61 – 62.

59. Федоров В.А., Моделирование задач проблемы обеспечения безопасности дорожного движения / В.А. Федоров, П. А. Кравченко // Вестник гражданских инженеров. – 2004. – № 1. – С. 161 – 168.

60. ОДМ 218.4.005-2010 Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084056> (дата обращения 09.02.2019).

61. Чванов, В.В. Нормирование итогового коэффициента аварийности / В.В. Чванов, И.Ф. Живописцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – № 3 (50). – С. 12а– 16.

62. Близниченко, С.С. Оценка условий безопасности движения с помощью уточненного метода коэффициентов аварийности / С.С. Близниченко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2013. – Т. 3. – С. 30–36.

63. Шешера, Н.Г. Перспективы совершенствования "методики коэффициентов аварийности" коэффициентами травматизма / Н.Г. Шешера // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2019. – № 1 (2). – С. 464 – 469.

64. Шешера, Н.Г. Повышение безопасности дорожного движения с использованием современных способов и подходов к совершенствованию «методики коэффициентов аварийности» / Н.Г. Шешера // В сборнике: Молодые ученые - Хабаровскому краю. Материалы XXII краевого конкурса молодых ученых и аспирантов. Редколлегия: И.Н. Пугачёв [и др.]. – 2020. – С. 163 – 166.

65. Капский, Д.В. Совершенствование метода прогнозирования аварийности по конфликтным ситуациям / Д.В. Капский, А.И. Рябчинский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2016. – № 2 (45). – С. 94 – 103.
66. Капский, Д.В. Оперативная контрольная оценка аварийной эффективности внедряемых мероприятий по организации дорожного движения / Д.В. Капский, А.И. Рябчинский // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 1. – С. 109 – 117.
67. Капский, Д.В. Исследование опасности взаимодействия пешеходных и поворотных транспортных потоков методом конфликтных ситуаций / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.Н. Карасевич // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2006. – № 1-2 (12-13). – С. 74 – 78.
68. Rappoport, H. A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz / H.A. Rappoport // Strassen und Tiefbau. – 1955. – № 8 – P. 499 – 510.
69. Капский, Д.В. Анализ существующих подходов к прогнозированию аварийности в дорожном движении / Д.В. Капский // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2008. – № 5. – С. 58 – 63.
70. Чикалина, С.Л. Исследование влияния конфликтных ситуаций на изменение скорости транспортных потоков в зонах нерегулируемых перекрестков / С.Л. Чикалина, Н.А. Елфимова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 8 (127). – С. 193 – 198.
71. Волков, В.С. Расчёт вероятностных оценок опасности конфликтных точек на дорожных пересечениях / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Е.Г. Лебедев // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 55 – 63.
72. Компанцев, В.И. Математическое моделирование влияния скорости и интенсивности движения на количество дорожно-транспортных происшествий на

- автодороге Бишкек–Ош / В.И. Компанцев, М.Т. Алсеитов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2012. – Т. 12. – № 10. – С. 80 – 83.
73. AASHTO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.highwaysafetymanual.org/Pages/about.aspx> (дата обращения 04.03.2020).
74. Russo, F. Assessing Transferability of Highway Safety Manual Crash Prediction Models to Data from Italy / F. Russo, M. Busiello, S. A. Biancardo, G. Dell'Acqua // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2014. – 2433(1). – P. 129 – 135.
75. Hyeonshic, Shin Results and lessons from the local calibration process of the highway safety manual for the state of Maryland / Hyeonshic Shin, Seyedehsan Dadvar, Shilpi Bharti, Young-Jae Lee // Transportation Research Board Annual Meeting. – 2015. – №2515. – P. 104 – 114.
76. ГОСТ Р 51897-2011 Менеджмент риска. Термины и определения М.: Стандартиформ, 2019. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51897-2011>
77. Сильянов, В.В. Организация движения в местах производства дорожных работ / В.В. Сильянов, А.С. Сидорова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 2 (61). – С. 2а – 5.
78. Nothando Khumalo A Methodology to assess the Road Accident Risk as a Result of Direct Wunlight Exposure: A case Study in Cape Town / Nothando Khumalo, Marianne Vanderschuren // Proceedings of the 34th Southern African Transport Conference (SATC 2015). – P. 54 – 65.
79. Black, A. W. Effects of methodological decisions on rainfall-related crash relative risk estimates / A. W. Black, G. Villarini // Accident Analysis and Prevention. – 2019. – 130. – P. 22. – 29.
80. Malin, F. Accident risk of road and weather conditions on different road types / F. Malin, I. Norros, S. Innamaa // Accident Analysis and Prevention. – 2019. – V. 122. – P. 181 – 188.

