

На правах рукописи



**Бакланова Кристина Вячеславовна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИТОГОВОГО  
КОЭФФИЦИЕНТА АВАРИЙНОСТИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО  
ЗНАЧЕНИЯ**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск - 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель

**Воеводин Евгений Сергеевич**,  
кандидат технических наук, доцент, заведующий  
кафедрой «Транспорт» ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет» (СФУ).

Официальные оппоненты

**Евтюков Станислав Сергеевич**,  
доктор технических наук, доцент, заведующий  
кафедрой «Транспортные системы» ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
(СПбГАСУ);

**Чикалина Светлана Леонидовна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Автомобильные дороги» ФГБОУ ВО  
«Иркутский национальный исследовательский  
технический университет» (ИРНИТУ).

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный  
автомобильно-дорожный университет»  
(СиБАДИ).

Защита состоится 11 февраля 2022 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.073.04 при ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, корпус «К», конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» и на сайте: <http://www.istu.edu/static/dis/63652>.

Автореферат диссертации разослан: 20.12.2021.

Отзывы на автореферат (два экземпляра, заверенные организацией) направлять в адрес диссертационного совета:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83, Д 212.073.04, e-mail: ds04@istu.edu.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



С.Ю. Красноштанов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Повышение безопасности дорожного движения (БДД) является одним из приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации и важным фактором обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны.

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) наносят экономике России и обществу в целом колоссальный социальный, материальный и демографический ущерб, так как ежегодно в них погибают люди в трудоспособном возрасте. Наибольшая тяжесть последствий наблюдается при ДТП, произошедших на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

За последние 30 лет наблюдается темп роста автомобилизации опережающий уровень развития транспортной инфраструктуры. Из-за значительной разницы в динамике развития ежегодно увеличивается риск возникновения ДТП. За период 2010 – 2020 гг. российский автопарк в целом вырос на 30 %. Самую большую долю в автопарке транспортных средств занимают легковые автомобили, за 10 лет их количество увеличилось на 40 %, рост численности легких коммерческих автомобилей и грузовых суммарно составил 40 %, количество прицепов увеличилось на 55 %, относительное количество автобусов осталось на том же уровне. Состав транспортного потока оказывает существенное влияние на все параметры, характеризующие дорожное движение. Во многом это связано с разницей в динамических и тормозных качествах легковых и грузовых автомобилей. Таким образом, в связи с ростом доли автомобилей большей грузоподъемности и автопоездов увеличивается расслоение транспортного потока по скорости движения транспортных средств (ТС).

Существующие методы оценки БДД не учитывают совокупность вышеуказанных факторов. В связи с этим научное исследование, направленное на выявление закономерностей влияния состава потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на уровень БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения, является актуальным. Его результаты позволят значительно снизить аварийность путем нормирования итогового значения коэффициента аварийности в зависимости от реальных дорожных условий (ДУ) и параметров транспортного потока.

**Цель исследования** – повышение точности оценки БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения путем применения метода определения итогового коэффициента аварийности с учетом состава транспортного потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

**Объект исследования** – процесс функционирования автомобильного транспорта на сети автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения.

**Предмет исследования** – закономерности влияния параметров транспортного потока и характеристик автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения на уровень БДД.

**Научной гипотезой** является предположение о том, что БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения можно значительно повысить, если для оценки ее уровня использовать метод определения итогового коэффициента аварийности с учетом состава транспортного потока и

вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

**Задачи исследования:**

1. Обосновать набор факторов, оказывающих влияние на БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

2. Разработать математическую модель определения итогового коэффициента аварийности для автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения, учитывающую состав транспортного потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

3. На основе экспериментальных данных выявить взаимосвязи характеристик транспортного потока и получить регрессионную модель, описывающую зависимость частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

4. Установить зависимости, характеризующие условия видимости на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения, для определения значений частных коэффициентов.

5. Выполнить экспериментальную проверку разработанной методики и ее технико-экономическую оценку.

**Методы исследования:** натурные обследования с применением специализированного измерительного дорожного оборудования, методы математической статистики и регрессионного анализа обработки экспериментальных данных.

**Научной новизной обладают:**

1. Научно обоснованный набор факторов, оказывающих влияние на БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

2. Предложение учитывать скоростной режим при определении итогового коэффициента аварийности.

3. Установленная зависимость влияния состава транспортного потока на вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

4. Регрессионная зависимость, позволяющая определять значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$ , учитывающего вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

**Теоретическая значимость исследования.** Выявлены закономерности влияния новых факторов: состав транспортного потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, а также предложена методика определения итогового коэффициента аварийности, дополненная новым частным коэффициентом, учитывающим состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, которая позволяет повысить БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

**Практическая значимость исследования.** Внедрение методики определения итогового коэффициента аварийности с учетом состава транспортного потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС позволяет оценивать уровень БДД, исходя из параметров транспортного потока.

Преподавателям технических ВУЗов транспортных специальностей полученные теоретические положения и результаты их практического применения позволят повысить качество подготовки специалистов по направлению «Технология транспортных процессов».

Специалистам организаций дорожных служб результаты работы позволят:

- оценивать уровень БДД с учетом характеристик транспортного потока.

- прогнозировать уровень БДД на дорогах общего пользования федерального и регионального значения на этапе их проектирования.

Органам государственной власти и местного самоуправления результаты работы предоставляют возможность принимать решение о необходимости реконструкции аварийно-опасных участков дорог общего пользования федерального и регионального значения и оценить эффективность мероприятий по устранению повышенной опасности движения на отдельных участках.

**На защиту выносятся следующие научные положения:**

1. Математическая модель определения итогового коэффициента аварийности, дополненная новым научно обоснованным частным коэффициентом, учитывающим состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, позволяет выявлять аварийно-опасные участки на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

2. Зависимость вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС от состава транспортного потока позволяет прогнозировать итоговое значение коэффициента аварийности для рассматриваемого участка на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

3. Повышение БДД при проектировании или реконструкции на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения можно осуществлять с использованием предложенной методики, позволяющей определить значение итогового коэффициента аварийности, учитывающего дорожные условия и параметры транспортного потока.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены в научных докладах и выступлениях на: XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2017» (г. Красноярск, 2017 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2017 г.); XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2018» (г. Красноярск, 2018 г.), X Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (г. Иркутск, 2018 г.), XII Международной научно-практической конференции «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса» (г. Пенза, 2018 г.), XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2019» (г. Красноярск, 2019 г.), 106-й Международной научно-технической конференции «Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Иркутск, 2019 г.), II Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2019 г.); XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2020» (г. Красноярск, 2020 г.), Сибирском транспортном форуме (г. Новосибирск, 2020 г.), научно-методическом семинаре «Подготовка и структурирование научно-квалификационной работы для защиты в диссертационном совете. Работа над ошибками» (г. Иркутск, 2020 г.), XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2021» (г. Красноярск, 2021 г.), 110 международной научно-технической конференции «Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Иркутск, 2021 г.), III Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2021 г.).

