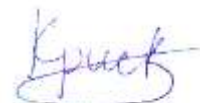


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель**

Воеводин Евгений Сергеевич,

кандидат технических наук,

доцент, заведующий кафедрой «Транспорт»

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный  
университет»

Красноярск – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1. Анализ состояния дорожно-транспортного комплекса Красноярского края ....	8
1.2. Аварийность на дорогах РФ и Красноярского края .....	10
1.3. Анализ методов и средств оценки безопасности дорожного движения .....	30
1.4. Выводы по главе.....	45
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ИТОГОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АВАРИЙНОСТИ С УЧЁТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА.....	47
2.1. Обоснование перечня факторов, оказывающих влияние на БДД.....	47
2.2. Теоретические основы оценки частных коэффициентов аварийности .....	53
2.3. Анализ значимости частных коэффициентов аварийности .....	54
2.4. Обоснование групп частных коэффициентов аварийности.....	63
2.5. Модель оценки итогового коэффициента аварийности, учитывающая характеристики движения транспортного потока .....	66
2.6. Алгоритм оценки БДД на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов .....	71
2.7. Выводы по главе.....	74
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	76
3.1. Планирование этапов и методик проведения эксперимента .....	76
3.2. Методика определения геометрических элементов автомобильных дорог....	79
3.3. Методика определения коэффициента сцепления.....	85
3.4. Методика определения параметров транспортного потока.....	86
3.5. Обработка первичного массива данных .....	93
3.6. Применяемые методы обработки экспериментальных данных .....	95
3.7. Выводы по главе.....	97

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	99
4.1. Результаты натурных исследований .....	99
4.2. Результаты обработки экспериментальных данных .....	118
4.3. Проверка целесообразности усовершенствованной «Методики коэффициентов аварийности», дополненной новыми частными коэффициентами .....	128
4.4. Практические рекомендации по повышению безопасности дорожного движения на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов .....	129
4.5. Оценка экономической эффективности предлагаемой методики.....	133
4.6. Проверка эффективности предложенных мероприятий .....	136
4.7. Выводы по главе.....	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	140
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	142
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	160

## ВВЕДЕНИЕ

**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 ДТП 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 % погибших от общего количества пострадавших.

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, 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 определяет скорость движения медленно движущихся ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>, ограничивает 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 использованием 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 «Перспектив Свободный» (г. Красноярск, 2017–2023 г.), Всероссийских научно-технических конференциях «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2017, 2019, 2021, 2023 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.), 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.), XV Международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт-Петербург, 2022 г.), XVII 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 – в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК, 2 – 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.

## **ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1. Анализ состояния дорожно-транспортного комплекса Красноярского края**

Согласно приказу министерства транспорта Красноярского края от 9 января 2018 г. N 6/2-Н «Об утверждении транспортной стратегии Красноярского края до 2030 года» общая протяженность автомобильных дорог на территории Красноярского края в настоящий момент составляет 47,3 тыс. км. Общая стоимость дорожной сети в крае – порядка 29,7 млрд рублей.

В крае находится единственная городская агломерация – Красноярская, общая протяженность автодорог с усовершенствованным покрытием которой составляет около 1,5 тыс. км [98].

Согласно Постановлению правительства Красноярского края от 12.09.2017 №533-п «О внесении изменения в постановление Совета администрации Красноярского края от 17.06.2002 № 205-п “Об утверждении перечня автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения Красноярского края”» в перечень автомобильных дорог общего пользования регионального или муниципального значения Красноярского края входит 989 дорог общей протяженностью 14197,8 км: из них 5465,72 км (39,0 %) в асфальтобетонном покрытии, 8485,46 км (61 %) в переходном (гравий, щебень) [86, 98]. По состоянию на 01.01.2021 не соответствуют нормативным требованиям 4198,752 км автомобильных дорог [115].

По территории Красноярского края проходит две автомобильные дороги общего пользования федерального значения:

1. Федеральная автомобильная дорога (ФАД) Р-255 «Сибирь» (ранее М-53 «Байкал») в Красноярском крае проходит от границы с Кемеровской областью (557 км) до границы с Иркутской областью (1176 км), включая обходы г. Красноярска, г. Канска, Н. Поймы. Федеральная автомобильная дорога Р-255 «Сибирь» проходит



по 12 районам Красноярского края (Боготольский, Ачинский, Козульский, Емельяновский, Березовский, Манский, Уярский, Рыбинский, Канский, Иланский, Нижнеингашский).

2. ФАД Р-257 «Енисей» (ранее М-54 «Енисей») берет свое начало от г. Красноярска до границы с Монголией. Протяжённость автодороги — более 1110 км. Проходит по следующим районам Красноярского края: Емельяновский, Козульский, Балахтинский, Новоселовский, Минусинский. В границах Республики Хакасия проходит по следующим районам: Боградский, Усть-Абаканский, Алтайский [98].

Ранее к федеральным дорогам Красноярского края также относились А-382 (подъездная дорога от г. Дудинки к аэропорту Алыкель) и А-383 (подъездная дорога от пгт Тура к аэропорту Тура (горный), но согласно Постановлению Правительства РФ от 2 февраля 2019 г. N 72 «О внесении изменения в перечень автомобильных дорог общего пользования федерального значения» [99] данные позиции исключили из перечня дорог федерального значения.

Краткая характеристика существующих автомобильных дорог общего пользования федерального значения Красноярского края представлена в таблице 1.1 [123]. Преобладают участки дорог, относящиеся к 3-й категории дорог (63 %), следовательно, преобладают двухполосные участки дорог.

Таблица 1.1 – Краткая характеристика автомобильных дорог общего пользования федерального значения Красноярского края

Параметр	Ед. изм.	Всего в Красноярском крае	Р-255	Р-257
Протяженность, всего:	км	1198,4	677,8	520,7
I категория		23,8	23,8	0,0
II категория		425,2	357,7	67,5
III категория		749,5	296,3	453,1
Количество мостов	шт.	115,0	66,0	49,0
	п.м.	7351,9	4519,6	2832,3
Количество надземных пешеходных переходов	шт.	3,0	2,0	1,0
	п.м.	469,7	379,3	90,4
Количество труб	шт.	970,0	456,0	514,0
	п.м.	29785,5	16429,78	13355,7
Противолавинная галерея	п.м.	1340,0	0,0	1340,0
Барьерное ограждение	км	399,2	294,4	104,8
Линии электроосвещения	км	50,2	33,1	17,1

В 2017 году Красноярский край вступил в программу «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Программа реализуется в два этапа. Оба этапа включают в себе работы по ремонту и обустройству дорог, а также мероприятия, направленные на повышение БДД [102]. В 2019 году на смену проекта пришел одноименный масштабный национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [13, 72].

Согласно проектной документации к 2024 году доля автодорог регионального и межмуниципального значения, соответствующих нормативным требованиям, должна увеличиться до 73 %, доля автодорог, работающих в режиме перегрузки, должна сократиться на 19,7 км. Также ожидается расширение системы фотовидеофиксации [10, 53, 72].

## **1.2. Аварийность на дорогах РФ и Красноярского края**

### **1.2.1. Анализ аварийности на дорогах РФ**

Так как в перевозочный процесс вовлечены десятки миллионов людей и большое число транспортных средств (с помощью автомобильного транспорта в РФ перевозится более 50 % пассажиров и около 75 % грузов), то одной из серьезных социально-экономических проблем является предупреждение аварийности.

Анализ состояния и динамики аварийности на автомобильном транспорте [39, 80, 85, 92, 113] (рисунок 1.1) говорит о том, что, несмотря на тенденцию к снижению общего количества ДТП, уровень смертности остается высоким. В представленной динамике отражены результаты реализации федеральных целевых программ (ФЦП) «Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах» [96] и «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» [97]. Можно выделить несколько факторов, определяющих текущее состояние аварийности на сегодняшний день:

1. В рамках реализации ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения» и НП «Безопасные и качественные дороги», несмотря на значительное увели-

чение протяжённости автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального (или межмуниципального) и местного значения, динамика развития данных дорог ниже роста уровня автомобилизации (рисунок 1.1).

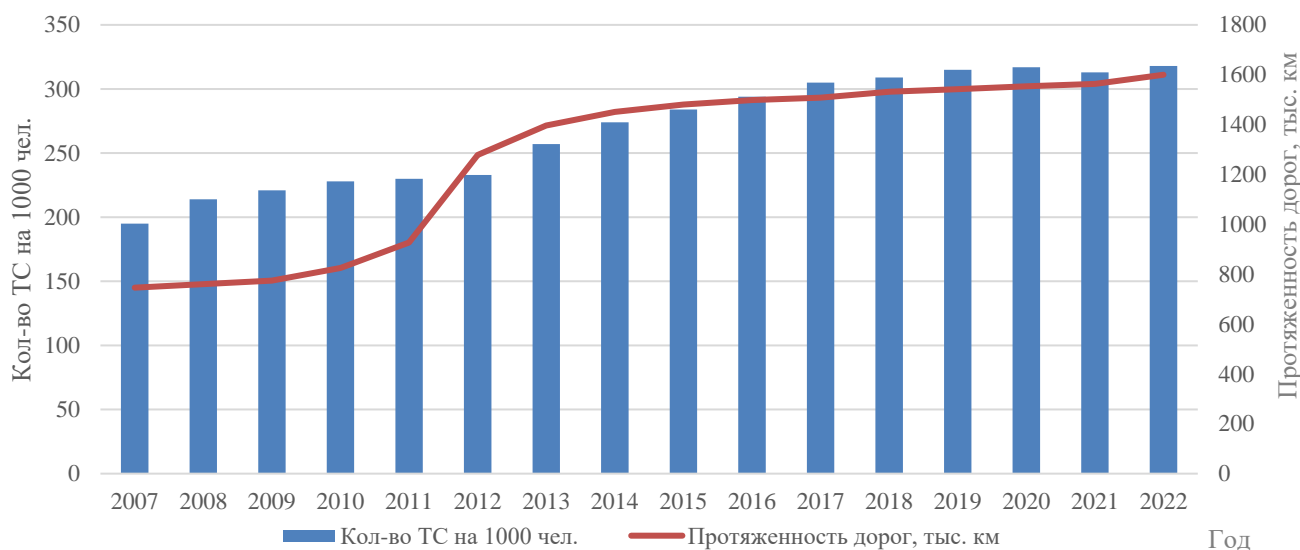


Рисунок 1.1 – Динамика уровня развития автомобилизации и дорожной сети за 2007–2022 годы

2. Оценка безопасности дорожного движения производится по устаревшим методикам [1, 5, 13, 16, 51, 61, 63], где качественные и количественные характеристики транспортного потока отличаются от современных.

3. Ежегодный рост количества зарегистрированных ТС не влечет за собой ежегодный рост количества ДТП, что говорит о результативности ФЦП, реализация которых началась в 2006 году и длится по сегодняшний день (рисунок 1.2).

4. Реализация ФЦП способствует сокращению количества ДТП [85, 92, 96, 97, 98], но, несмотря на эффективность реализации данных программ, уровень смертности при ДТП составляет 17,1 на 100 тыс. населения, в европейских странах данный показатель составляет 10,0 [44, 70].

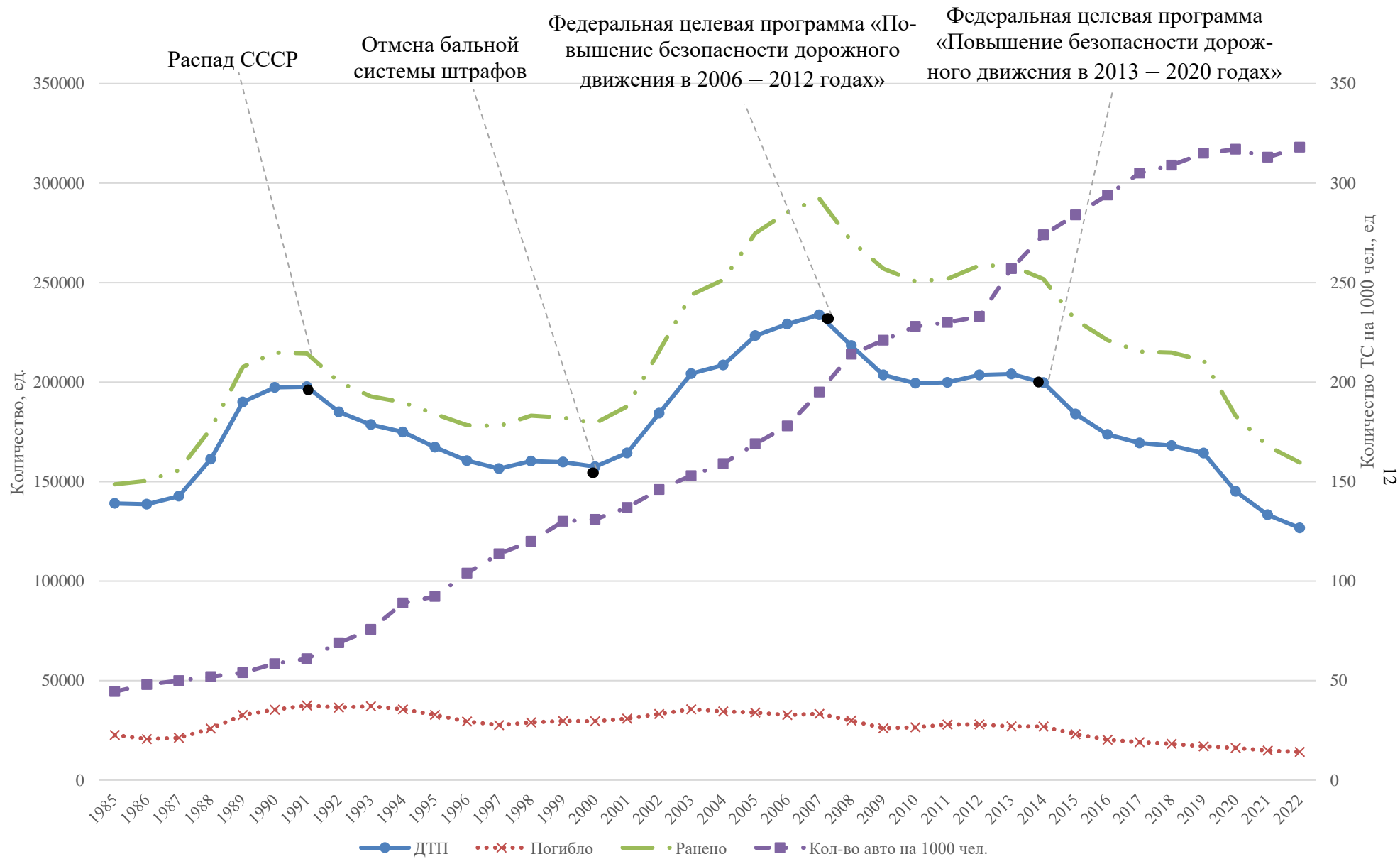


Рисунок 1.2 – Статистика ДТП в России за 1985–2022 годы

### 1.2.2. Анализ аварийности на дорогах Красноярского края

По состоянию на 14 августа 2023 года Красноярский край занимал 59 место в рейтинге регионов по количеству ДТП (115,1) с пострадавшими на 100 тыс. автомобилей [107].

Статистика аварийности по РФ, Сибирскому федеральному округу (СФО) и Красноярскому краю [85, 92] за 2015–2022 годы наблюдений представлена в таблице 1.2. В целом по России, СФО и Красноярскому краю наблюдается тенденция к снижению общего количества ДТП, погибших и раненых. На долю ДТП на территории Красноярского края приходится около 17 % от общего количества ДТП по СФО и 2 % – по России.

Таблица 1.2 – Статистика аварийности

Территория	Округ	Год							
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Российская Федерация	ДТП	18400	17369	16943	16809	16435	14507	13333	12670
	АППГ, ± %	0	4	2	9	8	3	1	5
	Погибло	-8	-6	-3	-1	-2	-12	-9	-5
	Ранено	23114	20308	19088	18214	16981	16152	14874	14172
Сибирский федеральный округ	ДТП	23119	22114	21537	21485	21087	18304	16785	15963
	АППГ, ± %	7	0	4	3	7	0	6	5
	Погибло	19249	22385	21600	20702	19436	17817	15527	15811
	Ранено	-29	+16	-4	-4	-6	-8	-9	+2
Красноярский край	ДТП	2327	2388	2282	2233	2023	2017	1802	1826
	АППГ, ± %	24105	28481	27372	26332	24870	22543	19634	20159
	Погибло	4477	4130	3779	3585	3568	3295	2669	2707
	Ранено	-6	-8	-9	-5	-1	-8	-8	+1,5
Красноярский край	Погибло	567	437	401	389	378	365	312	303
	Ранено	5659	5322	4747	4321	4376	4070	3312	3354

Статистика по местам и месяцам совершения ДТП в Красноярском крае представлена в приложении А таблице А.1. Распределение количества ДТП по месяцам дано на рисунке 1.3. Наибольшее количество ДТП наблюдается с июня по октябрь (рисунок 1.3). Пик приходится на летний период. Это объясняется особенностями климата. В летний период автомобильный поток на дорогах Красноярского края

возрастает в несколько раз, в том числе за счёт транзитного транспорта из других регионов [101, 103, 104, 158].

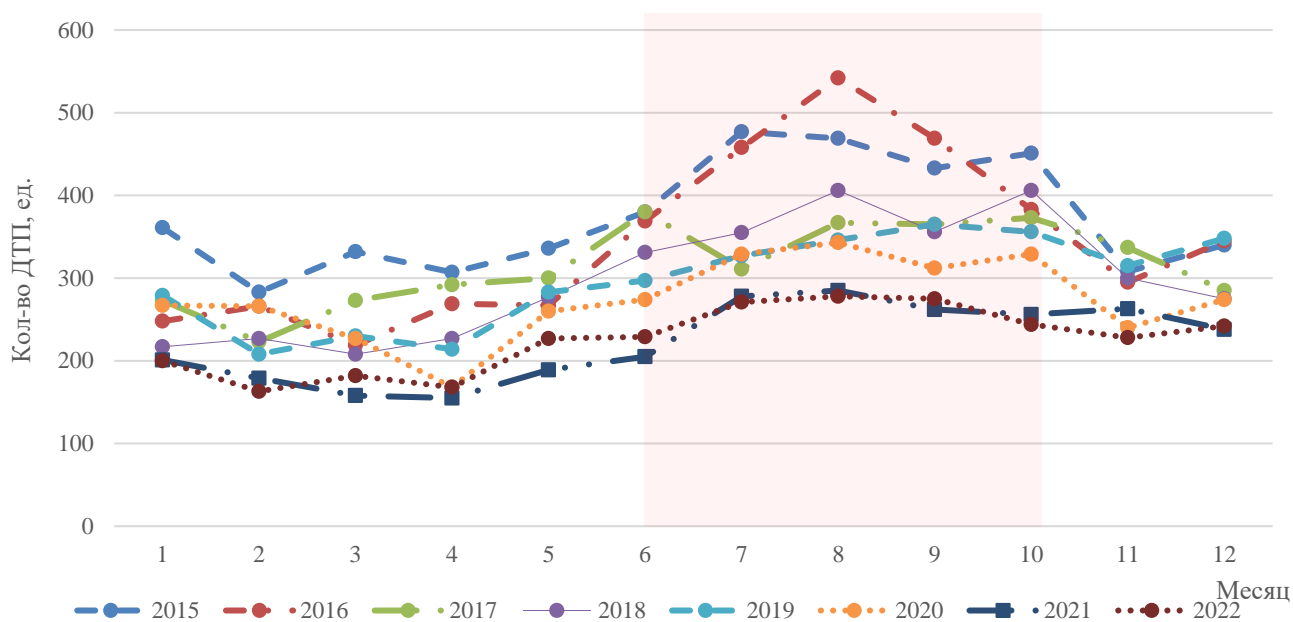


Рисунок 1.3 – Распределение ДТП по месяцам с 2015 по 2022 год

Гистограммы распределения ДТП и погибших в зависимости от значения автомобильных дорог представлены на рисунках 1.4 и 1.5.

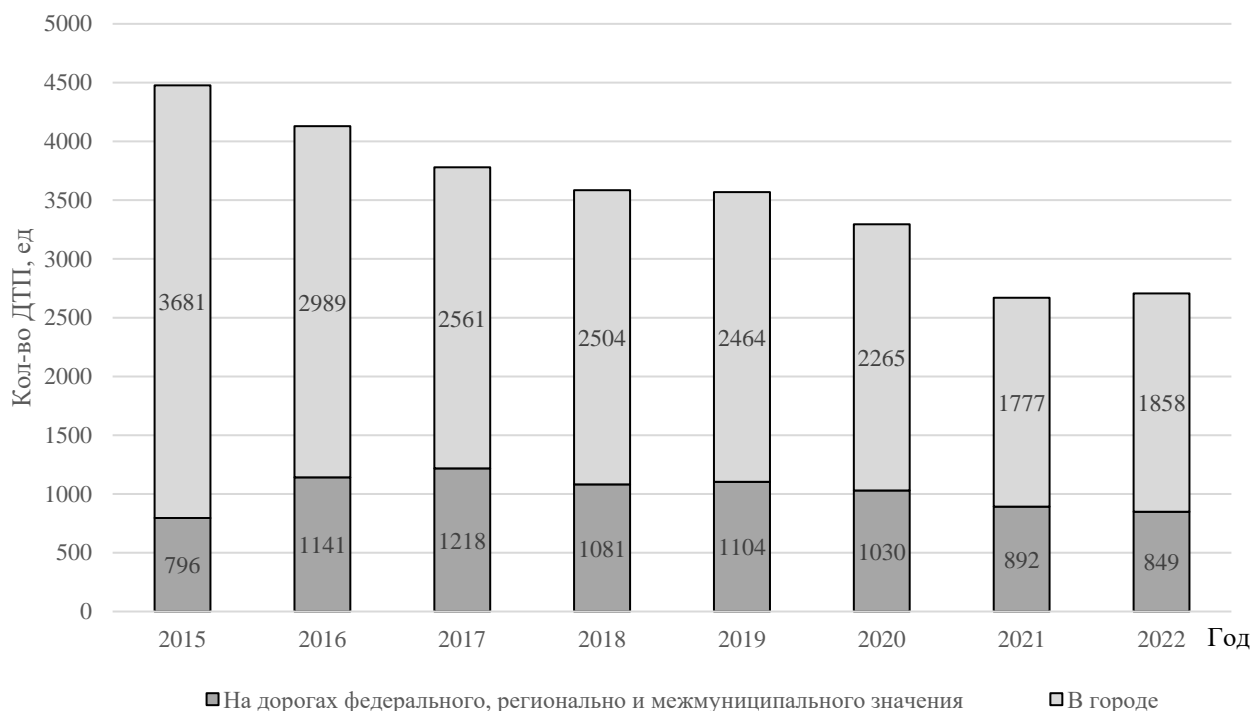


Рисунок 1.4 – Распределение ДТП на территории Красноярского края в зависимости от значения автомобильных дорог

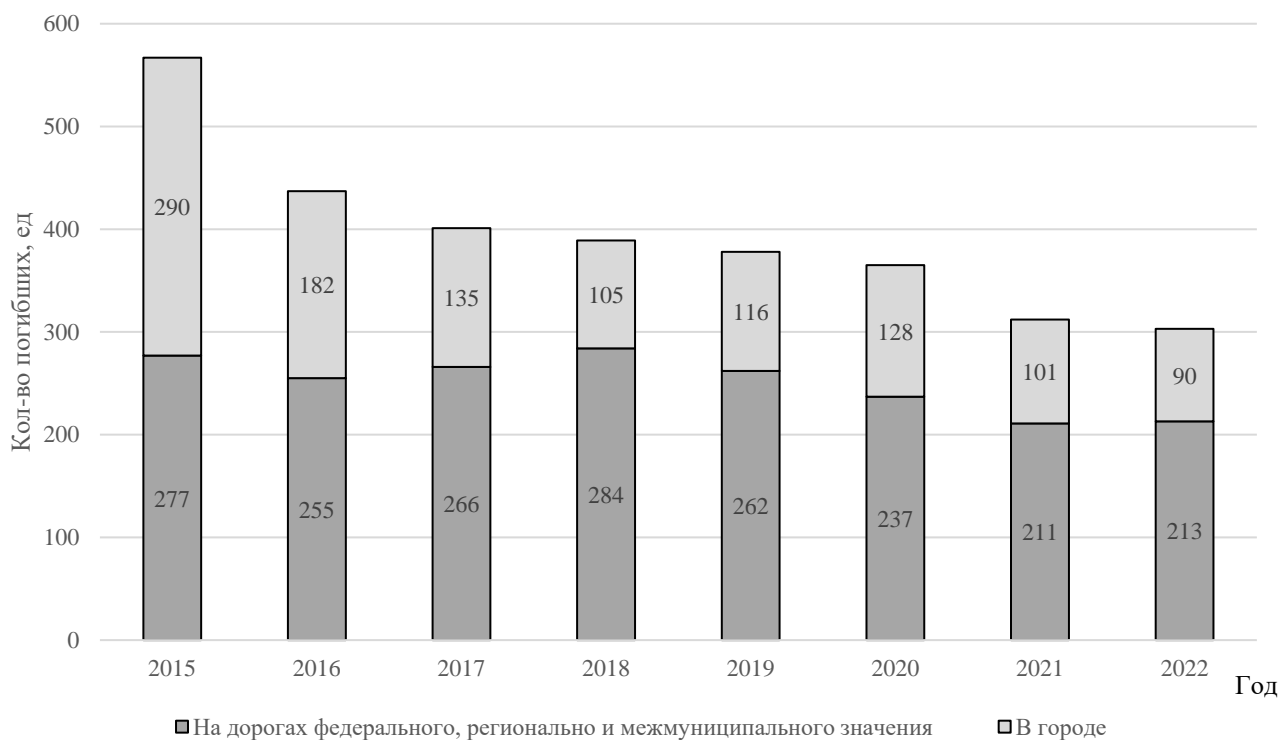


Рисунок 1.5 – Распределение погибших на территории Красноярского края в зависимости от значения автомобильных дорог

На долю ДТП на автомобильных дорогах вне населённых пунктов приходится 32 % от общего количества ДТП по краю (приложение А таблица А.1, рисунки 1.4 и 1.5). Несмотря на относительно небольшой процент происшествий, на долю этих ДТП приходится до 73 % погибших на территории Красноярского края [158]. На лепестковой диаграмме (рисунок 1.6) отображено относительное количество ДТП и пострадавших на автомобильных дорогах вне населённых пунктов от общего количества по Красноярскому краю за 2015–2022 годы наблюдений.

Относительное количество ДТП и пострадавших на автомобильных дорогах вне населённых пунктов держится примерно на одном уровне (рисунок 1.6).

В результате анализа аварийности на дорогах федерального, регионального и межмуниципального значения выявлено следующее: до 55 % ДТП от их общего количества происходит на данных дорогах (рисунок 1.7), хотя протяжённость ФАД составляет всего 9 % от протяжённости автомобильных дорог вне городской черты,

и погибает до 62 % от общего количества погибших на дорогах данного типа (рисунок 1.8). На гистограмме (рисунок 1.9) отображено относительное количество ДТП и пострадавших на ФАД Красноярского края за 2015–2022 годы наблюдений.

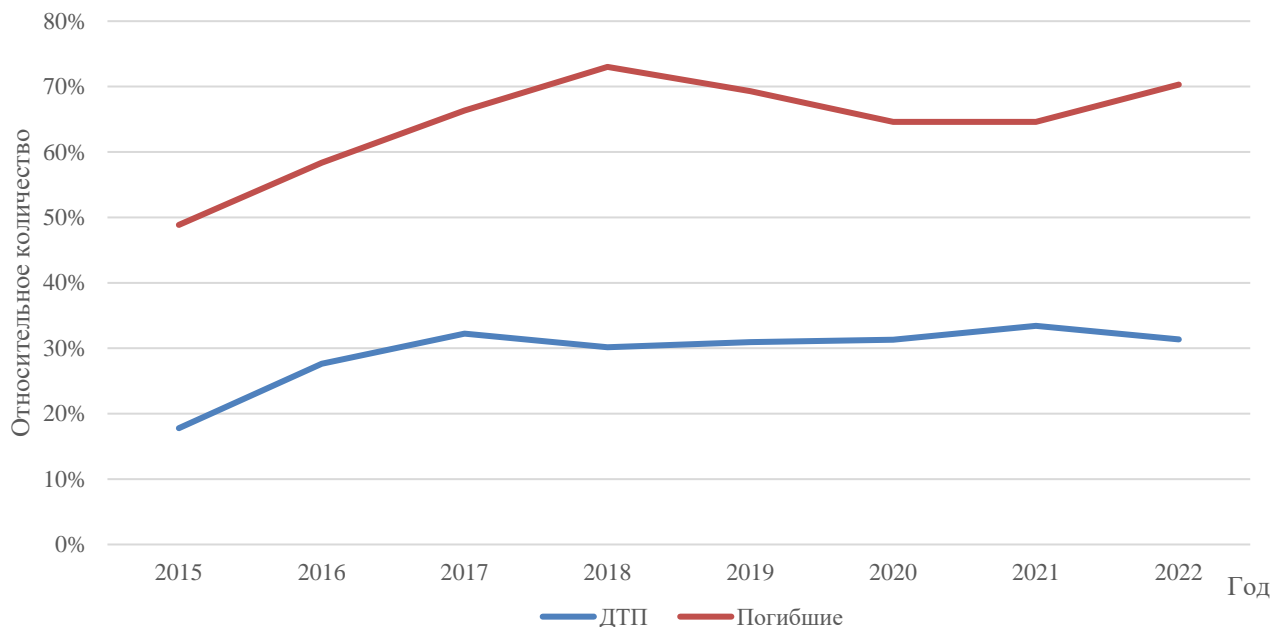


Рисунок 1.6 – Относительное количество ДТП и пострадавших вне населённых пунктов

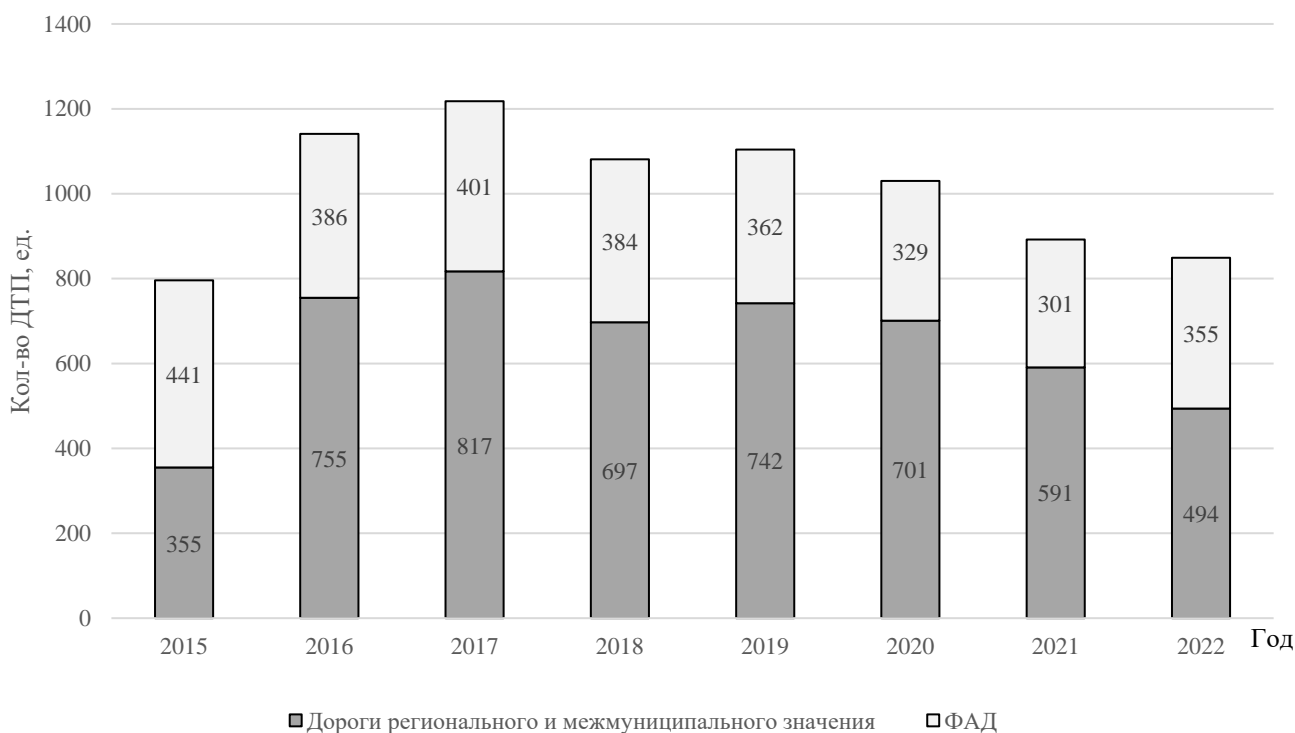


Рисунок 1.7 – Распределение ДТП на территории Красноярского края на дорогах федерального и регионального значения