81. Norros, I. The Palm distribution of traffic conditions and its application to accident risk assessment / I. Norros, P. Kuusela, S. Innamaa, E. Pilli-Sihvola, R. Rajamäki // *Analytic Methods in Accident Research*. – 2016. – V.12. – P. 48 – 65.
82. Papadimitriou, E. Review and ranking of crash risk factors related to the road infrastructure / E. Papadimitriou, A. Filtness, A. Theofilatos, A. Ziakopoulos, C. Quigley, G. Yannis // *Accident Analysis & Prevention*. – 2019. – 125. – P.85 – 97.
83. Гольчевский, В.Ф. Сравнительный анализ факторов, влияющих на безопасность дорожного движения / В.Ф. Гольчевский, А.Р. Ермаков, С.Н. Думнов // *Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России*. – 2015. – № 2 (73). – С. 61 – 70.
84. Елисеев, М.Е. Статистический и корреляционный анализ погодных факторов в интерактивной информационной системе повышения безопасности дорожного движения / М.Е. Елисеев, Л.Н. Мазунова, И.Н. Елисеева // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. – 2020. – № 2 (129). – С. 28 – 41.
85. Кузьмина, М.А. Влияние неблагоприятных дорожных и погодноклиматических условий на безопасность движения / М.А. Кузьмина, И.Н. Котенкова, Н.Н. Пилук // *Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник)*. – 2017. – № 2. – С. 234 – 239.
86. Новиков, А.Н. Научно-методологический подход к прогнозированию и предупреждению дорожно-транспортных происшествий / А.Н. Новиков, И.А. Новиков // *Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования*. – 2019. – № 1 (2). – С. 336-342.
87. Новиков, И.А. Управление и организация дорожного движения при оценке единичного элемента системы "ВАДС" / И.А. Новиков, А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // В сборнике: *Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы международной научно-практической конференции*. Под общей редакцией А.Н. Новикова. – 2015. – С. 231 – 238.

88. Ломакин В.В., Безопасность автотранспортных средств: Учебник для вузов. / В. В. Ломакин, Ю. Ю. Покровский, И. С. Степанов, О. Г. Гоманчук / Под общ. ред. В.В. Ломакина. – М: МГТУ «МАМИ», 2011. – 299 с.
89. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 т. – Т.1 : учебник для студентов высших учебных заведений / А.П. Васильев. – М.: Издательский дом «Академия», 2010. – 320 с.
90. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
91. Воеводин, Е.С. Определение оптимальных параметров элементов системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» / Е.С. Воеводин, Е.В. Фомин, К.В. Пулянова, А.М. Асхабов, А.С. Кашура, Н.В. Голуб // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. – № 5. – С. 240 – 250.
92. Кондрашова, Е.В. Учет неблагоприятных погодных-климатических условий при разработке мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения на лесовозных автомобильных дорогах / Е.В. Кондрашова, А.М. Волков //Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – 2010. – № 8. – С. 67 – 70.
93. Huvarinen, Y. Road Safety Audit / Y. Huvarinen, E. Svatkova, E. Oleshchenko, S. Pushchina, // Transportation Research Procedia. – 2017. – 20 – P.236 – 241.
94. Косцов, А.В. Совершенствование методов оценки психоэмоционального состояния водителя / А.В. Косцов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2018. – № 2 (84). – С. 7 – 9.
95. Гоманчук, О.Г. Практические вопросы влияния дорожных условий на возникновение дорожно-транспортных происшествий / О.Г. Гоманчук, К.С. Ремнев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2017. – № 2 (49). – С. 84 – 90.
96. Ивасик, Д.В. Проблемы обеспечения безопасности дорожного движения / Д.В. Ивасик, А.А. Васильченко, Т.А. Сидоренко, П.Л.Мисюрин // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 3 (54). – С. 37.

97. Han, Q. A Road Hotspots Identification Method Based on Natural Nearest Neighbor Clustering / Q. Han, Y. Zhu, L. Zeng, L. Ye, X. He, X. Liu, Q. Zhu // IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems. – 2015. – P. 553 – 557.
98. Справочник дорожных терминов / Под ред. д-ра техн. наук проф. В.В. Ушакова. - М.: «ЭКОН-ИНФОРМ», 2005. – 256 с.
99. ГОСТ Р 52398-2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2006 – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200042582> (дата обращения 09.02.2019).
100. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095524> (дата обращения 19.02.2019).
101. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. Транспорт, 1972. – 424 с.
102. Учаева, А.А. Дорожные условия и безопасность движения / А.А. Учаева, М.Х. Гатиятуллин // Техника и технология транспорта. – 2020. – № 2 (17). – С. 9.
103. ГОСТ Р 52765-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Классификация [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2007 – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200057499> (дата обращения 08.10.2017).
104. ГОСТ 33062-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к размещению объектов дорожного и придорожного сервиса [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2019 – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200123714> (дата обращения 19.02.2020).
105. ГОСТ 32965-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2019 – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200132267>.
106. Чванов, В.В., Особенности применения метода оценки безопасности движения с использованием итогового коэффициента аварийности в современных условиях / В.В. Чванов, И.Ф. Живописцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – № 3 (50). – С. 12а – 16.