**Реализация результатов работы.** Результаты работы приняты к внедрению в Министерство транспорта Красноярского края, КГКУ «Управление автомобильных

дорог по Красноярскому краю» и УГИБДД ГУ МВД России по Красноярскому краю. Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры транспорта СФУ по направлениям подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

**Личный вклад автора.** В процессе выполнения исследования автор лично:

- выполнил анализ статистики ДТП на федеральных дорогах Красноярского края начиная с 2015г., выявил основные причины ДТП;
- научно обосновал необходимость добавления ранее неучтенных факторов: состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС;
- подготовил и провел экспериментальные исследования параметров транспортного потока, на основе которых установил статистическую зависимость: «состав потока- вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 3 публикации в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК, 2 статьи в журналах, индексируемых международной системой цитирования Scopus, 5 – в российских изданиях и изданиях стран СНГ.

**Структура и её объем.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 148 наименований, в том числе 20 на иностранном языке. Работа изложена на 189 страницах машинописного текста и включает 71 рисунок, 36 таблиц и 8 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, научная гипотеза, объект и предмет исследования, его научная новизна и практическая значимость, а также представлены научные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** содержит анализ состояния аварийности на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения Красноярского края, в ходе которого выявлено, что ежегодно на данных дорогах происходит до 32 % от общего количества ДТП на территории Красноярского края, доля погибших в этих ДТП достигает 70% от общего числа погибших от ДТП по краю. Основной пик ДТП приходится на летний период. Наибольшее количество погибших наблюдается при столкновениях.

Количество ДТП на федеральных дорогах с участием транспорта категорий М2, М3 и N достигает 48% от общего количества ДТП на данной категории дорог, доля погибших в этих ДТП достигает 66% от общего количества погибших в ДТП на федеральных дорогах Красноярского края.

Основной причиной дорожной аварийности на территории Красноярского края является превышенная и неправильно выбранная скорость движения – причина тяжелых последствий и основной фактор, определяющий тяжесть ранений.

Также в первой главе произведен обзор исследований в области оценки уровня БДД. Рассмотрены существующие методы оценки уровня БДД в Российской Федерации, а также некоторых европейских странах.

Различные подходы к оценке уровня БДД рассмотрены в исследованиях отечественных и зарубежных авторов: В.Ф. Бабков, В.В. Чванов, А.П. Шевяков, С.С. Близниченко, В.В. Варлашкин, А. Садырходжаев, А.Н. Нечаев, Е.В. Тюлькин, А.И. Рябчинский, В.В. Иванов, А.А. Алексеев, А.В. Чубаков, В.М. Сиденко, А.А.

Рыбальченко, Д.В. Капский, В.В. Салмин, В.М. Еремин, В.А. Корчагин, О. А. Дивочкин, В. И. Пуркин, Ю. М. Ситников, В.В. Сильянов, Jones V., Lai Z., Karim I, Tarek S , Tazeen F, Bhagwant P., Tesic M, Kanugantia S, Vikash V. Gayah, Eric T. Donnell, Andrew P. Tarko, Tong Liu, Zhibin Li, Pan Liu.

Сравнительный анализ методик показал, что с помощью метода коэффициентов аварийности, применяемого на практике, можно наиболее точно оценить БДД, так как при оценке учитывается влияние нескольких элементов системы ВАДС.

В ходе анализа научной и специальной литературы выявлено, что совершенствование методики итогового коэффициента аварийности сдерживается отсутствием систематизированных данных о параметрах транспортного потока. В этой связи были сформулированы цель и задачи данного исследования.

**Вторая глава** посвящена развитию теории оценки БДД. Анализ нормативных документов показал, что на данный момент на практике применяется до 30 частных коэффициентов в различных сочетаниях, но из всего перечня только 13 частных встречаются во всех интерпретациях методики итогового коэффициента аварийности. Поскольку такие коэффициенты, как ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги, расстояние проезжей части от застройки и длина населенного пункта, имеют свое значение на автомобильных дорогах общего пользования местного значения, в предлагаемой методике они будут рассматриваться как дополнительные коэффициенты, применяемые в частных случаях. Таким образом, получаем перечень из 10 частных коэффициентов аварийности. Учет неизбежных изменений состава транспортного потока и местных условий вызывает необходимость уточнения и дополнения коэффициентов аварийности на основании обобщения данных региональной статистики ДТП на федеральных дорогах. Из этого следует, что приведенный перечень частных коэффициентов аварийности нельзя считать исчерпывающим и окончательным.

На основе анализа причин возникновения ДТП на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения Красноярского края, существующая система коэффициентов аварийности была дополнена новым коэффициентом, а именно: коэффициентом, учитывающим состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

Таким образом, предлагается следующий перечень коэффициентов аварийности для определения уровня БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения:

1. Интенсивность движения –  $K_1$ .
2. Ширина проезжей части –  $K_2$ .
3. Ширина обочины –  $K_3$ .
4. Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения –  $K_4$ .
5. Продольный уклон –  $K_5$ .
6. Радиус кривой в плане –  $K_6$ .
7. Видимость в плане –  $K_7$ .
8. Видимость в профиле –  $K_8$ .
9. Коэффициент сцепления –  $K_9$ .
10. Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м –  $K_{10}$ .
11. Вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС –  $K_{11}$ .

Значения перечисленных выше основных коэффициентов разделены на три группы в зависимости от сменности значения. В отдельных случаях в зависимости от

характеристик рассматриваемого участка необходим учет дополнительных частных коэффициентов, составляющих четвертую группу D. Значение частных коэффициентов аварийности, входящих в группу D, всегда постоянно для конкретного участка. Распределение частных коэффициентов аварийности по группам представлено в таблице 1.

Частные коэффициенты аварийности, учитывающие интенсивность, вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС и коэффициент сцепления, включенные в группу C, учитывают влияние случайных факторов. Их значения могут варьироваться в суточном, недельном и сезонном циклах, а также зависят от погодных условий.

Таблица 1 – Распределение частных коэффициентов аварийности по группам

Группа A – коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке	Группа B – коэффициенты, имеющие сезонные значения	Группа C – коэффициенты, зависящие от случайных факторов	Группа D – коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке, но не характерны для всех участков
<p><math>K_4</math> – учитывает количество основных полос на проезжей части для прямых направлений движения;</p> <p><math>K_5</math> – учитывает влияние продольного уклона;</p> <p><math>K_6</math> – учитывает влияние кривой в плане;</p> <p><math>K_7</math> – учитывает влияние видимости в плане;</p> <p><math>K_8</math> – учитывает влияние видимости в продольном профиле;</p> <p><math>K_{10}</math> – учитывает расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м</p>	<p><math>K_2</math> – учитывает ширину проезжей части;</p> <p><math>K_3</math> – учитывает ширину обочины</p>	<p><math>K_1</math> – учитывает интенсивность движения;</p> <p><math>K_9</math> – учитывает коэффициент сцепления;</p> <p><math>K_{11}</math> – учитывает вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС</p>	<p>При наличии разделительной полосы:</p> <p><math>K_{12}</math> – учитывает ширину разделительной полосы.</p> <p>При наличии мостов:</p> <p><math>K_{13}</math> – учитывает ширину проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги.</p> <p>При наличии пересечений:</p> <p><math>K_{14}</math> – учитывает типы пересечений или примыканий;</p> <p><math>K_{15}</math> – учитывает пересечения в одном уровне, интенсивность движения по основной дороге, авт/сут;</p> <p><math>K_{16}</math> – учитывает видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой.</p> <p>При прохождении участка по населенному пункту:</p> <p><math>K_{17}</math> – учитывает расстояние проезжей части от застройки;</p> <p><math>K_{18}</math> – учитывает длину населенного пункта;</p> <p><math>K_{19}</math> – учитывает длину участков на подходах к населённым пунктам</p>

Повышение безопасности ОДД математически формулируется как минимизация целевой функции – итогового коэффициента аварийности  $K_{\text{итог}}$ :

$$K_{\text{итог}} = \prod_{i=1}^{i=n} K_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $K_i$  – частные коэффициенты аварийности,  $n$  – число частных коэффициентов аварийности, учитываемых при оценке безопасности движения.