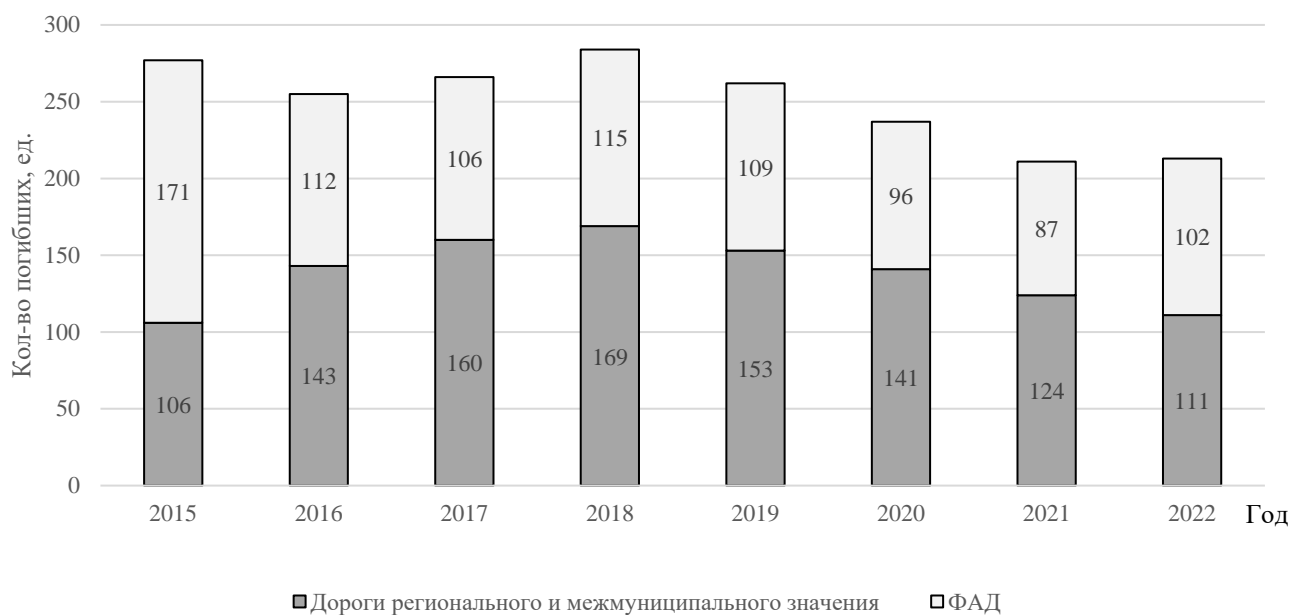


Рисунок 1.8 – Распределение погибших на территории Красноярского края на дорогах федерального и регионального значения

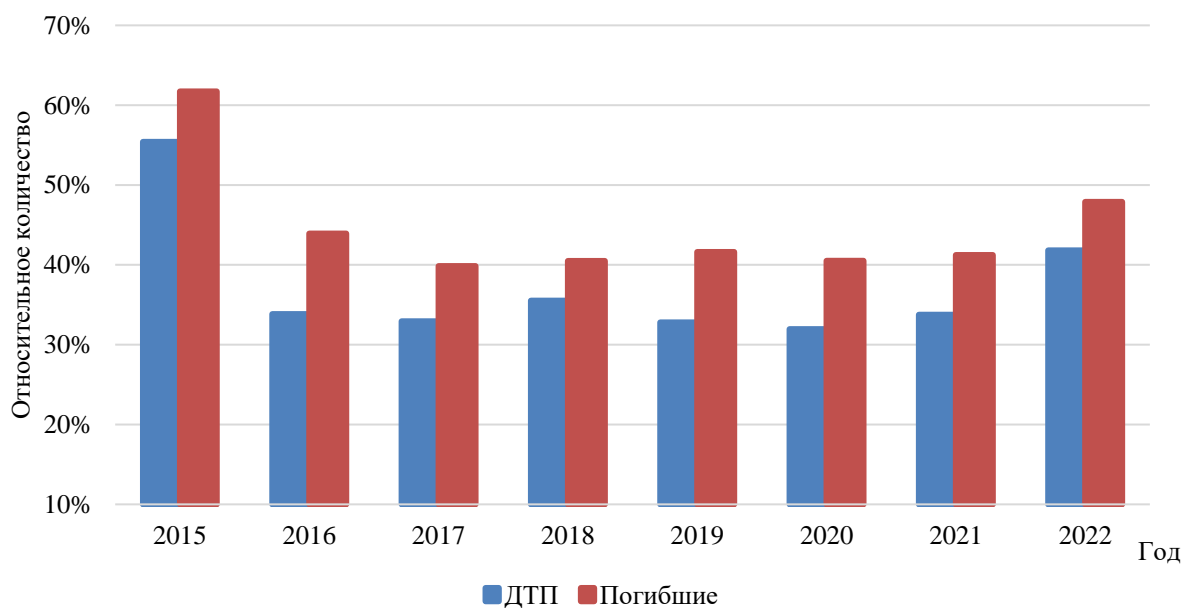


Рисунок 1.9 – Относительное количество ДТП и пострадавших на ФАД Красноярского края

Несмотря на небольшую протяженность ФАД, на данные дороги приходится до 50 % ДТП с летальным исходом (рисунок 1.9).

Так как статистика ДТП [94, 103] свидетельствует о большой смертности на ФАД. Рассмотрим статистику ДТП на данной категории дорог, проходящих по территории Красноярского края, для выявления их причин.

### **1.2.3. Состояние аварийности на федеральных автомобильных дорогах Красноярского края**

Несмотря на то, что протяжённость ФАД составляет всего 9 % от протяженности автомобильных дорог вне городской черты, на них происходит до 55 % ДТП от общего количества происшествий вне населённых пунктов.

За 2015–2022 годы наблюдений за аварийностью на ФАД Р-255 и Р-257 зафиксировано 9 видов ДТП: столкновение; съезд с дороги; опрокидывание; наезд на пешехода; наезд на стоящее ТС; наезд на препятствие; наезд на велосипедиста; наезд на животное; наезд на лицо, не являющееся участником дорожного движения, осуществляющее производство работ.

Наиболее часто встречаются столкновения. На ФАД Р-255 на ДТП данного вида приходится около 61 % случаев, при этом 54 % происходит во встречном направлении. Помимо столкновений достаточно часто происходят съезды с дороги и опрокидывания. На ФАД Р-257 на долю столкновений приходится до 49 % происшествий, при этом 66 % происходят во встречном направлении. На съезды с дороги и опрокидывания суммарно приходится до 35 % от общего количества ДТП.

На участках ФАД, проходящих по населённым пунктам, встречаются наезды на пешеходов. В 83 % ДТП, произошедших с участием пешеходов, виноваты сами пешеходы [92, 103].

На диаграммах (рисунок 1.10) отображено относительное количество ДТП различных видов на ФАД Р-255 и Р-257. Под иным видом ДТП предусмотрены: наезд на животное; наезд на велосипедиста; наезд на лицо, не являющееся участником дорожного движения, осуществляющее производство работ [105]. Согласно формулировке в ФЗ «О безопасности дорожного движения» аварийно-опасным участком дороги (местом концентрации ДТП) следует считать участок дороги, протяжённость которого не превышает 1000 м, где в течение года произошло три и более ДТП одного вида или пять и более независимо от их вида, в результате которых погибли или были ранены люди [122].

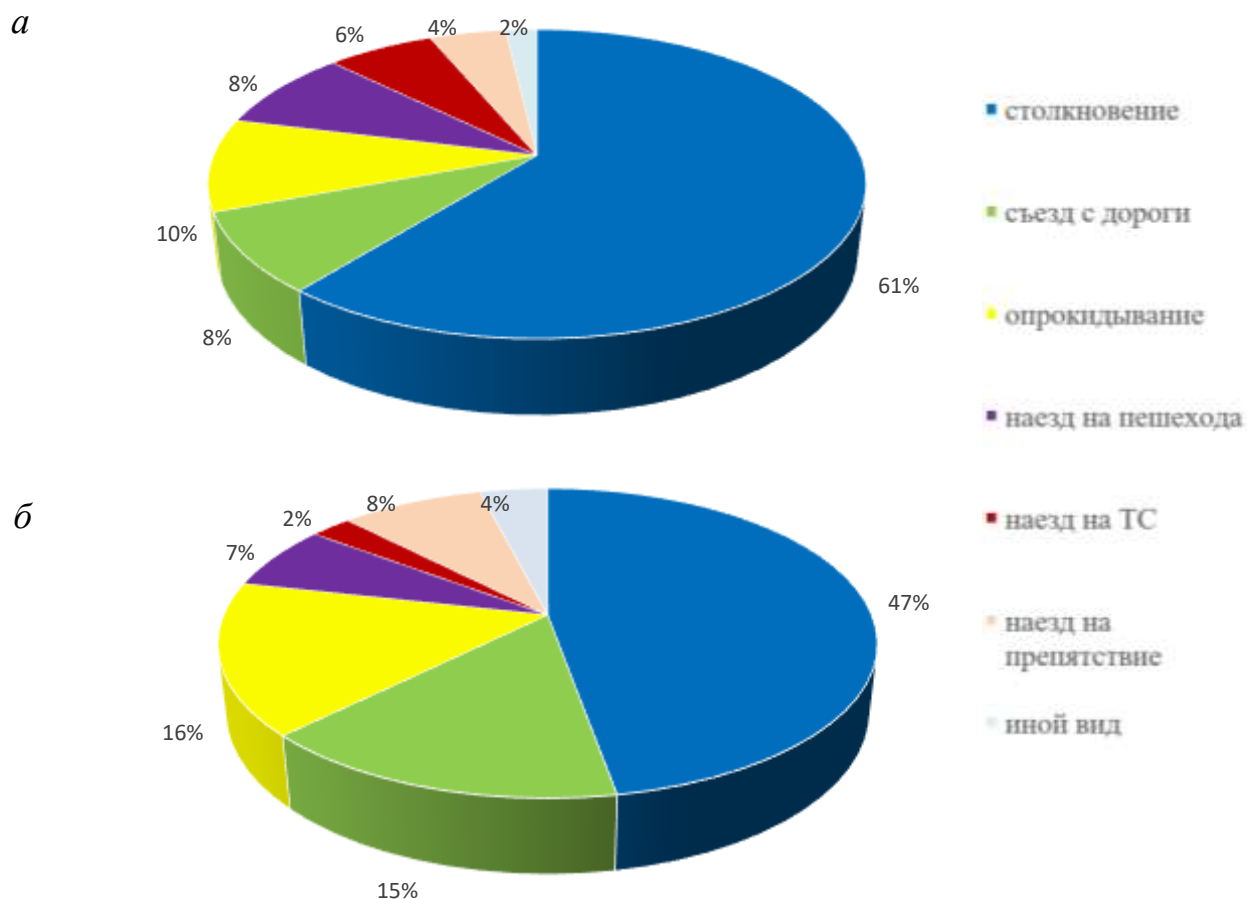


Рисунок 1.10 – Распределение относительного количества ДТП на федеральных дорогах Красноярского края по видам:

*а* – ФАД Р255, *б* – ФАД Р257

По ОДМ 218.4.005–2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» (далее ОДМ 218.4.005–2010) к участкам концентрации ДТП относятся любые участки дороги, на которых их абсолютное число за рассматриваемый период не менее значений, приведенных в табл. 5.3.1 ОДМ 218.4.005–2010. Минимальное количество ДТП колеблется от 3 до 8 в зависимости от интенсивности движения и длины рассматриваемого участка [77].

Информация об участках ФАД, которые на протяжении восьми лет (2015–2022 гг.) наблюдений хотя бы один раз характеризовались как аварийно-опасные, представлена в приложении Б таблице Б.1.

Аварийными участками являются не только одиночные участки, но и следующие друг за другом (таблица Б.1). Наезд на пешехода характерен для участков, проходящих по населённым пунктам (таблица Б.1), в остальных случаях основным

видом ДТП является столкновение. Основная часть опасных участков приходится на горизонтальные участки дороги.

Все участки на ФАД Р-255 можно разделить на две условные группы (таблица Б.1): стихийные аварийные участки (597, 653, 657, 714, 784, 843, 879 км) и постоянные места концентрации ДТП (770, 795, 796, 798, 808, 844, 898, 908, 931 км). Опасные участки дороги обозначены на карте ФАД Р-255 (рисунок 1.11).

В основном аварийно-опасные участки находятся возле Красноярской городской агломерации, что объясняется наибольшей концентрацией ТС на один километр (рисунок 1.11).

На ФАД Р-257 до 2018 года аварийными участками являлись 424 и 425 км, где основным видом ДТП было столкновение (таблица Б.1). В 2017 году наблюдается резкий скачок количества ДТП на 123 км. На этом участке дороги за 2017 год произошло три съезда с дороги, четыре опрокидывания и три столкновения, в этот же год на данном участке дороги проводились ремонтные работы. В настоящее время на ФАД Р-257 нет аварийно-опасных участков, что объясняется проведенными ремонтными работами и ограничением скоростного режима на данных участках (таблица Б.1). К причинам ДТП на ФАД относятся:

- выезд на полосу встречного движения;
- нарушение правил обгона;
- несоблюдение очередности проезда;
- неправильный выбор дистанции;
- разворот в местах, где он запрещён;
- нарушение правил проезда пешеходного перехода;
- нарушение правил расположения ТС на проезжей части;
- нарушение требований дорожных знаков;
- несоблюдение бокового интервала;
- нарушение правил перестроения;
- стоянка на проезжей части или обочине без освещения;
- нарушение правил остановки и стоянки, и другие нарушения [19, 103].

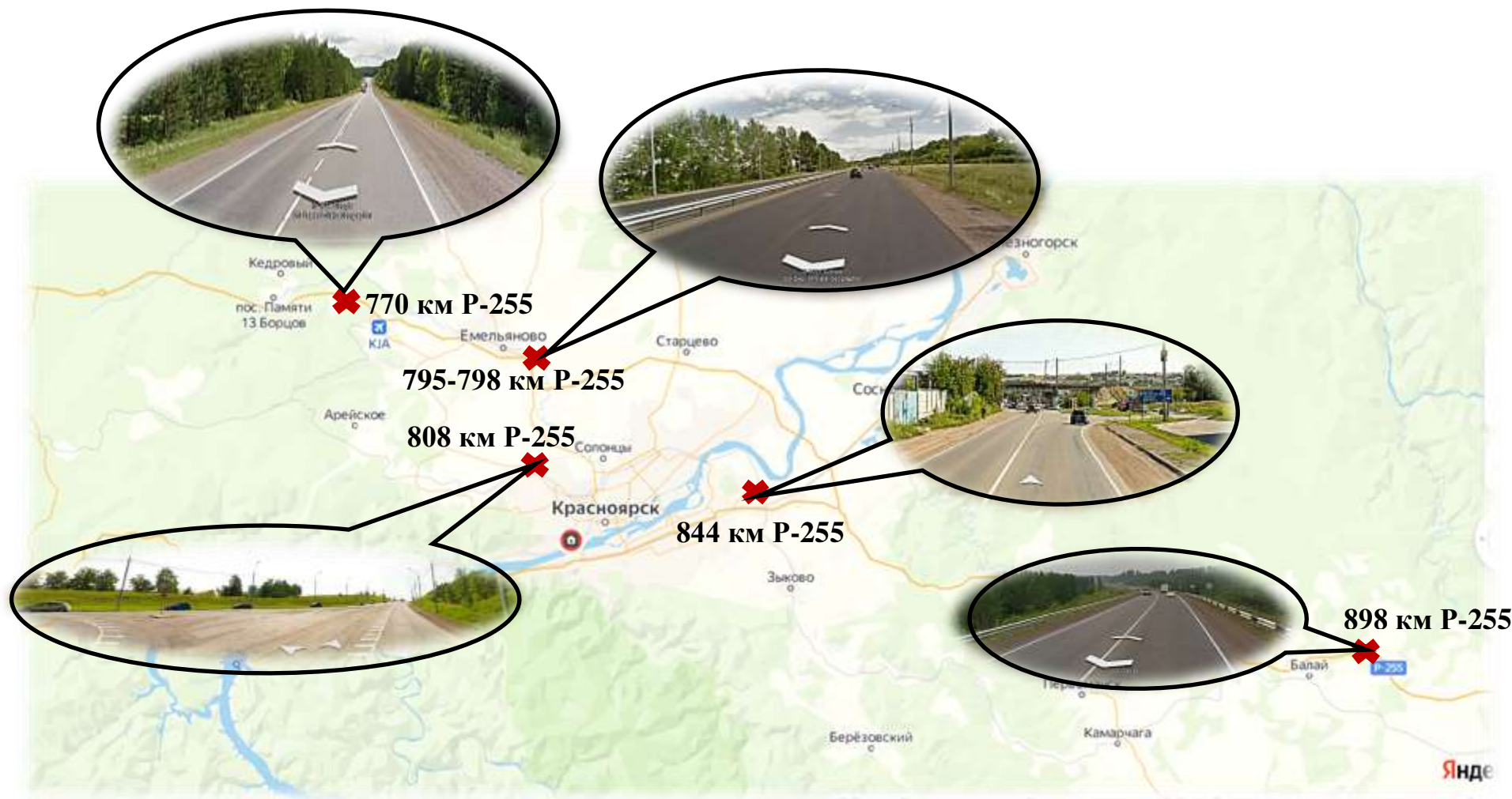


Рисунок 1.11 – Опасные участки на ФАД Р-255 на территории Красноярского края

Основные виды нарушений ПДД на ФАД Красноярского края представлены на рисунке 1.12.

Анализ карточек ДТП показал, что основным является нарушение с формулировкой «Другое нарушение». Под данной формулировкой понимается несоответствие скорости конкретным дорожным условиям и потеря управляемости автомобилем. Данный вид нарушений в 80 % случаев встречается при съездах с дороги и опрокидывании автомобиля. Также выявлено, что каждое третье нарушение ПДД на ФАД Красноярского края – это выезд на полосу встречного движения (31 %), реже встречаются нарушения правил расположения ТС на проезжей части (13 %), неправильный выбор дистанции (8 %) и несоблюдение очередности проезда (8 %).

Выезд на полосу встречного движения как основной вид ДТП подтверждается фотографиям (рисунок 1.13 *а–г*), на которых видно, что за 20 минут совершено 4 выезда на полосу встречного движения в местах, где это запрещено, хотя участники дорожного движения знали, что транспортный поток достаточно плотный из-за впереди едущего автомобиля категории М2 (рисунок 1.14). При этом водитель автомобиля Ford «вклинивается» в транспортный поток, тем самым тормозит сзади едущие ТС и провоцирует ДТП в попутном направлении (рисунок 1.13, *б*). А встречному автомобилю приходится съехать на обочину, чтобы избежать лобового столкновения (рисунок 1.13, *г*).

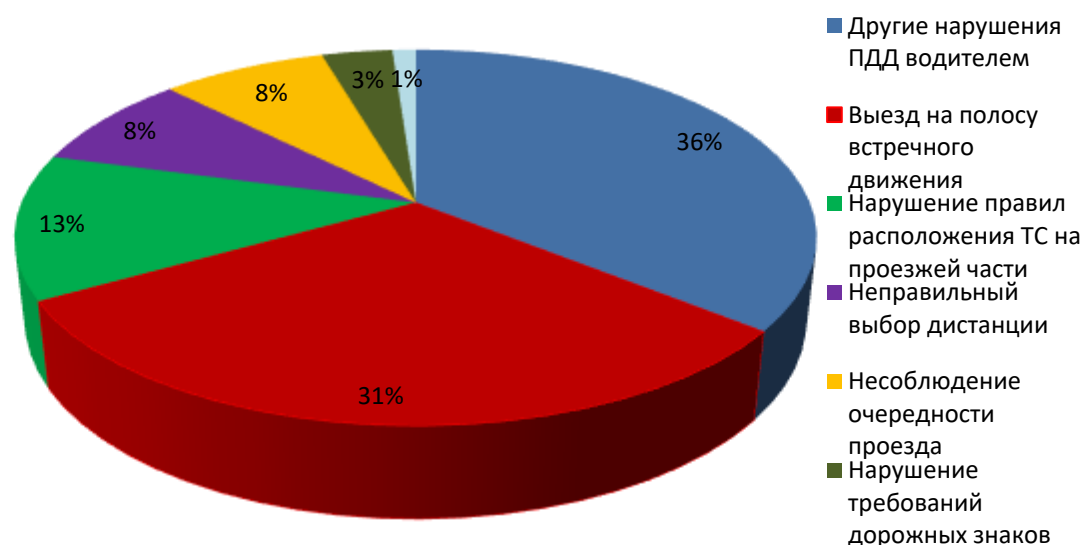


Рисунок 1.12 – Основные виды нарушений ПДД на федеральных дорогах Красноярского края



а



б



в



г



Рисунок 1.13 – Выезд на полосу встречного движения на Р-257



Рисунок 1.14 – Транспортный поток на Р-257 в момент нарушения ПДД

Помимо основного нарушения в каждом втором ДТП имеются сопутствующие нарушения, которые влекут за собой увеличение тяжести последствий ДТП, к таким нарушениям относятся:

- нарушение правил перевозки детей;
- управление транспортным средством при наличии неисправностей или условий, при которых эксплуатация транспортного средства запрещена;
- управление ТС в состоянии алкогольного опьянения;
- нарушение водителем правил применения ремней безопасности;
- управление в состоянии переутомления;
- нарушение правил перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов, превышение установленной скорости движения [94].

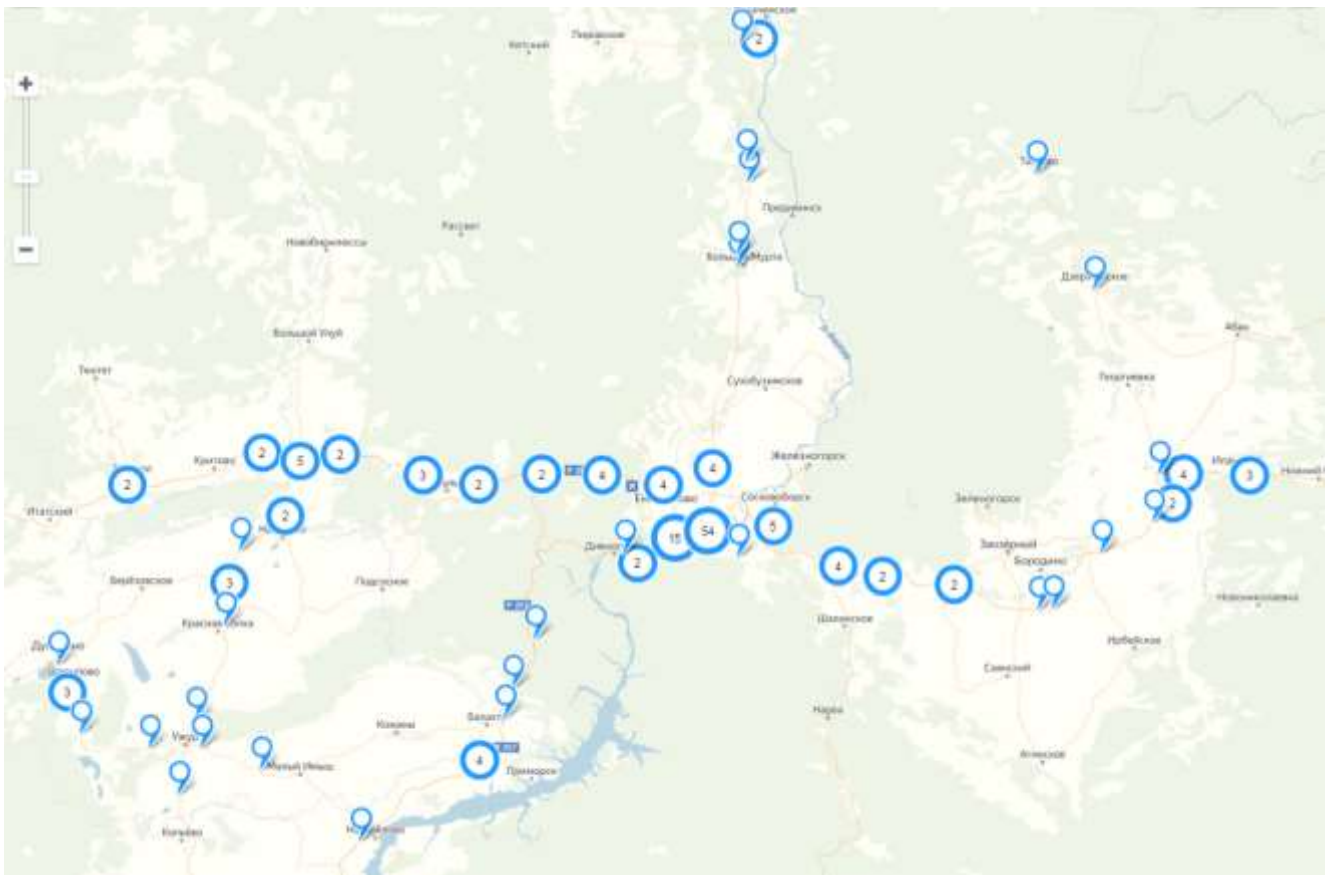


Рисунок 1.15 – Места расположения технических средств автоматической фотовидеозаписи



Сравнительный анализ расположения технических средств автоматической фотовидеофиксации (рисунок 1.15) и аварийных участков (на рисунок 1.11) показал, что расположение технических средств автоматической фотовидеофиксации не способствует значительному снижению аварийности на опасных участках.

#### 1.2.4. Анализ аварийности на ФАД с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>

В результате анализа статистических данных о ДТП, произошедших на ФАД, были выделены случаи с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>. Статистика ДТП представлена в таблице 1.3 [84].

Таблица 1.3 – Информация о ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>

ФАД	Параметр		Год							
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Р-255	ДТП	Количество	85	114	77	102	111	87	89	107
		% от общего количества	30	48	30	41	44	46	47	43
	Погибшие	Количество	48	45	51	45	58	50	49	62
		% от общего количества	41	52	63	56	66	75	75	79
	Ранено	Количество	205	152	154	139	162	117	127	146
		% от общего количества	46	42	37	40	46	48	49	48
Р-257	ДТП	Количество	34	34	39	33	33	25	28	32
		% от общего количества	24	24	30	31	30	24	25	31
	Погибшие	Количество	25	4	15	15	9	7	10	12
		% от общего количества	47	17	65	47	33	47	48	50
	Ранено	Количество	60	54	72	44	57	44	47	83
		% от общего количества	29	26	33	29	30	26	25	45

Третья часть ДТП происходит с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>, также наблюдается тенденция к увеличению количества данных происшествий (таблица 1.3). На долю таких ДТП приходится до 66 % от общего количества

погибших на ФАД. Статистика ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> на ФАД Р-255 представлена на рисунке 1.16.

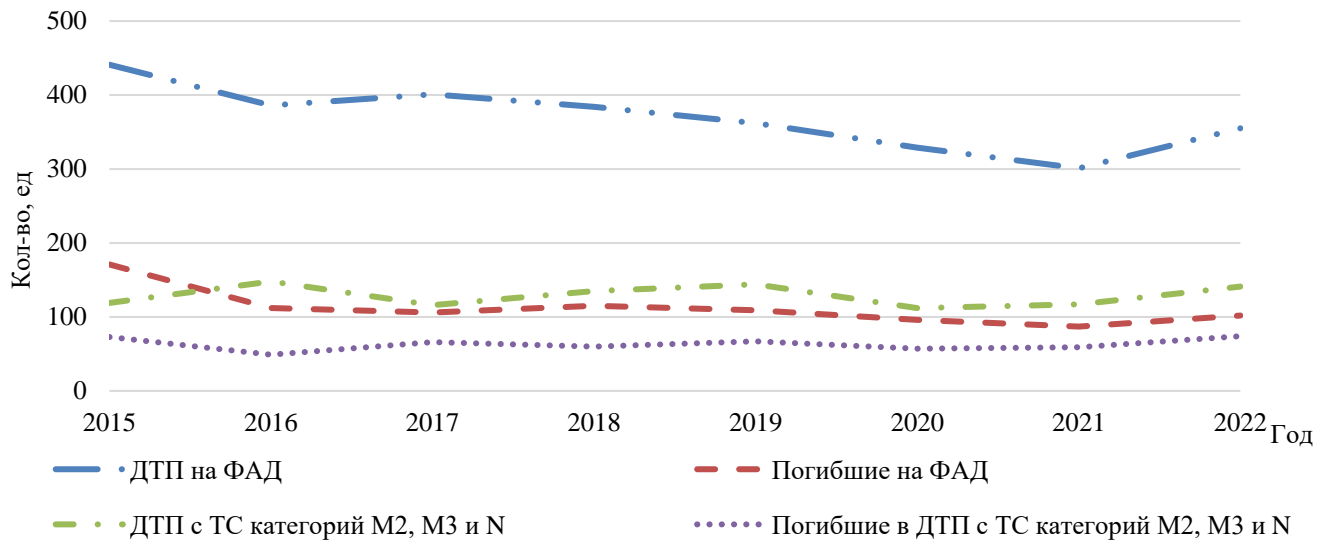


Рисунок 1.16 – Статистика ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> на ФАД Р255

Если сравнить между собой аварийность на ФАД Р-255 и Р-257, то относительное значение количества ДТП с участием транспорта данных категорий на ФАД Р-255 вдвое больше.

В результате анализа ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> выявлено, что наиболее часто встречаются столкновения, съезды и опрокидывания (таблица 1.4). Наибольшая часть ДТП (до 80 %) приходится на столкновения (таблица 1.4). Чаше встречаются столкновения во встречном направлении. На долю съездов и опрокидываний в различные периоды времени приходится до 20 % ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>. При этом в процентном соотношении данные виды ДТП преобладают на автомобильной дороге ФАД Р-257.

Также анализ карточек ДТП показал, что водители ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> достаточно часто нарушают ПДД и становятся виновниками. Информация о ДТП, произошедших по вине водителей ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> представлена в таблице 1.5 [84]. На ФАД в среднем около 40 % ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> происходит по вине водителей данных ТС (таблица 1.5).

Таблица 1.4 – Анализ ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>

Дорога	Год	Всего ДТП	Столкновения (всего, встречное/попутное)		Съезды		Опрокидывания	
			Значение	%	Значение	%	Значение	%
Р255	2015	85	55, 32/20	65	2	2	4	5
	2016	114	73, 39/21	64	1	1	1	1
	2017	77	62, 29/22	81	2	3	1	1
	2018	102	74, 36/29	73	0	0	6	6
	2019	111	85, 45/25	77	1	1	5	5
	2020	87	69, 49/13	80	6	7	1	1
	2021	89	72, 51/21	80	3	3	7	8
	2022	107	74, 50/17	70	6	6	10	9
Р257	2015	34	17, 10/3	50	2	6	8	24
	2016	34	14, 7/6	41	3	9	3	9
	2017	39	26, 17,4	67	5	13	4	10
	2018	33	21, 11/6	64	0	0	4	12
	2019	33	23, 13/7	70	0	0	5	15
	2020	25	14, 7/4	56	5	20	2	8
	2021	27	13, 8/5	48	1	4	3	11
	2022	32	21, 10/6	66	2	6	5	16

Таблица 1.5 – Информация о ДТП, произошедших по вине водителей ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>

ФАД	Год	ДТП с ТС	ДТП по их вине		Преобладающий вид ДТП
			Абсолютное значение	% от общего количества с участием ТС	
Р255	2015	85	19	22	Столкновения
	2016	114	35	31	
	2017	77	37	48	
	2018	102	42	41	
	2019	111	38	34	
	2020	87	35	40	
	2021	89	42	47	
	2022	107	47	44	
Р257	2015	34	26	76	Съезды с дороги и опрокидывания
	2016	34	12	35	
	2017	39	12	31	
	2018	33	15	45	
	2019	33	17	52	
	2020	25	10	40	
	2021	27	14	52	
	2022	32	12	38	

В ходе анализа данных о ДТП выявлено, что на ФАД Р-255 относительное количество ДТП по вине водителей, управляющих данной категорией ТС (36 %), меньше, чем на Р-257 (43 %). Также отличается преобладающий вид ДТП, так на

ФАД Р-257 по вине водителей, управляющих ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>, в большой степени происходят съезды с дороги и опрокидывания (около 55 %).

### **1.2.5. Вывод по текущему состоянию аварийности на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения Красноярского края**

Анализ аварийности на территории Красноярского края показал, что на автомобильных дорогах вне населённых пунктах происходит около 32 % ДТП. Несмотря на относительно небольшое количество ДТП на данных дорогах, они обладают высокой тяжестью последствий, на них приходится до 73 % от общего количества погибших. Таким образом, только одно ДТП из четырех обходится без жертв. Наибольшее количество погибших наблюдается при столкновениях, среди столкновений наибольшее количество погибших бывает при встречном столкновении [94].