107. Shahid, S. Climate change and road safety: a review to assess impacts in Malaysia / S. Shahid, A. Minhans // *Jurnal Teknologi*. – 2016. – Vol. 78. – №4. – P. 1 – 8.
108. Islam, M.M. The Impacts of Climate Change on Road Traffic Accident in Saudi Arabia / M.M. Islam, M. Alharthi, M.M. Alam // *Climate*. – 2019. – Vol 7. – №9. – P. 103.
109. Канищев, А.Н. Методы снижения количества дорожно-транспортных происшествий за счет комплексного подхода к обеспечению безопасности / А.Н. Канищев, А.Е. Борисов, Т.В. Каратаева // *Научный журнал строительства и архитектуры*. – 2021. – № 1 (61). – С. 86 – 95.
110. Martin, J.-L. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways / J.-L. Martin // *Accident Analysis and Prevention*. – 2002. – Vol 34. – P. 619 – 629.
111. Kassu, A. Analysis of severe and non-severe traffic crashes on wet and dry highways / A. Kassu, M. Anderson // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. – 2019. – Vol 2. – 100043.
112. Демин, А.Ю. Оценка интенсивности движения транспортных средств и ее влияние на безопасность дорожного движения / А.Ю. Демин, Н.Н. Ваньков // *Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова*. – 2016. – № 1 (66). – С. 40 – 43.
113. Влияние интенсивности движения на количество происшествий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s63339t1.html> (дата обращения 02.03.2019 г.)
114. Marcin Budzynski Road Infrastructure Safety Management in Poland / Marcin Budzynski, Kazimierz Jamroz, Wojciech Kustra, Lech Michalski, Stanislaw Gaca // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – Vol 245. – 042066.
115. Ma, M. Safety Analysis of Urban Arterials under Mixed-Traffic Patterns in Beijing / Ma, M., Yan, X., Abdel-Aty, M., Huang, H., Wang, X. // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2010. – Vol 2193(1). – P. 105–115.

116. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Гидрометеиздат. Ленинград, 1974. – с.568.
117. Alim, A. Techniques for efficient detection of rapid weather changes and analysis of their impacts on a highway network / Alim, A., Joshi, A., Chen, F., Lawson, C. T. // *GeoInformatica*. – 2020. – 012259.
118. Bergel-Hayat, R. Explaining the road accident risk: Weather effects / Bergel-Hayat R., Debbarh M., Antoniou C., Yannis G. // *Accident Analysis & Prevention*. – 2013. – Vol. 60. – P. 456 – 465.
119. Механтьева, Л.Е. Зависимость дорожно-транспортных происшествий на территории воронежской области от факторов внешней среды / Л.Е. Механтьева, А.В. Енин // *Прикладные информационные аспекты медицины*. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 43 – 49.
120. Brijs, T. Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model / T. Brijs, D. Karlis, G. Wets // *Accident Analysis and Prevention*. – 2008. – Vol. 40. – №3. – P. 1180 – 1190.
121. Theofilatos, A. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety / A. Theofilatos, G.Yannis// *Accident Analysis & Prevention*. – 2014. – Vol 72. – P.244 – 256.
122. ОДМ 218.6.019-2016 Рекомендации по организации движения и ограждению мест производства дорожных работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200132956> (дата обращения 15.07.2018).
123. Theofilatos, A. Meta-analysis of the effect of road work zones on crash occurrence / A. Theofilatos, A. Ziakopoulos, E. Papadimitriou, G. Yannis, K. Diamandouros // *Accident Analysis & Prevention*. – 2017. – Vol 108. – P.1 – 8.
124. Печатнова, Е.В. Расчет коэффициента опасности дороги в зонах проведения дорожно-строительных работ / Е.В. Печатнова, А.М. Третьяков // В сборнике: *Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы* Материалы международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Э.И. Забнева. Редколлегия: Л.С. Кочкина [и др.]. – 2017. – С. 94 – 96.

125. Аземша, С.А. Анализ данных дорожно-транспортных происшествий и их причин для г. Гомеля за 2013 и 2014 гг / С.А. Аземша, В.Н. Галушко, С.В. Скирковский, Ю.А. Врубель // Наука и техника. – 2015. – № 3. – С. 65 –73.
126. Капский, Д.В. К вопросу аналитического сравнения данных аварийности во времени / Д.В. Капский, В.А. Осипов // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2013. – № 4. – С. 25 – 31.
127. Парсаев, Е.В. Повышение безопасности дорожного движения на федеральных дорогах Омской области / Е.В. Парсаев, Ю.А. Рябоконт, И.А. Тетерина // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов II Национальной научно-практической конференции. – 2019. – С. 294 – 299.
128. Жук, М.М. Період настання сутінок, як чинник впливу на функціональний стан водія / М.М.Жук, М.В.Бойків, Т.М.Постранський // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2014. – № 46. – С 182 – 185.
129. Статистические сведения об автомобильных дорогах общего пользования федерального, регионального и межмуниципального значения [Электронный ресурс] // Федеральное дорожное агентство Росавтодор : официальный сайт. – Режим доступа: rosavtodor.ru/docs/statisticheskaya-otchetnost/1020 (дата обращения 14.03.2019).
130. Капский, Д.В. Аудит дорожного движения - инструмент повышения безопасности движения / Д.В. Капский, П.А. Пегин, А.К. Головнич, В.П. Иванов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – № 3. – С. 22 – 33.
131. Фридман, А.Я. Градиентное оперативное управление в сложных организационно-технических системах (результаты выполнения гранта РФФИ 09-07-00066-А) / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, Б.В. Соколов // Труды Кольского научного центра РАН. – 2011. – № 4 (7). – С. 164 – 183.
132. Sokolov, B. Integrated Situational Modelling of Industry-Business Processes for Every Stage of Their Life Cycle /B. Sokolov, A. Fridman // Proceedings of 4th

International IEEE Conference – Intelligent Systems (IS 2008), Varna, Bulgaria, September 6-8. – 2008. – Vol 1. – P. 8 – 40.

