

На правах рукописи



БАКЛАНОВА Кристина Вячеславовна

**ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ПОТОКА АВТОМОБИЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ СКОРОСТЯМИ
ВНЕ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2024

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

Научный руководитель: **Воеводин Евгений Сергеевич**,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Транспорт» ФГАОУ ВО «Сибирский
федеральный университет».

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

Печатнова Елена Владимировна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Организация и безопасность движения»
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»,
г. Иркутск

Защита диссертации состоится 19 апреля 2024 г. в 09.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.352.01, на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 170215.

С диссертацией и авторефератом диссертации можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (www.osu.ru).

Автореферат диссертации разослан: «___» _____ 2024 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент



Хасанов Ильгиз Халилович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Повышение безопасности дорожного движения 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 социальный, материальный и демографический ущерб.

В 2008 году распоряжением Правительства Российской Федерации утверждена «Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года», в которой одним из приоритетных направлений развития транспортной системы является повышение ее безопасности, так как в настоящее время темпы роста автомобилизации опережают темпы роста развития транспортной инфраструктуры. Также в январе 2018 года распоряжением Правительства Российской Федерации утверждена «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы», которая направлена на уменьшение количества аварийно-опасных участков автомобильных дорог. Органами ГИБДД признание участка аварийно-опасным происходит уже после возникновения на нём в течение 12 месяцев трёх и более ДТП одного вида или пяти и более независимо от их вида, в результате которых погибли или ранены люди.

Структура 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).

Наибольший ущерб от ДТП наблюдается на автомобильных дорогах, проходящих вне населённых пунктов. Это связано с высокой скоростью движения ТС. На такие ДТП приходится до 70 % от общего количества погибших.

Существующие методы оценки БДД не учитывают структуру транспортного потока и скорость его движения. В связи с этим научное исследование, направленное на организацию безопасности дорожного движения потока автомобилей с различными скоростями вне населённых пунктов, является актуальным.

Объект исследования – процесс движения ТС на автомобильных дорогах вне населённых пунктов.

Предмет исследования – закономерности влияния характеристик транспортного потока на безопасность дорожного движения на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов.

Цель исследования – повышение безопасности дорожного движения на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов на основе определения и корректировки скоростного режима автомобилей в транспортном потоке.

Задачи исследования:

1. Теоретически и экспериментально исследовать показатели транспортных потоков, влияющих на безопасность дорожного движения на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов.

2. Разработать методику управления параметрами транспортного потока на потенциально аварийно-опасных участках на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов.

3. Оценить эффективность теоретических и практических решений.

Положения, выносимые на защиту, обладающие научной новизной:

1. Методика определения потенциально аварийно-опасных участков на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов, отличающаяся от известных тем, что учитывает доли автотранспортных средств категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ в потоке и скорости их движения.

2. Зависимости требуемого для безопасного обгона превышения скорости движения обгоняющих ТС по отношению к скорости обгоняемых ТС, отличающиеся тем, что учитывают долю обгоняемых ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ в транспортном потоке и скорость их движения.

3. Методика организации движения транспортного потока на потенциально аварийно-опасных участках, отличающаяся от известных тем, что из условия предотвращения образования заторов определяют скорость движения медленно движущихся ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$, ограничивают скорость движения автотранспортных средств, следующих за ними, информирует водителей с использованием динамического информационного табло (ДИТ).

Практическая значимость исследования заключается в разработанной методике организации движения транспортного потока на потенциально аварийно-опасных участках двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов, обеспечивающей уменьшение аварийности. Результаты работы могут быть использованы при оценке потенциальной опасности эксплуатируемых и вновь строящихся автомобильных дорог вне населённых пунктов.

Область исследования соответствует требованиям паспорта специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта» по п. 9 «Исследования в области безопасности движения с учётом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности».

Методы исследования: в ходе проведения исследований применены общенаучные методы анализа и синтеза, математической статистики, регрессионного анализа, а также положения теории транспортных процессов и систем, натурные обследования с применением специализированного измерительного оборудования. Достоверность научных положений и выводов подтверждается отсутствием противоречий по отношению к результатам ранее проведённых известных исследований в области характеристик транспортных потоков.

Реализация результатов исследования. Результаты работы приняты к

внедрению Министерством транспорта Красноярского края и УГИБДД ГУ МВД России по Красноярскому краю. Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в учебном процессе кафедры транспорта СФУ по направлениям подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» и 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены в научных докладах и выступлениях на: ежегодных международных конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны» (г. Красноярск, 2017–2023 г.), Всероссийских научно-технических конференциях «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2017, 2019, 2021, 2023 гг.); Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (г. Иркутск, 2018 г.), Международной научно-практической конференции «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса» (г. Пенза, 2018 г.), международных научно-технических конференциях «Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Иркутск, 2019, 2021 гг.), 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.), Международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт-Петербург, 2022г.), международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (г. Оренбург, 2022 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 13 печатных работ, в том числе 4 публикации в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК, 2 статьи – в журналах, индексируемых международной системой цитирования Scopus, 7 – в российских изданиях и изданиях стран СНГ.

Структура и объём диссертации. Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, список использованных источников и приложения. Объём диссертации составляет 177 страниц, включает 65 рисунков, 22 таблицы. Список использованных источников состоит из 161 наименования, в том числе 20 иностранных источников.

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 посвящена анализу аварийности и ранее выполненным работ, а также нормативной документации, описывающей методы оценки безопасности дорожного движения.