На долю ДТП с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> приходится до 48 %, т.е. каждое второе ДТП происходит с ТС данных категорий. Доля погибших в данных ДТП составляет 66 % от общего количества погибших по краю.

На ФАД Р-255 по вине водителей автомобилей, управляющих ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>, в основном происходят столкновения, а на ФАД Р-257 съезды с дороги и опрокидывания. Пик ДТП приходится на летний период за счёт увеличения автомобильного потока, в том числе из-за транспорта из других регионов.

Наибольшее количество ДТП происходит в светлое время суток (70 %). В ночное время 90 % ДТП случается на неосвещенных участках дорог (рисунок 1.17).

Участки сети автомобильных дорог общего пользования федерального значения, проходящие по территории Красноярской агломерации, являются наиболее загруженными и аварийно-опасными [104]. Это связано с тем, что в административный центр Красноярского края стекаются потоки со всего края и через границы Красноярской агломерации проходит ФАД Р-255, которая является формальным

продолжением в восточном направлении трассы Р-254 «Иртыш», вместе с которой входит в состав азиатского маршрута АНБ.

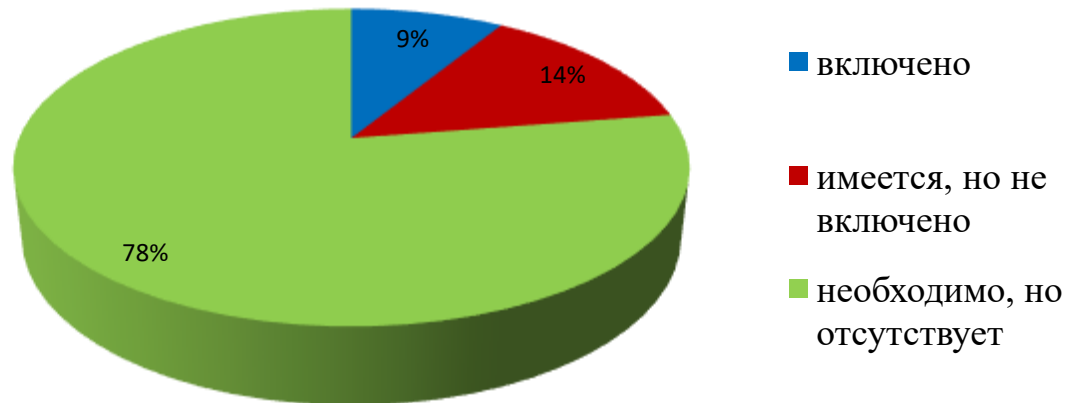


Рисунок 1.17 – Наличие освещения на проезжей части в темное время суток

Дороги, по которым движется большой транспортный поток, должны обладать высокими транспортно-эксплуатационными показателями, но согласно статистике на протяжении последнего десятилетия участки дорог с двухполосным движением не справляются с текущим объемом транспортного потока и нуждаются в реконструкции [101].

В 35 % ДТП, произошедших на территории Красноярского края, помимо основного нарушения, послужившего их причиной, фиксируется управление транспортным средством при наличии неисправностей или условий, при которых эксплуатация транспортного средства запрещена.

Ежегодно на территории Красноярского края в 15 % ДТП зафиксировано нарушение обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и железнодорожных переездов. Данные по таким ДТП представлены в таблице 1.6 [92, 112, 116].

Среди нарушений обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог отмечают: скользкость; недостаточная ровность покрытия; отсутствие удерживающих ограждений; большой уклон; малый радиус кривой в плане; несоответствие габаритов моста, оборудования железнодорожных переездов требованиям и другие причины и факторы, зависящие от уровня содержания дорог [112, 116].

Таблица 1.6 – ДТП, на месте которых зафиксированы нарушения обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и железнодорожных переездов по условиям обеспечения БДД

Год	Количество ДТП	Количество погибших	Количество раненых
2015	65	20	97
2016	52	14	73
2017	63	16	93
2018	43	16	66
2019	12	2	20
2020	21	9	33
2021	15	5	27
2022	14	6	21

Основными причинами дорожной аварийности на территории Красноярского края являются:

- несоответствие скоростного режима дорожным условиям или превышение допустимой скорости движения;
- несоответствие транспортной инфраструктуры;
- нарушение обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и железнодорожных переездов;
- недостаточный уровень содержания автомобильных дорог общего пользования.

Основными причинами тяжести последствий ДТП на ФАД являются:

- превышение скоростного режима;
- большие расстояния между населёнными пунктами и, как следствие этого, несвоевременное оказание первой медицинской помощи.

### **1.3. Анализ методов и средств оценки безопасности дорожного движения**

Оценка безопасности движения при эксплуатации и проектировании дорог направлена на определение текущего уровня БДД и минимизацию риска возникновения ДТП, их тяжести и последствий, за счёт выявления и устранения аварийно-опасных участков. Оценка степени аварийности отдельных участков дорог или дорожных сегментов происходит путем определения качественных показателей [1, 2,

4–7, 10, 42, 45–49, 51–60, 63, 74, 75, 79, 87–90, 93, 101, 118, 121, 127–137, 148, 151–152].

Методы и средства оценки БДД встречаются как в нормативных документах [23, 69, 77, 78], так и в работах отечественных ученых [1, 2, 4–6, 8, 12, 40, 42, 46–49, 55–60, 63, 71, 74, 90, 110, 118, 121, 125, 127–135, 137–139]. Основной вклад в данную научную область внес В. Ф. Бабков [5]. На основе его исследований разработаны отраслевые дорожные методические документы, которые применяются при работах по проектированию, строительству, реконструкции и ремонту автомобильных дорог.

Согласно ОДМ 218.4.005–2010 [77] показателем степени аварийности является коэффициент относительной аварийности, который определяет число ДТП по отношению к пробегу автомобилей или к количеству проездов автомобилей. В первом случае коэффициент характеризует степень аварийности на длинных и однородных по геометрическим элементам участках дорог:

$$U = \frac{10^6 z}{TLN}, \quad (1.1)$$

во втором случае – на коротких участках (пересечения и примыкания, небольшие мосты, путепроводы и т.п.):

$$U = \frac{10^6 z}{TN}, \quad (1.2)$$

где  $z$  – количество происшествий за период времени  $T$ ;

$T$  – период времени, сут.;

$N$  – среднегодовая суточная интенсивность движения в обоих направлениях, принимаемая по данным учёта движения, авт./сут.;

$L$  – длина участка дороги, км.

Для получения адекватных значений количества ДТП по отношению к пробегу автомобилей или количеству проездов автомобилей необходимо иметь статистические данные за период от 3 до 5 лет [77].

Аналогичные методы применяются в некоторых европейских странах и США. Относительные показатели аварийности тоже определяются как на отдельных участках дороги, так и на пересечениях в одном уровне [6].

Помимо относительных показателей аварийности на практике применяются абсолютные показатели, с помощью которых возможно оценить участок дороги за определённый промежуток времени. Если число ДТП за рассматриваемый период превышает определённый показатель, участок считают опасным [76].

Критерии опасности участки устанавливаются каждым государством самостоятельно. В России опасность участка определяется по параметрам, описанным в ОДМ 218.6.015–2015 «Рекомендации по учёту и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах РФ» [80].

Одним из старейших методов выявления опасных участков дорог является оценка дорог баллами, описанная в трудах В. Ф. Бабкова. Несмотря на то, что в РФ данный метод уже не используется, аналогичные системы оценки можно встретить в ряде европейских стран, например Норвегии, США, Великобритании и Франции.

Еще в СССР профессорами В. М. Сиденко и А. А. Рыбальченко был предложен близкий по идее к оценке дорог баллами квалиметрический метод, который объединяет в себе несколько факторов, оказывающих влияние на БДД [5]. Все влияющие факторы были разделены на три группы: технические, эргономические и экономические. При этом функцией комплексного показателя являлась сумма всех групп факторов. Выявление и ранжирование факторов проводилось методом экспертных оценок в 70-х годах XX века. Учитывались такие факторы, как: геометрические элементы дороги, ровность покрытий, шероховатость покрытий, освещённость дороги, эстетика дороги, шум и загазованность [1, 2].

Также в трудах В. Ф. Бабкова описаны методы шума ускорения и многофакторного корреляционного анализа, а также методы, основанные на теории надёжности или теории риска, с помощью которых определяют либо вероятность безотказной работы (надёжность) системы «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда» (ВАДС), либо вероятность (риск) возникновения ДТП [5, 6].

Суть метода шума ускорений заключается в том, что сложные участки водители проезжают с разными скоростями, так как по-разному оценивают степень их



опасности, соответственно различны и реализуемые при этом в разных местах участка ускорения:

$$J = \frac{\sqrt{\sum_1^n (a_i - a_{\text{ср}})^2}}{n}, \quad (1.3)$$

где  $a_i$  – ускорения в каждом створе;

$a_{\text{ср}}$  – среднее значение ускорений на всем рассматриваемом участке;

$n$  – число створов.

Метод многофакторного корреляционного анализа используется для определения вероятного числа происшествий на различных участках дорог. Для этого по данным о дорожных условиях (ДУ) в местах сосредоточения ДТП составляют систему уравнений, охватывающих все факторы, влияющие, по мнению исследователей, на возникновение происшествий:

$$n_i = a_{1i} + a_{2i} \times R_i + a_{3i} \times i_{\text{пр}} + \dots, \quad (1.4)$$

где  $a_i$  – искомые коэффициенты влияния различных факторов;

$n_i$  – количество происшествий;

$R_i, i_{\text{пр}}$  – характеристики ДУ и режимов движения на месте происшествий.

Результаты корреляционного анализа могут использоваться в аналогичных условиях [5].

Согласно рекомендациям по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах для выявления опасных участков, в пределах которых следует в первую очередь предусматривать мероприятия по обеспечению безопасности движения, могут быть использованы методы коэффициентов безопасности и коэффициентов аварийности [77]. Рассмотрим каждый метод в отдельности.

Метод коэффициента безопасности. Коэффициентами безопасности ( $K_6$ ) называют отношение максимальной скорости движения на участке к максимальной скорости въезда автомобилей на этот участок (начальная скорость движения) [77].

Таким образом, вероятность возникновения ДТП возрастает с увеличением разницы между максимальной и минимальной скоростью на участке [118]. В данном методе не учитываются психологические особенности восприятия ДУ водителем, метод основывается на положениях теории автомобиля [4, 19].

Оценка проектных решений по критерию БДД и выявление опасных участков на эксплуатируемых дорогах основываются на методе итогового коэффициента аварийности, предложенном В. Ф. Бабковым. Итоговый коэффициент аварийности  $K_{\text{итог}}$  является произведением частных коэффициентов аварийности  $K_i$ . Частные коэффициенты характеризуют влияние отдельных элементов плана, продольного и поперечного профилей трассы дороги, интенсивности движения, придорожной полосы и других факторов на БДД [5, 77, 128].

Таким образом, итоговый коэффициент аварийности  $K_{\text{итог}}$  определяется по мультипликативной модели:

$$K_{\text{итог}} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1.5)$$

где  $K_i$  – частные коэффициенты аварийности, основанные на результатах анализа статистических данных о ДТП и характеризующие влияние на безопасность движения параметры дорог и улиц в плане, поперечном и продольном профилях, а также элементы обустройства, интенсивность движения, состояние покрытия;

$n$  – число частных коэффициентов аварийности, учитываемых при оценке безопасности движения на дорогах или городских улицах различной категории. Значения частных коэффициентов аварийности для дорог и улиц разных категорий приведены в ОДМ 218.4.005–2010 прил.1 [77].

Данная методика была разработана в 1960-х годах и постоянно развивалась и расширяла сферу применения учениками научной школы В. Ф. Бабкова.

А. П. Васильевым и В. П. Расниковым были предложены «сезонные» коэффициенты аварийности, для выявления опасных участков на эксплуатируемых дорогах, а также методика для оценки проектных решений по строительству автомобильных дорог [121–129, 131].

Учениками В. Ф. Бабкова были выявлены новые частные коэффициенты аварийности и разработаны системы оценки дорог исходя из местности. А. П. Шевяковым предложена система оценки автомобильных магистралей [5], В. В. Варлашкиным, Р. Картанбаевым и С. С. Петросяном разработана система оценки дорог в горной местности [128], С. С. Близниченко – в предгорной местности [5, 16, 128]. В. В. Варлашкин предложил  $K_i$  исходя из крутизны горных склонов.

Новые  $K_i$  были предложены А. Садырходжаевым для оценки влияния на обочинах и ирригационных каналах аллейных придорожных насаждений. А. Н. Нечаев предложил  $K_i$  для учёта ровности дорожных одежд [5].

О. А. Дивочкин, В. И. Пуркин и Ю. М. Ситников разработали метод прогноза показателя БДД исходя из величины  $K_{\text{итог}}$  [127–129].

Указанные исследования и разработки были основаны на анализе состояния БДД, транспортно-эксплуатационных показателей и показателях транспортных потоков 1970–80-х годов и конца XX века [128].

Именно поэтому в начале XXI века В. В. Чвановым проведены исследования, направленные на корректировку значения частных коэффициентов аварийности исходя из современных транспортно-эксплуатационных показателей и показателей интенсивности дорожного движения. Результаты его исследований отражены в ОДМ 218.4.005–2010 [77].

Таким образом, на данный момент уточнены  $K_i$  для автомобильных дорог разного типа [77, 129], но на этом исследования не окончены.

Н. Г. Шешера [137] дополнил методику коэффициентов аварийности расчётом по методу коэффициентов травматизма.

На основе метода коэффициентов аварийности Д. С. Джурук разработал модель, позволяющую рассчитать коэффициент относительной аварийности  $K_{\text{ав}}$  исходя из пяти показателей:

$$K_{\text{ав}} = 3445 \cdot X_1^{-0,66} \cdot X_2^{-0,30} \cdot X_3^{-0,37} \cdot X_4^{-0,31} \cdot X_5^{0,09}, \quad (1.6)$$

где  $X_1$  – суточная интенсивность движения, авт./сут.;

$X_2$  – ширина обочины, м.;

$X_3$  – расстояние видимости, м.;

$X_4$  – ширина проезжей части, м.;

$X_5$  – радиус кривизны дороги в плане, м [42].

Согласно ОДМ 218.6.011–2013 [79] для оценки влияния ДУ на аварийность на автомобильных дорогах федерального значения для планирования мероприятий по повышению БДД рекомендуется использовать метод конфликтных ситуаций (КС).

Суть метода заключается в выделении места возникновения КС и выявлении степени ее опасности за определенные период наблюдений  $T$  [71].

Метод КС исследуется и совершенствуется современными отечественными учеными [6, 43, 50–52, 74, 85, 132, 133]. А. М. Бадалян разработал методику оценки уровня БД на различных участках двухполосных автомобильных дорог, позволяющую устанавливать зависимость степени опасности ДУ от отдельных влияющих факторов: интенсивность движения, доля легковых автомобилей в составе ТП, ширина проезжей части, продольный уклон проезжей части, коэффициент сцепления, показатель ровности [6].

Д. Ю. Кастырин предложил усовершенствованную систему и методы прогнозирования опасности пешеходных переходов и дорожных пересечений, которая позволяет по конкретным факторам определить опасные временные периоды [59].

А. И. Рябчинский предложил методику прогнозирования по методу конфликтных зон по потенциальной опасности в городских очагах аварийности. Его методика отличается от остальных большим количеством рассматриваемых факторов [57].

Ученик А. И. Рябчинского Д. В. Капский разработал методику оперативной контрольной оценки аварийности по усовершенствованному методу конфликтных ситуаций [56, 57].

Также в ОДМ 218.4.005–2010 [77] для оценки безопасности движения на отдельных участках дорог предлагается определять опасность конфликтной точки по возможной аварийности в ней (количество ДТП за 1 год):

$$q_i = K_i M_i N_i \frac{25}{K_r} 10^{-7}, \quad (1.7)$$

где  $K_i$  – относительная аварийность конфликтной точки (принимается согласно табл. 6.1, 6.2 ОДМ 218.4.005–2010);

$M_i, N_i$  – среднегодовая интенсивность движения пересекающихся в данной конфликтной точке потоков, авт./сут.;

$K_r$  – коэффициент годовой неравномерности движения (для европейской части РФ может быть принят согласно табл. 6.3 ОДМ 218.4.005–2010, для других областей – по данным изысканий и обследования дорог) [77].

Существует методика оценки влияния ДУ на аварийность на ФАД для планирования мероприятий по повышению БДД, разработанная В. М. Ереминым и А. М. Бадаляном в 2013 году. Суть методики заключается в определении степени опасности участка дороги, основанной на его длине и параметрах [6, 43].

Для выявления наиболее опасных участков автомобильных дорог Е. В. Тюлькиным разработана программа «Многоуровневая информационно-аналитическая система организации безопасности дорожного движения» (МИАС ОБДД), с помощью которой можно получить данные о факторах, оказывающих наибольшее влияние на дорожно-транспортную ситуацию (ДТС), на том или ином сегменте дороги.

С помощью МИАС ОБДД можно определить числовое значение БДД дорожного сегмента. Это сумма рассчитанных коэффициентов однородных факторов дорожной среды  $k_n$ , полученных с использованием метода парных сравнений, имеющего максимум, равный критерию оптимальности:

$$P = k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_3 + \dots + k_nx_n \rightarrow \max, \quad (1.8)$$

где  $k_n$  – коэффициент учитываемого дорожного фактора;

$x_n$  – степень выполнения требований стандартов для выделенного дорожного сегмента;

$$x_n = \frac{cs}{100\%}, \quad (1.9)$$

где  $s$  – балльная оценка наличия тех или иных элементов дорожной среды (10 баллов – имеются все элементы, 5 баллов – частичное наличие и т.д.);

$c$  – константа, показывающая соотношение влияния факторов в системе ВАДСУ [121].

А. Б. Чубаковым разработана методика определения воздействия комплекса социально-экономических и административных факторов на дорожно-транспортную аварийность [134].

В. А. Корчагин также рассматривает систему ВАДС не изолированно, а как подсистему социоприродно-экономической транспортной системы, что позволяет видеть проблему более глобально [60].

В. В. Салмин предлагает эвристический метод оценки состояния системы ВАДС с помощью математической модели:

$$Y = a_0 + \sum a_i x_i^j, \quad (1.10)$$

где  $Y$  – коэффициент тяжести последствий ДТП;

$a_0$  – коэффициент, учитывающий влияние факторов, не учтённых при определении значений  $j, i, x$ ;

$a_i$  – весовые коэффициенты элементов системы ВАДС;

$x_i^j$  – элементы системы ВАДС (возраст участника ДТП, стаж управления ТС, состояние на момент ДТП; срок эксплуатации ТС, пробег ТС, степень загрузки дороги, техническое состояние; дорожное покрытие, наличие уклонов, поворотов и т.д.; время года, суток; освещённость, скользкость покрытия и пр.) [110].

Для оценки относительной опасности движения может применяться метод, основанный на анализе энергетических показателей дорожного движения и на результатах исследования равномерности движения отдельных транспортных средств или режима движения транспортного потока. К энергетическим показателям дорожного движения относятся: коэффициент безопасности, шумы ускорения и энергии, градиенты скорости и энергии, а также величина кинетической энергии транспортного средства (Дж) или мощность движения ТП (Дж/с), которые в случае возникновения ДТП определяют общий материальный убыток. Так как данный метод описывает только влияние параметров транспортного потока на аварийность, обосновано выявить причины совершения ДТП, связанные с другими элементами системы ВАДС, невозможно [1, 2].

В 2020 году И. А. Новиковым предложена математическая модель оценки вероятности возникновения ДТП на участке улично-дорожной сети (УДС) или автомобильной дороги, которая характеризуется предложенным параметром «место

ДТП». Модель основана на использовании параметров «водитель», ТП, ТС, «внешние условия», влияющих на совершение дорожных аварий, весовые значимости которых определяются путем предварительной обработки статистических данных (карточек) ДТП [75]. Графическое представление математической модели определения вероятности ДТП представлено на рисунке 1.18.

В трудах В. В. Сильянова представлены зависимости, характеризующие влияние загрузки дороги движением на количество и вид ДТП [111].

Также существуют методы, направленные на изучение поведения водителя:

- 1) тестирование водителя для загородных дорог [1,2];
- 2) анализ отклонений от нормального поведения участников дорожного движения [1].

Работы зарубежных исследователей направлены на прогнозирование годового количества ДТП [142, 152, 155, 158, 159] и исследование конфликтных ситуаций [58, 71, 125, 144, 145, 147–150, 156, 160, 161].

В руководстве по безопасности на дорогах Highway Safety Manual (HSM) Американской ассоциации государственных служащих автомобильных дорог и транспорта для определения ожидаемой годовой аварийности используют функцию обеспечения безопасности (Safety Performance Functions – SPF).

Прогнозируемое количество ДТП определяют в зависимости от различных характеристик проезжей части и обочины, причем наиболее важной прогностической переменной является объем транспортного потока. Он обычно измеряется с использованием значения среднегодовой дневной интенсивности:

$$N_{pred} = e^{\beta_0} L^{\beta_1} AADT^{\beta_2} e^{(\beta_3 \cdot X_3 + \dots + \beta_n \cdot X_n)}, \quad (1.11)$$

где  $N_{pred}$  – прогнозируемое количество ДТП;

$L$  – длина сегмента;

$AADT$  – интенсивность;

$X_3 \dots X_n$  – вектор геометрических элементов;

$\beta_0 \dots \beta_n$  – вектор оцениваемых коэффициентов регрессии.

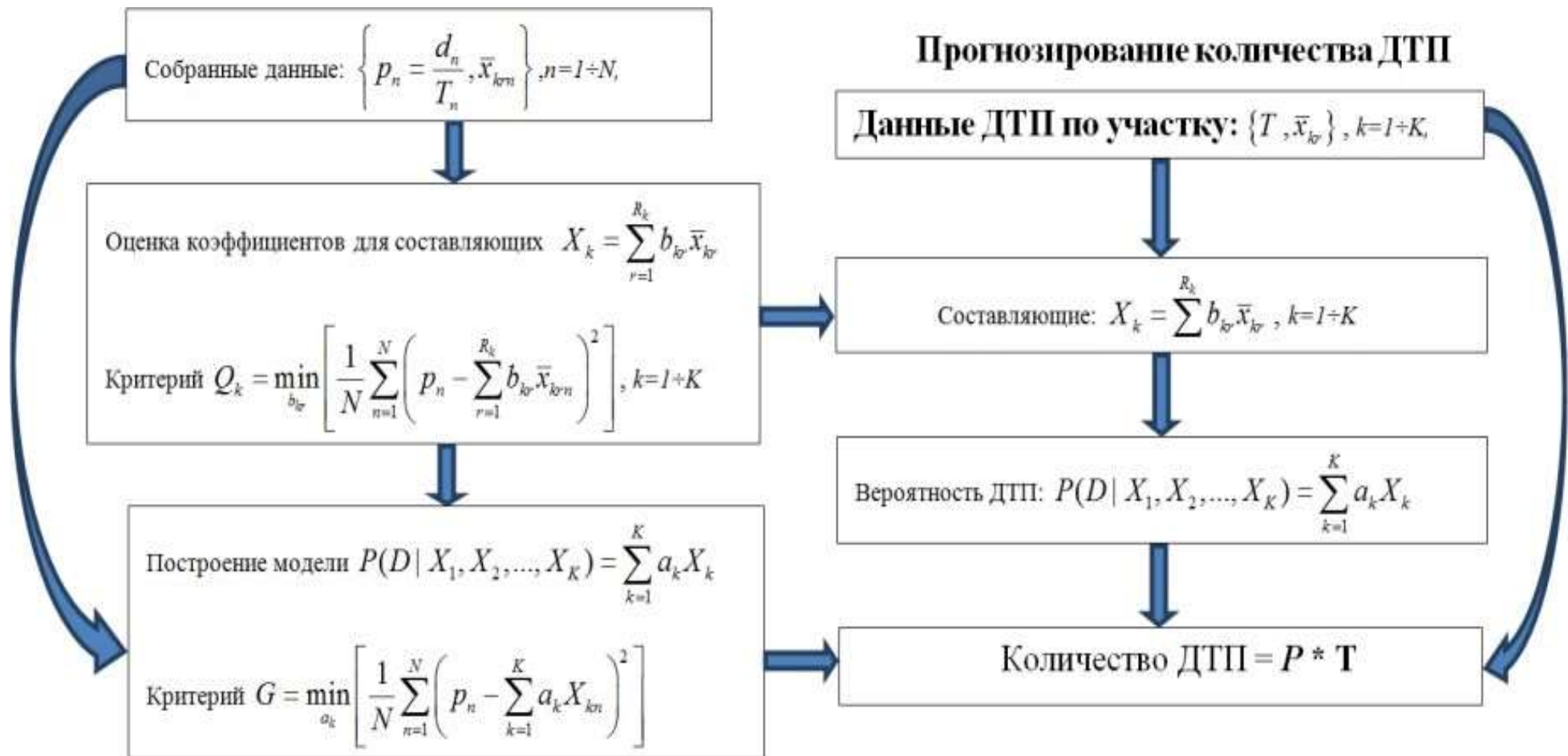


Рисунок 1.18 – Графическое представление математической модели определения вероятности ДТП [75]



Многие исследователи сходятся во мнении, что взаимосвязь между ожидаемой вероятностью возникновения ДТП и объемом транспортного потока является нелинейной, но несмотря на это разрабатываются и предлагаются альтернативные функциональные зависимости для различных участков дороги [18, 142, 152, 156, 159].

Исследователи Государственного университета Пенсильвании установили влияние ширины проезжей части и геометрических особенностей на прогнозируемое количество ДТП на дорогах с низкой и высокой интенсивностью движения. Функциональная зависимость разработана для двухполосных сельских дорог Пенсильвании [156].

Коллектив исследователей из Китая и США разработал регрессионные модели для определения вероятности возникновения столкновений на основе траекторий движения транспортных средств и интенсивности транспортного потока [154].

Также в исследованиях разбуженных авторов прослеживаются сильные корреляционные связи между количеством конфликтных ситуаций и ДТП [144, 148, 150, 152, 156, 160, 161], поэтому основным направлением в работе зарубежных исследователей является разработка превентивных мер с помощью современных информационных технологий.

В University of Calabria (Италия, 2013 год) провели исследование, которое представляло собой первое применение методологии разработки индекса эффективности БДД – индекса риска (RI). Оно было направлено на то, чтобы участники дорожного движения могли получать в режиме реального времени, используя мультиплатформенное мобильное приложение и систему GPS, информацию о рисках при прохождении конкретного участка дороги. На основе скорости движения транспортных средств на конкретном участке определялась вероятность возникновения ДТП – рассчитывался индекс риска, если его значение превышало максимально допустимое значение, водителям ТС приходило оповещение [144]. В ряде стран мира подобные системы работают достаточное количество времени и уже доказали свою эффективность.

Проведенный анализ показал, что методы оценки БДД по измеряемым показателям, предлагаемые российскими учеными, можно условно разделить на пять групп:

1. На основе самого факта совершения ДТП.
2. На основе оценки участка движения.
3. Учитывающие характер движения автомобиля.
4. На основе оценки поведения участников движения.
5. Учитывающие несколько элементов системы ВАДС (комплексная оценка системы ВАДС).

В таблице 1.7 представлено распределение рассмотренных ранее методов по измеряемым показателям.

Анализ различных методов показал, что значительная часть исследований в области БДД посвящена статистическому анализу данных о дорожно-транспортных происшествиях.

Сравнительный анализ различных методов по измеряемым показателям выявил, что методы коэффициентов аварийности и вариации максимальной безопасной скорости движения, а также эвристический метод оценки состояния системы ВАДС и квалиметрический метод рассматривают БДД с точки зрения комплекса элементов системы ВАДС [153].

Анализ современных математических моделей показал, что они основываются на уже разработанных методиках. В исследованиях, проведенных ранее, выявлено, что один и тот же участок по различным методикам имеет разную степень опасности, несмотря на количество ежегодных ДТП на данном участке [153].

Таким образом, сравнительный анализ существующих методик и проведенные ранее исследования показали, что с помощью метода коэффициентов аварийности, применяемого на практике, можно наиболее точно оценить БДД, так как он учитывает совокупное влияние нескольких элементов системы ВАДС.

Метод коэффициентов аварийности используется организациями дорожной службы и проектными учреждениями. По значениям итоговых коэффициентов аварийности строят линейный график (рисунок 1.19).

Таблица 1.7 – Распределение методов по измеряемым показателям

Но- мер п/п	Метод	Объект оценки						
		Данные о ДТП	Участок дороги	ТС		Скорость	Среда	Водитель
				Интенсивность	Транспортные потоки			
1	Коэффициент относительной аварийности	+		+				
2	Определение абсолютного показателя аварийности	+						
3	Метод коэффициента безопасности					+		
4	Метод коэффициентов аварийности		+	+			+	
5	Опасность конфликтной точки		+	+	+			
6	Метод конфликтных ситуаций			+		+		+
7	Методика оценки влияния ДУ на аварийность на ФАД для планирования мероприятий по повышению безопасности дорожного движения		+					
8	Оценка дорог баллами		+					
9	Квалиметрический метод		+					
10	Метод шума ускорений					+		
11	Метод многофакторного корреляционного анализа		+	+				
12	Методы, основанные на теории надежности системы или теории риска	+	+			+		
13	Безопасность дорожного сегмента							
14	Метод прогнозирования аварийности							
15	Определение воздействия на дорожно-транспортную аварийность комплекса социально-экономических и административных факторов		+					
16	Эвристический метод оценки состояния системы ВАДС, определение тяжести последствий ДТП		+	+	+			
17	Анализ энергетических показателей ДД				+	+		
18	Математическая модель оценки вероятности возникновения ДТП на участке улично-дорожной сети	+	+	+			+	+
19	Коэффициент относительной аварийности участка автодороги		+	+				
20	Метод тестирования водителей для загородных дорог					+		+

На график наносят план и профиль дороги, выделяют все элементы, от которых зависит безопасность движения (продольные уклоны, вертикальные кривые, кривые в плане, мосты, населённые пункты, пересекаемые дороги и др.). Также на графике фиксируют по отдельным участкам среднюю интенсивность движения по данным учёта дорожных организаций или специальных изыскательских партий, а

для проектируемых дорог – перспективную интенсивность движения. Условными знаками обозначают места зарегистрированных в последние годы ДТП.

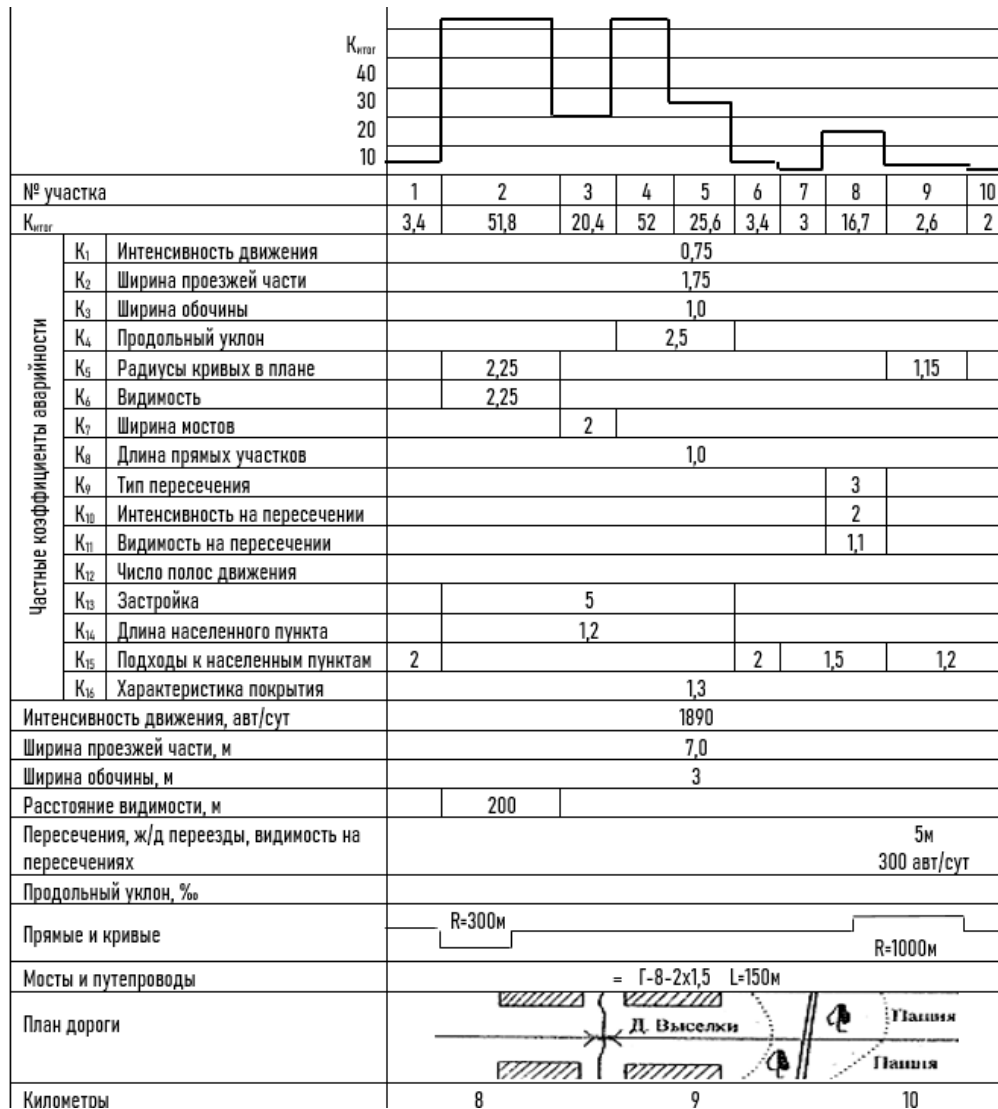


Рисунок 1.19 – Пример графика итогового коэффициента аварийности [5]

Допустимые значения итоговых коэффициентов аварийности варьируются в зависимости от типа местности, также отличаются значения для проектируемых и эксплуатируемых дорог.