133. ФКУ «Упрдор Алтай» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uprdoraltay.ru/uprdor-news?id=674> (дата обращения 07.01.2019).

134. 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.

135. 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. – Vol 1661. – 012069.

136. Распоряжение Федерального дорожного агентства от 21 июля 2009 г. N 260-р «Об издании и применении ОДМ 218.4.004-2009 «Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/6626967/> (дата обращения 18.03.2021).

137. 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.

138. Пример использования кластерного анализа STATISTICA в автостраховании [Электронный ресурс] // StatSoft. – Режим доступа: http://statsoft.ru/solutions/ExamplesBase/branches/detail.php?ELEMENT_ID=1573 (дата обращения 15.07.2018).

139. Корчагин, В.А. Классификация городских улиц и дорог на основе характеристик безопасности дорожного движения / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, В.А. Суворов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – №2 (54). – С. 142 – 149

140. Клявин В.Э. Разработка научных методов повышения уровня системной безопасности дорожного движения : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.22.10 / Клявин Владимир Эрнстович. – Липецк, 2017. – 43 с.

141. 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.
142. 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. – 32063.
143. 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.
144. Pechatnova, E. V. Assessment of Influence of Meteorological Parameters on the Risk of Accidents on Roads Outside Settlements / E. V. Pechatnova, Ja. S. Sergeeva // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2019. – 272. – 022175.
145. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / сост. Г.Е. Шевелев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 114 с.
146. 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. – Т. 1258. – P. 136 – 145
147. Новиков Д.А. Курс теории активных систем / Д.А. Новиков, С.Н. Петраков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.
148. 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.
149. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2004 г. N 374 «Об утверждении положения о федеральном дорожном агентстве» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/about/normativno->

pravovaya-osnova/polozhenie-o-federalnom-dorozhnom-agentstve (дата обращения 24.05.2020).

150. Приказ Министерство транспорта Российской Федерации от 1 июня 2011 года N 76 «Об утверждении устава федерального казенного учреждения Управление федеральных автомобильных дорог «Алтай» Федерального дорожного агентства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902291760>(дата обращения 24.05.2020).

151. Приказ Министерства Внутренних Дел Российской Федерации от 28 сентября 1998 года N 618 «Об утверждении Положений об органах Управления и подразделениях ГИБДД МВД России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901770739> (дата обращения 24.05.2020).

152. Указ Президента Российской Федерации Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (с изменениями на 19 декабря 2018 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901902347> (дата обращения 24.05.2020).

153. Чегодаев, А.И. Математические методы анализа экспертных оценок / А.И. Чегодаев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – №2(64). – С. 130 – 135.

154. Оскорбин Н.М. Журавлева В.В. Аналитические методы и модели в экономике: учебное пособие / Н.М. Оскорбин, В.В. Журавлева. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. – 30 с.

155. Кендэл М. Ранговые корреляции / М. Кендэл. – М.: Статистика, 1975. – 216 с.

156. Карданская Н.Л. Принятие управленческого решения / Н.Л. Карданская. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 407 с.

157. Блюмин, С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова; Липец. экол.-гуманитар. ин-т. – Липецк : Липец. экол.-гуманитар. ин-т, 2001. – 139 с.

158. 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.
159. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTech / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
160. Inra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inra.fr/internet/Departements/MIA/M/fispro/teleen.html> (дата обращения 18.11.2020).
161. Pechatnova, E. Fuzzy modeling of the road traffic hazard level / E. Pechatnova, V. Kuznetsov, K. Safronov // MATEC Web of Conferences. – 2021. – 341. – 00023.
162. Печатнова Е.В. Система оперативного управления безопасностью дорожного движения // 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.
163. 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.
164. 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. – Барнаул: Изд-во АлтГУ. – 2015. – С. 151 – 155.
165. Agureev, I.E. The use of intelligent systems when regulating road traffic / I.E. Agureev, K.P. Andreev, E.V. Ionov, Svistunova A.Ya., V.V. Terentyev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 012090.

166. 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.
167. ОДМ 218.6.025-2017 «Методические рекомендации по выбору эффективных некапиталоемких мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации ДТП на автомобильных дорогах общего пользования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/odm2186025-2017.pdf> (дата обращения 18.10.2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Коэффициенты неравномерности $k_{\text{деньнед}}$, $k_{\text{мес}}$ Таблица А1 – Коэффициенты времени суток – дня недели $k_{\text{деньнед}}$