Анализ состояния аварийности показал, что на автомобильных дорогах вне населённых пунктов происходит около 32 % ДТП, но на данные происшествия

приходится до 73 % от общего количества погибших. Каждая вторая авария происходит с участием транспорта категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$. Наибольшее количество погибших наблюдается при столкновениях. Пик ДТП приходится на летний период за счёт увеличения автомобильного потока, в том числе из-за транзитного транспорта.

Основной причиной аварийности является превышенная или неправильно выбранная скорость движения, которая является причиной тяжёлых последствий и основным фактором, определяющим тяжесть ранений.

Исследованиями в области оценки безопасности дорожного движения занимались многие отечественные и зарубежных ученые В.Ф. Бабков, В.В. Чванов, Д.В. Капский, В.В. Салмин, В.А. Корчагин, В.В. Сильянов, А.Ю. Михайлов, С.С. Евтюков, И.А. Новиков, Е.С. Воеводин, А.П. Фот, Н.В. Якунина, Н.Н. Якунин, 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.

Используемые на практике методы оценки безопасности дорожного движения и критерии аварийности на автомобильных дорогах представлены в ОДМ 218.4.005–2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах». В Федеральном законе № 196 от 10.12.1995 «О безопасности дорожного движения» отражено понятие аварийно-опасного участка. Таким образом, статус аварийно-опасного участка присваивается месту концентрации ДТП на основе статистических данных 3–5-летней давности.

Службой ГИБДД оценка безопасности дорожного движения ведётся только на основании уже произошедших ДТП. При этом, дорожные службы для этих целей используют метод итогового коэффициента аварийности. Важно отметить, что данный метод разработан В.Ф. Бабковым в прошлом столетии и с момента его введения значительно изменился качественный и количественный состав транспортного потока. По мере накопления данных анализа ДТП методика определения итогового коэффициента аварийности уточнялась отечественными учеными А.П. Васильевым, В.П. Расниковым, А.П. Шевяковым, В.В. Варлашкиным, Р. Картанбаевым, С.С. Близниченко, О.А. Дивочкиным, Ю.М. Ситниковым, В.В. Чвановым и другими. Однако в современной научной литературе практически отсутствуют научные труды, посвящённые определению факторов, которые оказывают влияние на безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах вне населённых пунктов.

Анализ аварийности, нормативной документации и научных работ позволил сделать вывод о том, что при оценке безопасности дорожного движения необходимо учитывать структуру транспортного потока и разницу скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

Выдвигается **рабочая гипотеза** о совершенствовании методики оценки безопасности дорожного движения. Повышение безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах вне населённых пунктов на потенциально аварийно-опасных участках возможно за счёт оперативного регулирования скоростного режима.

На основании проведенного анализа современного состояния исследуемого

вопроса также сформулированы цель и основные задачи исследования.

Во второй главе представлено теоретическое исследование факторов, влияющих на безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах вне населённых пунктов.

Анализ нормативных документов показал, что на данный момент на практике применяется до 30 частных коэффициентов аварийности в различных сочетаниях. Но из всего перечня только 9 частных коэффициентов аварийности встречаются во всех интерпретациях метода итогового коэффициента аварийности и подходят для оценки безопасности дорожного движения на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов (рис. 1.).

2. Ширина проезжей части дорог/ширина полосы движения	1. Интенсивность движения	
	3. Ширина обочин	
7. Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения	4. Продольный уклон	
	5. Радиус кривых в плане	
9. Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	6. Видимость (в плане/в профиле)	
	8. Коэффициент сцепления	
Ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги		
Длина населенного пункта		
Расстояние проезжей части от застройки		
Длина прямых участков	Типы пересечений или примыканий	
Видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой		
Длина участков на подходах к населённым пунктам	Пересечения в одном уровне, интенсивность движения по основной дороге	
Расстояние между кромкой проезжей части и боковым препятствием		
Извилистость		
Ширина разделительной полосы	Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах	Ширина разделительной полосы
Ширина укрепленной полосы обочины		Число пересечений в одном уровне
Расстояние видимости встречного автомобиля		Кривая плана трассы
Угол поворота		Ровность дорожного покрытия
		Наличие тротуаров, пешеходных дорожек и пешеходных переходов на дорогах в населенных пунктах
Методические рекомендации по оценке проектных решений по безопасности движения на автомобильных дорогах в равнинной, пересеченной и горной местности		Методические рекомендации по оценке безопасности движения при проектировании дорог

Рис. 1. Распределение частных коэффициентов аварийности

Учёт неизбежных изменений структуры транспортного потока и местных условий вызывает необходимость уточнения и дополнения перечня частных коэффициентов аварийности на основании обобщения данных статистики ДТП.

На основе анализа причин возникновения ДТП на автомобильных дорогах вне населённых пунктов Красноярского края существующая система коэффициентов аварийности была дополнена новыми частными коэффициентами, учитывающими структуру транспортного потока и разницу скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

С учётом новых частных коэффициентов аварийности предлагается следующий перечень частных коэффициентов аварийности для определения

уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах вне населённых пунктов:

- 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/ в профиле – K_7 ;
- 8) коэффициент сцепления – K_8 ;
- 9) расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м – K_9 ;
- 10) структура транспортного потока – K_{10} ;
- 11) разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС – K_{11} .

В ходе проведения аналитических исследований установлено, что для снижения аварийности на автомобильных дорогах вне населённых пунктов необходимо выявить потенциально аварийно-опасные участки и повысить информационную поддержку водителей на данных участках.