Развитие данной методики представлено в трудах А. П. Васильева, В. П. Расникова, П. Шевякова, В. В. Варлашкина, Р. Картанбаева, С. С. Петросяна, С. С. Близниченко, А. Садырходжаева, А. Н. Нечаева, О. А. Дивочкина, В. И. Пуркина, Ю. М. Ситникова, В. В. Чванова [5, 140–144], но в данных исследованиях не рассматривается совокупное влияние структуры транспортного потока и разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

Существует ряд подходов, описывающих связь транспортного потока и скорость движения:

1) методика определения средней скорости смешанного потока для сухого покрытия в летнее время года при коэффициенте загрузки от 0,1 до 0,85 с учётом влияния ДУ и интенсивности движения на двухполосных дорогах представлена в ВСН 25–86 «Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» [23];

2) формула для расчёта средних скоростей для дорог с коэффициентом загрузки  $z$  больше чем 0,8 рекомендуется в ОДМ 218.2.020–2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [76];

3) оценка скоростей движения транспортного потока на автомагистралях представлена в ОДМ 218.4.005–2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» [77];

4) определение средней скорости потока на основе скорости движения одиночного автомобиля в зависимости от структуры транспортного потока.

В перечисленных выше подходах учитывается влияние состава потока на среднюю скорость движения, но не на разность скоростей, которая возникает во время обгона и/или опережения ТС.

Таким образом, с помощью метода коэффициентов аварийности, применяемого на практике, можно наиболее точно оценить БДД, так как при этом учитывается влияние нескольких элементов системы ВАДС, но совершенствование методики итогового коэффициента аварийности сдерживается отсутствием систематизированных данных о параметрах транспортного потока в конкретный момент времени.

#### **1.4. Выводы по главе**

1. Для обеспечения БДД разрабатываются федеральные целевые программы, которые демонстрируют свою результативность на протяжении 15 лет. Однако большое количество погибших и травмированных людей в ДТП демонстрирует несовершенство применяемых на сегодняшний день методов и средств.

Наиболее напряженная ситуация с БДД на дорогах, обеспечивающих связь краевого центра с наиболее крупными населёнными пунктами агломерационного образования.

2. Ежегодно на автомобильных дорогах вне городской черты происходит до 32 % от общего количества ДТП на территории Красноярского края. На данные ДТП приходится около 70 % от общего числа погибших в ДТП. Наибольшее количество ДТП происходит в летний период. Преобладающим видом ДТП являются столкновения.

3. Количество ДТП на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения с участием ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> достигает 48 % от общего количества ДТП на данной категории дорог. Доля погибших в них составляет около 66 % от общего количества погибших в ДТП на автомобильных дорогах общего пользования Красноярского края.

4. Несоответствие скоростного режима дорожным условиям и превышение допустимых значений скорости являются главными причинами ДТП на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения Красноярского края и основным фактором, определяющим тяжесть последствий ДТП.

5. Участку присваивается статус аварийно-опасного, если в течение года произошло три и более ДТП одного вида или пять и более ДТП независимо от их вида, в результате которых погибли или были ранены люди.

6. Значительная часть исследований в области БДД посвящена статистическому анализу данных о дорожно-транспортных происшествиях.

7. Существующая методика оценки итогового коэффициента аварийности не рассматривает несоответствие скоростного режима дорожным условиям и превышение допустимых значений скорости. Поэтому повышение точности метода коэффициентов аварийности можно достигнуть за счёт применения дополнительных частных коэффициентов аварийности, учитывающих структуру транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

## **ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ИТОГОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АВАРИЙНОСТИ С УЧЁТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА**

### **2.1. Обоснование перечня факторов, оказывающих влияние на БДД**

На основе обобщения отечественных и зарубежных данных статистики В. Ф. Бабков [5] разработал метод коэффициентов аварийности, позволяющий выполнять оценку БДД для всех возможных сочетаний элементов плана, продольного и поперечного профилей автомобильных дорог.

В. Ф. Бабковым установлено, что на водителя и ТС оказывают совокупное влияние многочисленные факторы внешней среды, характерные для УДС, которые оказывают влияние на факт возникновения ДТП. К таким факторам относятся не только количественные, но и качественные показатели геометрических элементов и ДУ.

В. Ф. Бабков при изучении влияния элементов плана и профиля дороги на количество ДТП использовал относительный показатель – количество ДТП, приходящееся на 1 млн авт./км пробега, на рассматриваемом элементе дороги. Этот показатель далее назван «частным коэффициентом аварийности». При разработке методики определения частных коэффициентов аварийности за эталонный элемент был принят горизонтальный прямой участок, проходящий по открытой местности с шероховатым усовершенствованным покрытием дорожного полотна, ширина которого соответствует 7–7,5 м, с укрепленными обочинами, ширина которых должна быть 2,5–3 м [5].

В системе ВАДС каждый элемент оказывает свое влияние на БДД, эффективность взаимодействия элементов системы может увеличивать или уменьшать вероятность возникновения ДТП [21].

При разработке метода коэффициентов аварийности В. Ф. Бабков использо-

вал современные ему данные об интенсивностях движения, структуре транспортных потоков и статистики ДТП. В настоящее время ТС обладают улучшенными системами активной и пассивной безопасности, повысилась их маневренность и курсовая устойчивость, изменились динамические и тормозные свойства [41, 83]. Значительно изменился качественный и количественный состав транспортного потока.

Методика, разработанная В. Ф. Бабковым, внесена в нормативные документы по проектированию и строительству автомобильных дорог и является основным инструментом оценки БДД на данный момент, а также включена в состав целого ряда методических рекомендаций.

В «Методических рекомендациях по оценке проектных решений по безопасности движения на автомобильных дорогах в равнинной, пересеченной и горной местности», разработанных в МАДИ и введенных 01.01.1983 г., изложена методика оценки БДД и выявления мест повышенной опасности дорожного движения, включающая 23 частных коэффициента аварийности [69].

Перечень частных коэффициентов аварийности для дорог и улиц разных категорий приведен в ОДМ 218.4.005–2010 [77]. Перечень и значения коэффициентов рекомендуется использовать при оценке  $K_{итог}$  во время проектирования новых, реконструкции, ремонте и эксплуатации существующих автомобильных дорог общего пользования.

Также перечень частных коэффициентов есть в ОДМ 218.6.009–2013 «Методические рекомендации по оценке безопасности движения при проектировании дорог» [78]. Методический документ рекомендуется к использованию в проектных организациях при разработке проектов планировки территорий для размещения автомобильной дороги, проектной и рабочей документации, а также приемке автомобильных дорог в эксплуатацию.

В таблице 2.1 представлены частные коэффициенты аварийности, используемые в различных вариантах методики оценки итогового коэффициента аварийности [69, 77, 78].



Таблица 2.1– Частные коэффициенты аварийности

Коэффициент	Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах [77]	Методические рекомендации по оценке проектных решений по безопасности движения на автомобильных дорогах равнинной, пересеченной и горной местности [69]	Методические рекомендации по оценке безопасности движения при проектировании дорог [78]
1	2	3	4
Интенсивность движения	+	+	+
Ширина проезжей части дороги	+	+	
Ширина полосы движения			+
Ширина обочин	+	+	+
Продольный уклон	+	+	+
Радиус кривых в плане	+	+	+
Видимость в плане	+	+	+
Видимость в профиле	+	+	+
Ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги	+	+	+
Длина прямых участков	+	+	
Видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой	+	+	
Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения	+	+	+
Расстояние проезжей части от застройки	+	+	+
Длина населённого пункта	+	+	+
Длина участков на подходах к населённым пунктам	+	+	
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	+	+	+
Типы пересечений или примыканий	+		+
Пересечения в одном уровне, интенсивность движения по основной дороге	+		+
Число пересечений в одном уровне			+
Коэффициент сцепления	+	+	+
Ровность дорожного покрытия			+

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4
Ширина укрепленной полосы обочины		+	
Расстояние видимости встречного автомобиля		+	
Угол поворота (для горной местности)		+	
Ширина разделительной полосы		+	+
Расстояние между кромкой проезжей части и боковым препятствием (гор.)	+	+	
Извилистость (гор.)	+	+	
Интенсивность движения по примыкающей дороге		+	
Кривая плана трассы			+
Наличии тротуаров, пешеходных дорожек и пешеходных переходов на дорогах в населённых пунктах			+

На данный момент на практике применяется около 30 частных коэффициентов в различных сочетаниях (таблица 2.1). Также согласно данным таблицы можно из всего перечня коэффициентов выделить 12 «базовых» факторов, оказывающих влияние на безопасность движения, которые встречаются абсолютно во всех трех методиках:

- 1) интенсивность движения;
- 2) ширина проезжей части/ширина полосы движения;
- 3) ширина обочин;
- 4) продольный уклон;
- 5) радиус кривых в плане;
- 6) видимость;
- 7) ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги;
- 8) число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения;
- 9) расстояние проезжей части от застройки;
- 10) длина населённого пункта;
- 11) расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м;

12) коэффициент сцепления.

Но только 9 частных коэффициентов аварийности встречаются во всех интерпретациях методики итогового коэффициента аварийности и подходят для оценки безопасности дорожного движения на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов (рисунок 2.1).

	<b>1. Интенсивность движения</b> <b>2. Ширина проезжей части дорог/ширина полосы движения</b> <b>3. Ширина обочин</b> <b>4. Продольный уклон</b> <b>5. Радиус кривых в плане</b> <b>6. Видимость (в плане/в профиле)</b> <b>7. Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения</b> <b>8. Коэффициент сцепления</b> <b>9. Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м</b>	
	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		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
<b>Методические рекомендации по оценке проектных решений по безопасности движения на автомобильных дорогах в равнинной, пересеченной и горной местности</b>	<b>Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах</b>	<b>Методические рекомендации по оценке безопасности движения при проектировании дорог</b>

Рисунок 2.1 – Распределение частных коэффициентов аварийности

В научной литературе встречается несколько понятий видимости: «расстояние видимости» [30], «конкретная видимость» [14], «недостаточная видимость», «ограниченная видимость» [95]. Понятия «конкретная видимость» [14], «недостаточная видимость» и «ограниченная видимость» [92] носят частный характер

и используются автомобильными экспертами, дорожными службами и сотрудниками ГИБДД.

Поэтому в дальнейшем в работе под понятием «видимость» будет пониматься определение, данное в ГОСТ 33475–2015 [30]. Таким образом, частный коэффициент видимости будет характеризовать минимальное расстояние от передней части ТС, на котором с места водителя различаются конструктивные элементы дороги и другие предметы в направлении движения и ориентирование на которые позволяет вести транспортное средство по соответствующей полосе.

На момент разработки методики итогового коэффициента аварийности отличались количественный и качественный состав транспортного потока, а также режимы движения ТС от современных. Поэтому перечень частных коэффициентов, разработанных В. Ф. Бабковым и его учениками, необходимо дополнить исходя из обобщенных данных региональной статистики аварийности на автомобильных дорогах вне населённых пунктов с учётом характеристик современного транспортного потока.

Так как в последнее время для предотвращения лобовых столкновений превентивным мероприятием все чаще служит разделение встречных потоков, то необходимо учитывать наличие разделительной полосы. Но такие полосы установлены только на 3 % дорог от общего количества дорог общего пользования федерального и регионального значения Красноярского края (п.1.1), поэтому данный фактор будем учитывать как дополнительный только на тех участках, где есть разделительная полоса.

Анализ карточек ДТП за 2015–2022 годы показал, что большая часть ДТП происходит из-за несоответствия скорости конкретным дорожным условиям, также выявлено, что с участием транспорта категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  происходит до 43 % ДТП, поэтому существующую систему коэффициентов аварийности необходимо дополнить новым частными коэффициентами, учитывающими структуру транспортного потока и разность скоростей между обгоняемы и обгоняющим ТС.

Таким образом, предлагается следующий перечень частных коэффициентов аварийности для определения уровня БДД на перегонах автомобильных дорог вне

населённых пунктах:

- 1) интенсивность движения –  $K_1$ ;
- 2) ширина полосы движения –  $K_2$ ;
- 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 –  $K_7$ ;
- 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 –  $K_{11}$ .

Таким образом, список предлагаемых факторов, оказывающих влияние на БДД на дорогах общего пользования федерального и регионального значения, состоит из 11 позиций [20].

## 2.2. Теоретические основы оценки частных коэффициентов аварийности

В. Ф. Бабков при определении  $K_i$  использовал статистические данные для каждого фактора ДУ по следующему выражению:

$$K_i = \frac{A_i}{A_{\text{эталон}}}, \quad (2.1)$$

где  $K_i$  – величина частного коэффициента аварийности для конкретного значения фактора дорожных условий;

$A_i$  – относительный показатель аварийности при конкретном значении фактора дорожных условий, ДТП/1 млн авт.-км;

$A_{\text{эталон}}$  – относительный показатель аварийности в эталонных ДУ, ДТП/1 млн авт.-км.

Эталонными ДУ считается прямой горизонтальный участок дороги, проходящей по открытой местности, с шероховатым усовершенствованным покрытием дорожного полотна, ширина которого соответствует 7–7,5 м с укрепленными обочинами шириной 2,5–3 м [5].

С. С. Близниченко и его соавторами предложены отличные эталонные ДУ. В качестве расчётной аварийности принята аварийности, соответствующая минимуму ДТП (при ширине проезжей части равной 7,5 м, неукрепленных обочинах и 20 % грузовых автомобилей в структуре транспортного потока) [12]:

$$A_{\text{эталон}} = \frac{0,44 \cdot z}{1 \text{ млн авт.} \cdot \text{км}}, \quad (2.2)$$

где  $z$  – количество ДТП.

Так как в предыдущих исследованиях установлено, что на ФАД Р-255 и Р-257, проходящих по территории Красноярского края, на долю грузовых автомобилей приходится более 20 % от общего количества ТС в потоке, поэтому в качестве эталонного относительного показателя аварийности следует принимать уточненное значение по методике С.С. Близниченко (2.2).

Таким образом, для того чтобы определить значение конкретного  $K_i$ , необходимо иметь информацию об аварийности за 3–5 лет [77].

### 2.3. Анализ значимости частных коэффициентов аварийности

Особенности проблем БДД обусловлены тем, что они зависят от функционирования системы ВАДС. Отказы в ее системе встречаются в виде дорожных заторов, поломки узлов и агрегатов ТС, также на дорогах, эксплуатационные качества которых не соответствуют нормативным значениям. Отказы, при которых погибли или пострадали люди, повреждены сооружения, грузы, причинён иной материальный ущерб в процессе движения ТС по дороге и с их участием, квалифицируются как ДТП. Таким образом, наивысший уровень БДД наблюдается при наименьшей интенсивности отказов системы ВАДС [136].

Согласно теории множеств, каждая из подсистем системы ВАДС характеризуется комплексом показателей, функций и зависимостей, выполнение которых обязательно для обеспечения безопасности движения транспортных потоков.

Несмотря на тот факт, что ДТП является последствием неправильного функционирования системы ВАДС, т.е. комплекса различных факторов, в каждом конкретном случае есть один определяющий фактор (элемент подсистемы), который вывел из строя всю систему и из-за которого произошло ДТП.

На основе обобщенных данных статистики ДТП и зарубежных исследований В. Ф. Бабковым [5] было доказано, что относительные коэффициенты влияния (т.е. частные коэффициенты аварийности) объективно отражают воздействие дорожных условий.

Для определения величины влияния каждого фактора, выбранного в п.2.1, рассмотрим воздействие ДУ и характеристик транспортного потока на БДД на основе зависимостей, выявленных В. Ф. Бабковым и его учениками.

#### 1. Интенсивность движения – $K_1$ .

Зависимость относительного числа происшествий от интенсивности отлична для автомагистралей с разделительной полосой и для двухполосных дорог. На автомагистралях большее относительное число происшествий характерно при небольших значениях интенсивности, при которых внимание водителей понижено из-за малой нагрузки на них и превышен скоростной режим. Для трехполосных дорог характерно увеличение числа обгонов по отношению к двухполосным дорогам при значении интенсивности более 10 тыс. авт./сут. Из-за этого относительное число происшествий на трехполосных дорогах превышает значение для двухполосных дорог [5, 141]. Зависимость частного коэффициента  $K_1$  от интенсивности движения дана на графике (рисунок 2.2).

#### 2. Ширина полосы движения – $K_2$ .

Наибольшее влияние ширины полосы движения проявляется тогда, когда в структуре потока имеется большой процент грузовых автомобилей, ширина которых больше легковых. При увеличении ширины полосы движения повышается комфорт вождения, при экстренных ситуациях появляется место для совершения

маневра, но при ширине полосы движения более 4 м вероятность возникновения ДТП увеличивается, особенно это заметно на двухполосных и трехполосных дорогах [5]. Данное явление связано с психологическими особенностями поведения водителя. С увеличением ширины полосы движения увеличивается желание водителей совершить обгон. Зависимость частного коэффициента  $K_2$  от ширины проезжей части представлена на графике (рисунок 2.3).

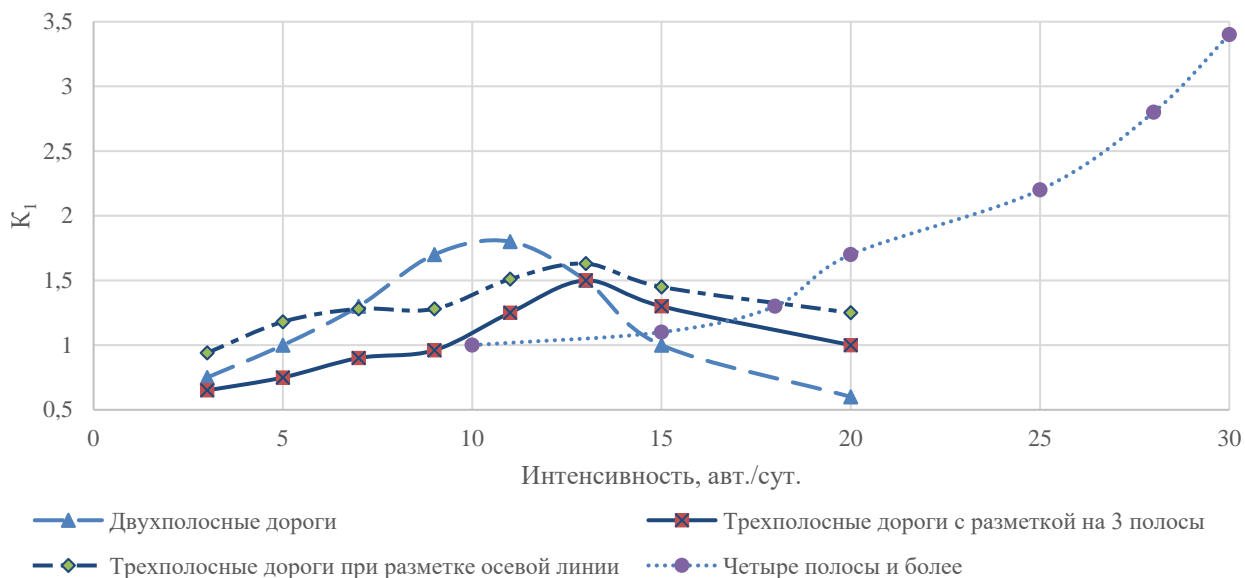


Рисунок 2.2 – График зависимости частного коэффициента  $K_1$  от интенсивности движения

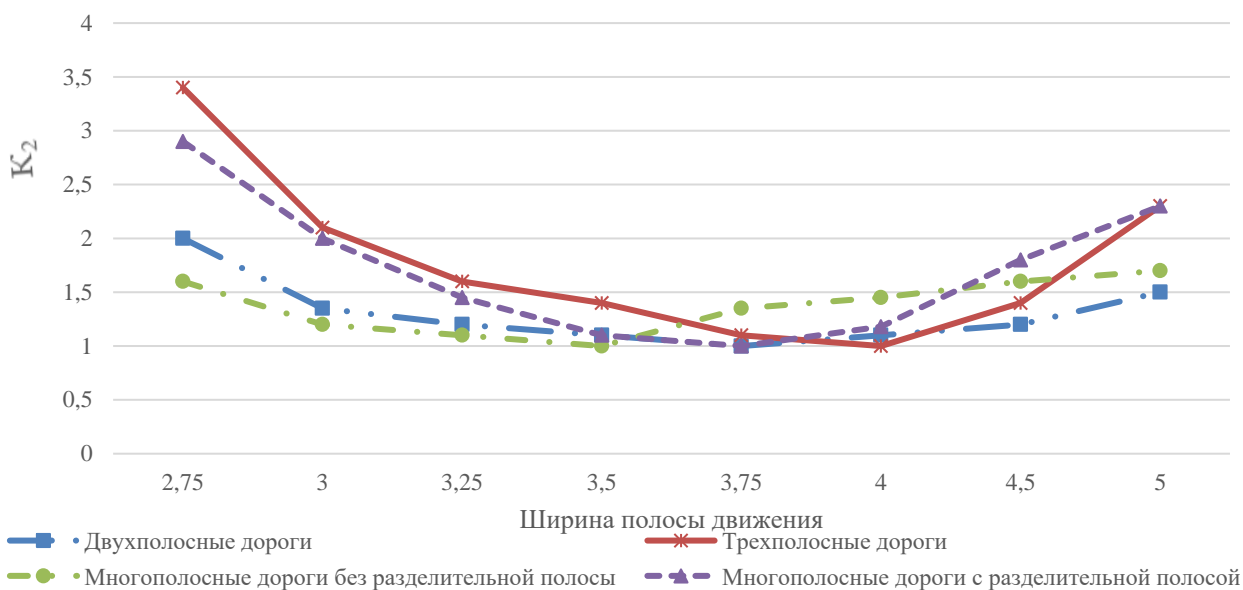


Рисунок 2.3 – График зависимости частного коэффициента  $K_2$  от ширины полосы движения



### 3. Ширина обочины – $K_3$ .

С позиций восприятия водителем коридора движения наиболее комфортной считается ширина обочины, примерно равная ширине автомобиля [141]. При малых значениях ширины обочины рост относительного количества ДТП объясняется превышением габаритов ТС ширины обочины. Как следствие, увеличивается риск возникновения столкновений. Безопасной можно считать обочину, ширина которой превышает 3 м, так как в последнее время наблюдается значительный процент в структуре транспортного потока грузовых автомобилей и автопоездов, и именно такой ширины обочины достаточно для безопасного размещения на ней габаритных ТС [5]. Зависимость частного коэффициента  $K_3$  от ширины обочины дана на графике (рисунок 2.4).

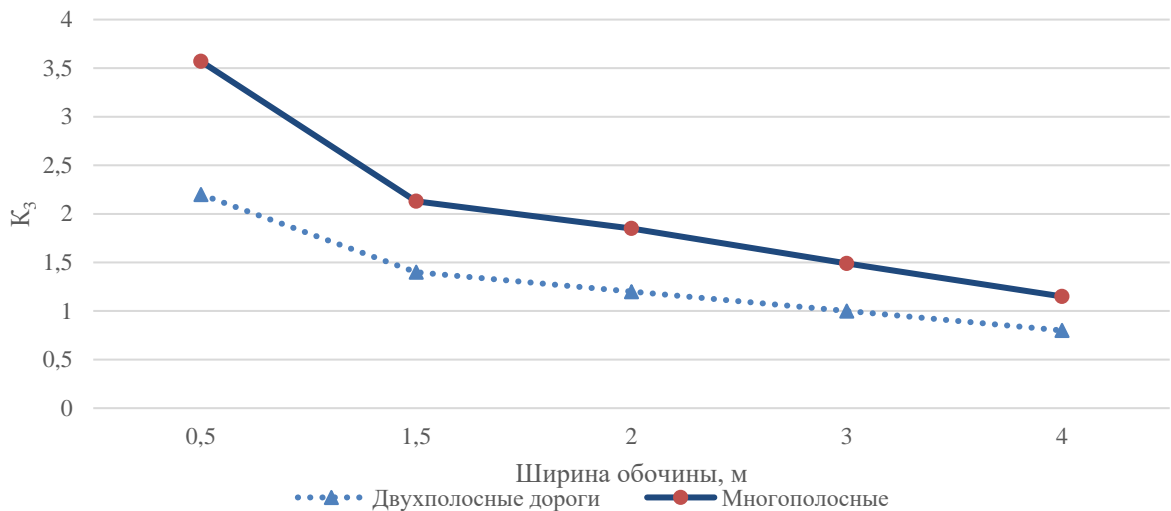


Рисунок 2.4 – График зависимости частного коэффициента  $K_3$  от ширины обочины

### 4. Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения – $K_4$ .

Рост относительного числа происшествий на трехполосных дорогах по отношению к двухполосным объясняется увеличением количества обгонов. Наличие разделительной полосы точно определяет полосы для движения, тем самым происходит снижение вероятности возникновения ДТП [5]. Зависимость частного коэффициента  $K_4$  от количества полос движения дана на графике (рисунок 2.5).

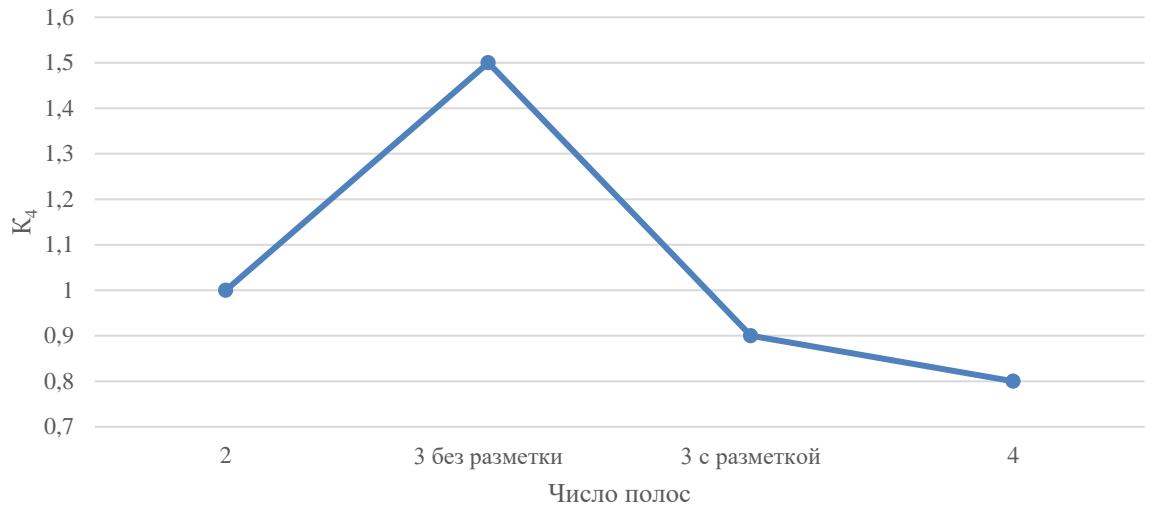


Рисунок 2.5 – График зависимости частного коэффициента  $K_4$  от числа основных полос движения

#### 5. Продольный уклон – $K_5$ .

Вероятность возникновения ДТП увеличивается с ростом значения продольного уклона. Наиболее вероятны ДТП в верхней части подъемов и сразу за вершинами выпуклых вертикальных кривых, а также в нижней части спусков, на вогнутых переломах продольного профиля, на которые ТС въезжают, развив высокие скорости [5]. Зависимость частного коэффициента от продольного уклона представлена графике (рисунок 2.6).

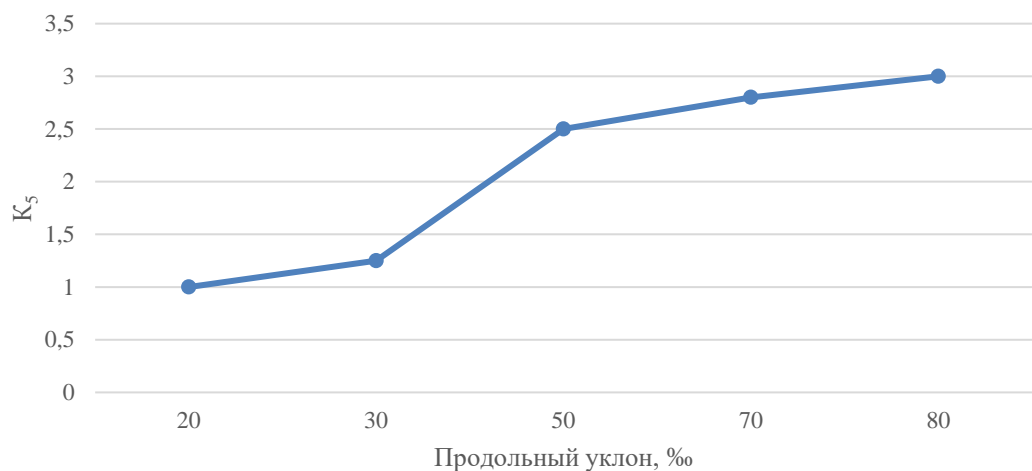


Рисунок 2.6 – График зависимости частного коэффициента  $K_5$  от продольного уклона

## 6. Радиус кривой в плане – $K_6$ .

Размеры радиусов кривых в плане определяют опасность и трудность движения по каждой отдельной кривой, из чего следует, что уменьшение радиуса кривой увеличивает вероятность возникновения ДТП. Как правило, при малых радиусах (менее 600 м) ДТП происходят из-за несоответствия скорости движения ТС дорожным условиям. Чем чаще расположены кривые в плане, тем меньше их радиус и тем труднее водителю вести автомобиль по извилистой дороге. Однако частые крутые повороты не позволяют развивать высокие скорости, и интенсивная работа рулевым колесом при проезде кривых активизирует водителя [5]. Зависимость частного коэффициента  $K_6$  от радиуса кривой в плане дана на графике (рисунок 2.7).

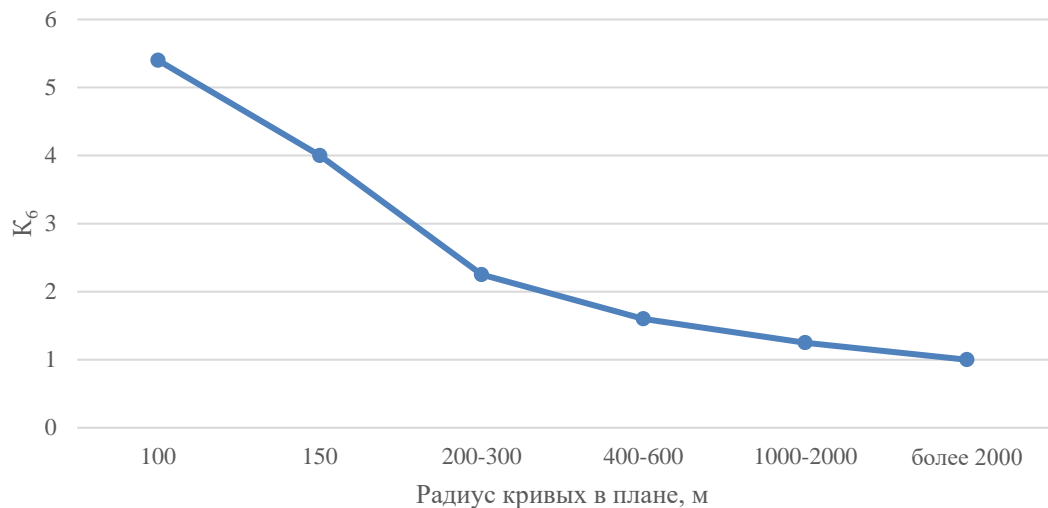


Рисунок 2.7 – График зависимости частного коэффициента  $K_6$  от радиуса кривой в плане

## 7. Видимость – $K_7$ .

Под расстоянием видимости следует понимать расстояние, измеряемое по оси проезжей части, являющейся внутренней относительно радиуса кривой в плане. Видимость является одним из важных показателей транспортно-эксплуатационных качеств дороги и фактором, оказывающим влияние на БДД. На кривых в плане и в продольном профиле скорость движения определяется фактическим расстоянием видимости. Минимальное расстояние видимости поверхности дороги

нормируется СНиП 2.05.02–85 и рассчитывается исходя из времени реакции водителя [19].