Так как в предложенной методике частные коэффициенты разделены на 4 группы, то в общем виде математическая модель будет выглядеть следующим образом:

$$K_{\text{итог}} = A \cdot B \cdot C \cdot D \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $A$  – произведение коэффициентов 1-ой группы (константная функция для конкретного участка дороги);  $B$  – произведение коэффициентов 2-ой группы (имеет 2 сезонных значения для конкретного участка дороги);  $C$  – произведение коэффициентов 3-ей группы;  $D$  – произведение коэффициентов 4-ой группы при их наличии в зависимости от места расположения рассматриваемого участка дороги.

С учетом того, что значения коэффициентов группы  $B$  характерны для природно-климатических условий конкретного сезона, их условно можно считать постоянными, тогда произведение (2) примет вид:

$$K_{\text{итог}} = F \cdot C, \quad (3)$$

где  $F$  – константная функция (имеет постоянное значение для конкретного рассматриваемого участка).

При раскрытии группы  $C$  выражение (3) приобретает вид:

$$K_{\text{итог}} = F \cdot K_1 \cdot K_9 \cdot K_{11}. \quad (4)$$

В общем виде целевая функция стремится к минимуму. Чем меньше значение итогового коэффициента аварийности, тем выше БДД на конкретном участке, следовательно, минимальное значение функции является эталонным значением для конкретного участка дороги.

Так как оперативно оказывать влияние на интенсивность движения и коэффициент сцепления невозможно, эталонное (безопасное) значение итогового коэффициента аварийности  $K_{\text{итог}_э}$  получаем путем достижения эталонного значения частного коэффициента аварийности  $K_{11_э}$  (коэффициента вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС) при реальных значениях прочих частных коэффициентов аварийности:

$$K_{\text{итог}_э} = F \cdot K_1 \cdot K_9 \cdot K_{11_э}. \quad (5)$$

В общем случае показатель эффективности, или целевая функция, может зависеть от трех групп факторов (или подсистем): значение которых известно и неизменно; значение которых может меняться при управлении, оказывая влияние на целевую функцию; заранее неизвестные условия, влияние которых на эффективность системы неизвестно или изучено недостаточно. Фактором, значение которого может меняться при управлении, оказывая влияние на целевую функцию, является вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

Таким образом, выразив вторую группу факторов получаем следующую зависимость коэффициента, учитывающего вариационный размах скоростей от целевой функции:

$$K_{11} = \frac{K_{\text{итог}}}{\prod_{i=1}^{10} K_i}, \quad (6)$$

где  $K_{\text{итог}}$  – коэффициент аварийности, полученный по практическим данным статистики ДТП;  $\prod_{i=1}^{10} K_i$  – теоретическое значение итогового коэффициента аварийности, рассчитанное как произведение частных коэффициентов  $K_1, K_2, \dots, K_{10}$ .

Так как оперативным способом регулирования значения итогового коэффициента аварийности является скорость движения транспортного потока, отраженная в частном коэффициенте  $K_{11}$  (вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС), составим систему для определения безопасной скорости движения по конкретному участку дороги в заданных условиях:

$$v = \begin{cases} V_p, & K_{\text{итог}} = K_{\text{итог}_э}, \\ V_n, & K_{\text{итог}} > K_{\text{итог}_э}, \end{cases} \quad (7)$$

где  $V_p$  – разрешенная скорость движения для конкретного участка, км/ч;  $V_n$  – расчетная средняя скорость транспортного потока, км/ч;

$$V_{п} = V_0 - \alpha N, \quad (8)$$

где  $V_0$  – скорость движения одиночного автомобиля при отсутствии помех (в расчете принимается как максимальная допустимая скорость движения);  $\alpha$  – коэффициент снижения скорости, который зависит от состава транспортного потока. При 20 % легковых автомобилей = 0,016, при 50 % – 0,012 и при 80 % – 0,008;  $N$  – интенсивность движения, авт/ч.

На основе условия (7) предлагается алгоритм определения итогового коэффициента аварийности и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени (рис. 1).

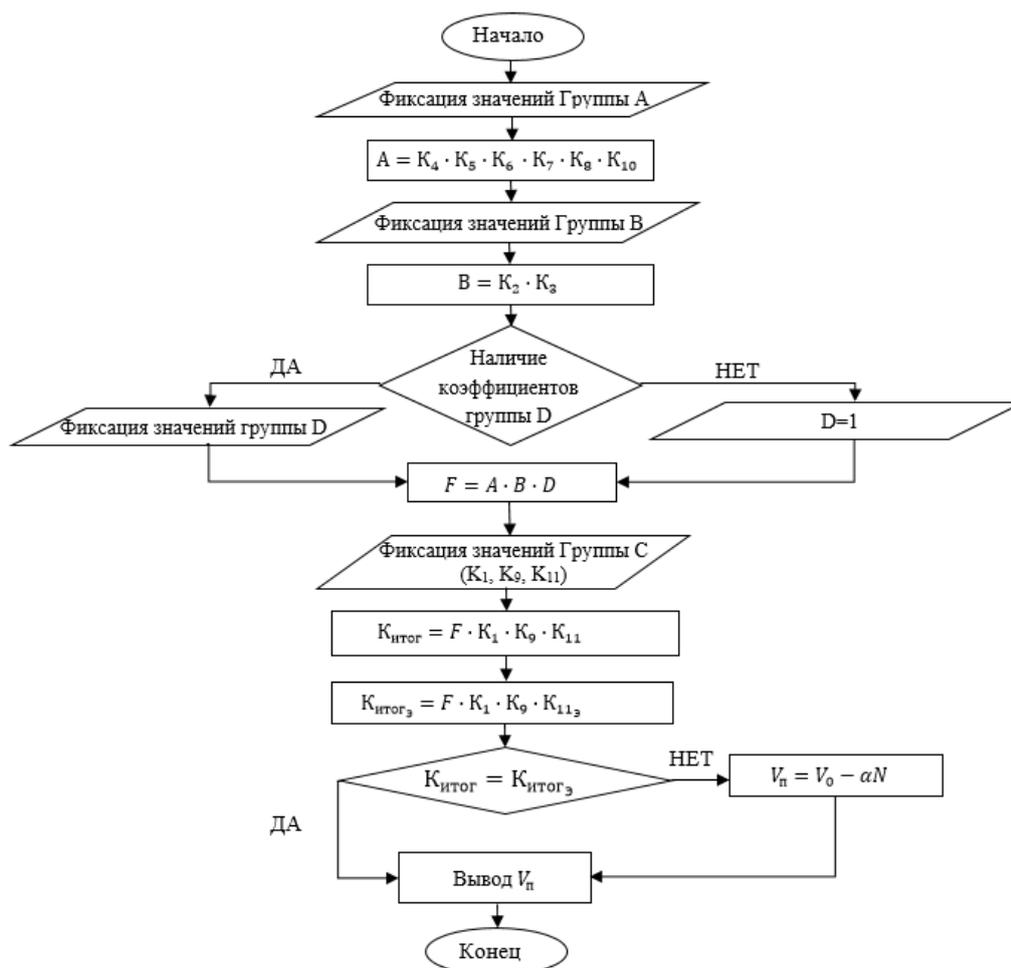


Рис. 1. Алгоритм определения итогового коэффициента аварийности и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени

В соответствии с алгоритмом значение итогового коэффициента необходимо сравнивать с эталонным значением. Вероятность возникновения дорожно-транспортного происшествия можно минимизировать за счет подбора скорости потока для конкретных дорожных условий (ДУ).