ПУИД км 38+890

Час суток	День недели						
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
0	0,24	0,30	0,30	0,26	0,24	0,32	0,24
1	0,21	0,22	0,24	0,23	0,20	0,26	0,19
2	0,20	0,25	0,23	0,23	0,19	0,23	0,18
3	0,26	0,25	0,26	0,27	0,24	0,24	0,17
4	0,40	0,39	0,43	0,40	0,35	0,34	0,22
5	0,58	0,58	0,56	0,53	0,48	0,45	0,30
6	0,93	0,97	0,89	0,91	0,75	0,76	0,44
7	1,29	1,19	1,27	1,23	0,97	1,02	0,68
8	1,36	1,48	1,38	1,36	1,18	1,34	0,84
9	1,39	1,55	1,55	1,48	1,26	1,54	1,07
10	1,33	1,56	1,41	1,36	1,25	1,59	1,34
11	1,41	1,47	1,41	1,39	1,25	1,50	1,48
12	1,56	1,50	1,47	1,36	1,31	1,67	1,56
13	1,60	1,54	1,55	1,50	1,52	1,72	1,85
14	1,67	1,67	1,56	1,64	1,60	1,76	1,95
15	1,66	1,62	1,70	1,67	1,74	1,73	2,20
16	1,62	1,76	1,63	1,64	1,83	1,63	2,20
17	1,55	1,34	1,49	1,51	1,79	1,49	2,04
18	1,30	1,16	1,33	1,39	1,69	1,19	1,66
19	1,09	1,03	1,09	1,13	1,46	1,02	1,24
20	0,88	0,85	0,83	0,85	1,10	0,73	0,99
21	0,72	0,65	0,67	0,64	0,74	0,55	0,69
22	0,53	0,47	0,54	0,50	0,50	0,41	0,49
23	0,39	0,35	0,38	0,43	0,38	0,31	0,34

Таблица А2 – Коэффициенты времени суток – дня недели $k_{\text{деньнед}}$

ПУИД км 128+870

Час суток	День недели						
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
0	0,36	0,34	0,36	0,37	0,41	0,41	0,36
1	0,28	0,28	0,28	0,30	0,32	0,35	0,28
2	0,23	0,23	0,24	0,26	0,29	0,31	0,22
3	0,22	0,21	0,22	0,23	0,20	0,37	0,31
4	0,24	0,23	0,25	0,24	0,22	0,37	0,31
5	0,43	0,41	0,40	0,40	0,36	0,40	0,30
6	0,72	0,70	0,72	0,73	0,59	0,56	0,37
7	1,11	1,14	1,12	1,11	0,97	0,89	0,56
8	1,40	1,47	1,44	1,43	1,27	1,33	0,89
9	1,43	1,50	1,49	1,42	1,28	1,48	1,12
10	1,43	1,47	1,40	1,38	1,28	1,54	1,29
11	1,49	1,45	1,44	1,43	1,30	1,58	1,46
12	1,52	1,46	1,47	1,46	1,35	1,60	1,63
13	1,50	1,45	1,43	1,43	1,36	1,60	1,73
14	1,52	1,51	1,51	1,49	1,49	1,64	1,89
15	1,55	1,53	1,50	1,49	1,54	1,57	1,96
16	1,54	1,58	1,54	1,55	1,61	1,52	1,92
17	1,52	1,56	1,54	1,56	1,54	1,37	1,73
18	1,41	1,41	1,39	1,46	1,57	1,26	1,51
19	1,17	1,21	1,19	1,25	1,47	1,08	1,26
20	0,99	1,01	1,00	1,06	1,29	0,92	0,99
21	0,75	0,77	0,79	0,79	0,99	0,70	0,75
22	0,60	0,59	0,59	0,63	0,72	0,61	0,58
23	0,45	0,43	0,43	0,47	0,51	0,48	0,43

Таблица А3 – Коэффициенты времени суток – дня недели $k_{\text{деньнед}}$

ПУИД км 166+550

Час суток	День недели						
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
0	0,43	0,41	0,42	0,42	0,47	0,35	0,34
1	0,32	0,34	0,35	0,34	0,37	0,28	0,29
2	0,30	0,29	0,29	0,29	0,30	0,26	0,26
3	0,23	0,30	0,31	0,29	0,26	0,34	0,22
4	0,34	0,34	0,35	0,34	0,30	0,35	0,19
5	0,55	0,56	0,55	0,51	0,48	0,43	0,23
6	0,83	0,82	0,85	0,82	0,72	0,72	0,38
7	1,00	1,07	1,05	1,10	0,93	1,00	0,58
8	1,12	1,28	1,16	1,17	0,98	1,22	0,83
9	1,19	1,28	1,22	1,22	1,06	1,38	0,94
10	1,31	1,28	1,29	1,29	1,06	1,47	1,18
11	1,34	1,38	1,35	1,28	1,18	1,53	1,38
12	1,43	1,36	1,36	1,35	1,24	1,58	1,57
13	1,44	1,39	1,39	1,41	1,31	1,55	1,80
14	1,52	1,46	1,53	1,47	1,40	1,66	1,97
15	1,55	1,51	1,50	1,44	1,50	1,59	2,04
16	1,54	1,50	1,52	1,51	1,59	1,61	2,08
17	1,46	1,52	1,53	1,54	1,54	1,47	1,88
18	1,43	1,47	1,38	1,41	1,58	1,35	1,58
19	1,32	1,25	1,27	1,37	1,57	1,10	1,32
20	1,12	1,06	1,14	1,13	1,43	0,96	1,06
21	0,96	0,90	0,92	0,95	1,20	0,75	0,80
22	0,71	0,70	0,71	0,71	0,93	0,60	0,60
23	0,57	0,51	0,54	0,52	0,62	0,46	0,47