Видимость дороги необходима для оценки дорожных условий и принятия мер в экстренной ситуации. Чем выше значение видимости, тем ниже относительное число происшествий, так как у водителя остается больше времени для принятия решений и выполнения необходимых действий. Видимость свыше 200 м считается достаточной для принятия экстренных мер [5, 141]. Зависимость частного коэффициента  $K_7$  от видимости в плане и профиле показана на графике (рисунок 2.8).

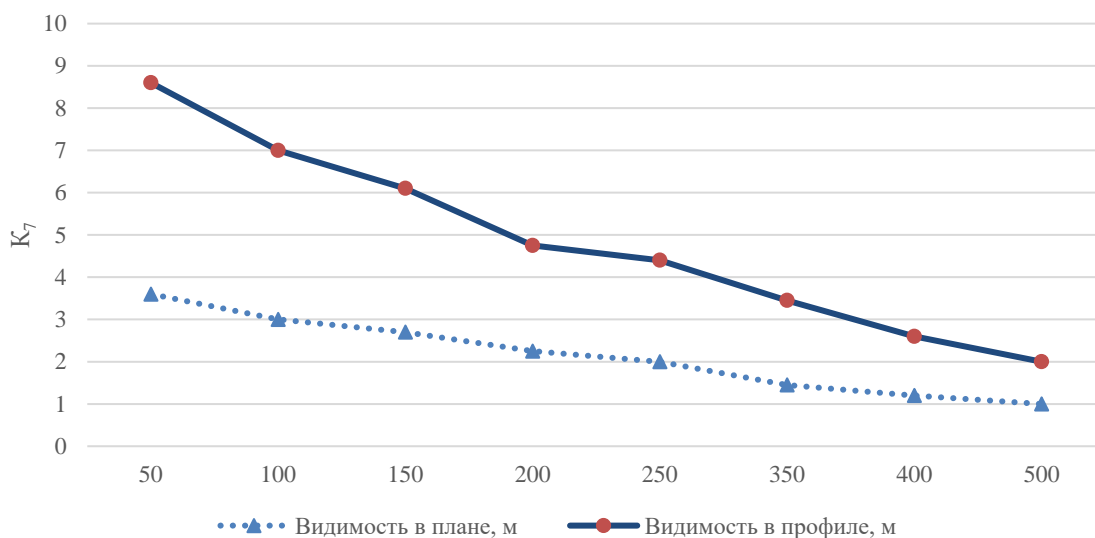


Рисунок 2.8 – График зависимости частного коэффициента  $K_7$  от видимости в плане и профиле

Малые значения видимости, представленные на рисунке 2.7, обоснованы геометрическими особенностями дороги, а не погодно-климатическими и другими условиями (туман, дождь, снегопад, сумерки и т.п.).

#### 8. Коэффициент сцепления – $K_8$ .

Значение коэффициента сцепления шин с дорогой оказывает непосредственное влияние на длину тормозного пути, чем меньше значение коэффициента, тем больше тормозной путь, следовательно, тем больше риск возникновения ДТП. Для обеспечения БДД значение коэффициента сцепления должно быть не менее 0,4 [5, 141]. Зависимость частного коэффициента  $K_9$  от коэффициента сцепления дана на графике (рисунок 2.9).

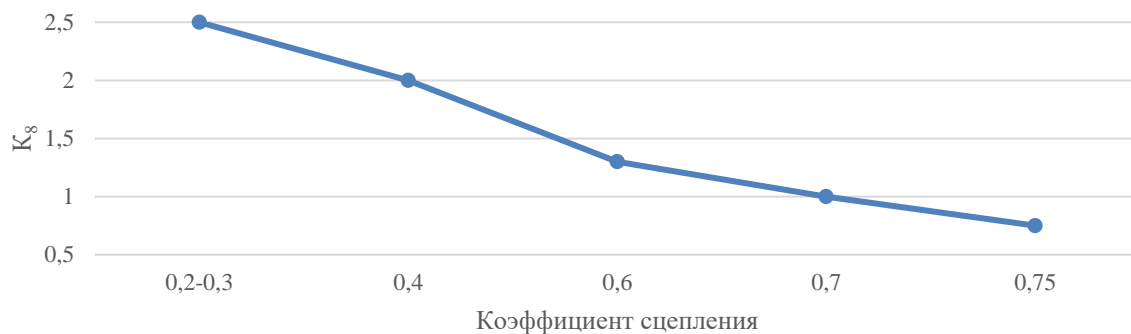


Рисунок 2.9 – График зависимости частного коэффициента  $K_8$  от коэффициента сцепления

9. Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м –  $K_9$ .

Чем больше расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, тем больше вероятность, что при возникновении ДТП водитель сможет остановить автомобиль и не произойдет съезд с дороги [5, 78]. Зависимость частного коэффициента  $K_{10}$  от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м представлена на графике (рисунок 2.9).

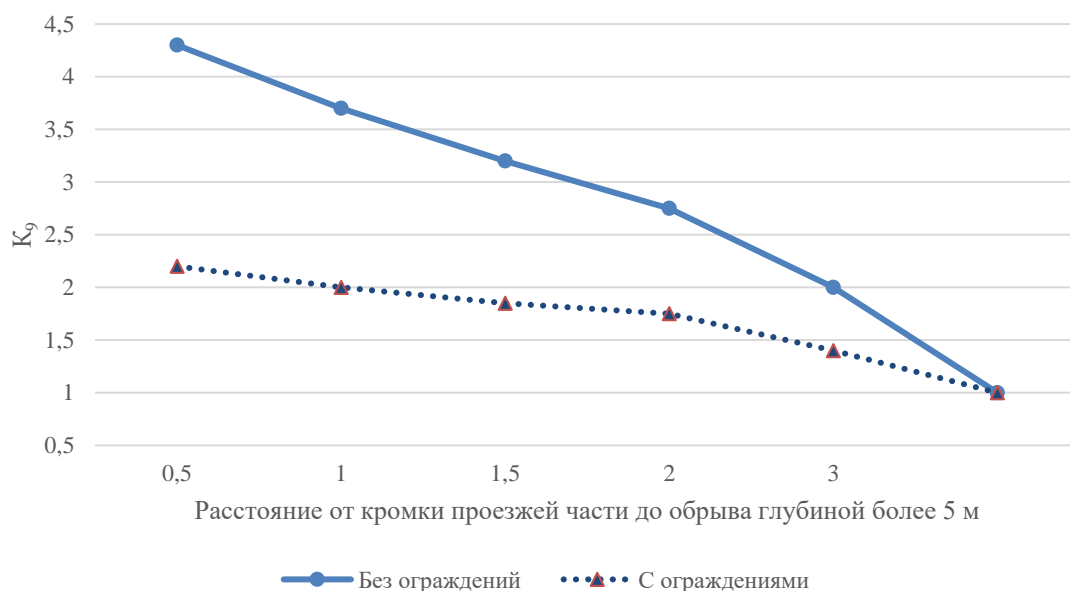


Рисунок 2.10 – График зависимости частного коэффициента  $K_9$  от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м

10. Структура транспортного потока –  $K_{10}$ .

Так как динамические свойства грузовых автомобилей в значительной степени отличаются от легковых, с увеличением в потоке ТС большой грузоподъемности увеличивается диапазон скоростей движения ТС, чаще возникает потребность в совершении обгонов. Как следствие, увеличивается вероятность возникновения ДТП [5]. Также грузовые автомобили и автобусы ограничивают видимость следующих за ними автомобилей. Водитель легкового автомобиля лишается возможности оценить и спрогнозировать ситуацию впереди, и его действия за рулем становятся менее уверенными. В этом случае из-за невозможности точно спрогнозировать обстановку впереди опасность резко возрастает при обгоне, а также при аварийной остановке автомобилей, движущихся плотной колонной. Это является основной проблемой при управлении автомобилем с правым расположением рулевого колеса. Если в целом по России количество зарегистрированных автомобилей с правым расположением руля составляет 8 %, в Красноярском крае данный показатель – 31 % [94]. Зависимость относительного числа происшествий от доли грузовых автомобилей и автобусов в структуре транспортного потока представлена на графике (рисунок 2.11).

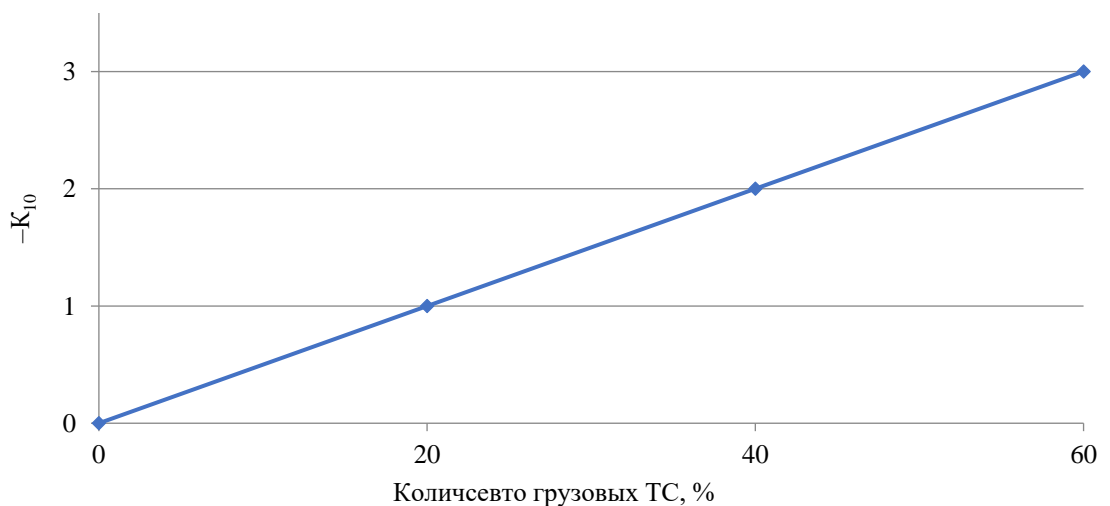


Рисунок 2.11 – График зависимости частного коэффициента  $K_{10}$  от относительного количества грузовых автомобилей

11. Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС –  $K_{11}$ .

Скорость является усугубляющим фактором, который повышает тяжесть

всех ДТП. С увеличением средней скорости движения возрастает и вероятность аварии, а также увеличивается риск летального исхода или тяжелых травм при возникновении ДТП [45, 48, 54]. Влияние изменения скорости движения на количество ДТП с ранеными и погибшими представлено в таблице 2.2.

Самая безопасная скорость – скорость потока. Каждый маневр опережения или обгона повышает вероятность ДТП, а именно: столкновение с опережаемым автомобилем или автомобилем-лидером. Следовательно, чем меньше обгонов и/или опережений, тем меньше вероятность ДТП. Движение без опережений возможно в двух случаях: либо на свободной дороге, либо в потоке машин при движении со скоростью потока [75, 124].

Таблица 2.2 – Влияние изменения скорости движения на количество ДТП

Изменение средней скорости движения		Изменение количества ДТП с ранеными		Изменение количества ДТП с погибшими	
Увеличение	15 %	Увеличение	35–45 %	Увеличение	70–80 %
	10 %		20–30 %		50–60 %
	5 %		10–15 %		20–30 %
Снижение:	5 %	Снижение	10–15 %	Снижение	15–25 %
	10 %		15–25 %		30–40 %
	15 %		25–35 %		40–50 %

Выявление фактора, оказывающего наибольшее влияние на количество ДТП, производится путем построения графика итогового коэффициента аварийности (рисунок 1.19) [5]. Каждый из рассматриваемых факторов является одним из элементов какой-либо подсистемы ВАДС. Ослабление или неудовлетворительное состояние одной из подсистем всегда будет являться предпосылкой к совершению ДТП.

#### 2.4. Обоснование групп частных коэффициентов аварийности

В результате анализа значимости частных коэффициентов аварийности выявлено следующее: для геометрических элементов дорог значения итогового коэффициента аварийности определяются параметрами данного элемента, которые

имеют конкретное значение для каждого участка дороги и прописаны в паспорте объекте. Но ширина проезжей части и обочины может меняться под влиянием внешней среды в зависимости от времени года и уровня содержания автомобильных дорог.

Значение частного коэффициента, учитывающего сцепление шин с дорогой, также подвержено влиянию внешней среды, но с учётом того, что в течение дня погодные-климатические условия в резко континентальном климате могут меняться несколько раз, предугадать сезонное значение коэффициента сцепления шин нельзя.

Анализ региональной дорожной сети и статистики ДТП показал, что на характеристики транспортного потока влияет большое количество факторов. Они могут меняться в зависимости от дорожных условий и технических параметров ТС, движущихся в потоке.

Таким образом, выбранные частные коэффициенты можно разделить на три группы в зависимости от постоянства их значений. Распределение частных коэффициентов аварийности по группам представлено в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Распределение частных коэффициентов 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:
К <sub>4</sub> – количество основных полос на проезжей части для прямых направлений движения; К <sub>5</sub> – влияние продольного уклона; К <sub>6</sub> – влияние кривой в плане; К <sub>7</sub> – влияние видимости в плане/профиле; К <sub>9</sub> – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	К <sub>2</sub> – ширину полосы движения; К <sub>3</sub> – ширину обочины	К <sub>1</sub> – интенсивность движения; К <sub>8</sub> – коэффициент сцепления; К <sub>10</sub> – структуру транспортного потока; К <sub>11</sub> – разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

К группе А относятся частные коэффициенты аварийности, имеющие кон-



кретное постоянное значение для рассматриваемого участка: число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения; продольный уклон; радиус кривой в плане; видимость; расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

К группе В относятся частные коэффициенты аварийности, которые можно назвать условно постоянными, так как их значения меняются в зависимости от сезона года и зависят от погодных-климатических условий и уровня содержания автомобильных дорог. К данной группе относится ширина полосы движения и ширина обочины [16].

Как правило, летом фактическая ширина проезжей части соответствует проектным значениям, а обочина сухая и плотная. Но в межсезонье на некоторых участках автомобильных дорог может наблюдаться уменьшение ширины проезжей части из-за ее загрязнения. Это происходит из-за грязи, которая налипает на колеса ТС на выездах без твердого покрытия и на неукрепленных обочинах. Под действием движения ТС грязь перемещается и откладывается на прикромочной полосе проезжей части [37]. Из-за этого на участках с неукрепленными обочинами сокращение ширины проезжей части может достигать 0,6–1,2 м.

В зимний период в некоторых регионах страны, в том числе в Красноярском крае, который характеризуется частыми снегопадами и метелями, при нерегулярной снегоочистке на проезжей части и обочинах образуется плотный слой снега, по которому происходит движение ТС. Ширина слоя может достигать 0,6 м, а толщина – 10 см. Таким образом, при хорошем уровне содержания автомобильных дорог фактическая ширина проезжей части увеличивается. Но при плохом уровне содержания автомобильных дорог фактическая ширина проезжей части сокращается [61].

Таким образом, в зимний период времени фактическая ширина проезжей части зависит от погодных-климатических условий и уровня содержания автомобильных дорог. Наибольшее сужение проезжей части характерно для заносимых снегом участков дорог, а также там, где есть ограждения, которые мешают снегоочистке и

способствуют образованию снежных отложений. Самые неблагоприятные условия в зимнее время наблюдаются на участках малого радиуса кривых в плане [43].

Частные коэффициенты аварийности (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 зависят от погодных условий [16].

## **2.5. Модель оценки итогового коэффициента аварийности, учитывающая характеристики движения транспортного потока**

Теория оптимизации представляет собой совокупность фундаментальных математических методов, позволяющих избежать полного перебора всех решений. В самом общем случае решить оптимизационную задачу – это значит найти наилучшее решение среди возможных вариантов [64].

Важнейшим моментом теории оптимизации является переход от содержательной постановки задачи к ее формализации, т.е. математическому описанию. Вид целевой функции определяется конкретной задачей оптимизации. Таким образом, задача оптимизации сводится к нахождению экстремума целевой функции.

В общем виде задача оптимизации имеет вид [62]:

$$F(x) \rightarrow \min. \quad (2.3)$$

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

$$K_{\text{итог}} = \prod_{i=1}^n K_i \rightarrow \min, \quad (2.4)$$

где  $K_i$  – частные коэффициенты аварийности;

$n$  – число частных коэффициентов аварийности, учитываемых при оценке безопасности движения.

Поскольку в предложенной методике частные коэффициенты разделены на три группы, то в общем виде целевая функция итогового коэффициента аварийности будет выглядеть следующим образом:

$$K_{\text{итог}} = A \cdot B \cdot C \rightarrow \min, \quad (2.5)$$

где  $A$  – произведение коэффициентов 1-й группы (постоянное значение для конкретного участка дороги);

$B$  – произведение коэффициентов 2-й группы (имеет 2 сезонных значения для конкретного участка дороги);

$C$  – произведение коэффициентов 3-й группы;

Соответственно произведения групп:

$$A = K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_9, \quad (2.6)$$

$$B = K_2 \cdot K_3, \quad (2.7)$$

$$C = K_1 \cdot K_8 \cdot K_{10} \cdot K_{11}, \quad (2.8)$$

С учётом того, что значения коэффициентов группы  $B$  характерны для природно-климатических условий конкретного сезона, их условно можно считать постоянными, тогда целевая функция итогового коэффициента аварийности (2.5) примет следующий вид:

$$K_{\text{итог}} = F \cdot C \rightarrow \min, \quad (2.9)$$

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

$$F = A \cdot B \cdot D. \quad (2.10)$$

При раскрытии группы  $C$  целевая функция итогового коэффициента аварийности приобретает вид [16]:

$$K_{\text{итог}} = F \cdot K_1 \cdot K_8 \cdot K_{10} \cdot K_{11} \rightarrow \min. \quad (2.11)$$

Основные параметры элементов поперечного профиля проезжей части и земляного полотна автомобильных дорог в зависимости от их категорий не должны быть меньше значений, представленных в ГОСТ Р 52399–2005 [32].

Таким образом, на основании ГОСТ Р 52399–2005 [32] и ОДМ 218.4.005–2010 [77] определены минимальные и максимальные значения  $F$  в зависимости от типа местности [111] с учётом сезонных изменений таких параметров, как ширина проезжей части и ширина обочины (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Значение  $F$ 

Значение	Равнинная местность	Пересеченная местность	Горная местность
Минимальное	1	2,52	16,24
Максимальное	5,5	36,4	1510,5

В общем виде целевая функция итогового коэффициента аварийности 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. Но так как оперативно оказывать влияние на интенсивность движения и коэффициент сцепления невозможно, предельное значение итогового коэффициента аварийности  $K_{\text{пред}}$  получаем путем достижения предельно допустимого значения частного коэффициента аварийности  $K_{11\text{пред}}$  (коэффициента, учитывающего разность скоростей между обгоняем и обгоняющим ТС) при реальных значениях прочих частных коэффициентов аварийности:

$$K_{\text{пред}} = F \cdot K_1 \cdot K_8 \cdot K_{10} \cdot K_{11\text{пред}}. \quad (2.12)$$

Анализ ранее выполненных работ и нормативных документов позволил установить, что участок является аварийно-опасным при определенном количестве ДТП, произошедших на нем. Следовательно, для каждого участка автомобильных дорог существует предельное значение итогового коэффициента аварийности, при достижении которого участку можно присвоить статус потенциально аварийно-опасного участка:

$$\begin{cases} \text{Безопасный участок, } K_{\text{итог}} < K_{\text{пред}} ; \\ \text{Потенциально аварийно – опасный участок, } K_{\text{итог}} \geq K_{\text{пред}}. \end{cases} \quad (2.13)$$

В случае присвоения участку статуса потенциально аварийно-опасного безопасность дорожного движения можно обеспечить за счёт корректировки скоростного режима ТС, исходя из структуры транспортного потока. Составим условия определения безопасной скорости движения по конкретному участку дороги в заданных ДУ:

$$v = \begin{cases} V_p, K_{\text{итог}} = K_{\text{пред}}, \\ V_n, K_{\text{итог}} > K_{\text{пред}}, \end{cases} \quad (2.14)$$

где  $V_p$  – разрешенная скорость движения для конкретного участка, км/ч;

$V_{п}$  – расчётная средняя скорость транспортного потока, км/ч [16].

Есть несколько подходов к определению расчётной средней скорости транспортного потока:

1. Согласно ОДМ 218.2.020–012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [76] рекомендуются следующие выражения для расчёта средних скоростей  $V_{п}$  для дорог с коэффициентом загрузки  $z$  больше чем 0,8:

для двух полос:

$$V_{п} = 61 - (0,019 - 0,00014p_{л})N + 0,24, \quad (2.15)$$

где  $p_{л}$  – доля легковых автомобилей в потоке, %;

для четырех полос:

$$V_{п} = 65 - (0,011 - 0,00012p_{л})N + 0,22p_{л}. \quad (2.16)$$

2. Согласно ОДМ 218.4.005–2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» оценка скоростей движения транспортного потока на автомагистралях производится по следующему выражению:

$$V_{п} = (V_0' \cdot k_1 \cdot q_1 + V_0'' \cdot k_2 \cdot q_2) \cdot A - \Psi \cdot N, \quad (2.17)$$

где  $V_0'$  – свободная скорость движения по правой полосе (105 км/ч);

$V_0''$  – свободная скорость движения по левой полосе (117 км/ч);

$k_1, k_2$  – коэффициенты, зависящие от числа легковых автомобилей на данной полосе проезжей части, определяются по ОДМ 218.4.005–2010;

$q_1$  – относительное количество автомобилей, движущихся по правой полосе при разной интенсивности движения в данном направлении, доли ед.;

$q_2$  – относительное количество автомобилей, движущихся по левой полосе, доли ед.;

$A$  – обобщающий коэффициент, учитывающий влияние на скорость движения элементов дороги;

$\Psi$  – коэффициент, зависящий от числа грузовых автомобилей в транспортном потоке заданного направления движения [24, 77].

3. Также используется подход, который основан на определении средней скорости потока  $V_{\Pi}$  на основе скорости движения одиночного автомобиля и от состава транспортного потока:

$$V_{\Pi} = V_0 - \alpha N, \quad (2.18)$$

где  $V_0$  – скорость движения одиночного автомобиля при отсутствии помех (в расчёте 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 [112].

4. Анализ ранее выполненных работ позволил установить, что чаще всего для описания средней скорости транспортного потока применяется выражение, представленное в ВСН 25-86 [23]:

$$V_{\Pi} = V_0 \cdot \theta - a \cdot K_a \cdot N, \quad (2.19)$$

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 (принимается равной 90 км/ч);

$a$  – 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 берется из ВСН 25–86;

$N$  – интенсивность движения, авт./ч [19];

$\theta$  – итоговый коэффициент, учитывающий влияние геометрических элементов дороги, состава потока и средств организации движения на скорость свободного движения. Он является произведением отдельных коэффициентов. Значения коэффициентов  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  указаны в ВСН 25–86:

$$\theta = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3, \quad (2.20)$$

где  $\tau_1$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного уклона;

$\tau_2$  – коэффициент, учитывающий влияние состава потока;

$\tau_3$  – коэффициент, учитывающий влияние ДУ и средств организации движения [23].

## **2.6. Алгоритм оценки БДД на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов**

На основе выражений (2.11) и (2.13) алгоритм оценки БДД и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов (рисунок 2.12).

Для оценки БДД и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов необходимо выполнить следующий ряд действий:

1. Единоразово для конкретного участка дороги ввести параметры группы А: число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения, продольный уклон, радиус кривой в плане, видимость, расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

2. Преобразовать значения указанных параметров в частные коэффициенты аварийности, учитывающие:

– количество основных полос на проезжей части для прямых направлений движения –  $K_4$ ;

– влияние продольного уклона –  $K_5$ ;

– влияние кривой в плане –  $K_6$ ;

– влияние видимости в плане/в профиле –  $K_7$ ;

– расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м –  $K_9$ .

3. Произвести расчёт произведения частных коэффициентов аварийности, относящихся к группе А.

4. Зафиксировать полученное значение. Оно будет постоянно для рассматриваемого участка.

5. В зависимости от сезона года необходимо ввести фактическое значение ширины полосы движения и обочины.

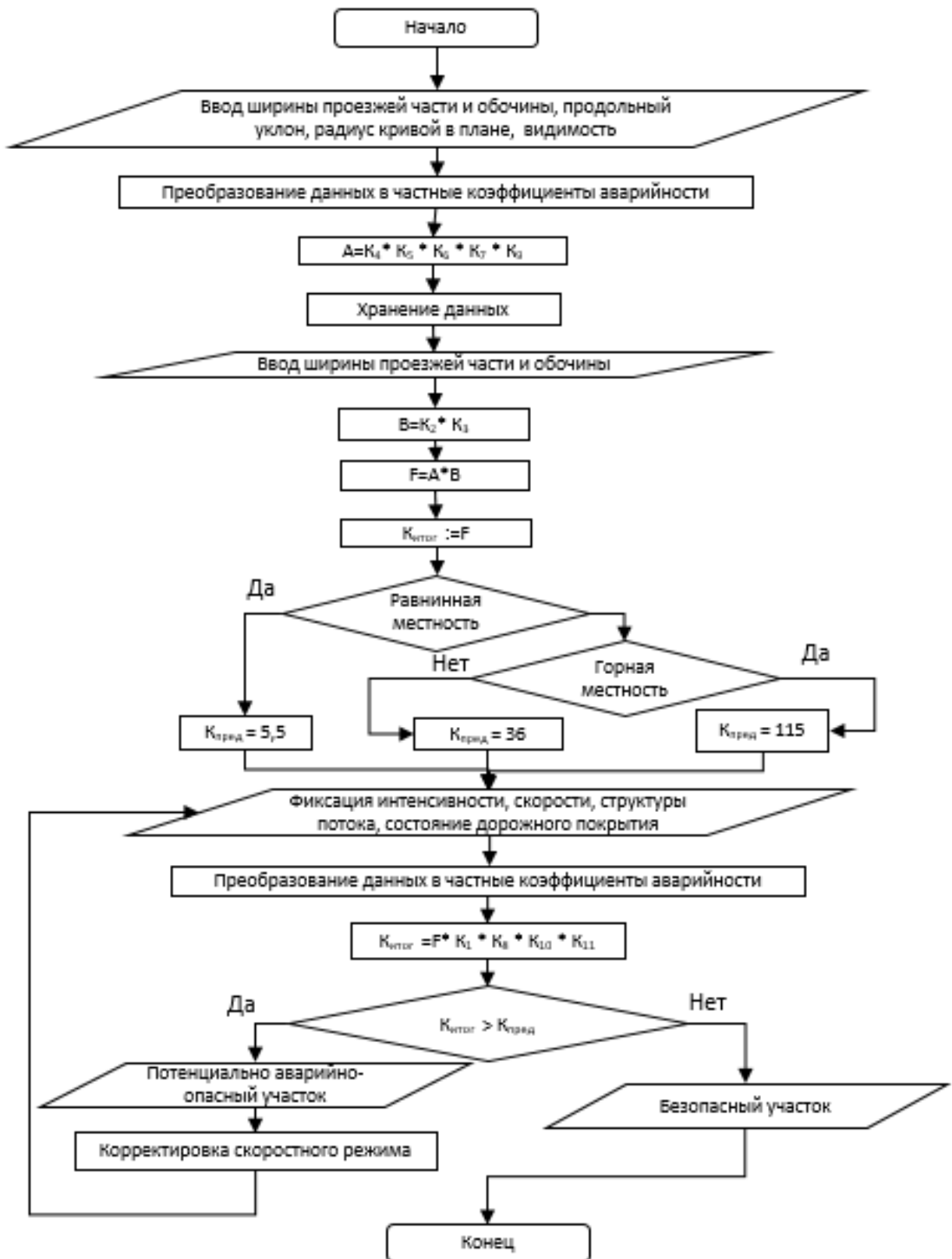


Рисунок 2.12 – Алгоритм оценки БДД и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов



6. Преобразовать значения указанных параметров в частные коэффициенты аварийности, учитывающие:

- ширину полосы движения –  $K_2$ ;
- ширину обочины –  $K_3$ .

7. Произвести расчёт произведения частных коэффициентов аварийности, относящихся к группе В.

8. Определить константное значение  $F$  путем нахождения произведения частных коэффициентов аварийности групп А и В.

9. Присвоить итоговому коэффициенту аварийности  $K_{\text{итог}}$  значение  $F$ .

10. Исходя из типа местности присвоить предельно допустимое значение итогового коэффициента аварийности  $K_{\text{пред}}$ .

11. Фиксация фактических значений параметров, входящих в группу С: интенсивность, коэффициент сцепления, структура транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим.

12. Преобразовать значения указанных параметров в частные коэффициенты аварийности, учитывающие:

- интенсивность движения –  $K_1$ ;
- коэффициент сцепления –  $K_8$ ;
- структуру транспортного потока –  $K_{10}$ ;
- разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС –  $K_{11}$ .

13. Определить значения итогового коэффициента аварийности.

14. Сравнить значения итогового коэффициента аварийности  $K_{\text{итог}}$  с предельным значением  $K_{\text{пред}}$ . Если значение  $K_{\text{итог}}$  превышает  $K_{\text{пред}}$  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 путем подбора безопасной скорости потока для конкретных ДУ.

## 2.7. Выводы по главе

1. ДТП сопровождается определённым набором факторов окружающей среды, которые оказывают существенное влияние на водителя и ТС. К факторам относятся не только количественные, но и качественные показатели геометрических элементов и ДУ.

2. На момент разработки В. Ф. Бабковым методики определения итогового коэффициента аварийности показатели транспортного потока и скоростные режимы движения на автомобильных дорогах общего пользования значительно отличались от современных, поэтому существует необходимость в уточнении и дополнении перечня частных коэффициентов аварийности на основании обобщения данных региональной статистики ДТП. Поэтому обоснован набор факторов, оказывающих влияние на БДД на автомобильных дорогах вне населённых пунктов.

3. По результатам анализа характеристик автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения 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; коэффициент сцепления; расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

На основе анализа аварийности на территории Красноярского края выявлены ранее не рассматривавшиеся при определении итогового коэффициента аварийности факторы – структура транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, которые необходимо учитывать при оценке БДД.

4. По результатам анализа теоретических положений метода коэффициентов аварийности частные коэффициенты аварийности разделены на три группы в зависимости от степени постоянства их значения:

- группа А – частные коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке;

- группа В – частные коэффициенты, значения которых являются величиной переменной и могут меняться в зависимости от времени года;
- группа С – частные коэффициенты, значения которых постоянно меняются в зависимости от параметров транспортного потока и от погодно-климатических условий;

5. Разработана математическая модель итогового коэффициента аварийности, учитывающая структуру транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, позволяющая определять уровень аварийности на конкретном участке автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения:

$$K_{\text{итог}} = F \cdot K_1 \cdot K_8 \cdot K_{10} \cdot K_{11},$$

где  $F$  – константное значение (произведение значений коэффициентов групп А, В и D, постоянное значение для конкретного участка дороги).

6. Предложено алгоритм оценки БДД и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени на перегонах автомобильных дорог вне населённых пунктов.

## ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Планирование этапов и методик проведения эксперимента

Основной целью эксперимента является выявление взаимосвязи характеристик транспортного потока и получение регрессионной модели, описывающей зависимость частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

На основе предыдущих исследований и анализа методики определения итогового коэффициента аварийности были определены входные и выходные параметры. В качестве входных данных были приняты такие регистрируемые во время эксперимента параметры, характеризующие транспортно-эксплуатационные качества дороги, как: продольный уклон; радиус кривой в плане; число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения; расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м; ширина полосы движения; ширина обочины; видимость в плане и профиле; интенсивность, структура транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС. Далее был установлен выходной параметр – количество ДТП на рассматриваемом участке.

На подготовительном этапе выполнен следующий перечень работ:

1. Определен перечень фиксируемых параметров и необходимое оборудование. В п. 2.1 на основе анализа статистики ДТП, методики определения итогового коэффициента аварийности и характеристик автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения Красноярского края установлен перечень факторов, оказывающих влияние на БДД, на основе которого составлен список фиксируемых параметров. Фиксация каждого параметра проводится по определенной методике и с помощью специального оборудования. Перечень нормативных документов, на основе которого происходит определение искомых параметров, представлен в таблице В.1 приложения В.