**Третья глава** посвящена методике экспериментальных исследований. Для проведения активного эксперимента на территории Красноярского края было выбрано 10 участков на федеральных дорогах (ФАД) Р255 и Р257 (711, 714, 763, 770, 796, 799, 875, 898, 27 и 30 км), отличающихся уровнем аварийности, характеристиками дорожного движения и геометрическими параметрами. Измерения проводились на участке протяженностью не менее 500 м и не более 1000 м с учетом того, что мосты, пересечения, подъемы и спуски оказывают свое влияние на протяжении 50–150 м в каждую сторону. С целью охвата максимально широкого диапазона условий фиксация данных проводилась для каждого из участков в разные

времена года.

Определение параметров дорожного полотна проводилось измерительным контролем и визуально, в зависимости от определяемого параметра. Измерения линейных размеров проводились согласно ГОСТ 26433.0 - ГОСТ 26433.2 и в соответствии с инструкцией по эксплуатации на средства измерения. Для определения параметров и состояния дорожного полотна были использованы: универсальная рейка, курвиметр типа КП-203, металлическая рулетка, жидкостный уровень.

Радиус существующей кривой в плане на участках был определен с помощью Яндекс линейки и «КОМПАС 3D V13», пример определения длины кривой и угла поворота дороги для расчета радиуса кривой представлен на рисунке 2.



Рис.2. Определение радиуса кривой

Измерения видимости выполняли два наблюдателя. Расстояние видимости до контрольного объекта определялось визуально и при помощи рулетки по ГОСТу Р 52577-2006 и ГОСТу 32963-2014.

Так как для проведения эксперимента выбраны участки, находящиеся на большой отдаленности от Красноярской агломерации, коэффициент сцепления определялся с помощью модели, разработанной В.Г. Маслениковым.

Интенсивность движения определялась визуальным методом на основе видеозаписей. Для учета состава транспортного потока все ТС в потоке были разделены на 4 группы по категориям согласно ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств»: 1 группа – Категория L, 2 группа – Категория М1, 3 группа – Категория N, 4 группа – Категория М2/ Категория М3.

Скорость движения ТС определялась на основе видеозаписи. Были проведены замеры времени прохождения участка дороги равного 50 м. Зная пройденный путь и время, скорость движения определялась по формуле (9):

$$V = S/t, \quad (9)$$

где  $S$  – расстояние между метками,  $S=50$  м;  $t$  – время прохождения заданного участка.

Средняя скорость автомобилей в потоке определялась путем установления среднего значения скорости  $V$  для  $n$  автомобилей:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}. \quad (10)$$

Вариационный размах скоростей  $\Delta V$  определялся путем нахождения разности скоростей между обгоняющим и обгоняемым ТС:

$$\Delta V = V_1 - V_2, \quad (11)$$

где  $V_1$  – скорость обгоняющего ТС, км/ч;  $V_2$  – скорость обгоняемого ТС, км/ч.

Для выявления возможности ТС совершить экстренное торможение в данных ДУ был определен остановочный путь:

$$S_{\text{ост}} = V_H(t_{\text{рв}} + t_3 + 0,5t_H) + \frac{V_H^2 k_3}{2g\varphi}, \quad (12)$$

где  $t_{рв}$  – время реакции водителя,  $t_{рв} = 0,8$  с;  $t_3$  – время запаздывания,  $t_3 = 0,2$  с;  $t_n$  – время нарастания давления в приводе,  $t_n = 0,4 \dots 0,5$  с.;  $\varphi$  – коэффициент сцепления шин с дорогой;  $k_э$  – коэффициент эффективного торможения (при  $\varphi \geq 0,4$  для легковых автомобилей  $k_э = 1,2$ , грузовых –  $k_э = 1,3 \dots 1,4$  при  $\varphi < 0,4$  для всех автомобилей  $k_э = 1$ );  $V_n$  – начальная скорость движения;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>.

Замеры расстояний между ТС производились на основе видеозаписи сделанной на рассматриваемом участке дороги с использованием программного комплекса «КОМПАС 3D V13» методом подбора по заранее замеренному расстоянию (50 м).

Экспортирование видеофайлов и их обработка проводились с применением Windows Movie Maker, Windows Microsoft Excel и SPSS Statistics.

**Четвертая глава** содержит результаты экспериментальных исследований. Анализ полученных данных показал, что ширина проезжей части и обочины в осенне-весеннее время соответствует нормативным значениям, указанным в ГОСТ Р 52399-2005 «Геометрические элементы автомобильных дорог». В зимнее время на некоторых участках наблюдаются сужения проезжей части из-за снежного наката (рис. 3).

В ходе эксперимента было установлено, что наибольшая интенсивность наблюдается на территории Красноярской агломерации. Также выявлено, что в течение часа доля ТС категорий М2, М3, и N на различных участках федеральных дорог колеблется от 5% до 33% от общего количества зафиксированных ТС (рис. 4). Анализ данных показал, что состав транспортного потока неоднороден, особенно это заметно на участках, находящихся в значительной отдаленности от Красноярской агломерации.



Рис. 3. Содержание ФАД Красноярского края в зимнее время

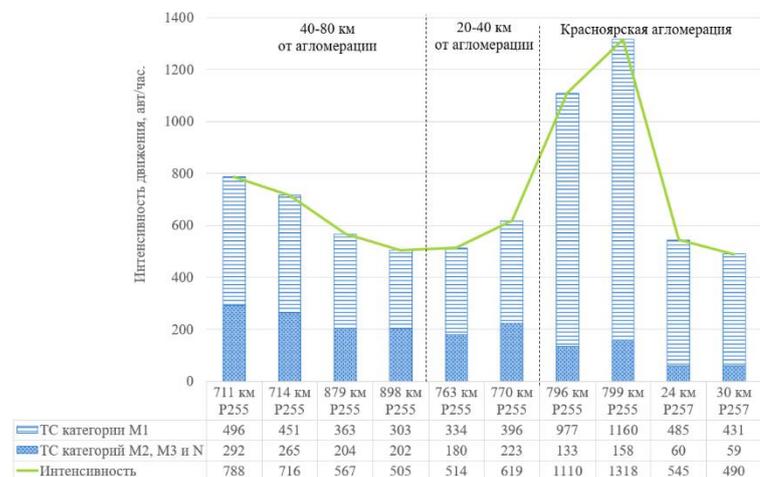


Рис. 4. Результаты натурного эксперимента по определению интенсивности и состава транспортного потока

В ходе определения скоростного режима выявлена большая вариация скоростей, в 50% скорость движения единичных ТС превышает максимально допустимую скорость движения на рассматриваемых участках (рис. 5-7).