На основе представленных предположений и проведённых исследований сформулирована целевая функция итогового коэффициента аварийности:

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

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

Для оценки безопасности дорожного движения на конкретном участке автомобильной дороги все перечисленные выше частные коэффициенты аварийности разделены на три группы в зависимости от постоянства их значения для определенного участка дороги. Распределение частных коэффициентов аварийности по группам представлено в табл. 1.

Частные коэффициенты аварийности, учитывающие интенсивность движения, коэффициент сцепления, структура транспортного потока, разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, включенные в группу С, учитывают влияние случайных факторов. Их значения могут варьироваться в суточном, недельном и сезонном циклах, а также зависеть от погодных условий.

В общем виде целевая функция итогового коэффициента аварийности, с учётом разделения частных коэффициентов аварийности на три группы, будет выглядеть следующим образом:

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

где A – произведение коэффициентов 1-й группы (константная функция для конкретного участка дороги); B – произведение коэффициентов 2-й группы

(имеет 2 сезонных значения для конкретного участка дороги); C – произведение коэффициентов 3-й группы.

Табл. 1 – Распределение частных коэффициентов аварийности по группам

Группа А коэффициенты имеют конкретное значение на рассматриваемом участке и учитывают:	Группа В коэффициенты имеют сезонные значения и учитывают:	Группа С коэффициенты зависят от случайных факторов и учитывают:
K_4 – количество основных полос на проезжей части для прямых направлений движения; K_5 – влияние продольного уклона; K_6 – влияние кривой в плане; K_7 – влияние видимости в плане/профиле; K_9 – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	K_2 – ширину полосы движения; K_3 – ширину обочины	K_1 – интенсивность движения; K_8 – коэффициент сцепления; K_{10} – структуру транспортного потока; K_{11} – разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

$$A = K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_9, \quad (3)$$

$$B = K_2 \cdot K_3, \quad (4)$$

$$C = K_1 \cdot K_8 \cdot K_{10} \cdot K_{11}. \quad (5)$$

С учётом того, что значения коэффициентов группы В характерны для природно-климатических условий конкретного сезона, их условно можно считать постоянными, тогда целевая функция итогового коэффициента аварийности примет вид:

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

где F – константное значение (имеет постоянное значение для конкретного рассматриваемого участка);

$$F = A \cdot B. \quad (4)$$

При раскрытии группы С целевая функция итогового коэффициента аварийности приобретает вид:

$$K_{\text{итог}} = F \cdot K_1 \cdot K_8 \cdot K_{10} \cdot K_{11} \rightarrow \min. \quad (5)$$

В общем виде целевая функция стремится к минимуму. Чем меньше значение итогового коэффициента аварийности, тем выше безопасность дорожного движения на конкретном участке автомобильной дороги.

Анализ ранее выполненных работ и нормативных документов позволил

установить, что участок является аварийно-опасным при определенном количестве ДТП, произошедших на нём. Следовательно, для каждого участка автомобильных дорог существует предельное значение итогового коэффициента аварийности, при достижении которого участку можно присвоить статус потенциально аварийно-опасного:

$$\begin{cases} \text{Безопасный участок, } K_{\text{итог}} < K_{\text{пред}} ; \\ \text{Потенциально аварийно – опасный участок, } K_{\text{итог}} \geq K_{\text{пред}}. \end{cases} \quad (6)$$

В случае присвоения участку статуса потенциально аварийно-опасного безопасность дорожного движения можно обеспечить за счёт корректировки скоростного режима ТС исходя из структуры транспортного потока.

На основе математических моделей (5) и (6) предлагается алгоритм определения итогового коэффициента аварийности для определения степени аварийности перегона вне населённого пункта (рис. 2).