Фиксируемые данные сводились в общую итоговую ведомость (рисунок 3.1).

Участок \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ Время \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_

Описание погодных условий: \_\_\_\_\_

Описание участка (местность, наличие пересечений, ограждений, технических средств освещения, удаленность населенного пункта, наличие технических средств организации дорожного движения, четкость дорожной разметки):

---



---



---

Параметр	Значения
Ширина полосы движения, м	
Ширина обочины, м	
Продольный уклон, о/оо	
Радиус кривой в плане, м	
Видимость в плане, м	
Видимость в профиле, м	
Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения	
Ширина разделительной полосы, м	
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	
Ширина разделительной полосы, м	

Рисунок 3.1 – Ведомость для фиксации результатов эксперимента

2. Определен перечень участков. Ранее выявлено [9], что ежегодно на территории Красноярского края от 8 до 15 участков федеральных автомобильных дорог (ФАД) являются аварийно-опасными либо потенциально аварийно-опасными. Как правило, один и тот же участок является аварийно-опасным на протяжении нескольких лет, поэтому на подготовительном этапе оценки влияния параметров транспортного потока и характеристик дорог на БДД на территории Красноярского края на основе статистических данных [92] и изображений со спутника [140, 146] было выбрано 20 различных по конфигурации и аварийности участков на ФАД (637, 670, 711, 714, 726, 737, 743, 763, 770, 772, 777, 785, 796, 799, 854, 879, 898, 913 км ФАД Р-255, и 24 и 30 км ФАД Р-257). Выбранные участки отличаются характеристиками дорожного движения, геометрическими параметрами и типами местности. Данные об аварийности и конфигурация рассматриваемых участков представлены в таблице Г.1 приложения Г.

3. На основании полученного перечня участков произведена работа со статистическими данными за 5 лет. Определено общее количество ДТП, среднегодовое количество ДТП на рассматриваемых участках, коэффициент сцепления.

Согласно рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах устанавливаются зоны влияния дорожных элементов (50–150 м в каждую сторону от элемента) [77]. Графически зоны влияния изображены на рисунке 3.2.

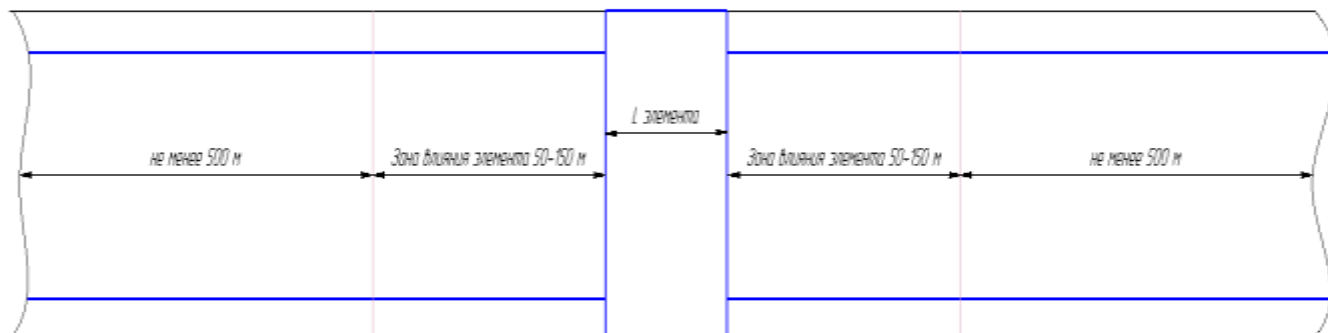


Рисунок 3.2 – Протяженность участка для определения значения итогового коэффициента аварийности

Тип местности определяется на участке протяженностью не менее 500 м. ФГУП «РосдорНИИ» установлено, что для определения показателя риска ДТП на внегородских дорогах необходим однородный участок, протяженность которого около 1 км [131]. Поэтому для дальнейшего эксперимента выбирался однородный участок протяженностью не менее 500 м и не более 1000 м с учётом зон влияния различных элементов.

Так как некоторые из рассматриваемых участков находятся на большой отдаленности от города Красноярска (более 100 км), необходимое оборудование должно не только соответствовать требованиям указанным в ГОСТ Р 52577–2006 [33], ГОСТ 32963–2014 [25], ГОСТ 33383–2015 [29] и ОДМ 218.6.027–2017 [81], но и соответствовать следующим требованиям:

- мобильность, компактность, простота установки и применения;
- возможность транспортировки на дальние расстояния;
- возможность непрерывного измерения параметров, характеризующих движение ТС;

– возможность передачи результатов измерений на ПК с целью последующей обработки и анализа.

Для охвата наибольшего количества различных дорожных условий фиксация данных проводилась для каждого из участков в разное время года. Далее был сформирован банк данных, на основе которого стало возможным определение статистических зависимостей.

Следующим пунктом выполнения эксперимента была статистическая обработка с выявлением различного рода зависимостей. Для оценки степени и вида связи факторов был выполнен корреляционно-регрессионный анализ.

## **3.2. Методика определения геометрических элементов автомобильных дорог**

### **3.2.1. Определение элементов плана и продольного профиля**

В зависимости от определяемого фактора установление его параметра проводится измерительным контролем или визуально согласно ГОСТ Р 52577–2006 [33] и ГОСТ 33383–2015 [29].

Для определения значений геометрических параметров применяют средства измерений, прошедшие в установленном порядке поверку и (или) аттестацию. Измерения линейных размеров проводят согласно ГОСТ 26433.0 – ГОСТ 26433.2 и в соответствии с инструкцией по их эксплуатации [29].

Продольный уклон автомобильной дороги может быть определен тремя способами:

- при помощи нивелира и геодезической рейки;
- дорожной универсальной рейки с базой измерения 3000 мм;
- специализированной передвижной лаборатории, оборудованной гироскопическими установками.

Так как оборудование для проведения измерений должно отвечать требова-

ниям, представленным в п.3.1, для измерения продольного уклона выбрана дорожная универсальная рейка в связи с ее легкой сборкой и транспортировкой.

Для определения радиуса кривых в плане необходима специализированная передвижная лаборатория [65]. В автошколе ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» имеется такая лаборатория на базе автомобиля Volkswagen Transporter GP.

В связи со сложностью неоднократных выездов на дальние расстояния специализированной передвижной лаборатории, оборудованной соответствующей измерительной аппаратурой – гироскопическими установками, для определения радиусов горизонтальных кривых использовался альтернативный способ с помощью инструмента ГИС Google Earth линейка [146].

Для этого сначала с помощью передвижной дорожной видеолaborатории ДВК-05 был определен радиус кривой на 24-м км Р-257, затем данный радиус был определен с использованием стандартного инструмента GIS Google Earth (при масштабе карты 10, 20, 50 и 100 м) [146] и Яндекс-карты [140] (при масштабе карты 50 и 100 м) по следующей методике:

1. Нахождение точки «Начало круговой кривой» (НКК) и «Конец круговой кривой» (ККК) (рисунок 3.3) [112] с помощью Аскон Компас V16.

2. Определение длины кривой.

3. Определение угла поворота дороги.

4. Определение радиуса кривой по выражению

$$R = \frac{180 \cdot K}{\pi \cdot \alpha} = \frac{57,3 \cdot K}{\alpha}, \quad (3.1)$$

где  $K$  – длина кривой, м;

$\alpha$  – угол поворота дороги.

5. Уточнение радиуса кривой в зависимости от ширины проезжей части:

$$R_k = R - 0,5 \cdot B, \quad (3.2)$$

где  $R_k$  – уточненный радиус кривой, м;

$R$  – вычисленное значение радиуса, м;

$B$  – ширина проезжей части, м [110].



Анализ данных, полученных с помощью передвижной дорожной видеолaborатории ДВК-05 и GIS-технологий, показал, что при помощи измерения радиуса кривых данными способами при масштабе 10 м погрешность измерений не превышает 3 %.

Схема для определения радиуса кривой по длине кривой и углу поворота представлена на рисунке 3.3.

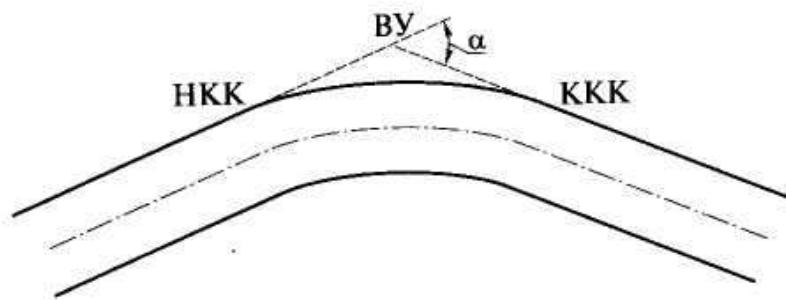


Рисунок 3.3 – Схема для определения радиуса кривой по длине кривой

Расстояние видимости определяется двумя наблюдателями с помощью приборов, имеющих дальномерные приспособления [111], которые оснащены средствами связи (радиостанция или телефон), специальными вешками, оборудованием для измерения расстояния (рулетка или курвиметр) и отвесом или жидкостным уровнем. Схема определения расстояния видимости представлена на рисунке 3.4 [21].

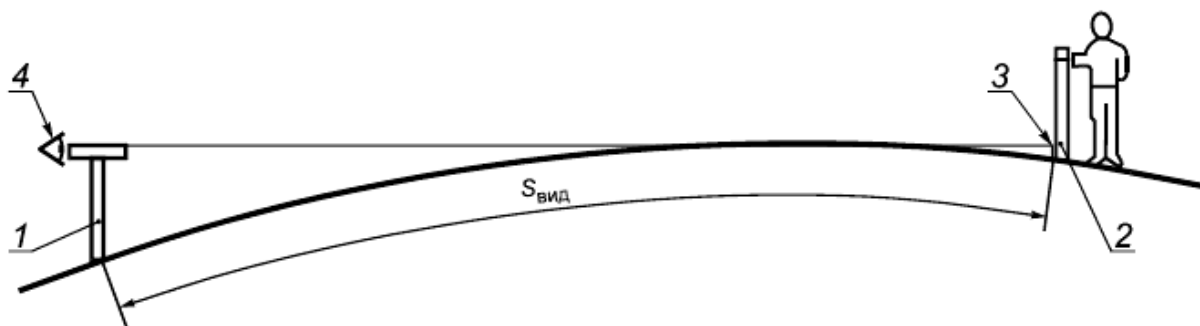


Рисунок 3.4 – Схема определения расстояния видимости: 1 – вешка 1; 2 – вешка 2 с объектом видимости 3;  $S_{\text{вид}}$  – створ видимости; 4 – глаз наблюдателя

Измерение видимости проводится вдоль кромки проезжей части на расстоянии 1,5–1,7 м от нее. Измерения проводятся для каждого направления движения, и

за итоговый результат принимается минимальное значение, которое сравнивается с требуемым значением расстояния видимости на данном участке по ГОСТ Р 52399–2005 [32, 33].

Не допускается измерять расстояние видимости дороги в условиях недостаточной видимости (дождь, снегопад, туман, сумерки и т.п.), при которых видимость дороги составляет менее 300 м, а также в случае невозможности выполнения измерений по заданной траектории, например, при порывистом ветре,

### **3.2.2. Оборудование для определения параметров дорожного полотна**

Для измерения линейных размеров необходимо следующее оборудование:

1. Рулетка измерительная металлическая по ГОСТ 7502 не ниже 3-го класса точности ( $\pm 0,30$  мм [37]) и длиной более 10 м с четкими видными делениями на ленте без впадин и перегибов [21].

2. Дорожная универсальная рейка с базой измерения ( $3000\pm 2$ ) мм, состоящая из собственно сборно-разборной рейки и специального измерительного (ступенчатого, штанген- или штрихового) инструмента для линейных измерений [33].

3. Курвиметр (мерное колесо) с пределом измерений не менее 900 м и погрешностью измерения не более 0,05 м [34]. Беговая дорожка мерного колеса не должна иметь повреждений и деформаций. Колесо должно свободно вращаться при движении по дорожному покрытию. Люфт, радиальное и осевое биение колеса не допускаются [21].

4. Жидкостный строительный уровень по ГОСТ Р 58514–2019 [36].

5. ПК с выходом в интернет и установленным ПО Аскон Компас V16.

### **3.2.3. Методика проведения натурального эксперимента**

Натурный эксперимент выполнен на легковом автомобиле Toyota Caldina, с помощью которого осматривалось состояние проезжей части на выбранных участ-

ках (рисунок 3.5). На уровне глаз водителя в автомобиле была установлена видеокамера для того, чтобы снять вид проезжей части, обочин, откосов и прилегающей обстановки.



Рисунок 3.5 – Осмотр проезжей части

При помощи стальной ленты были определены линейные геометрические размеры: ширина полосы движения, ширина обочины, расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м [130]. Измерения линейных размеров проводились согласно ГОСТ Р 52577–2006 [33] и ГОСТ 33383–2015 [29] и в соответствии с инструкцией на средства измерения по их эксплуатации (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Измерения линейных размеров

При помощи дорожной универсальной рейки были определены высота

ограждений и уклон. Измерения проводились путем непосредственного приложения рейки в продольном направлении и снятия контрольных отсчетов. Для безопасности измерения делали по краям проезжей части на расстоянии не менее 0,5 м от кромки и фиксировали наибольшее из полученных значений [25, 33].

Радиус кривой определяли по методике, описанной в п. 3.2.1 (рисунок 3.7).

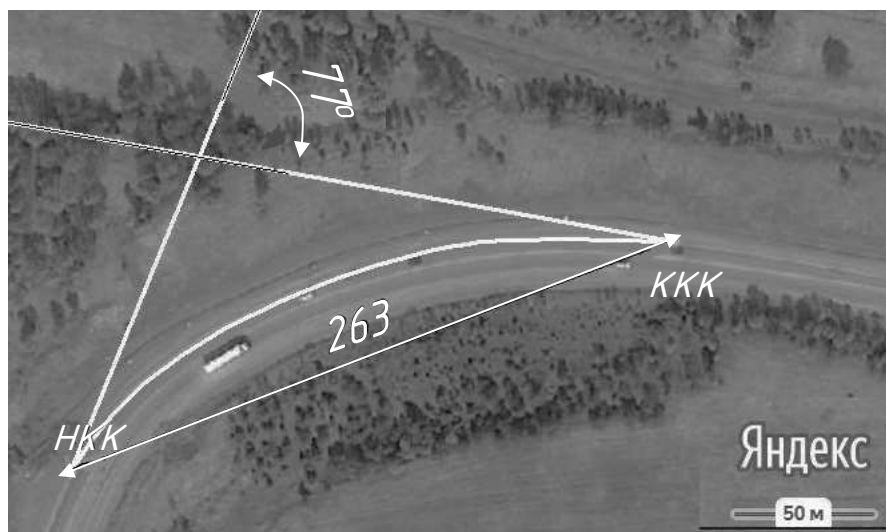


Рисунок 3.7 – Пример определения радиуса кривой

Курвиметром типа КП-203 (дорожное колесо) с использованием жидкостного строительного уровня была определена видимость. Процесс измерения расстояния с помощью КП-203 между двумя наблюдателями с вешками представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Измерения линейных размеров

Таким образом, натурный эксперимент по определению геометрических элементов автомобильных дорог был выполнен по существующим методикам с помощью мобильного и компактного оборудования.

### 3.3. Методика определения коэффициента сцепления

Так как необходимо установить влияние рассматриваемых факторов на количество ДТП, нужно знать коэффициент сцепления шин с дорогой в момент ДТП, поэтому был проведен анализ карточек ДТП (рисунок 3.9) на выбранных участках.


ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОИСШЕСТВИЯ				Схема	
Дата	02.02.2017	Время	21:50		
Широта	55.1525	Долгота	93.1017		
Номер ДТП		Вид ДТП	Опрокидывание		
Адрес	Манский р-н				
Дорога	Р-255 Сибирь Новосибирск - Кемерово - Красноярск - Иркутск (основное направление), 898км 200м				
Значение дороги	Федеральная (дорога федерального значения)				
Категория дороги	5				
Категория улицы	Вне НП				
<hr/>					
ДОРОЖНЫЕ УСЛОВИЯ					
Объекты УДС на месте ДТП	- Перегон (нет объектов на месте ДТП)				
Объекты УДС вблизи места ДТП	- Отсутствие в непосредственной близости объектов УДС и объектов притяжения				
Недостатки транспортно-эксплуатационного содержания улично-дорожной сети	-				
Факторы, оказывающие влияние на режим движения	-				
Состояние погоды	- Пасмурно				
<b>Состояние проезжей части</b>	<b>- Сухое</b>				
Освещение	В темное время суток, освещение отсутствует				
Изменения в режиме движения	Режим движения не изменялся				
<hr/>					
УЧАСТНИКИ					
Количество ТС	1	Число участников	3	Число погибших	0
				Число раненых	2

Рисунок 3.9 – Образец карточки ДТП

Из рисунка 3.9 видно, что в карточке ДТП указывается не значение коэффициента сцепления, а состояние проезжей части.

В экспертизе ДТП при определении замедления ТС коэффициент сцепления шин с дорогой выбирается в зависимости от состояния опорной поверхности [66].

Значение коэффициента сцепления в зависимости от состояния опорной поверхности представлено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значение коэффициента сцепления в зависимости от состояния опорной поверхности

Тип покрытия дороги	Коэффициент сцепления шин	
	Сухое покрытие	Мокрое покрытие
Асфальтобетонное или цементобетонное покрытие	0,7–0,8	0,35–0,45
Щебеночное покрытие	0,6–0,7	0,3–0,4
Грунтовая дорога	0,5–0,6	0,2–0,4
Дорога, покрытая укатанным снегом	0,2–0,3	0,2–0,3
Обледенелая дорога	0,1–0,2	0,1–0,2

Таким образом, в ходе анализа статистических данных было определено среднее значение коэффициента сцепления в момент ДТП для каждого рассматриваемого участка.

### **3.4. Методика определения параметров транспортного потока**

#### **3.4.1. Методика определения интенсивности и структуры транспортного потока**

Согласно ГОСТ 32965–2014 [26] существует два метода учёта интенсивности движения: 1) автоматизированный; 2) визуальный.

Применяемые методы учёта интенсивности движения транспортного потока на автомобильных дорогах предназначены для получения и накопления информации о структуре транспортного потока и общем количестве транспортных средств, проходящих в единицу времени через поперечное сечение дороги в каждом из разрешенных направлений движения.

Для определения интенсивности движения дорожный сегмент разбивается на перегоны и подходы к населённым пунктам. Границей перегона или подхода может быть пересечение (примыкание) с другой дорогой, населённый пункт и другое место, где структура и интенсивность движения изменяются более чем на

15 %. На каждом перегоне или подходе определяется место дислокации пункта учёта таким образом, чтобы для транспортного потока не было объездных путей. На автомобильных дорогах с количеством полос четыре и более учёт интенсивности движения следует проводить в прямом и обратном направлении отдельно.

Визуальный учёт интенсивности движения осуществляется в два этапа с помощью видеофиксации, которая позволяет:

- 1) идентифицировать типы, конструктивные и технические особенности всех транспортных средств, движущихся в потоке;
- 2) определить интенсивность движения визуальным методом по видеофайлам.

Учёт интенсивности движения проводится в светлое время суток в течение часа [22]. Обработка результатов учёта интенсивности движения заключается в расчёте характеристик транспортного потока.

Среднегодовую суточную интенсивность движения для каждой  $i$ -й группы транспортных средств определяют по выражению

$$N_{CC(i)} = \frac{1}{m} \cdot \sum_1^m N_i \cdot K_{CЧ} \cdot K_{CD} \cdot K_{CM}, \quad (3.3)$$

где  $N_i$  – количество ТС в группе;

$m$  – количество выполненных учётов интенсивности движения;

$K_{CЧ}$  – коэффициент часа;

$K_{CD}$  – коэффициент дня недели;

$K_{CM}$  – коэффициент месяца;

Значения коэффициентов принимаются по ГОСТ 32965–2014 таблицы К.1–К.4 [26].

Общую среднегодовую суточную интенсивность движения определяют по выражению

$$N_{CC} = \sum_1^k N_{CC(i)}, \quad (3.4)$$

где  $k$  – количество групп/категорий транспортных средств.

Максимальную суточную интенсивность движения рассчитывают по выражению

$$N_{\text{сут max}} = \frac{N_{\text{CC}}}{K_{\text{CD min}} \cdot K_{\text{CM min}}}, \quad (3.5)$$

где  $N_{\text{CC}}$  – среднегодовая суточная интенсивность движения ТП, авт./сут.;

$K_{\text{CD min}}$  – наименьшее значение коэффициента дня недели;

$K_{\text{CM min}}$  – наименьшее значение коэффициента месяца.

Для учёта структуры транспортного потока все ТС в потоке были разделены на четыре группы по категориям [22]. Категории были соотнесены с ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств»:

1) L (мототранспортные средства);

2) M<sub>1</sub> (ТС, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения – легковые автомобили);

3) M<sub>2</sub> и M<sub>3</sub> (ТС, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, технически допустимая максимальная масса которых не превышает 5 т, а также максимальная масса которых превышает 5 т);

4) N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> (ТС, используемые для перевозки грузов – автомобили грузовые и их шасси) [120].

Для более детального анализа были изучены индивидуальные особенности компоновки автомобилей в соответствии с их классификацией. Конструктивные особенности ТС различных категорий представлены в приложении В таблице В.1

К индивидуальным особенностям автомобилей, способствующим их визуальной идентификации, можно отнести следующие специфические параметры:

– ТК категории M<sub>1</sub> имеют малые габаритные размеры и обширную цветовую гамму по сравнению с другими ТС;

– ТС категории N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> имеют четко выраженную водительскую кабину и большое лобовое стекло;

– ТС категории M<sub>2</sub> имеют четко выраженное выпуклое лобовое стекло;

– ТС категории M<sub>3</sub> имеют прямоугольную форму [108].



Автомобильная дорога \_\_\_\_\_

Место учета \_\_\_\_\_ км

Число полос движения \_\_\_\_\_

Дата учета \_\_\_\_\_  
(число, месяц, год, день недели)

Время учета: начало \_\_\_\_\_ окончание \_\_\_\_\_  
(часы) (часы)

Направление движения из \_\_\_\_\_ в \_\_\_\_\_  
(населенный пункт) (населенный пункт)

Категория ТС	Количество ТС																																									
	ч - ч												ч - ч												ч - ч																	
L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
M1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36											
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47											
	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	48	49	50	51	52	53	54															
M2/M3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	26	27	28	29	30	31	32	33	34													
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	26	27	28	29	30	31	32	33	34													

Рисунок 3.10 – Форма учёта интенсивности

Используемая форма учёта интенсивности движения (рисунок 3.10) составлена на основе формы, представленной в ГОСТ 32965–2014 [26].

### 3.4.2. Методика определения скоростного режима и дистанции между ТС

Для определения скорости движения ТС на основе видеозаписи были проведены замеры времени прохождения участка дороги.

Для этого были проведены следующие действия:

1. Определяли контрольный створ протяжением 100 м. На его границах закрепляли вешки или делали метки на проезжей части.
2. На въездном створе фиксировали момент наезда заднего колеса автомобиля на контрольный створ.
3. Определяли время прохождения автомобилем контрольного створа, которое заносили в журнал.

В случаях, когда контрольный створ дороги не помещался в объектив камеры

из-за типа местности, наличия обрывов либо других препятствий замер производили двумя наблюдателями следующим образом:

1. Учётчики занимали позиции для съёмки таким образом, чтобы на видео можно было зафиксировать госномер автомобиля и учётчик не мешал дорожному движению.
2. Расстояние между учётчиками фиксировали с помощью курвиметра.
3. Оба учётчика фиксировали порядковый номер автомобиля и время прохождения метки. Для фиксации времени учётчики пользовались одним и тот же интернет-ресурс времени онлайн.
4. На основе видеозаписи были соотнесены порядковые номера ТС и госномера.
5. На основе имеющихся данных от каждого учётчика была заполнена итоговая таблица для определения средней скорости на рассматриваемом дорожном створе, фрагмент которой представлен на рисунке 3.11.

1 Длина створа 300 м						
2						
3 Первый наблюдатель		3 Второй наблюдатель		3 Результаты		
4 Гос. Номер	4 Время фиксации	4 Гос. Номер	4 Время фиксации	4 Время прохождения	4 Скорость ТС, км/ч	
5 У456ВН	14:20:03	У456ВН	14:20:24	0:00:21	51,4	
6 Н783МУ	14:20:56	Н783МУ	14:21:14	0:00:18	60,0	
7 А867РО	14:22:14	А867РО	14:22:31	0:00:17	63,5	
8 К909ВО	14:22:33	К909ВО	14:22:51	0:00:18	60,0	
9 С803КУ	14:22:47	С803КУ	14:23:06	0:00:19	56,8	
10 М404ТР	14:23:08	М404ТР	14:23:25	0:00:17	63,5	
11 А907ВК	14:23:23	Р005КЕ	14:23:38	0:00:15	72,0	
12 Р005КЕ	14:23:25	А907ВК	14:23:47	0:00:22	49,1	
13 К322ОК	14:24:00	К322ОК	14:24:20	0:00:20	54,0	
14 Х481АН	14:24:11	Х481АН	14:24:32	0:00:21	51,4	
15 У123КВ	14:24:39	У123КВ	14:24:58	0:00:19	56,8	
16 С346ТМ	14:24:52	С346ТМ	14:25:12	0:00:20	54,0	
17 С178СН	14:25:15	С178СН	14:25:36	0:00:21	51,4	
18 М300НЕ	14:25:20	М300НЕ	14:25:43	0:00:23	47,0	
19 Т678ВЕ	14:25:23	Т678ВЕ	14:25:45	0:00:22	49,1	

Рисунок 3.11 – Образец таблицы фиксации ТС

Зная пройденный путь и время, скорость движения можно определить по выражению (3.6) [16]:

$$V = 3,6 \cdot S/t, \quad (3.6)$$

где  $S$  – расстояние между столбами,  $S=25$  м;

$t$  – время прохождения заданного участка, с.

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

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}, \quad (3.7)$$

Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС фиксировалась при их движении группами (от трех ТС):

$$\Delta V = V_1 - V_2, \quad (3.8)$$

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 согласно теории автомобиля:

$$S_{\text{ост}} = V_H \cdot (t_{\text{рв}} + t_3 + 0,5 \cdot t_H) + \frac{V_H^2 \cdot k_3}{2 \cdot g \cdot \varphi}, \quad (3.9)$$

где  $t_{\text{рв}}$  – время реакции водителя,  $t_{\text{рв}}=0,8$  с;

$t_3$  – время запаздывания,  $t_3=0,2$  с;

$t_H$  – время нарастания давления в приводе,  $t_H=0,4-0,5$  с.;

$\varphi$  – коэффициент сцепления шин с дорогой для сухого асфальта  $\varphi =0,7-0,8$ , для мокрого асфальта  $\varphi =0,3-0,4$ );

$k_3$  – коэффициент эффективного торможения. В расчётах принимают следующие показатели: на опорной поверхности при  $\varphi \geq 0,4$  для легковых автомобилей  $k_3 = 1,2$ , грузовых –  $k_3 = 1,3-1,4$ ; при  $\varphi < 0,4$  для всех автомобилей  $k_3 = 1$ ;

$V_H$  – начальная скорость движения;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g =9,8$  м/с<sup>2</sup> [41].

Также на втором этапе эксперимента была определена дистанция между ТС.

Замеры расстояний между ТС проводились с помощью «КОМПАС 3D V16» на основе видеозаписи, сделанной на исследуемом участке дороги [143].

По методу подобия и заранее известному расстоянию, определенному с помощью дорожного колеса, вычислялась дистанция между ТС, движущимися в од-

ном направлении. Образец определения дистанции между ТС представлен на рисунке 3.12.

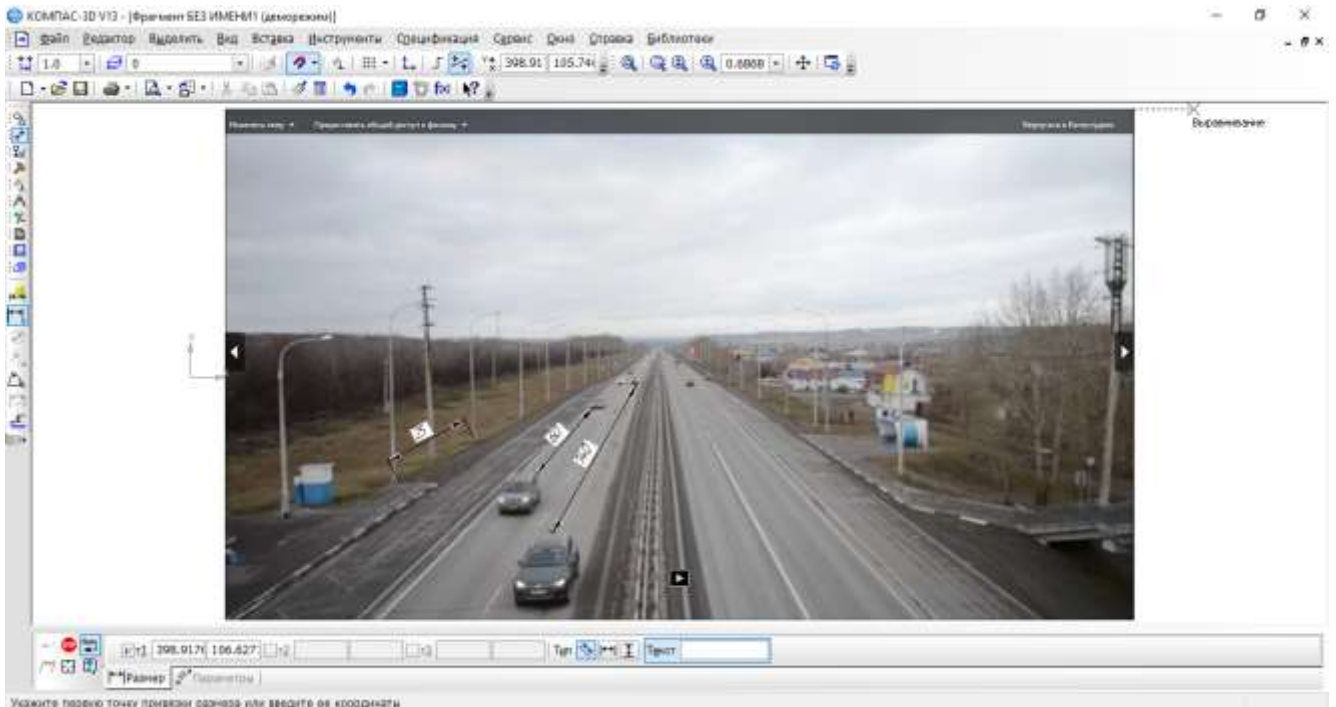


Рисунок 3.12 – Образец определения дистанции между ТС

Далее с помощью Microsoft Excel строился график, для сравнения теоретического тормозного пути и фактической дистанции между ТС.

### 3.4.3. Методика определения качественных состояний транспортного потока

Для характеристик различных состояний потока используют понятия «коэффициент загрузки движением» и «плотность движения». Под коэффициентом загрузки движения  $z$  понимается отношение интенсивности движения  $N$  к пропускной способности данного участка  $P$ :

$$z = \frac{N}{P}. \quad (3.10)$$

Величина  $z$  может принимать любые значения от 0 до 1.

При оценке практической пропускной способности  $P$  в конкретных дорожных условиях рекомендуется использовать уравнение:

$$P = \beta \cdot P_{\max}, \quad (3.11)$$

где  $\beta$  – итоговый коэффициент снижения пропускной способности, равный произведению частных коэффициентов, которые описаны в методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог;

$P_{\max}$  – максимальная практическая пропускная способность, легковых авт./ч [76].

Плотность движения потока – число автомобилей на 1 км дороги. Плотность движения связана с основными характеристиками движения потока автомобилей формулой:

$$q = \frac{N}{V}, \quad (3.12)$$

где  $q$  – плотность потока, авт./км;

$N$  – интенсивность движения, авт./ч;

$V$  – скорость, км/ч.

### 3.5. Обработка первичного массива данных

Экспортирование видеофайлов и их обработка проводились с применением Windows Movie Maker, Microsoft Excel и SPSS Statistics [17]. Для этого требуется:

1. Открыть программу Windows Movie Maker.
2. Открыть необходимый видеофайл.
3. Проанализировать полученный трек, провести раскадровку.
4. Зафиксировать данные в таблице Microsoft Excel [11].
5. Привести данные к необходимым единицам измерений [38].
6. На основе полученных данных определить интенсивность и структура транспортного потока.
7. На основе полученных данных определить время прохождения ТС выделенного сегмента, рассчитать скорость движения каждого автомобиля в отдельности и среднюю скорость транспортного потока.;
8. На основе видеозаписи и полученных данных определить разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.
9. Определить погрешности полученных экспериментальных данных [67, 73].