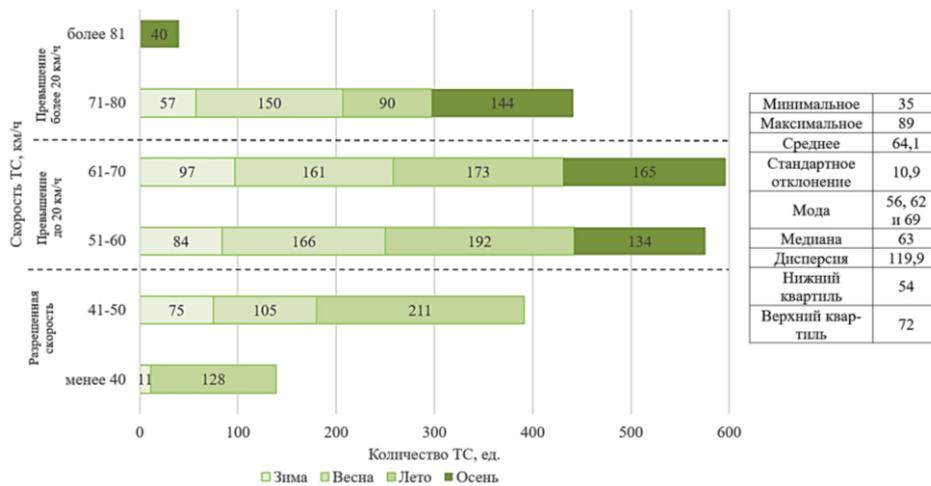


Рис.5.  
Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 50 км/ч

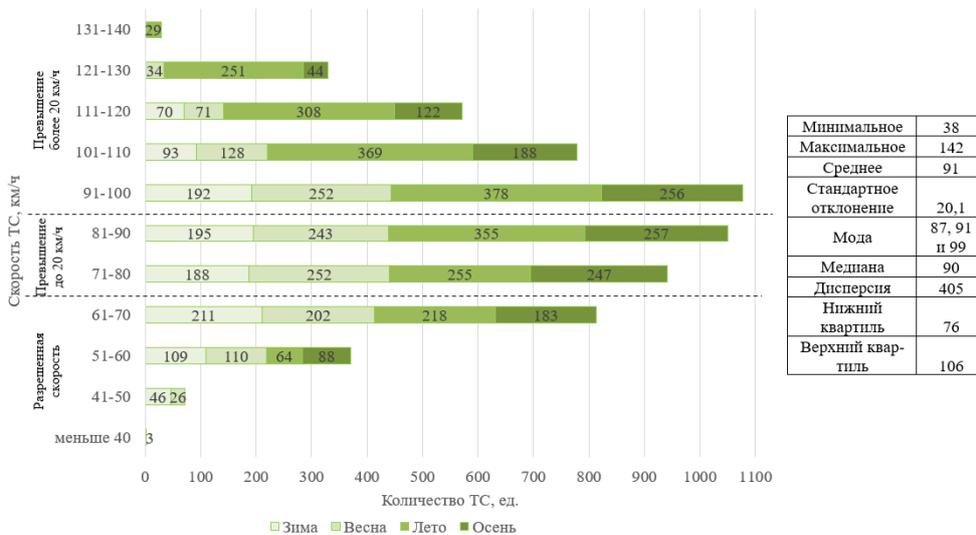


Рис.6  
Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 70 км/ч

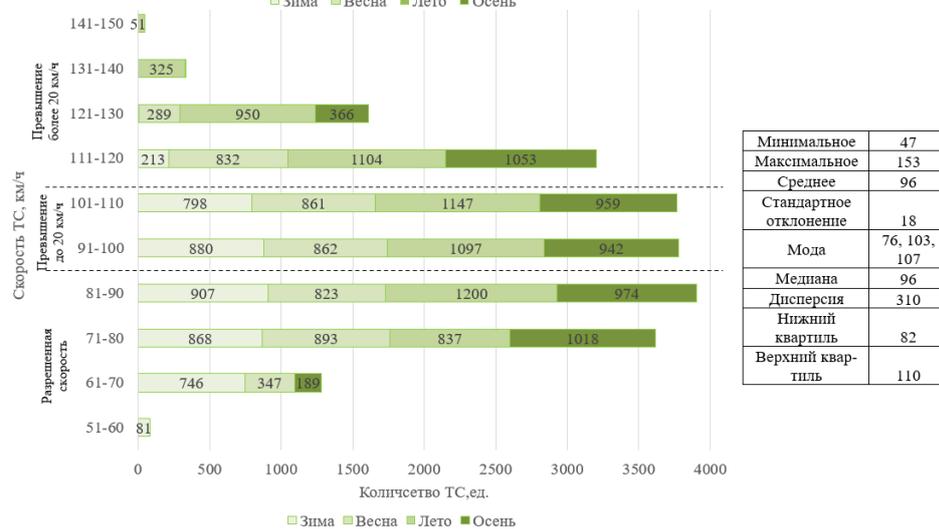


Рис.7.  
Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 90 км/ч

В ходе анализа скоростного режима выявлена зависимость средней скорости от разрешенной скорости движения (рис. 8), также были определены зависимости максимальной и минимальной скоростей от средней скорости движения (рис. 9-10).

Также анализ скоростного режима показал, что скорость движения в транспортном потоке неоднородна, вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС варьируется от 11 до 70 км/ч (рис. 11). Средняя разность скоростей между ТС на различных участках представлена на рисунке 12. В ходе наблюдения выявлено, что в общем разность скоростей между обгоняемым и

обгоняющим ТС в среднем составляет 31 км/ч.

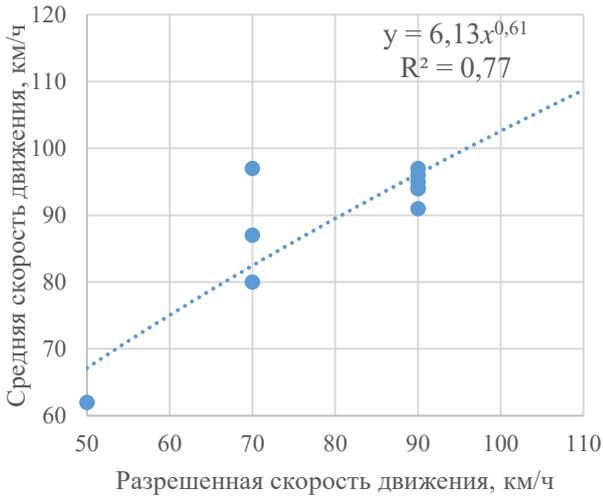


Рис.8. График зависимости средней скорости движения от разрешенной скорости движения