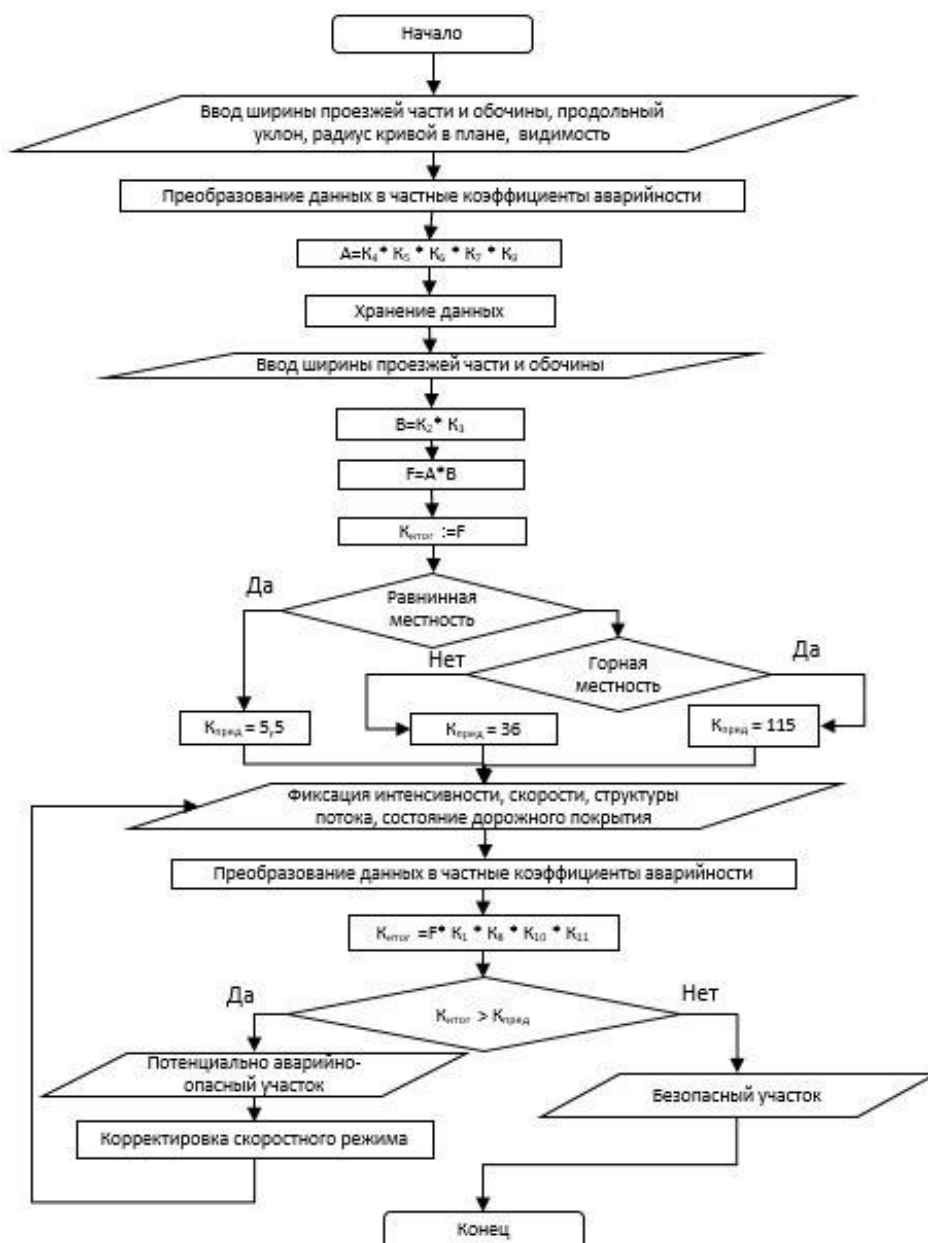


Рис. 2. Алгоритм определения итогового коэффициента аварийности и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени

В соответствии с алгоритмом, если значение $K_{\text{итог}}$ превышает предельное значение $K_{\text{пред}}$, участку присваивается статус потенциально аварийно-опасного. Следовательно, на таких участках необходимо обеспечить информационную поддержку водителей о реальной дорожной обстановке за счёт знаков переменной информации (ЗПИ) и минимизировать вероятность возникновения ДТП путём подбора скорости потока для конкретных дорожных условий (ДУ).

Для описания средней скорости транспортного потока применяется следующее выражение:

$$V_{\text{п}} = V_0 \cdot \theta \cdot v - a \cdot K_a \cdot N, \quad (7)$$

где V_0 – средняя скорость свободного движения легковых автомобилей при малом значении коэффициента загрузки на прямолинейном горизонтальном участке с шириной проезжей части 7,5 м, краевыми полосами 0,75 м и укрепленными обочинами шириной 3,5 м; θ – итоговый коэффициент, учитывающий влияние геометрических элементов дороги, состава потока и средств организации движения на скорость свободного движения (определяется по ВСН 25–86); v – коэффициент, учитывающий средневзвешенное влияние состояния дорожного покрытия на скорость движения потока в зависимости от природно-климатических условий; a – коэффициент, зависящий от состава движения; K_a – поправочный коэффициент, учитывающий влияние разметки проезжей части на скорости при высокой интенсивности движения, кривых в плане, характеристик продольных уклонов, значение коэффициента (ВСН 25–86); N – интенсивность движения, авт/ч.

В третьей главе представлено описание экспериментальных методик, оборудования и программного обеспечения для изучения параметров транспортного потока и характеристик автомобильных дорог вне населённых пунктов.

Для проведения активного эксперимента на территории Красноярского края на основе статистических данных и изображений со спутника было выбрано 20 участков на автомобильных дорогах Р-255 (637, 670, 711, 714, 726, 737, 743, 763, 770, 772, 777, 785, 796, 799, 854, 879, 898, 913) и Р-257 (24 и 30 км). Дороги отличаются 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 в апреле, июле, октябре и январе по субботам в интервале с 10:00 до 15:00 часов.

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.Линейка и «КОМПАС 3D V13».

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

Для оценки влияния коэффициента сцепления на безопасность дорожного движения значение коэффициента определялось исходя из состояния проезжей части. Интенсивность движения определялась визуальным методом на основе видеозаписей. Для учета структуры транспортного потока все ТС в потоке были разделены на четыре группы по категориям согласно ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств»: 1 группа – категория L, 2 группа – категория M₁, 3 группа – категории N₂, N₃ и N+O_{3,4}, 4 группа – категория M_{2,3}. Скорость движения ТС определялась на основе видеозаписи.

Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС фиксировалась при движении ТС группами (от 3-х ТС):

$$\Delta V = V_1 - V_2, \quad (8)$$

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

Для выявления возможности ТС совершить экстренное торможение в конкретных ДУ был определен остановочный путь.

Замеры расстояний между ТС производились на основе видеозаписи, сделанной на рассматриваемом участке дороги с использованием программного комплекса «КОМПАС 3D V13» методом подбора по заранее определенному расстоянию. Также в третьей главе приведена методика определения качественных состояний транспортного потока (коэффициент загрузки движением и плотность движения потока).

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

В четвертой главе представлен анализ результатов экспериментальных исследований и представлена методика оценки безопасности дорожного движения, учитывающая структуру транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

Анализ результатов экспериментального исследования позволил выявить, что структура транспортного потока неоднородна (рис. 3), особенно это заметно на участках, находящихся в значительной отдаленности от крупных населённых пунктов. Также выявлено, что в течение часа доля ТС категорий M₂, M₃, N₂, N₃, N+O_{3,4} на различных участках автомобильных дорог вне населённых пунктов колеблется от 5 до 63 % от общего количества зафиксированных ТС, среднечасовое значение находится в интервале от 11 до 42 % (рис. 4).