На составление банка данных об измеряемых параметрах влияет множество сопутствующих факторов. Полный учёт таких факторов на изучаемые закономерности не представляется возможным, так как они носят случайный характер. Однако метрологическая оценка получаемых результатов с применением методов теории ошибок [15] позволяет повысить достоверность анализа результатов наблюдений. Так как статистическую погрешность фиксации некоторого параметра  $x$  можно представить в виде совокупности систематической и случайной составляющих, то была проведена оценка измеряемых величин [126]. Систематическая погрешность определялась при расчёте скоростного режима ТС и учитывалась при дальнейшей обработке данных. Для этого на каждом рассматриваемом участке выбранный створ несколько раз проходилась контрольным автомобилем с одинаковой скоростью для определения погрешности измерений.

Среднее арифметическое значение результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.13)$$

где  $x_i$  – результат измерений;

$n$  – число результатов измерений.

Среднее квадратическое отклонение группы, содержащей результаты измерений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3.14)$$

Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценки измеряемой величины) [32]:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.15)$$

10. Определить необходимый объем выборки данных.

Объем выборки определялся по уравнению, рекомендуемому В. В. Сильяновым:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (3.16)$$

где  $t$  – показатель кратности ошибки;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;

$\Delta$  – величина допустимой ошибки.

11. Завершающим этапом обработки данных является их подготовка для выявления наличия связей и зависимостей между рассматриваемыми факторами.

### 3.6. Применяемые методы обработки экспериментальных данных

Корреляционно-регрессионный анализ – это один из наиболее широко распространенных и гибких приемов обработки статистических данных.

Задачи корреляционного анализа сводятся к выделению важнейших факторов, которые влияют на результативный признак: измерение тесноты связи между факторами; выявление неизвестных причин связей и оценке факторов, оказывающих максимальное влияние на результат [11, 50].

Зная коэффициент корреляции, можно давать качественно-количественную оценку тесноты связи. Статистическую оценку коэффициента парной корреляции, значение которого может меняться в интервале от -1 до 1, проводят путем сравнения его абсолютной величины с табличным (или критическим) показателем  $r_{\text{крит}}$ , величина которого отыскивается в специальной таблице.

Если окажется, что  $r_{\text{расч}} > r_{\text{крит}}$ , то с заданной степенью вероятности (обычно 95 %) можно утверждать, что между рассматриваемыми числовыми совокупностями существует значимая линейная связь или, формулируя иначе, гипотеза о значимости линейной связи не отвергается.

В случае же обратного соотношения, т.е. при  $r_{\text{расч}} < r_{\text{крит}}$ , делается заключение об отсутствии значимой связи [67, 126].

В качестве статистического показателя может быть использован коэффициент (индекс) детерминации (причинности)  $R^2$ . Он показывает, в какой мере изменчивость  $y$  (результативного признака) объясняется поведением  $x$  (факторного признака), значение этого коэффициента находится в пределах от 0 до 1, чем оно больше, тем меньше влияние неучтенных факторов [11].

Задачей регрессионного анализа является установление форм зависимостей, определение уравнения регрессии и его использование для оценки неизвестных

значений зависимой переменной, а также прогнозирование возможных значений результативного признака при задаваемых значениях факторных признаков.

При использовании корреляционно-регрессионного анализа необходимо соблюдать следующие требования:

1. Совокупность исследуемых исходных данных должна быть однородной и математически описываться непрерывными функциями.
2. Все факторные признаки должны иметь количественное (цифровое) выражение.
3. Необходимо наличие массовости значений изучаемых показателей.
4. Причинно-следственные связи между явлениями и процессами могут быть описаны линейной или приводимой к линейной форме зависимости.
5. Не должно быть количественных ограничений на параметры модели связи.
6. Необходимо обеспечить постоянство территориальной и временной структуры изучаемой совокупности [40].

При изучении связи применяют различного вида уравнения прямолинейной и криволинейной связи.

В случае криволинейных зависимостей используют математические функции следующего вида:

гиперболическая	$y = b_0 + \frac{b_1}{x},$	(3.17)
-----------------	----------------------------	--------

показательная	$y = b_0 + b_1^x,$	(3.18)
---------------	--------------------	--------

степенная	$y = b_0 \cdot x^{b_1},$	(3.19)
-----------	--------------------------	--------

параболическая	$y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2,$	(3.20)
----------------	--	--------

логарифмическая	$y = b_0 + b_1 \cdot \lg x,$	(3.21)
-----------------	------------------------------	--------

экспоненциальная	$y = b_0 \cdot \exp(b_0 x),$	(3.22)
------------------	------------------------------	--------

другие [18].

Решение математических уравнений связи предполагает вычисление по исходным данным их параметров (свободного члена  $b_0$  и коэффициентов регрессии  $b_1, b_2, \dots$ ) [11].



Для определения вероятности возникновения события  $P$  использовалось следующее выражение:

$$P = \frac{m}{n}, \quad (3.23)$$

где  $m$  – число исходов, благоприятствующих событию;

$n$  – общее число исходов [12].

Таким образом, для обработки экспериментальных данных применяли несколько различных методов.

### 3.7. Выводы по главе

1. Для оценки влияния параметров транспортного потока и характеристик дорог на БДД на территории Красноярского края на основе статистических данных и изображений со спутника было выбрано 20 различных по конфигурации и аварийности участков (637, 670, 711, 714, 726, 737, 743, 763, 770, 772, 777, 785, 796, 799, 854, 879, 898, 913 км ФАД Р-255 и 24 и 30 км на ФАД Р-257). В число рассматриваемых участков вошли все те, которые на протяжении 5 лет были отмечены как аварийно-опасные. С целью охвата исследованием максимально широкого диапазона условий движения фиксация данных проводилась для каждого из участков в разное время года.

2. Для проведения эксперимента подобрано необходимое оборудование, соответствующие следующим требованиям:

- мобильность, компактность, простота установки и применения;
- возможность транспортировки на дальние расстояния;
- возможность непрерывного измерения и фиксации параметров, характеризующих движение ТС;
- возможность передачи результатов измерений на ПК с целью последующей обработки и анализа.

3. Для выявления зависимостей, характеризующих влияние геометрических элементов, был выполнен эксперимент с использованием измерительной металли-

ческой рулетки, дорожной универсальной рейки и курвиметра, жидкостного строительного уровня.

4. Для выявления зависимостей характеристик транспортного потока и его скоростного режима выполнялся эксперимент с использованием видеозаписей, сделанных на исследуемых участках. Интенсивность и структура транспортного потока определялись визуально, для выявления скоростного режима были использованы Windows Movie Maker и Microsoft Excel. Дистанция между ТС определялась методом подобия с помощью КОМПАС 3D V13.

5. Для обработки данных был использован корреляционно-регрессионный анализ и теория вероятности.

## **ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **4.1. Результаты натурных исследований**

#### **4.1.1. Результаты определения геометрических элементов автомобильных дорог**

В ходе определения геометрических элементов автомобильных дорог выявлено, что один из рассматриваемых участков относится к автомобильным дорогам категории IV; два участка относятся к категории II, остальные участки – к дорогам категории III.

Конфигурация рассматриваемых участков представлена в приложении Г [140, 146], результаты определения геометрических элементов автомобильных дорог по каждому участку представлены в таблице Д.1.

Анализ данных показал, что ширина полосы движения, обочины, разделительной полосы в летнее, осенне-весеннее время соответствует нормативным значениям, указанным в ГОСТ Р 52399–2005 «Геометрические элементы автомобильных дорог» [32, 114].

Организация технологии зимнего содержания федеральных автомобильных дорог осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов [28, 31, 82, 84, 109, 120].

В зимнее время на некоторых участках наблюдается уменьшений эффективной ширины проезжей части из-за снежного наката и снежных валов (рисунок 4.1).

На четырехполосных участках дорог с барьерным ограждением ширина проезжей части уменьшается в полтора раза из-за сложности уборки проезжей части. Также на рассматриваемых участках наблюдается исчезновение четких очертаний границ земляного полотна и сглаживание его форм.



Дата	08.01.2021
Время	12:00

*a*

Дата	08.01.2021
Время	16:20

*б*

Дата	08.01.2021
Время	11:15

*в*

Дата	08.01.2021
Время	17:25

*г*

Рисунок 4.1 – Состояние покрытия и эффективная ширина проезжей части на ФАД Красноярского края: *a* – 711 км Р-255; *б* – 712 км Р-255; *в* – 760 км Р-255; *г* – 762 км Р-255

#### 4.1.2. Результаты исследования интенсивности транспортного потока

В ходе натурного эксперимента было выявлено, что наибольшая интенсивность наблюдается на территории Красноярской агломерации. Данные по средней часовой интенсивности на каждом рассматриваемом участке представлены в таблице Д.1 приложения Д, на рисунке 4.2 представлены данные по среднесуточной интенсивности на рассматриваемых участках.

На части рассматриваемых участков установлены датчики ФКУ Упрдор «Енисей», по показаниям которых в летний период наблюдается рост интенсивности за счёт транзитного транспорта (рисунок 4.3).

Согласно результатам анализа показаний датчиков, на некоторых участках наблюдается значительная разница между фактической и расчётной интенсивностью. Наибольшая разница зафиксирована в летний период. Среднемесячная суточная интенсивность наиболее напряженного в году месяца на 799 км более чем в 2 раза превышает установленную на основе экономических расчётов среднегодовую суточную интенсивность.

Несоответствие расчётных данных фактической интенсивности движения может быть вызвано следующими причинами:

- несоответствие принятых при расчёте технических параметров участка (участков) фактическим параметрам;
- осуществление по участкам дороги технологических перевозок предприятием, не имеющим своих подъездных путей;
- некорректный учёт интенсивности движения;
- наличие не учтённых в расчётах автомобильных дорог или населённых пунктов;
- проведение ремонтных работ на участках дороги в период учёта интенсивности движения [22].

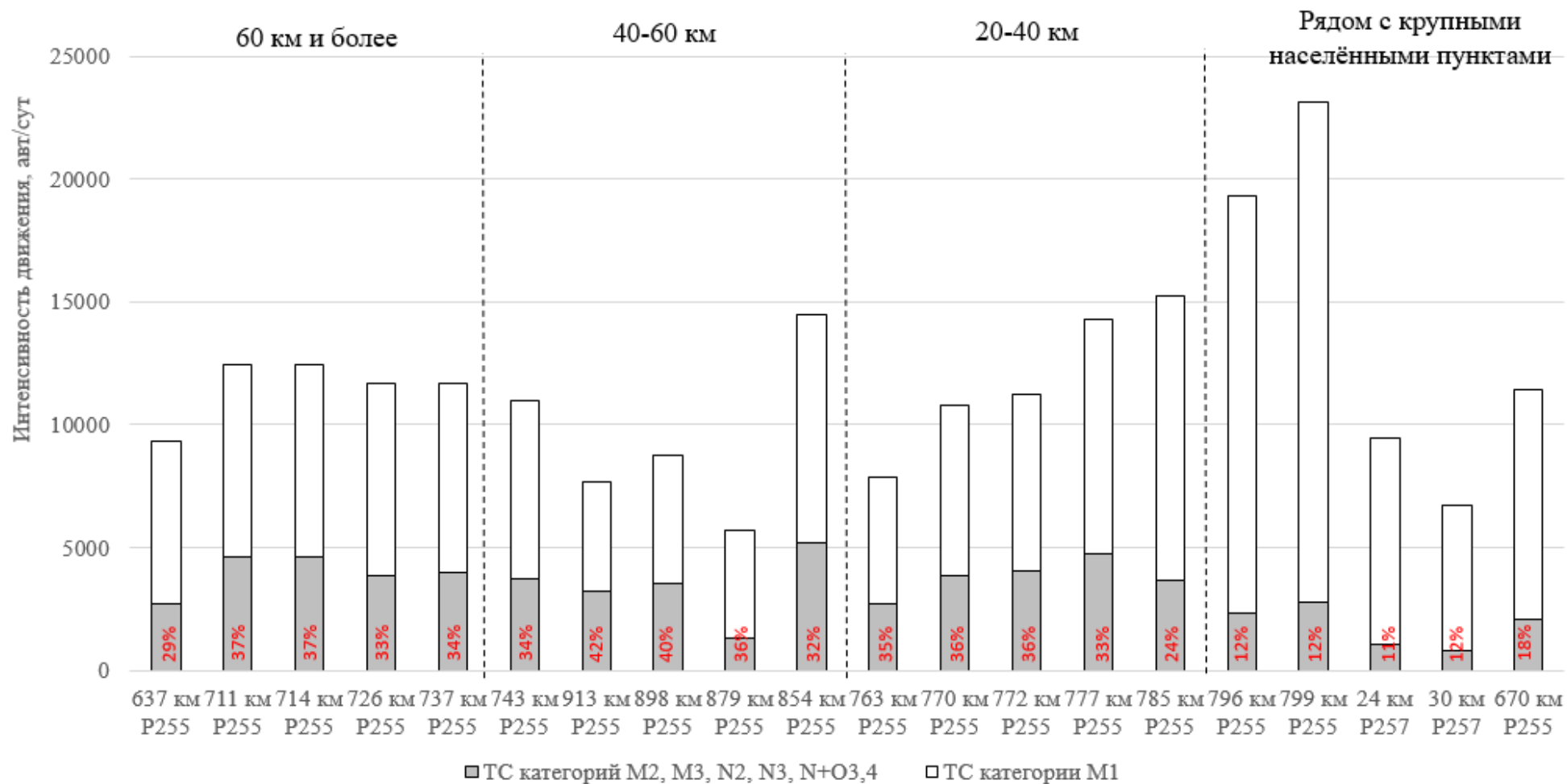


Рисунок 4.2 – Результаты натурального эксперимента по определению интенсивности и структура транспортного потока

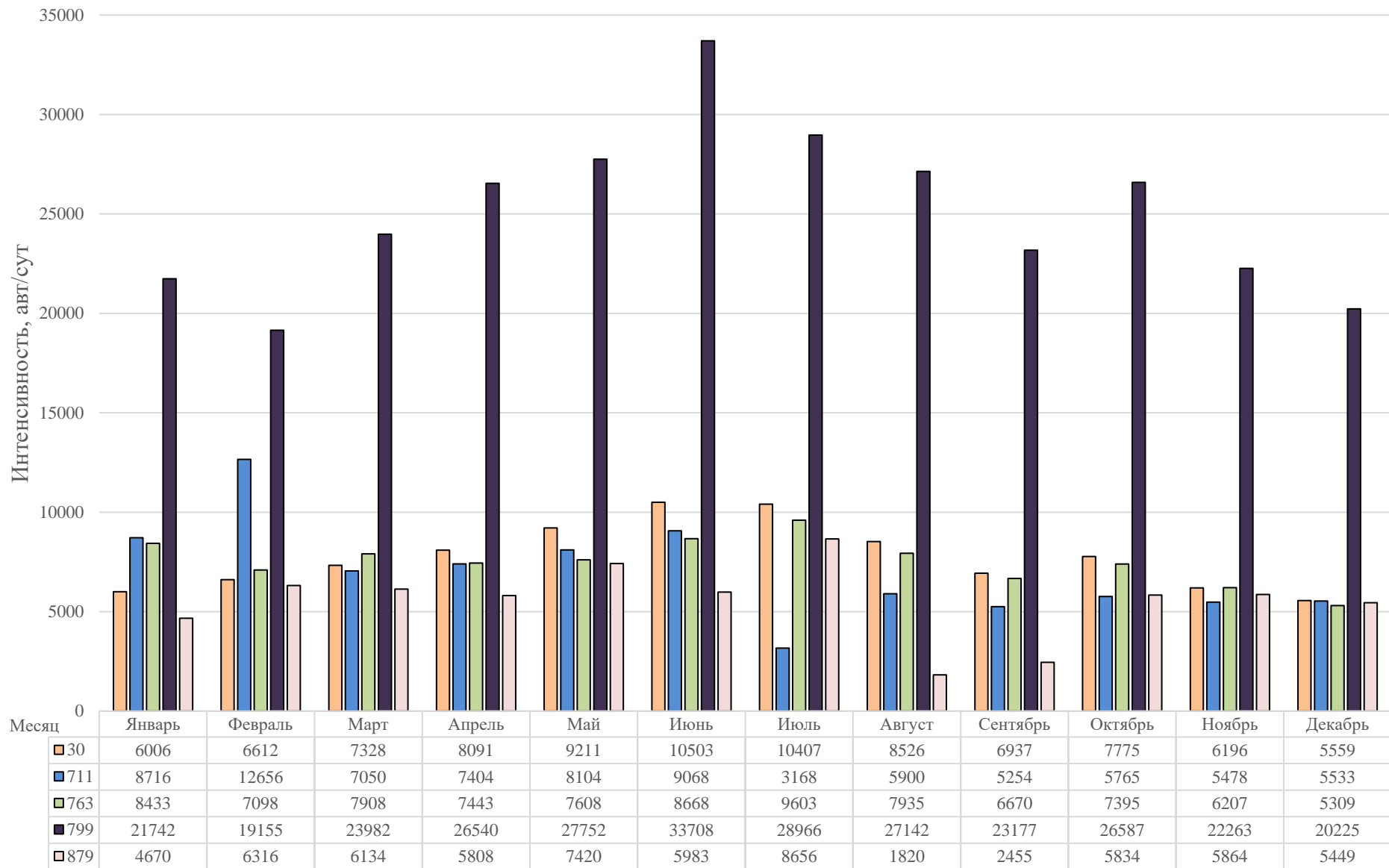


Рисунок 4.3 – Показания датчиков интенсивности движения ФКУ Упрдор «Енисей»

На 799 км ФАД Р-255 в период учёта интенсивности не проводилось никаких ремонтных работ, отсутствовали неучтённые автомобильные дороги. Исходя из вышеперечисленных фактов, можно сделать вывод, что присутствует факт несоответствия принятых при расчёте технических параметров участка (участков) фактическим параметрам.

Натурный эксперимент по определению структуры транспортного потока показал, что в течение часа доля ТС категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  на различных участках дорог колеблется от 5 до 63 % от общего количества зафиксированных ТС. В течение суток данный показатель колеблется от 10 до 42 % в зависимости от участка. Распределение структуры транспортного потока подчиняется нормальному закону распределения (рисунок 4.4).

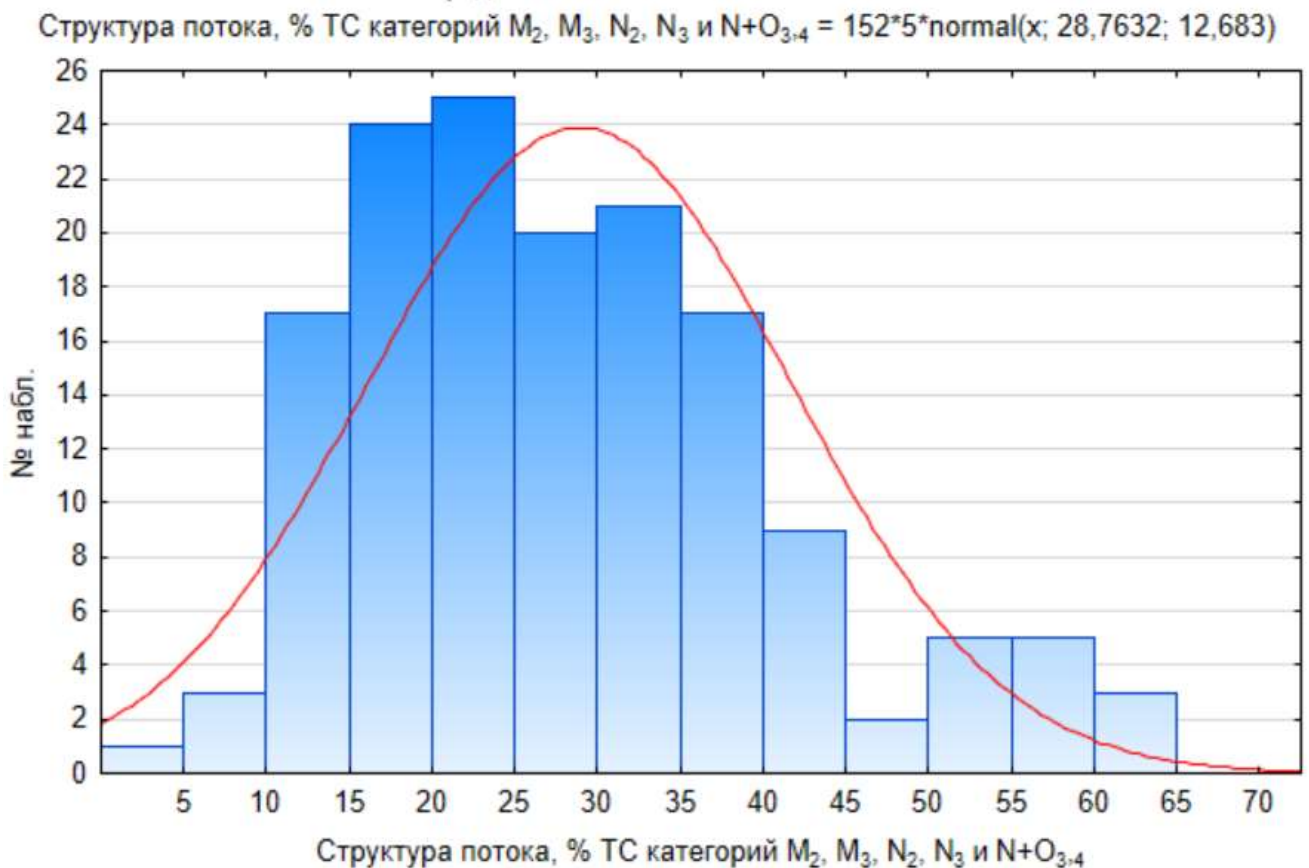


Рисунок 4.4 – Гистограмма распределения структуры транспортного потока

Анализ показаний датчиков интенсивности движения за пять лет на некоторых из рассматриваемых участков выявил, что ежегодно наблюдается увеличение в транспортном потоке ТС категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  (рисунок 4.5).



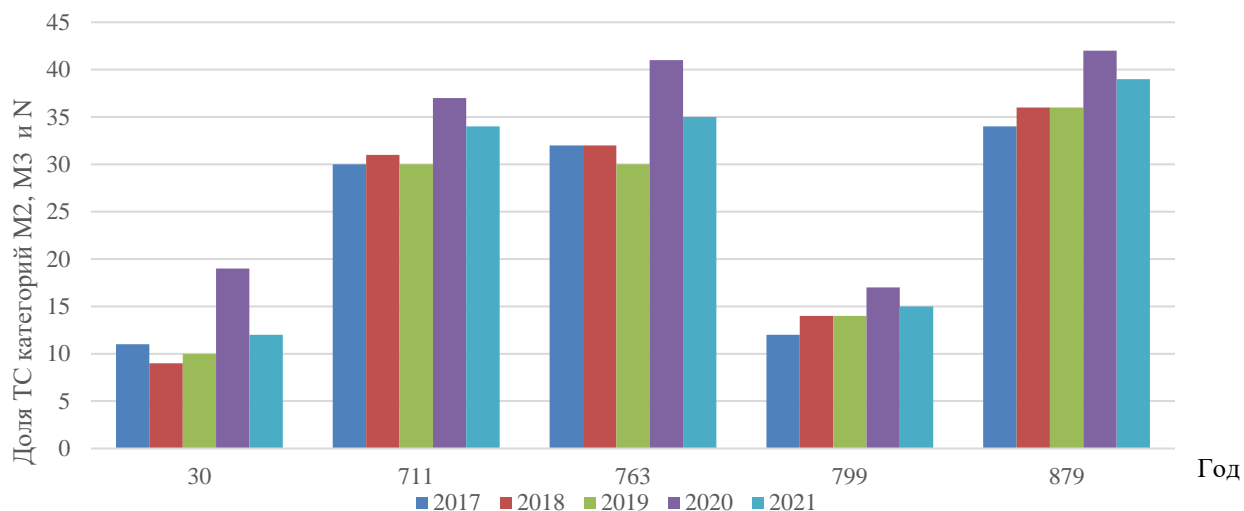


Рисунок 4.5 – Структура транспортного потока по показаниям датчиков интенсивности движения

Анализ структуры транспортного потока показал, что он неоднороден, особенно это заметно на участках, находящихся в значительной отдаленности от Красноярской агломерации. Относительное количество транспортных средств, способствующих замедлению скорости транспортного потока на разных участках, колеблется от 12 до 70 %. Наименьшее количество ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> наблюдается на участках, находящихся в непосредственной близости к Красноярску. При этом на долю ТС категорий М<sub>2</sub> и М<sub>3</sub> в среднем приходится всего от 1 до 2 % транспортного потока. Среднее значение на участках, не входящих в территорию Красноярской агломерации, составляет около 35 % и с каждым годом эта цифра увеличивается.

#### 4.1.3. Результаты исследования скоростного режима

Исследование влияния разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на БДД проводилось на различных участках дороги, в том числе там, 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 (рисунок 4.6), разность скоростей была зафиксирована на 15

из рассматриваемых участков. Результаты исследования скоростного режима представлены в таблице 4.1.

а)



б)



Рисунок 4.6 – Образец нарушения требований дорожных знаков и разметки на аварийно-опасных участках: а) Р-255 770 км, б) Р-255 898 км

Таблица 4.1 – Результаты исследования скоростного режима

Уча- сток	Кол- во ДТП	Скорость движения, км/ч			Разница между мин. и макс.	Сред- няя	Средняя разность
		разрешенная	минимальная	максимальная			
24	4	50	35	89	54	62	16
30	11	70	40	142	102	87	20
637	3	70	43	108	65	77	0
670	2	90	49	137	88	95	0
711	4	90	62	153	91	97	42
714	8	90	58	148	90	95	38
726	2	90	51	126	75	87	0
737	0	90	53	133	80	92	22
743	0	70	55	124	69	87	25
763	3	70	53	136	83	97	39
770	6	90	57	151	94	94	43
772	4	90	46	135	89	95	0
777	1	70	42	123	81	91	15
785	2	70	53	127	74	85	21
796	5	90	51	146	95	96	22
799	9	90	48	145	97	94	25
854	2	90	68	133	65	99	18
879	6	90	47	134	87	91	36
898	9	70	38	115	77	80	38
913	0	70	39	119	80	83	0

Для данных, представленных в таблице 4.1, был произведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты корреляционного анализа скоростного режима

Кол-во ДТП	Разрешенная	Минимальная	Максимальная	Разница между мин и макс	Средняя	Средняя разность	
-	0,02	-0,34	0,27	0,56	-0,07	0,41	Кол-во ДТП
	-	0,63	0,77	0,52	0,78	0,06	Разрешенная
		-	0,59	0,06	0,71	0,22	Минимальная
			-	0,84	0,87	0,36	Максимальная
				-	0,59	0,29	Разница между мин и макс
					-	0,20	Средняя
						-	Средняя разность

В ходе корреляционного анализа выявлено, что существует высокая линейная связь ( $0,7 < r < 0,9$ ) между следующими парами:

разница между макс и мин значениями скорости – максимальная скорость;

средняя скорость – максимальная скорость;

средняя скорость – разрешенная скорость;

максимальная скорость – разрешенная скорость;

средняя скорость – минимальная скорость.

Для пар с высокой линейной связью был произведен регрессионный анализ, в ходе которого определена модель зависимости средней скорости движения ( $y$ ) от разрешенной скорости движения ( $x$ ) (4.1). График зависимости средней скорости движения от разрешенной скорости движения представлен на рисунке 4.7.

$$y = 0,55x + 45,66. \quad (4.1)$$

Для пары «разрешенная скорость движения – максимальная скорость движения» также был произведен регрессионный анализ, в ходе которого для нее была установлена модель зависимости, график которой представлен на рисунке 4.8:

$$y = 9,09x^{0,61}, \quad (4.2)$$

где  $y$  – максимальная скорость движения, км/ч;

$x$  – разрешенная скорость движения, км/ч.

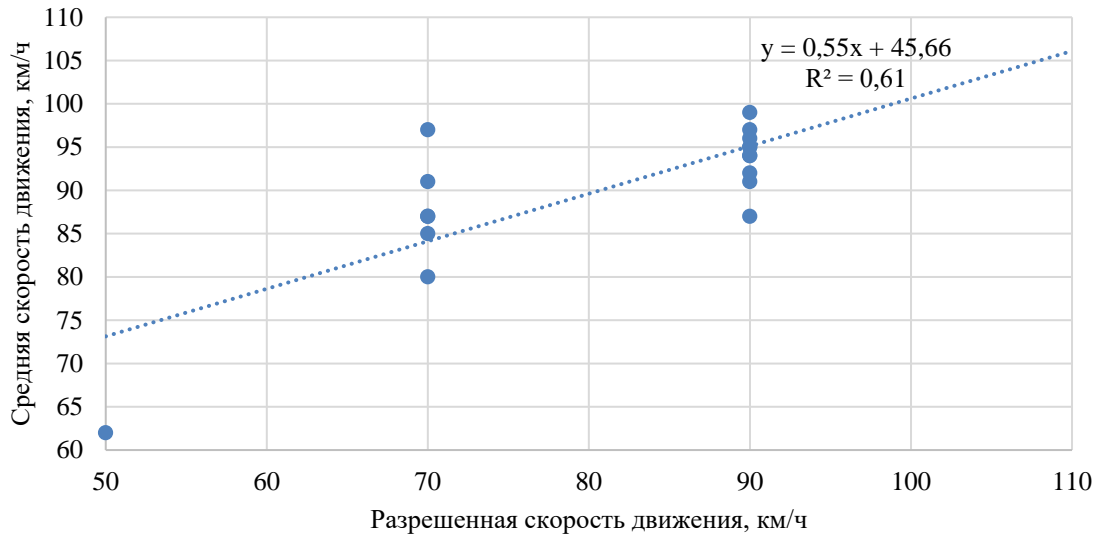


Рисунок 4.7 – График зависимости средней скорости движения от разрешенной скорости движения

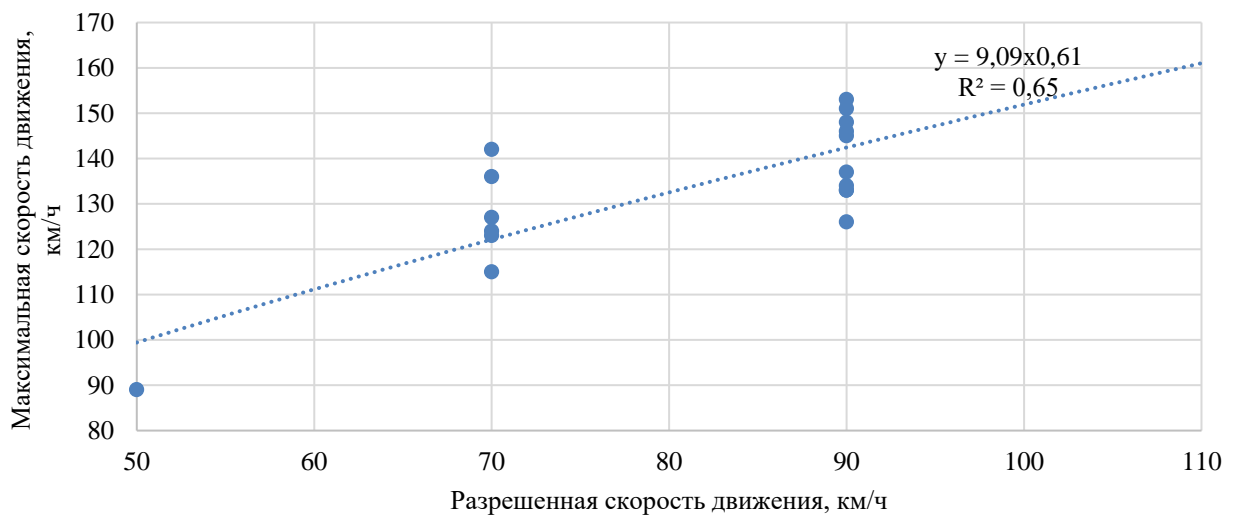


Рисунок 4.8 – График зависимости максимальной скорости от разрешенной скорости движения

Так как на территории Красноярского края максимально разрешенная скорость движения составляет 90 км/ч, графики зависимости средней и максимальной скорости движения от разрешенной скорости движения построены с прогнозом до 110 км/ч для применения данной модели на более скоростных участках при отсутствии реальных данных о скоростях.