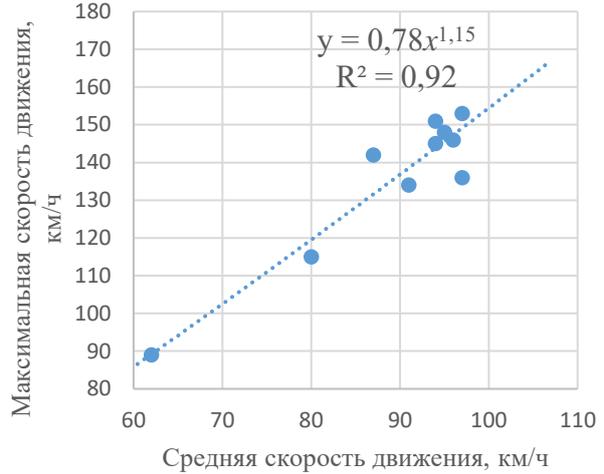


Рис.9. График зависимости максимальной скорости от средней скорости движения

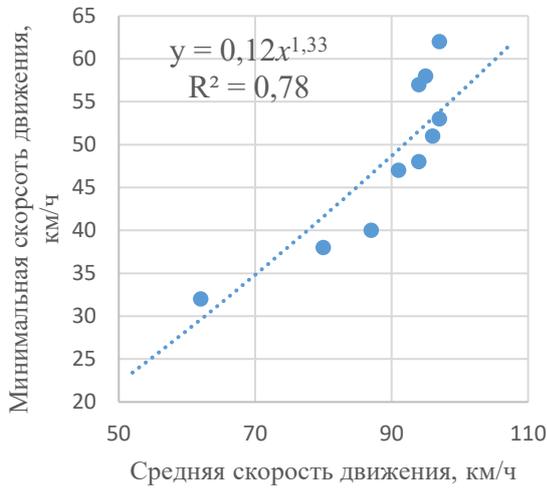


Рис.10. График зависимости минимальной скорости от средней скорости движения



Рис.11. Вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

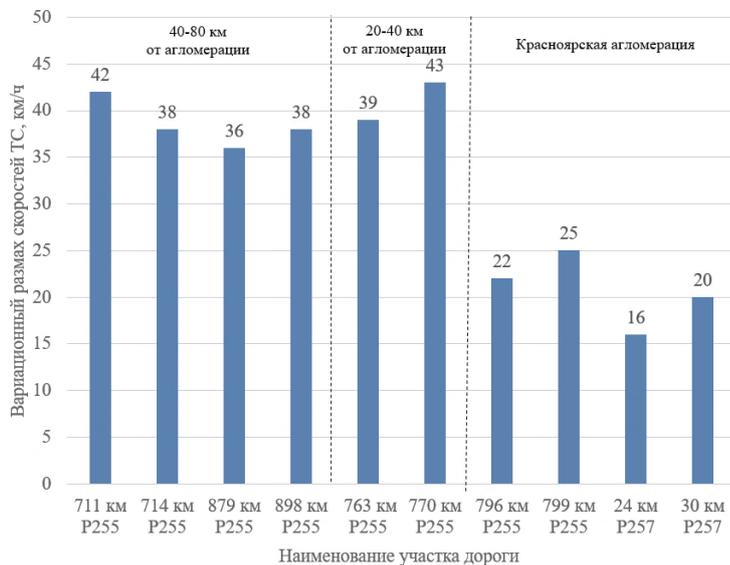


Рис.12. Средний вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на рассматриваемых участках

Анализ дистанции между автомобилями и теоретического тормозного пути показал, что расстояние между автомобилями в потоке недостаточно на 48 % для торможения в экстренной ситуации на сухом асфальте. А при мокром асфальте и таком же расстоянии между автомобилями в потоке расстояние недостаточно на 62 % для торможения в экстренной ситуации.

Был выполнен анализ мультиколлинеарности объясняющих переменных (табл. 2). В таблице 2 выделены ячейки, в которых содержатся парные коэффициенты корреляции, которые демонстрируют наличие тесной связи между переменными.

Таблица 2 – Результаты корреляционного анализа

Кол-во ДТП	Интенсивность движения	Ширина полосы движения	Ширина обочины	Продольный уклон	Радиус кривой в плане	Видимость в плане	Видимость в профиле	Число основных полос на проезжей части	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	Коэффициент сцепления	Состав потока	Вариационный размах скоростей	
1,00	0,08	0,12	-0,27	0,28	-0,01	0,22	0,16	0,04	-0,25	0,15	0,04	0,15	Кол-во ДТП
	1,00	0,18	-0,10	-0,51	0,36	0,32	0,24	0,75	0,50	0,24	-0,44	-0,35	Интенсивность движения
		1,00	-0,44	0,39	-0,61	-0,66	-0,65	-0,05	-0,31	0,23	0,01	-0,10	Ширина полосы движения
			1,00	-0,45	0,45	0,54	0,55	-0,01	0,37	0,23	0,28	0,47	Ширина обочины
				1,00	-0,90	-0,96	-0,1	-0,44	-0,84	-0,11	0,05	-0,15	Продольный уклон
					1,00	0,94	0,93	0,48	0,76	-0,03	0,07	0,28	Радиус кривой в плане
						1,00	0,98	0,47	0,75	0,02	0,15	0,35	Видимость в плане
							1,00	0,47	0,75	0,02	0,16	0,36	Видимость в профиле
								1,00	0,39	0,09	-0,28	-0,15	Число основных полос на проезжей части
									1,00	0,15	0,31	0,50	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м
										1,00	-0,15	0,03	Коэффициент сцепления
											1,00	0,95	Состав потока
												1,00	Вариационный размах скоростей

В результате корреляционного анализа выявлены переменные, имеющие наиболее высокую парную корреляцию с количеством ДТП: ширина обочины, продольный уклон, видимость в плане, видимость в профиле, расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, коэффициент сцепления, вариационный размах скоростей, но значения коэффициентов корреляции меньше, чем критическое значение ( $r_{крит}=0,381$ ), что говорит об отсутствии значимой линейной связи между количеством ДТП и перечисленными факторами.

Для количественной оценки коэффициента  $K_{11}$ , учитывающего вариационный разброс скоростей, на основе экспериментальных данных установлена зависимость вариационного размаха скоростей от состава потока (рис. 13).

По результатам обработки и анализа экспериментальных данных (рис. 8-12) была получена регрессионная модель, описывающая зависимость значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС (рис. 14).

Следует особо подчеркнуть, что полученная зависимость позволяет учитывать режимы движения транспортных средств в транспортном потоке при определении итогового коэффициента аварийности.

При расчете итогового графика аварийности условия видимости оцениваются частными коэффициентами  $K_7$  и  $K_8$ , поэтому получены зависимости для оценки видимости в плане (рис.15-17) и в продольном профиле (рис.18).