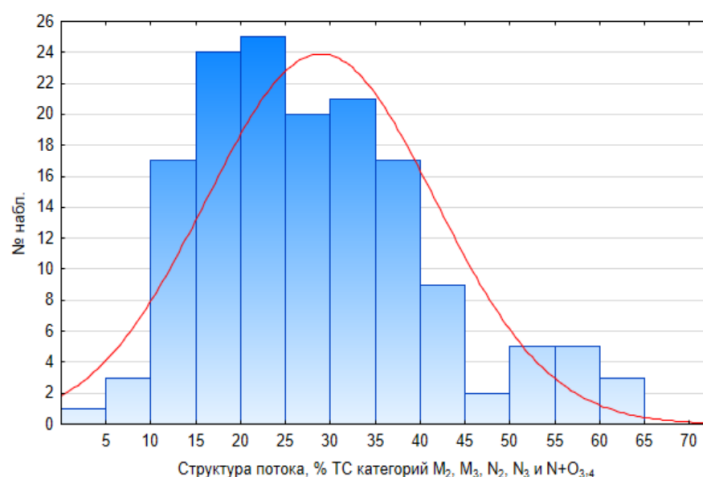


Рис. 3. Гистограмма распределения структуры транспортного потока

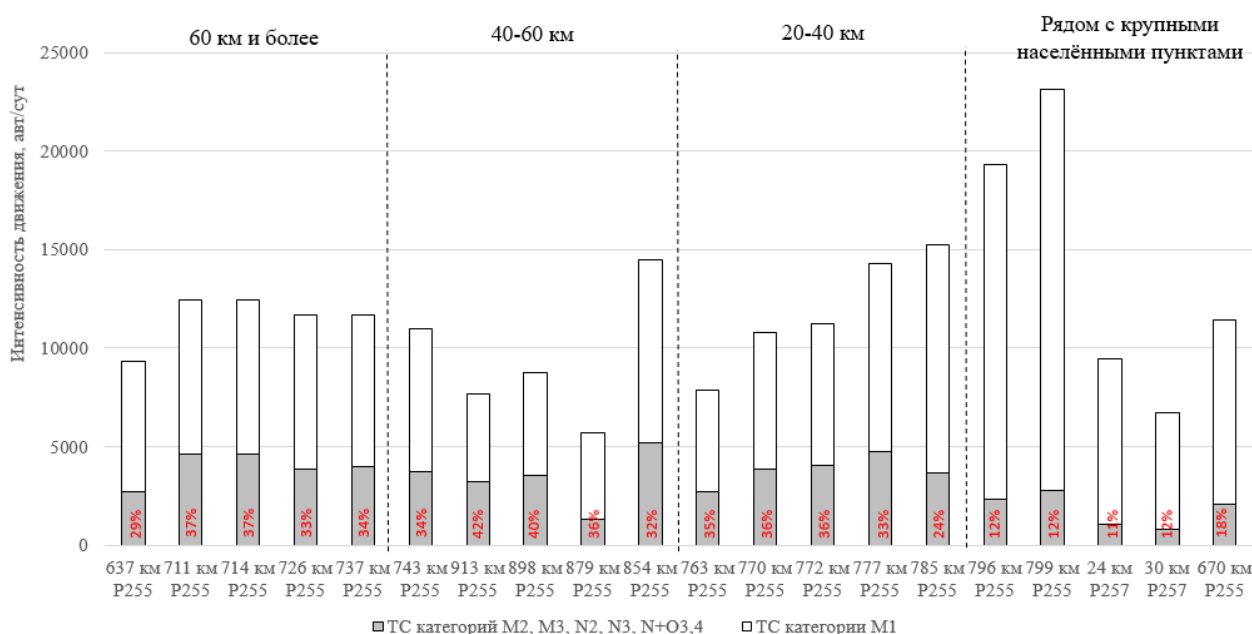


Рис. 4. Результаты натурного эксперимента по определению интенсивности и структуры транспортного потока

В ходе анализа скоростного режима выявлена большая вариация скоростей движения ТС, в 50 % случаев скорость движения единичных ТС превышает максимально допустимую скорость движения на рассматриваемых участках. Также анализ скоростного режима показал, что скорость движения в транспортном потоке неоднородна, разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС варьируется от 11 до 70 км/ч (рис. 5).

Исследование влияния разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на безопасность дорожного движения проводилось на различных участках дорог, в том числе на тех, где обгон запрещен. В ходе эксперимента установлено, что на 10 из 20 участков обгон запрещен, но так как участники дорожного движения нарушают требования дорожных знаков и разметки (рис. 6), разность скоростей была зафиксирована на 15 из рассматриваемых участков.