Таблица А4 – Коэффициенты времени суток – дня недели $k_{\text{деньнед}}$

ПУИД км 213+150

Час суток	День недели						
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
0	0,39	0,40	0,38	0,39	0,40	0,34	0,34
1	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,30	0,29
2	0,32	0,33	0,30	0,31	0,30	0,28	0,30
3	0,27	0,29	0,32	0,27	0,26	0,34	0,23
4	0,42	0,39	0,41	0,38	0,33	0,37	0,25
5	0,60	0,60	0,61	0,56	0,53	0,49	0,29
6	0,77	0,87	0,84	0,85	0,79	0,77	0,43
7	0,98	1,04	1,06	1,10	0,96	1,00	0,62
8	1,11	1,22	1,16	1,14	1,07	1,18	0,85
9	1,19	1,28	1,28	1,24	1,13	1,32	1,08
10	1,36	1,33	1,40	1,31	1,21	1,46	1,25
11	1,36	1,39	1,38	1,36	1,27	1,53	1,45
12	1,41	1,38	1,38	1,37	1,34	1,52	1,67
13	1,57	1,45	1,44	1,44	1,39	1,61	1,86
14	1,46	1,46	1,47	1,44	1,45	1,67	2,01
15	1,54	1,51	1,55	1,51	1,51	1,61	2,00
16	1,58	1,52	1,54	1,50	1,57	1,53	1,98
17	1,47	1,52	1,51	1,52	1,56	1,43	1,75
18	1,42	1,38	1,35	1,40	1,53	1,24	1,47
19	1,31	1,25	1,21	1,22	1,38	1,12	1,19
20	1,05	1,08	1,05	1,07	1,24	0,91	0,96
21	0,85	0,81	0,84	0,89	1,03	0,75	0,74
22	0,63	0,60	0,66	0,69	0,78	0,59	0,55
23	0,49	0,47	0,49	0,51	0,58	0,47	0,43

Таблица А5 – Коэффициенты времени суток – дня недели $k_{\text{деньнед}}$

ПУИД км 328+350

Час суток	День недели						
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
0	0,31	0,31	0,29	0,34	0,35	0,31	0,32
1	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25	0,24	0,25
2	0,20	0,19	0,19	0,21	0,20	0,20	0,19
3	0,17	0,19	0,18	0,20	0,17	0,23	0,21
4	0,18	0,21	0,24	0,22	0,20	0,28	0,23
5	0,26	0,29	0,34	0,31	0,28	0,35	0,28
6	0,49	0,48	0,57	0,51	0,48	0,46	0,41
7	1,10	1,12	1,10	1,08	1,02	0,80	0,63
8	1,31	1,34	1,33	1,31	1,24	1,12	0,92
9	1,48	1,54	1,52	1,48	1,44	1,46	1,35
10	1,61	1,57	1,58	1,60	1,52	1,64	1,65
11	1,66	1,58	1,54	1,57	1,54	1,68	1,75
12	1,72	1,66	1,63	1,66	1,60	1,77	1,79
13	1,72	1,60	1,64	1,60	1,58	1,78	1,75
14	1,53	1,55	1,61	1,54	1,58	1,74	1,71
15	1,63	1,63	1,63	1,62	1,66	1,66	1,74
16	1,57	1,62	1,62	1,56	1,71	1,57	1,74
17	1,68	1,66	1,59	1,67	1,59	1,44	1,65
18	1,38	1,42	1,38	1,42	1,45	1,35	1,45
19	1,13	1,14	1,14	1,20	1,25	1,13	1,27
20	0,97	0,94	0,94	1,00	1,01	1,01	1,05
21	0,73	0,70	0,72	0,75	0,78	0,76	0,79
22	0,53	0,52	0,53	0,55	0,57	0,56	0,54
23	0,41	0,39	0,38	0,43	0,42	0,42	0,36

Таблица А6 – Коэффициенты месяца $k_{\text{мес}}$

ПУИД	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
ПУИД км 38+890	0,64	0,71	0,71	0,88	1,26	1,35	1,34	1,33	1,19	1,02	0,79	0,75
ПУИД км128+870	0,69	0,80	0,76	0,93	1,10	1,24	1,35	1,31	1,11	1,03	0,86	0,82
ПУИД км166+550	0,68	0,80	0,78	0,94	1,08	1,22	1,36	1,35	1,11	1,02	0,84	0,79
ПУИД км213+150	0,66	0,79	0,82	0,94	1,06	1,21	1,38	1,40	1,12	1,01	0,83	0,76
ПУИД км328+350	0,62	0,93	0,96	0,88	1,03	1,11	1,21	1,24	1,07	0,98	0,81	0,82

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Пример данных о ДТП для получения зависимостей