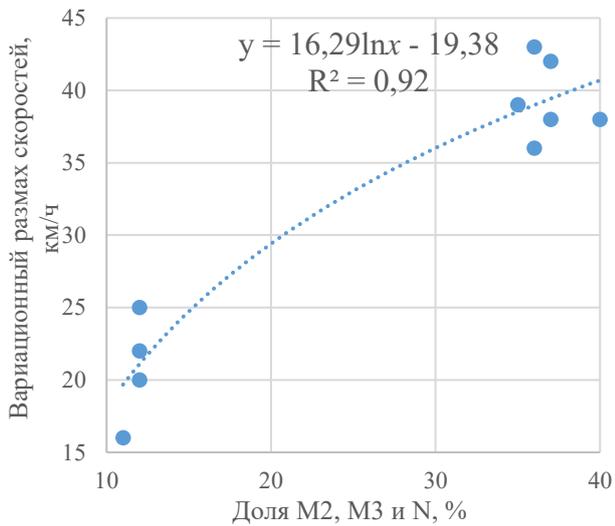


Рис.13. График зависимости вариационного размаха скоростей от доли ТС категорий M2, M3 и N

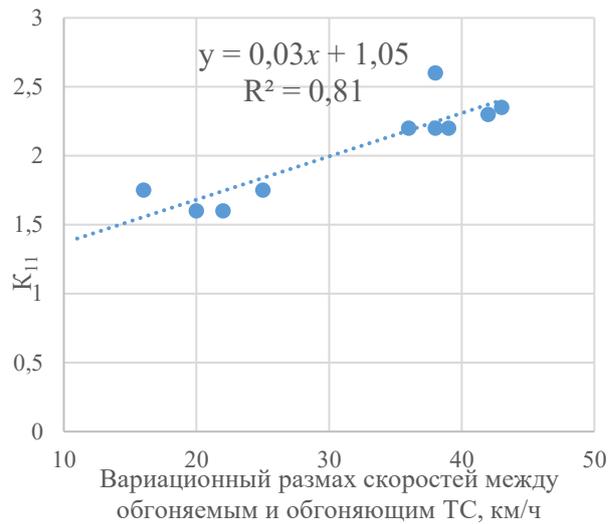


Рис.14. График зависимости значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

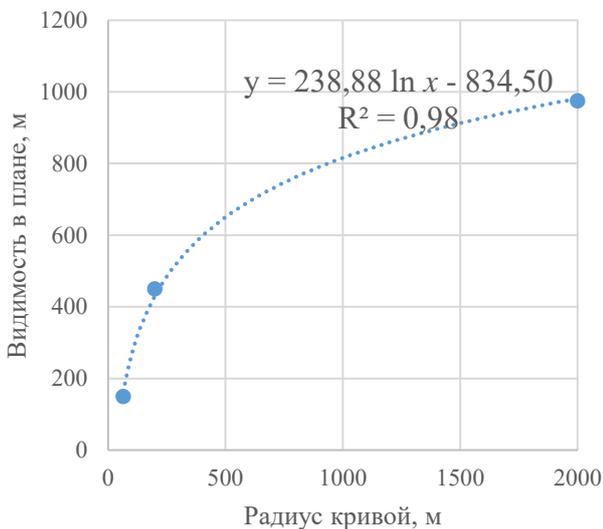


Рис.15. График зависимости видимости в плане от радиуса кривой

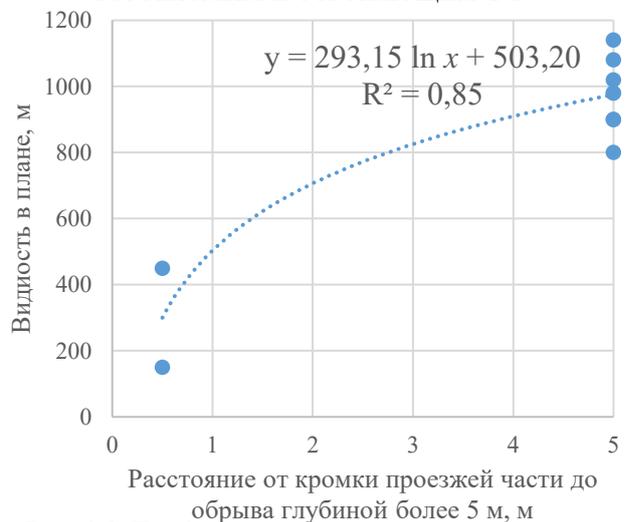


Рис.16. График зависимости видимости в плане от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м

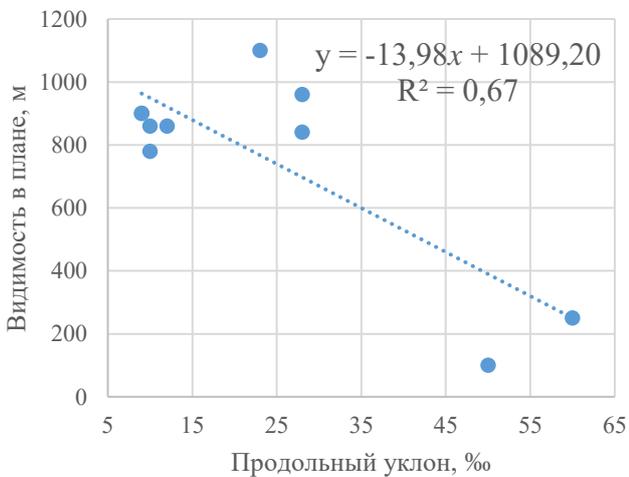


Рис.17. График зависимости видимости в плане от продольного уклона

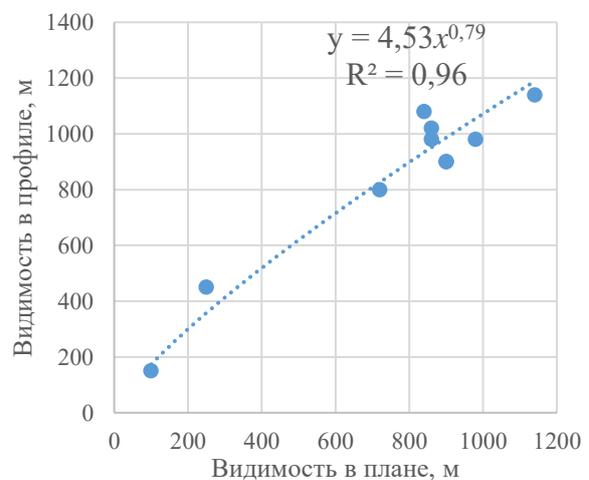


Рис.18. График зависимости видимости в профиле от видимости в плане

В ходе регрессионного анализа выявлены высокие коэффициенты парной корреляции для следующих пар: видимость в плане-радиус кривой, видимость в плане – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, видимость в плане – продольный уклон.

В этой связи установлена регрессионная зависимость ( $R^2 = 0,915$ ) видимости в плане от радиуса кривой, расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м и продольного уклона, использование которой снижает трудоемкость определения частных коэффициентов аварийности  $K_7$  и  $K_8$ :

$$y = 0,53x_1 - 0,49x_2 + 6,61x_3 - 258,31, \quad (13)$$

где  $x_1$  – радиус кривой, м;  $x_2$  – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м;  $x_3$  – продольный уклон, ‰.

С помощью разработанной математической модели (4) были определены предельно допустимые значения итогового коэффициента аварийности для вновь строящихся и эксплуатируемых дорог, исходя из показателей аварийности, характеристик автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения, проходящих по территории Красноярского края, и границ, предложенных В.В. Чвановым (табл. 3, где \* отмечены значения для горной или сильно пересеченной местности).

Таблица 3 – Предельно допустимые значения итогового коэффициента аварийности

Вид проектной документации	Многополосные дороги с разделительной полосой	Многополосные дороги без разделительной полосы	Двухполосные дороги
Проекты нового строительства и реконструкции автомобильных дорог	6,0-46,0*	4,8-95,0*	4,8-170,0*
Проекты капитального ремонта	10,0-150,0*	10,0-174,0*	18,0-230,0*

Участок нуждается в реконструкции, если итоговое значение коэффициента аварийности превышает табличное значение. В остальных случаях итоговое значение коэффициента аварийности следует понижать изменением скоростного режима движения ТС.