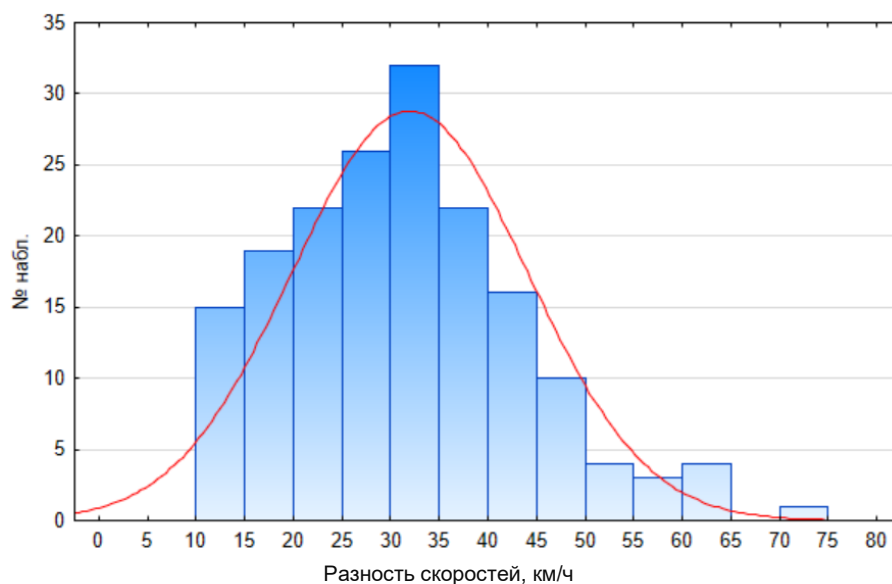


Рис. 5. Гистограмма разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

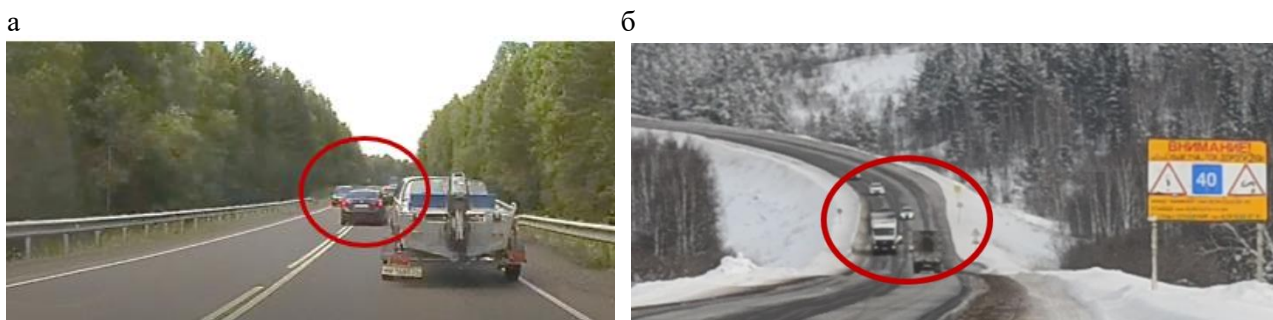


Рис. 6. Пример нарушения требований дорожных знаков и разметки на аварийно-опасных участках: а – Р-255 770 км, б – Р-255 898 км

В ходе наблюдения выявлено, что средняя разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС составляет 31 км/ч.

Анализ дистанции между автомобилями и теоретического тормозного пути показал, что расстояние между автомобилями в потоке недостаточно в 48 % случаев для торможения в экстренной ситуации на сухом асфальте и в 62 % – на мокром асфальте.

Для автомобильных дорог вне населённых пунктов на территории Красноярского края характерно движение ТС как малыми (2–5 ед.), так и большими группами (5–14 ед.), что вызвано следующими факторами:

1. Значительное количество ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ в транспортном потоке. В среднем транспортный поток на треть состоит из ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$. Так как динамические и тормозные свойства ТС разных категорий различны, то категории M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ в силу своих характеристики и ограничений на скоростной режим со стороны закона создают группу ТС, ожидающих возможность совершить обгон.

2. Сложный рельеф местности. Для автомобильных дорог вне населённых пунктов на территории Красноярского края характерны следующие особенности:

- длинные затяжные подъемы/спуски;
- затяжные повороты большого радиуса;

- повороты малого радиуса;
- резкие переходы от прямого однородного участка к повороту малого радиуса.

Из-за особенностей рельефа возникает «шум» скорости, который особенно характерен для ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ в силу их технических особенностей, что также приводит к образованию групп ТС, двигающихся за медленно едущим «лидером» группы.

В ходе анализа маневра обгон на аварийных участках выявлено, что при движении ТС группами обгон происходит не по одному ТС, а по части группы либо сразу группы ТС в зависимости от ее численности.

Анализ результатов экспериментального исследования позволил установить влияние структуры транспортного потока и разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на безопасность дорожного движения (табл. 2). Результаты корреляционного анализа подтверждают гипотезу о влиянии структуры транспортного потока и разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на БДД.

Табл. 2 – Результаты корреляционного анализа

Фактор	Коэффициент корреляции				Критерий Стьюдента t	
	Суммарное количество ДТП за отчетный период		Среднегодовое значение количества ДТП		Суммарное количество ДТП за 5 лет	Среднегодовое значение количества ДТП
	Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи	Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи		
Структура транспортного потока	0,28	Умеренная	0,24	Слабая	10,39	11,08
Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС	0,45	Умеренная	0,44	Умеренная	5,02	17,28

Между структурой транспортного потока и разностью скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС установлена высокая связь по шкале Чеддока ($r=0,83$). Поэтому с помощью регрессионного анализа была получена зависимость разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС (y) от доли ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ (x), рис. 7:

$$y = 18,90 + 0,51 * x. \quad (9)$$

Чем более разнотипен транспортный поток, тем чаще в нём возникают потребности обгонов. Во многом это связано с разницей в динамических и тормозных качествах ТС различных категорий. Также ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ ограничивают видимость следующих за ними автомобилей. Особенно значение это имеет для ТС с правым расположением рулевой колонки. Увеличение разницы скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС с увеличением в потоке ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ связано с тем, что

при повышении доли ТС возрастает эмоциональная напряжённость водителей. Они стараются располагать ТС ближе к оси дороги, выжидая момент для совершения обгона. При этом водители стараются совершать обгон сразу группы ТС, поэтому для скорейшего завершения манёвра водители обгоняющих ТС развивают скорость, значительно превышающую скорость обгоняемого ТС.