Исходные данные	Дата ДТП	29.11.2015	20.07.2015	12.01.2015	22.11.2015
	Время ДТП	20:20	8:45	15:15	10:40
	Адрес ДТП	км 173	км 176	км 176	км 185
Данные об интенсивности движения в момент ДТП для получения K_{s_1}	День недели	Воскресенье	Понедельник	Понедельник	Воскресенье
	Правый ПУИД (адрес)	км 213+150	км 213+150	км 213+150	км 213+150
	Левый ПУИД (адрес)	км 166+550	км 166+550	км 166+550	км 166+550
	Доля близости к правому ПУИД, α	0,13	0,19	0,19	0,38
	Доля близости к левому ПУИД, β	0,87	0,81	0,81	0,62
	Коэффициент времени суток – дня недели по правому ПУИД, $k_{\text{деньнед}}^a$	0,96	1,11	1,54	1,25
	Коэффициент месяца по правому ПУИД, $k_{\text{мес}}^a$	0,83	1,38	0,66	0,83
	Коэффициент времени суток – дня недели по левому ПУИД, $k_{\text{деньнед}}^b$	1,06	1,12	1,55	1,18
	Коэффициент месяца по левому ПУИД, $k_{\text{мес}}^b$	0,84	1,36	0,68	0,84
Данные о метеорологических условиях в момент ДТП для получения K_{s_2}	Величина осадков, накопленных за 12 часов, мм ($S_{2(1)}$)	0	0,3	0,2	0
	Порывы ветра, м/с ($S_{2(2)}$)			18	
	Изменение атмосферного давления за 3 часовой период, мм.рт.ст ($S_{2(3)}$)	0,5	3,3	-0,5	0,1
	Перепад суточной температуры, °С ($S_{2(4)}$)	-4,6	-1	1,7	-0,2
	Горизонтальная дальность видимости, км ($S_{2(5)}$)	20	20	0,5	20
	Температура воздуха 2 м над поверхностью Земли, °С, ($S_{2(\text{тем})}$)	3,1	1	-5,8	-12,3
	Атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря, мм рт.ст., ($S_{2(\text{давление})}$)	769,4	769,6	767,8	771,3
Данные для получения K_{s_3}	Место производства дорожно-строительных работ	нет	нет	нет	нет
Данные для расчета K_{s_4}	Время суток, T_c	ночь	день	день	день

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Пример реализации методики обеспечения БДД на ФАД

Исходные данные: в результате сильного ветра на участке дороги км 166+500 находится препятствие, мешающее беспрепятственному движению ТС по одной из полос. Показатели ситуации представлены в таблице В1. Участок относится к кластеру 2, уровень потенциального риска $K_D^i = 2,07$ (ДТП/год).

Таблица В1 – Входные параметры ситуации на заданном отрезке дороги для определения риска возникновения КС

Параметры ситуации	Значения
Уровень потенциального риска, K_D^i	2,07
Температура воздуха, С	0,9
Атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря, мм.рт.ст.	758,8
Изменение давления за последние 3 часа, мм.рт.ст.	3,6
Перепад температуры воздуха за сутки, С	3,4
Порывы ветра, м/с	13
Количество осадков, мм	1
Дальность видимости, км	20
Время суток	День
Проведение дорожно-строительных работ	Да (препятствие)
Месяц	Апрель
Расчетный час	08:00
День недели	Понедельник

На этапе 1 «Мониторинг обстановки и инициирование процесса принятия решений» ИЦ на основе входных параметров (элементов фактора среда – С и уровня потенциального риска) рассчитано, что риск возникновения КС в заданных времени и месте $K_{оп}^i = 6,01$. На основе этого значения определено, что уровень опасности $u_i = 6,1$. Полученный показатель превышает 0, поэтому инициируется процесс принятия решений и переход к этапу 2. Индекс i далее опущен, процесс принятия решений осуществляется для отрезка дороги, где отмечено изменение условий движения в результате препятствия (км 166+000 по км 167+000).

На втором этапе ИЦ организует селекторное совещание АЭ и передает АЭ значение уровня опасности. В БЗ еще нет информации о ситуациях с близкими значениями уровня опасности, поэтому шаг 6 не реализуется, а переход от шага 7 осуществляется к шагу 8. Определено, что $u > 6$. АЭ предложили новую стратегию: $l_3^{AЭ1} + l_4^{AЭ1} + l_5^{AЭ3}$. Т.е. АЭ₁ предлагает осуществлять мероприятия: $l_3^{AЭ1}$ «Установка временных знаков», $l_4^{AЭ1}$ «Очистка дорожного полотна и/или знаков, устранение скользкости при наличии грязи на проезжей части», АЭ₃ – мероприятие $l_5^{AЭ3}$ «Устранение последствий неблагоприятных условий (упавших деревьев, автомобилей, тушение пожаров)», время реализации $t_c=3$ ч. ИЦ проверил условие 4.11: $(4 + 2,25) \cdot 1 + 2,25 \cdot 0,4 \geq 6,3$, что позволяет рекомендовать предложенную стратегию.