Для повышения информативности водителей о реальной дорожной обстановке и оптимальной скорости движения в конкретный момент времени предлагается установить интерактивные дорожные знаки, информация на которых будет обновляться в реальном времени, исходя из показаний датчиков автоматической дорожной метеорологической станции.

Экономическая оценка предлагаемых мероприятий выполнена для 898-го км дороги Р255, на котором за 2020 год произошло три съезда с дороги из-за несоответствия скорости конкретным дорожным условиям, в которых пострадало четыре человека. Потери от ДТП были определены с учетом половозрастной структуры погибших и раненых. Выявлено, что потери от ДТП в три раза превышают общие затраты на реализацию предложенных мероприятий, которые складываются из затрат на приобретение, монтаж и обслуживание оборудования.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для повышения точности БДД. По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Обоснован набор факторов, оказывающих влияние на БДД на автомобильных

дорогах общего пользования федерального и регионального значения. По результатам анализа аварийности на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения на территории Красноярского края выбраны следующие факторы: интенсивность движения; ширина проезжей части; ширина обочины; число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения; продольный уклон; радиус кривой в плане; видимость в плане; видимость в профиле; коэффициент сцепления; расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

2. Разработана математическая модель определения итогового коэффициента аварийности  $K_{итог}$  для автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения, учитывающая состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС и включающая 4 группы частных коэффициентов аварийности:

$$K_{итог} = A \cdot B \cdot C \cdot D \rightarrow \min,$$

где группа  $A$  – частные коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке ( $K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_{10}$ ); группа  $B$  – частные коэффициенты, значения которых являются величиной переменной и могут меняться в зависимости от времени года ( $K_2, K_3$ ); группа  $C$  – частные коэффициенты, значения которых постоянно меняются в зависимости от параметров транспортного потока и от погодных-климатических условий ( $K_1, K_9, K_{11}$ ); группа  $D$  – дополнительные частные коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке в зависимости от его месторасположения.

С учетом константной функции  $F$  (произведение значений коэффициентов групп  $A, B$  и  $D$ , постоянное значение для конкретного участка дороги) и раскрытии группы  $C$  модель имеет вид:

$$K_{итог} = F \cdot K_1 \cdot K_9 \cdot K_{11},$$

где  $K_{11}$  – коэффициент, учитывающий вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

3. На основе экспериментальных данных выявлены взаимосвязи характеристик транспортного потока: зависимость средней скорости движения от разрешенной скорости движения ТС; зависимости максимальной и минимальной скорости движения от средней скорости движения ТС; зависимость вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС ( $y$ ) от доли ТС категорий М2, М3 и N ( $x$ ):

$$y = 16,29 \ln x - 19,38.$$

Получена регрессионная модель, описывающая зависимость частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  ( $y$ ) от вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС ( $x$ ):

$$y = 0,03x + 1,05.$$

4. Установлены зависимости, характеризующие условия видимости на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения для определения частных коэффициентов аварийности. Зависимость видимости в плане ( $y$ ) от радиуса кривой ( $x_1$ ), расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м ( $x_2$ ) и от продольного уклона ( $x_3$ ):

$$y = 0,53x_1 - 0,49x_2 + 6,61x_3 - 258,31$$

и зависимость видимости в профиле ( $y$ ) от видимости в плане ( $x$ ):

$$y = 4,53x^{0,79}.$$

Установленные зависимости рекомендуется использовать для определения частных коэффициентов аварийности  $K_7$  и  $K_8$ .

5. Выполненная экспериментальная проверка оценки БДД по разработанной методике на исследуемых участках ФАД подтверждает возможность повышения точности оценки БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения путем применения метода итогового коэффициента аварийности с учетом вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

Технико-экономическая оценка эффективности использования данной методики выявила, что потери от ДТП превышают затраты на реализацию предложенных мероприятий в три раза.

Разработаны рекомендации по повышению информируемости водителей на опасных участках междугородной дорожной сети, путем установки интерактивных дорожных знаков, на которых информация о допустимой скорости движения будет указана, исходя из значения итогового коэффициента аварийности, определенного по усовершенствованной методике. Также разработаны рекомендации по выявлению участков, нуждающихся в реконструкции, с использованием разработанной методики.

**Основные результаты исследования опубликованы в следующих печатных работах:**

- в изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Пулянова К.В. Определение оптимальных параметров элементов системы «ВАДС»/ Е.С. Воеводин, Е.В. Фомин, К.В. Пулянова, А.М. Асхабов, А.С. Кашура, Н.В. Голуб // Вестник Иркутского государственного технического университета - 2018. - № 5 - С. 240–250;

2. Бакланова К.В. Аудит безопасности дорожного движения на федеральных трассах Красноярского края / Воеводин Е.С., Бакланова К.В., Шадрин Н.В., Асхабов А.М., Поляков А.С.// Транспорт Урала - 2020. - № 1 (64). - С. 57-62.;

3. Бакланова К.В. Повышение точности расследования дорожно-транспортных происшествий путем применения современных методов их фиксации / Воеводин Е.С., Фомин Е.В., К.В. Бакланова, Поляков А.С., Голуб Н.В. // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. – 2020. - № 8 - С. 34-41;

- в зарубежных изданиях, включенных в международные базы цитирования

4. Pulyanova K. V. Analysis of road safety assessment methods / Pulyanova K. V., Voevodin E. S., Fadeev A. I., Fomin E. V., Askhabov A. M., Kashura A. S.// 2 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering – 2019 – 12015. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012015;

5. Baklanova K.V. Identification of factors affecting accidents on the intercity road network / Baklanova K. V., Voevodin E. S., Fomin E. V., Kashura A. S., Cheban E. P.// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2021 – 12005. DOI: 10.1088/1757-899X/1061/1/012005;

- в научных рецензируемых изданиях и сборниках трудов:

6. Пулянова К.В. Анализ статистики ДТП на федеральных дорогах Красноярского края/ К.В. Пулянова, Е.С. Воеводин// Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» - 2017. – С. 97-100;

7. Пулянова К.В. Разработка организационно-технических мероприятия по снижению аварийности на междугородной дорожной сети/ К.В. Пулянова, Е.С.

Воеводин// материалы Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективныи направления развития автотранспортного комплекса» - 2018 – С 710-712;

8. Пульянова К.В. Исследование интенсивности транспортного потока на Р255 и Р257 на территории Красноярского края/ Пульянова К. В., Воеводин Е. С., Асхабов А. М., Кашура А. С.// Сборник статей XII Международной научно-практической конференции «Перспективныи направления развития автотранспортного комплекса» - 2018 – С. 71-74;

9. Пульянова К.В. Проблемы статистического анализа дорожно-транспортных происшествий / Пульянова К. В., Воеводин Е. С., С.А. Катаев // Сборник материалов II Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» - 2019. - С. 212-215;

10. Бакланова К.В. Совершенствование метода коэффициентов аварийности для междугородней сети / Е.С. Воеводин, К.В. Бакланова, А.С. Кашура, С.Я. Яланский, Д.С. Филинкова // Материалы 110-й Международной научно-технической конференции «Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» (ТОМ I) -2021-С. 246-252.

*До 2020 года у автора была фамилия Пульянова.*