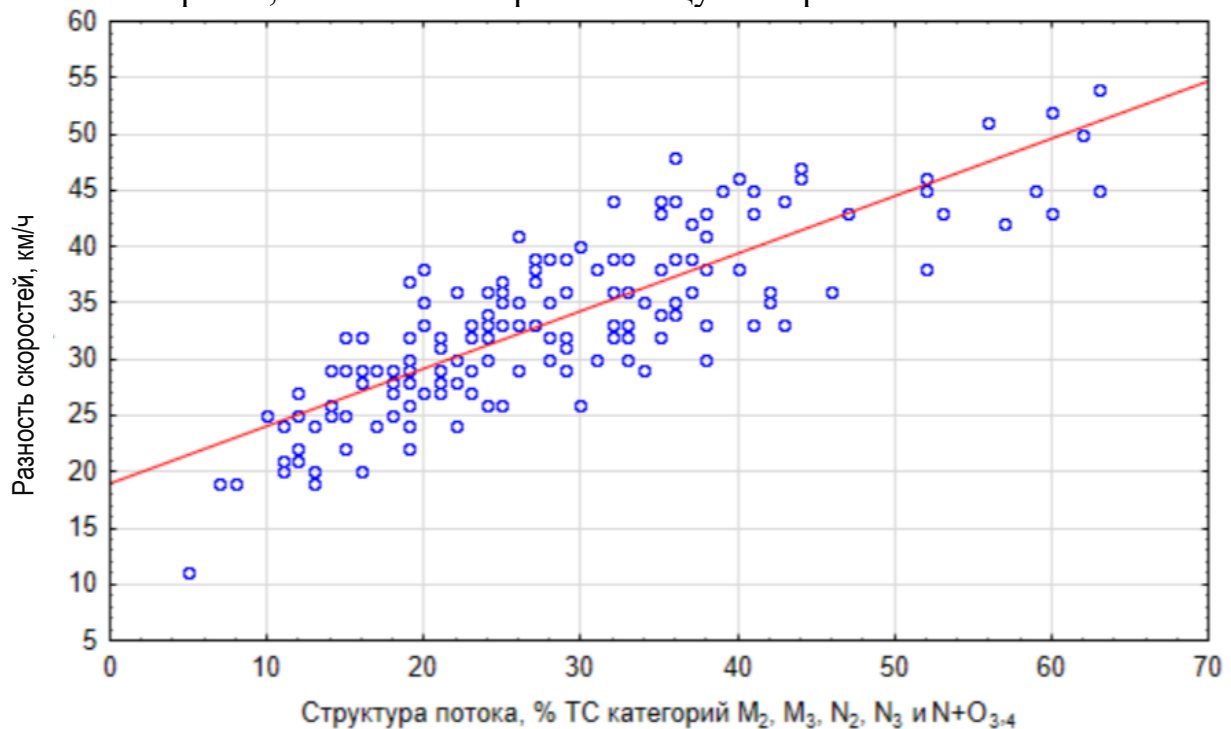


Рис. 7. График зависимости разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС от структуры транспортного потока на потенциально аварийно-опасных участках

В ходе анализа параметров транспортного потока была выявлена зависимость, характеризующая вероятность возникновения обгона группы ТС на потенциально аварийно-опасных участках от параметров транспортного потока:

$$y=0,0001 \cdot x_1+0,0008 \cdot x_2-0,0181 \cdot x_3+0,0017, \quad (10)$$

где y – вероятность возникновения обгона группы ТС; x_1 – доля ТС категорий M₂, M₃, N₂, N₃, N+O_{3,4}, %; x_2 – разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч; x_3 – коэффициент загрузки движением.

Также на основе полученных данных было определено выражение, для вычисления безопасной скорости обгона в благоприятных дорожных условиях, учитывающее долю обгоняемых ТС категорий M₂, M₃, N₂, N₃, N+O_{3,4} в транспортном потоке:

$$V_{\text{без}} = V_{\text{п}} + 18,90 + 0,51 * \alpha, \quad (11)$$

где $V_{\text{без}}$ – безопасная скорость обгона с учетом структуры транспортного потока; $V_{\text{п}}$ – скорость транспортного потока, определенная по выражению (7); α – доля обгоняемых ТС категорий M₂, M₃, N₂, N₃, N+O_{3,4}.

По результатам обработки и анализа экспериментальных данных была

получена регрессионная модель (13), описывающая зависимость значения частного коэффициента аварийности K_{11} от разницы скоростей ΔV между обгоняемым и обгоняющим ТС:

$$K_{11} = 0,05 \cdot \Delta V + 1. \quad (12)$$

Следует особо подчеркнуть, что полученная зависимость позволяет учитывать режимы движения транспортных средств при оценке безопасности дорожного движения.

Полученные экспериментальные данные позволили сформулировать рекомендации для повышения информационной поддержки водителей на потенциально аварийно-опасных участках автомобильных дорог вне населённых пунктов. Для обеспечения безопасности дорожного движения на данных участках необходимо осуществлять информационную поддержку водителей о реальной дорожной обстановке, скорости транспортного потока либо безопасной скорости обгона с учетом структуры транспортного потока путём установки ДИТ, информация на которых будет обновляться в реальном времени, исходя из показаний датчиков интенсивности, скорости движения и состояния дорожного полотна (рис. 8, 9).