На третьем этапе, после реализации предложенных мероприятий ИЦ регистрирует, что ДТП не произошло, отклик системы 0, и вносит информацию о характеристиках ситуации, выбранной стратегии и отклике системы в БЗ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019616316

**Расчет величины влияния погодных условий на
потенциальную опасность движения на дорогах вне
населенных пунктов**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Алтайский
государственный университет» (RU)*

Авторы: *Печатнова Елена Владимировна (RU),
Кузнецов Василий Николаевич (RU)*



Заявка № 2019615329

Дата поступления 13 мая 2019 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 22 мая 2019 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020665564

Определение коэффициента дорожно-транспортной
опасности на федеральных дорогах Алтайского края

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Алтайский
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
(АлтГТУ) (RU)*

Авторы: *Печатнова Елена Владимировна (RU),
Кузнецов Василий Николаевич (RU)*

Заявка № 2020664783

Дата поступления 19 ноября 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 27 ноября 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ

проректор по учебной работе

ФГБОУ ВО «АлтГТУ
им. И.И. Ползунова»

д.т.н., профессор



Сучкова Л.И.

2021 г.

Акт

внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы
Печатновой Елены Владимировны на тему «Методика обеспечения безопасности
дорожного движения на автомобильных дорогах федерального значения»

Настоящим актом подтверждается внедрение в учебный процесс, осуществляемый в федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова», результатов исследований, представленных в диссертационной работе.

Материалы и результаты научных исследований используются в учебном процессе кафедры «Организация и безопасность движения» при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий по дисциплинам: «Безопасность автотранспортных средств», «Информационные технологии на транспорте», «Общий курс транспорта», «Дорожные условия и безопасность движения», «Теория транспортных процессов и систем» у студентов, обучающихся по направлению 23.03.01 Технология транспортных процессов, профиль «Организация и безопасность движения».

В указанных дисциплинах рассматриваются вопросы и результаты моделирования риска возникновения конфликтных ситуаций и ДТП в зависимости от постоянных дорожных характеристик, условий динамично изменяющейся внешней среды, а также теоретические и практические вопросы использования методики обеспечения безопасности дорожного движения на федеральных автомобильных дорогах на основе оценки риска возникновения конфликтных ситуаций и совершенствования системы оперативного управления.

Заведующий кафедрой
«Организация и безопасность движения»
к.т.н., профессор

А.Н. Токарев

УТВЕРЖДАЮ

проректор по учебной работе

ФГБОУ ВО "СибАДИ"

к.т.н., доцент



Мельник С.В.
"14" 05 2021 г.

Акт

внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы
Печатновой Елены Владимировны на тему «Методика обеспечения безопасности
дорожного движения на автомобильных дорогах федерального значения»,
научный руководитель: д.т.н., доцент, Сафронов К.Э.

Настоящим актом подтверждается внедрение в учебный процесс, осуществляемый в федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», результатов диссертационной работы.

Материалы и результаты научных исследований опубликованы в Вестнике СибАДИ:

1. 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;

2. 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

Материалы и результаты научных исследований используются в учебном процессе кафедры «Организация и безопасность движения» факультета «Автомобильный транспорт» при чтении лекций, поведении лабораторных и практических занятий по дисциплине: «Дорожные условия и безопасность движения» у студентов, обучающихся по направлению 23.03.01 «Технология транспортных процессов», профиль «Организация и безопасность движения» (бакалавриат).

Заведующая кафедрой
«Организация и безопасность движения»
к.т.н., доцент



С.М. Порхачева



УТВЕРЖДАЮ

Начальник ККУ «УГОЧС и ПБ в
Алтайском крае» М.В. Плешивцев

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
на соискание степени кандидата технических наук
Печатновой Елены Владимировны

Результаты, полученные в рамках выполнения диссертационной работы, характеризуются практической значимостью.

В деятельности ККУ «Управление по обеспечению мероприятий в области гражданской обороны, чрезвычайных ситуаций и пожарной безопасности в Алтайском крае» при краткосрочном и среднесрочном прогнозировании ЧС на федеральных автомобильных дорогах используются следующие результаты:

- программа, позволяющая осуществлять прогнозирование риска возникновения ДТП на федеральных автомобильных трассах при сложных метеорологических условиях.

Начальник отдела мониторинга
и прогнозирования ЧС
д.ф.-м.н., профессор



А.А. Лагутин

СПРАВКА
о внедрении результатов диссертационной работы
Печатновой Елены Владимировны

Настоящей справкой подтверждается внедрение результатов диссертационной работы, выполненной Печатновой Е.В.

Результаты, полученные в ходе работы, посвящены решению важной государственной задачи по обеспечению безопасности участников дорожного движения и могут использоваться при практической деятельности по предупреждению дорожно-транспортных происшествий.

С целью повышения эффективности деятельности УГИБДД ГУ МВД России по Алтайскому краю рассмотрены и приняты к использованию результаты работы, среди которых: анализ аварийности на автомобильной дороге федерального значения А-322 «Барнаул – Рубцовск – государственная граница с Республикой Казахстан», математическая модель оценки потенциального риска в зависимости от характеристик дороги, зависимости риска от метеорологических условий, проведения дорожно-строительных работ, времени суток, а также методика обеспечения безопасности движения на федеральных автомобильных дорогах.

Полученные результаты представляют практическую ценность в сфере обеспечения безопасности движения в Алтайском крае.

Врио начальника УГИБДД ГУ
МВД России по Алтайскому краю
полковник полиции


С.П. Овсянников