С использованием предлагаемой методики была произведена оценка эффективности предлагаемых мероприятий на 123, 424 км Р-257, а также на 657 и 908 км Р-255. Данные участки имели статус аварийно-опасных, но на период проведения ремонтных работ, во время которых устанавливались временные дорожные знаки, ограничивающие скоростной режим, аварийность резко сокращалась, так как весь поток на данных участках двигался с одинаковой скоростью.



Рис. 8. Схема реализации информационной поддержки водителей

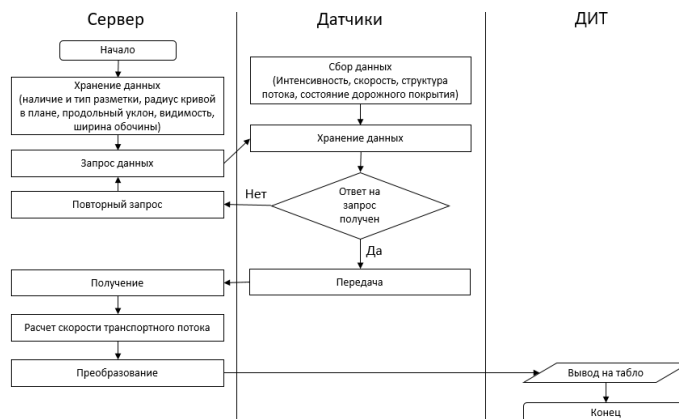


Рис. 9. Диаграмма деятельности

Экономическая оценка предлагаемых мероприятий проведена для 745 км Р255, на котором за 2022 год произошло 3 столкновения. Потери от ДТП были определены с учетом половозрастной структуры погибших и раненых. Выявлено, что потери от ДТП превышают общие затраты на реализацию предложенных мероприятий, которые складываются из затрат на приобретение, монтаж и обслуживание оборудования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для повышения безопасности дорожного движения. По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Теоретически и экспериментально обоснованы факторы, оказывающие влияние на безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах вне населённых пунктов. По результатам анализа аварийности и нормативных документов были выбраны ранее неучтенные факторы, оказывающие влияние на безопасность дорожного движения на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов: структура транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

2. Выявлено влияние структуры транспортного потока и разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на безопасность дорожного движения. Установлена зависимость вероятности возникновения манёвра «обгон» группы ТС от доли ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$, разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС и коэффициента загрузки движением.

Установлена зависимость разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС от структуры транспортного потока.

Определена безопасная скорость обгона при благоприятных дорожных условиях, учитывающая долю обгоняемых ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 , N_3 , $N+O_{3,4}$ в транспортном потоке.

3. Разработана методика оценки безопасности дорожного движения с учётом структуры транспортного потока и разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, позволяющая выявить потенциально аварийно-опасные участки автомобильных дорог вне населённых пунктов.

4. Предложены мероприятия по повышению информационной поддержки водителей о реальной дорожной обстановке и допустимой скорости движения в конкретный момент времени на потенциально аварийно-опасных участках исходя из структуры транспортного потока путем установки ДИТ. Информация на ДТИ будет обновляться в реальном времени согласно показаниям датчиков интенсивности потока, скорости движения и состояния дорожного полотна.

5. Произведена оценка эффективности предложенных мероприятий. Выявлено, что на аварийных участках потери от ДТП (в среднем 1 344 885 руб.) превышают общие затраты на реализацию предложенных мероприятий по снижению аварийности (680 000 руб.). Важным при внедрении методики является социальный эффект, в первую очередь выражающийся в сохранности жизни и здоровья участников дорожного движения.

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

Издания 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 / Е.С. Воеводин, К.В. Бакланова, Н.В. Шадрин, А.М. Асхабов, А.С. Поляков // Транспорт Урала. – 2020. – № 1 (64). – С. 57–62.

3. **Бакланова К.В.** Влияние параметров транспортного потока и характеристик дорог на безопасность дорожного движения / К.В. Бакланова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 99–110.

4. **Бакланова К.В.** Исследование скоростного режима на федеральных дорогах Красноярского края / К.В. Бакланова // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. – 2023. – № 9. – С. 34–39.

Зарубежные издания, включенные в международные базы цитирования:

5. **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.

6. **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.

Научные рецензируемые издания и сборники трудов:

7. **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». – Красноярск, 2017. – С. 97–100.

8. **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 «Перспективны-2018». – Красноярск, 2018. – С. 710–712.

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

10. **Пулянова К.В.** Проблемы статистического анализа дорожно-транспортных происшествий / К.В. Пулянова, Е.С. Воеводин, С.А. Катаев // Сборник материалов II Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения-2019». – Красноярск, 2019. – С. 212–215.

11. **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-2021». – Иркутск, 2021. – Т. 1. – С. 246– 252.

12. **Бакланова К.В.** Анализ аварийности на дорогах Красноярского края / К.В. Бакланова, Е.В. Воеводин, С.А. Катаев // Борисовские чтения: материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Красноярск: СФУ. –2021. –С.311-314.

13. **Бакланова К.В.** Влияние неучтенных факторов на безопасность дорожного движения / К.В. Бакланова, Е.С. Воеводин, Е.С. Воеводина // Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах-2022». Оренбург, 2022.– С. 14–20.

До 2020 года у автора была фамилия Пульянова.

Подписано в печать 16.02.2024 г.
Формат 297x210 1/2. Бумага офсетная.
Уч.-изд. листов 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 03
Отпечатано: ИП Востриков Павел Владимирович
460052, г. Оренбург, ул. Плеханова, д. 13
Тел.: +7-903-395-33-60
www.poliart.ru; e-mail: poliart@gmail.com