Также на основе экспериментальных данных установлена зависимость

между средней скоростью потока  $y$  и максимальной скоростью движения  $x$  на конкретном участке дороги, график зависимости представлен на рисунке 4.9:

$$y = -0,01x^2 + 2,42x - 92,51, \quad (4.3)$$

Максимальная скорость движения ТС ограничивается дорожными условиями и техническими особенностями ТС. В идеальных ДУ и при малой интенсивности единичные легковые ТС могут развивать скорость до 250 км/ч. В ходе эксперимента максимальная зарегистрированная скорость движения ТС составила 153 км/ч. Несмотря на большой размах максимальной скорости движения ТС, используя регрессионную зависимость (4.2), можно спрогнозировать максимальную скорость движения, исходя из средней скорости движения транспортного потока на рассматриваемом участке с вероятностью 85 %.

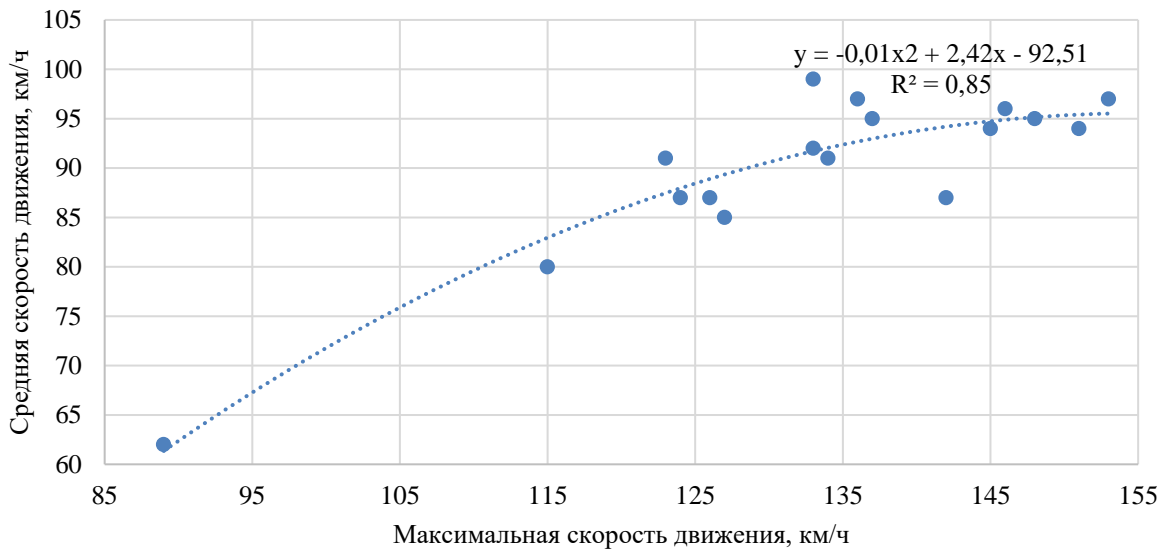


Рисунок 4.9 – График зависимости максимальной скорости от средней скорости движения

На территории Красноярского края на автомобильных дорогах федерального и регионального значения встречаются участки с разрешенной скоростью движения 50, 70 и 90 км/ч. Относительное распределение скоростей движения ТС на различных по скоростному режиму участках представлено на рисунках 4.10 – 4.12.

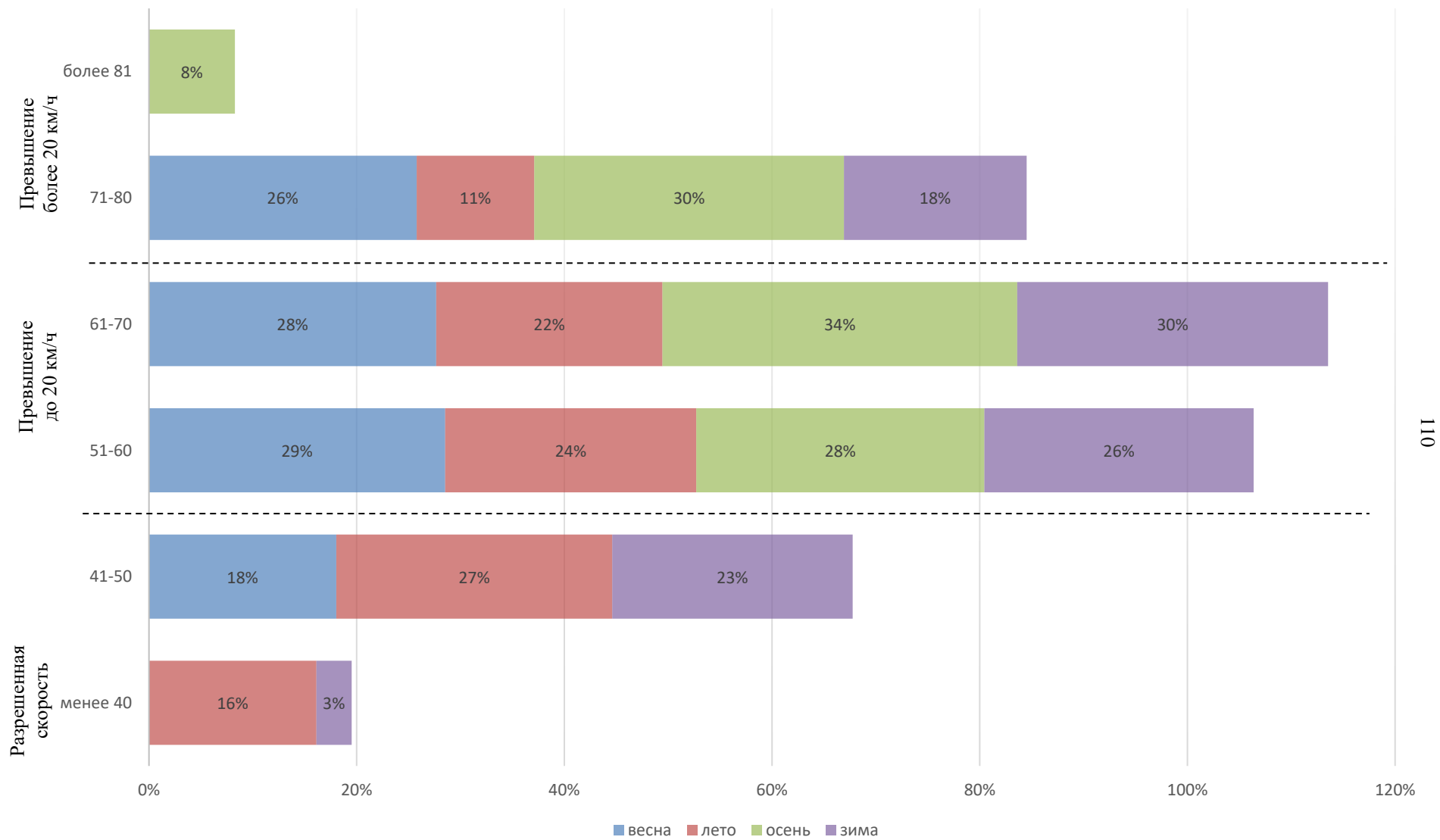


Рисунок 4.10 – Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 50 км/ч

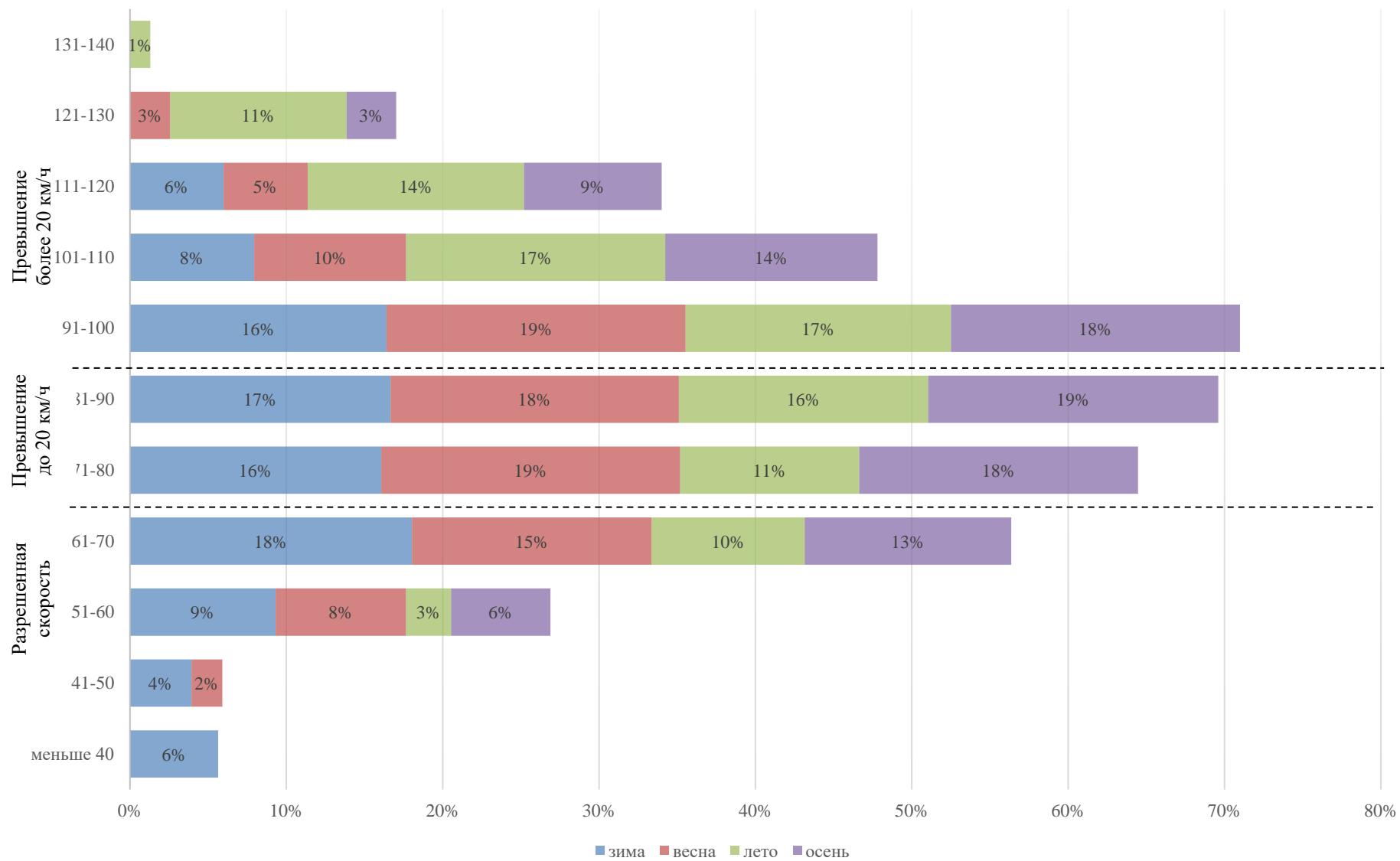


Рисунок 4.11 – Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 70 км/ч

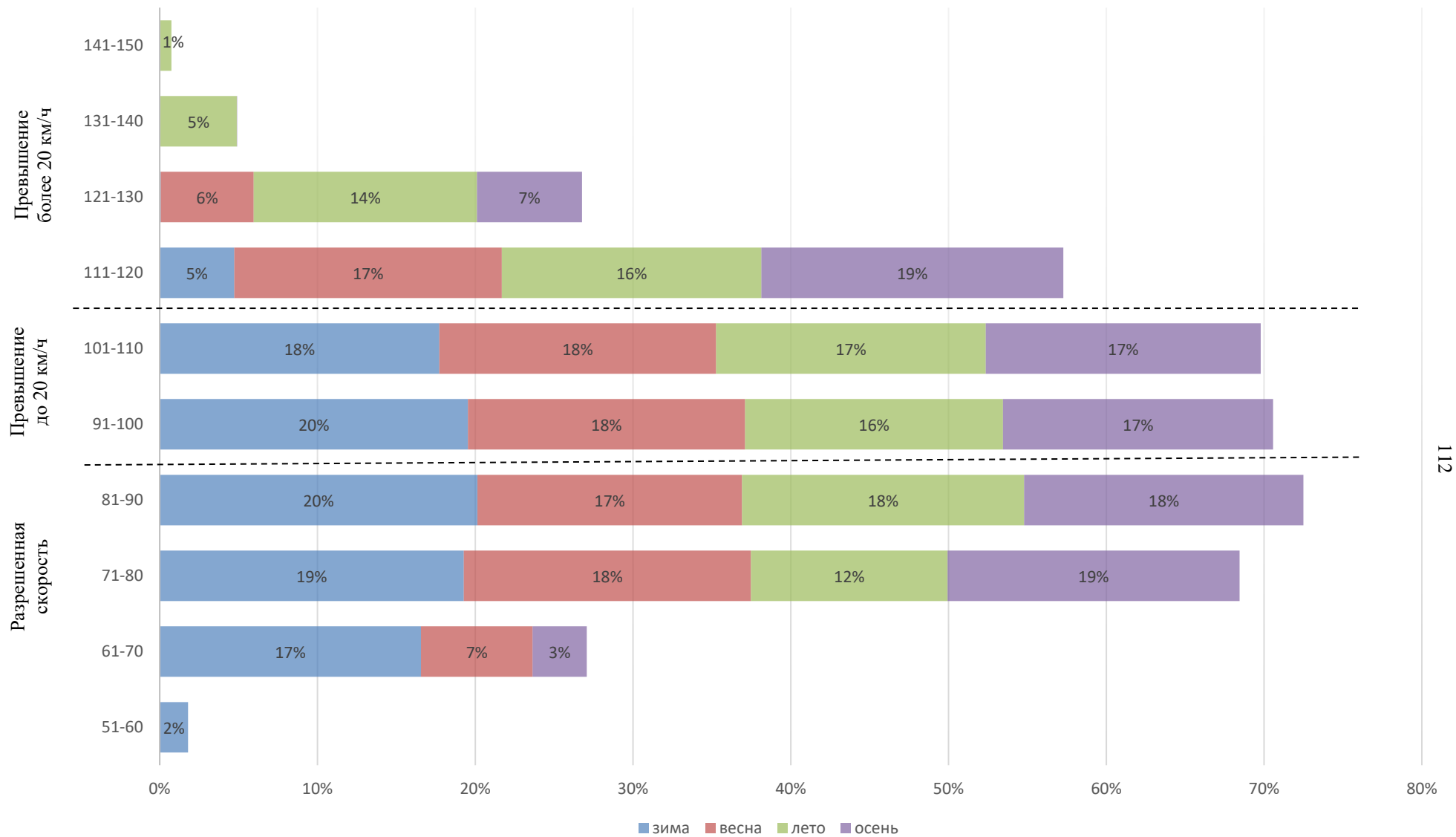


Рисунок 4.12 – Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 90 км/ч



Сравнительный анализ (рисунки 4.10–4.12) показал, что абсолютно на всех участках от 26 до 50 % водителей нарушают скоростной режим. Наименьшее количество нарушений наблюдается в зимний период, а наибольшее – в летний. Наибольший разброс в скоростном режиме наблюдается на участках с разрешённой скоростью движения 70 км/ч, что связано с различными конфигурациями рассматриваемых участков.

Большие значения скоростей (более 110 км/ч) на 711, 714, 796 и 799 км ФАД Р-255 обусловлены техническими характеристиками данных участков. Когда технические характеристики дороги рассчитываются на скорость 120 км/ч, психологически некомфортно двигаться по ней со скоростью вдвое меньше. Это приводит к разрушению правосознательности граждан, так как идет вразрез со здравым смыслом. Провоцирует нарушение ПДД, как следствие, увеличивается вероятность возникновения ДТП.

Также анализ скоростного режима показал, что скорость движения в транспортном потоке неоднородна. Разница в значениях минимальной и максимальной скорости на конкретном участке достигает 100 км/ч, а разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС в отдельных случаях варьируется от 11 до 70 км/ч (рисунок 4.13).

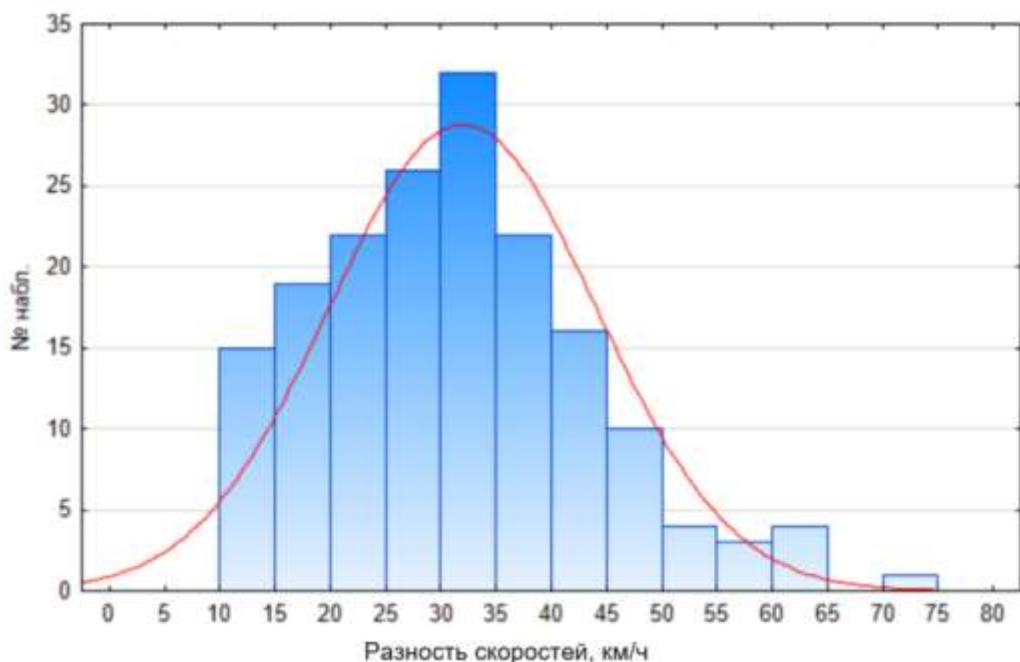


Рисунок 4.13 – Гистограмма разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

В 60 % случаев разность в скорости между обгоняемым и обгоняющим ТС составляет от 21 до 40 км/ч (рисунок 4.13). В среднем разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС составляет 31 км/ч [9].

Средняя разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на рассматриваемых участках представлена на рисунке 4.14.

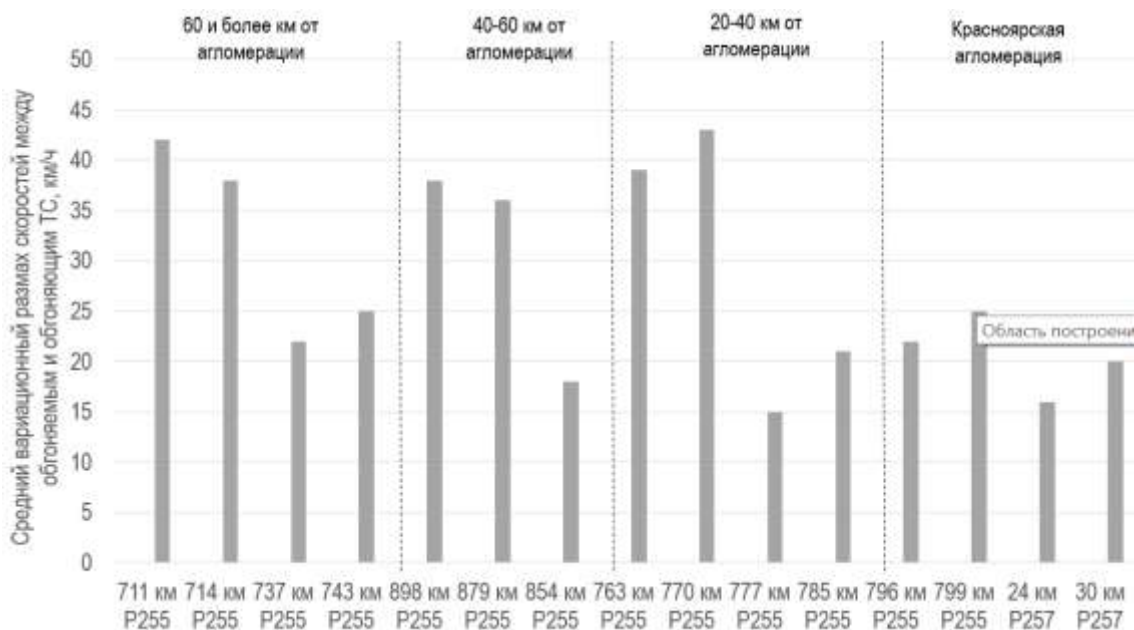


Рисунок 4.14 – Средняя разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на рассматриваемых участках

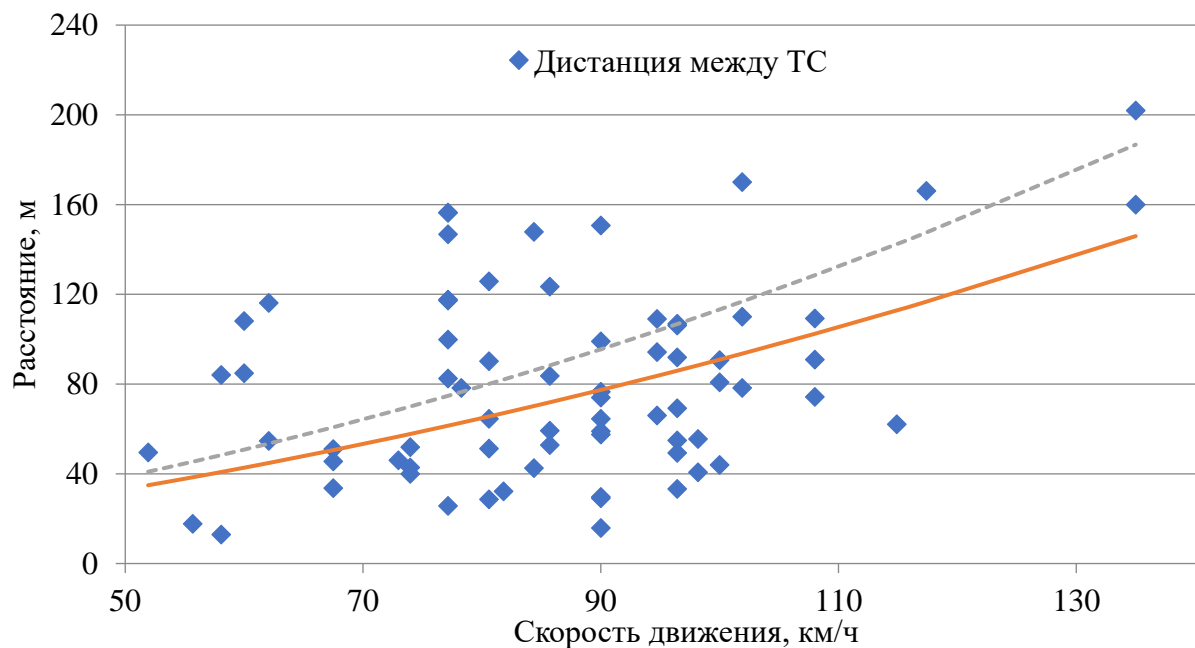
Наименьшая разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС наблюдается на участках автомобильных дорог общего назначения федерального значения, проходящих по территории Красноярской агломерации (рисунок 4.14).

В ходе анализа скоростного режима выявлено, что разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС достигает до 70 км/ч. На 711, 714, 763, 770, 796 и 799 км ФАД Р-255 большинство водителей (65 %), совершающих обгон либо опережение, превысили допустимую скорость движения, а на 898 км ФАД Р-255 все водители, совершающие обгон, превысили допустимую скорость движения, хотя согласно разметке и дорожным знакам обгон на данных участках запрещен. Скорость обгона на 898 км ФАД Р255 обусловлена

конфигурацией участка: для совершения подъема в гору водители набирают скорость у подножья горы, так как обгон запрещен и видимость на данном участке ограничена, водители специально превышают скорость, чтобы завершить маневр максимально быстро.

Между обгоняемым и обгоняющим ТС на 670 км и 726 км отсутствует разность скоростей, так как в момент наблюдений обгоны на данных участках не совершались. Это обусловлено конфигурацией данных участков. Замеры проводились на сегменте дороги, где есть мост и запрещен обгон. Разрешенная скорость движения на данных участках составляет 90 км/ч.

Так как выявлено нарушение скоростного режима, был произведен анализ дистанции между ТС. Для анализа был выбран 796 км Р-255, так как именно на данном участке наибольшее количество столкновений в попутном направлении. По описанной методике в п. 3.5 был рассчитан теоретический тормозной путь для сухого и мокрого асфальта. Результаты расчёта даны в виде графика (рисунок 4.15).



Теоретический остановочный путь, м	Скорость движения, км/ч									
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
— (на сухом асфальте)	30,4	39,4	49,4	60,4	72,4	85,3	99,3	114,2	130,1	
..... (на мокром асфальте)	42,7	57,1	73,5	91,9	112,2	134,5	158,8	185,1	213,3	

Рисунок 4.15 – Зависимость теоретического остановочного пути от начальной скорости торможения

Анализ дистанции между ТС и теоретического тормозного пути показал, что расстояния между ТС, движущимися в одном направлении недостаточно для торможения в экстренной ситуации в 48 % случаев. На мокром асфальте и такой же дистанции между ТС расстояния недостаточно в 62 % случаев.

Анализ скоростного режима показал, что в 50 % случаев скорость движения единичных ТС превышает максимально допустимую скорость движения на рассматриваемых участках. Также выявлена разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС (от 10 до 70 км/ч). В среднем скорость обгоняющего ТС больше скорости обгоняемого ТС на 30 км/ч.

#### **4.1.4 Результаты исследования качественных показателей транспортного потока**

Значения параметров, характеризующих транспортный поток, уникальны для каждого рассматриваемого участка. В таблице 4.3 приведены качественные показатели транспортного потока на ФАД Красноярского края.

Несмотря на низкие коэффициенты загрузки движением для ФАД на территории Красноярского края характерно движение ТС как малыми группами (2–5 шт.), так и большими группами (5–14 шт.). В основном на ФАД Красноярского края характерно движение ТС группами 5–14 ТС, что вызвано следующими факторами:

1. Значительное количество ТС категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  в транспортном потоке (рисунок 4.2). Анализ структуры транспортного потока показал, что он неоднороден, особенно это заметно на участках, находящихся в значительной отдаленности от крупных населённых пунктов (Красноярская агломерация, г. Ачинск). В среднем на ФАД на территории Красноярского края 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 неодинаковые, ТС категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  в силу своих характеристики и ограничений на скоростной режим со стороны закона создают группу ТС.

Таблица 4.3 – Качественные показатели транспортного потока ФАД  
Красноярского края

Уча- сток	Среднесу- точная интенсив- ность, авт./сут	Среднеча- совая интенсив- ность, авт/ч	Средний состав тран- спортного потока, % М2, М3 и N	Средний коэффи- циент за- грузки движе- нием	Уро- вень обслу- жива- ния	Сред- няя ско- рость дви- же- ния, км/ч	Средняя разность скоро- стей между обгоняе- мым и обгоня- ющим ТС, км/ч	Плот- ность движе- ния, авт./км
30	6712	374	37	0,37	В	87	20	4
24	9480	587	12	0,52	С	62	16	9
637	9307	557	37	0,48	С	77	0	7
670	11411	690	35	0,65	С	95	0	7
711	12476	713	36	0,44	В	97	42	7
714	12455	718	42	0,43	В	95	38	8
726	11689	687	11	0,47	С	87	0	8
737	11629	623	29	0,45	В	92	22	7
743	10994	646	18	0,46	С	87	25	7
763	7842	441	33	0,38	В	97	39	5
770	10768	643	34	0,41	В	94	43	7
772	11235	650	34	0,45	В	95	0	7
777	14316	851	36	0,43	В	91	15	9
785	15221	884	36	0,44	В	85	21	10
796	19309	1144	33	0,46	С	96	22	12
799	23156	1380	24	0,47	В	94	25	15
854	14473	852	12	0,45	В	99	18	9
879	5673	334	12	0,38	В	91	36	4
898	8785	536	23	0,53	С	80	38	7
913	7655	447	40	0,44	В	83	0	5

2. Сложный рельеф местности. Для ФАД 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 ма-  
лого радиуса.

Из-за особенностей рельефа возникает «шум» скорости, который осо-  
бенно характерен для ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> в силу их геометри-  
ческих особенностей, что также приводит к образованию групп ТС, двигаю-  
щихся за медленно едущим «лидером» группы.

В ходе анализа маневра обгон на потенциально аварийно-опасных участках и аварийно-опасных участках выявлено, что при движении ТС группами обгон происходит не одного ТС, а части либо сразу группы ТС, в зависимости от ее численности.

Таким образом, в связи с перечисленными выше факторами с ростом доли в транспортном потоке автомобилей большей грузоподъемности и автопоездов увеличивается расслоение транспортного потока по скорости движения.

## 4.2. Результаты обработки экспериментальных данных

Первым шагом в обработке эмпирических данных была выполнена описательная статистика переменных (таблица 4.4), в ходе которой были определены среднее, минимальное и максимальное значения, дисперсия, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Таблица 4.4 – Описательная статистика данных

Параметр	Среднее значение	Минимальное	Максимальное	Дисперсия	Среднеквадратическое отклонение	Коэф. вариации
Кол-во ДТП	4,05	0,00	11,00	10,47	3,24	0,80
Среднечасовая интенсивность движения, авт./сут	11732,26	5673,00	23156,00	17393754,05	4170,58	0,36
Ширина полосы движения, м	3,60	3,50	4,00	0,02	0,15	0,04
Ширина обочины, м	1,23	0,00	3,00	1,12	1,06	0,86
Продольный уклон, %	24,75	0,00	90,00	642,93	25,36	1,02
Радиус кривой в плане, м	3303,35	65,00	10842,00	6154860,87	2480,90	0,75
Видимость, м	818,00	100,00	1450,00	81174,74	284,91	0,35
Число основных полос на проезжей части	2,45	2,00	4,00	0,68	0,83	0,34
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	94,10	0,00	500,00	20299,54	142,48	1,51
Коэффициент сцепления	0,59	0,30	0,70	0,02	0,13	0,21
ТС категорий М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> , N+O <sub>3,4</sub> в структуре транспортного потока, %	28,70	11,00	42,00	108,12	10,40	0,36
Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч	21,00	0,00	43,00	229,58	15,15	0,72

Проанализировав значения коэффициентов вариации исследуемых переменных можно сделать вывод, что совокупности данных «ширина полосы движения» и «коэффициент сцепления» являются однородными, так как значение коэффициентов меньше 0,33. Незначительное рассеивание данных по ширине проезжей части объясняется ее соответствием строительным нормам. Среднее рассеивание значения коэффициента сцепления объясняется статистическими данными (в 53 из 81 случая ДТП состояние дорожного полотна было сухим, следовательно, условно коэффициент сцепления принимается равным 0,7).

У совокупности данных: ширина обочины, продольный уклон, радиус кривой в плане, расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, наблюдаются большие значения коэффициента вариации. Это означает, что в исследуемой совокупности сильна вариация признаков по отношению к средней величине, которая объясняется различными характеристиками исследуемых участков.

Далее был проведен корреляционный анализ для выявления зависимости количества ДТП от рассматриваемых факторов. Так как для определения итогового коэффициента аварийности необходимо владеть статистическими данными за 3–5 лет, корреляционный анализ зависимости количества ДТП от рассматриваемых факторов был проведен по общему количеству ДТП на рассматриваемом участке и среднегодовому значению.

Результаты корреляционного анализа представлены в таблице 4.5. Оценка значения коэффициента корреляции проводилась по шкале Чеддока.

Анализ парных коэффициентов корреляции показал, что наибольшее влияние на количество ДТП оказывает разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС. Этот фактор имеет самое высокое значение коэффициента парной корреляции ( $r=0,44$ ) при анализе суммарного количества ДТП за отчетный период и среднегодового значения.

Таблица 4.5 – Парные значения коэффициентов корреляции

Фактор	Коэффициент корреляции				t критерий Стьюдента	
	Суммарное количество ДТП за отчетный период		Среднегодовое количество ДТП		Суммарное количество ДТП за 5 лет	Среднегодовое количество ДТП
	Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи	Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи		
Интенсивность движения	0,04	Слабая	0,05	Слабая	12,90	40,59
Ширина полосы движения	0,42	Умеренная	0,25	Слабая	0,64	15,78
Ширина обочины	0,18	Слабая	0,04	Слабая	3,81	0,17
Продольный уклон	0,34	Умеренная	0,28	Слабая	3,72	28,03
Радиус кривой в плане	0,06	Слабая	0,20	Слабая	6,10	2,40
Видимость	0,18	Слабая	0,20	Слабая	13,11	2,77
Число основных полос на проезжей части	0,42	Умеренная	0,33	Умеренная	2,20	3,50
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	0,13	Слабая	0,07	Слабая	2,90	13,99
Коэффициент сцепления	0,13	Слабая	0,14	Слабая	4,90	0,71
Средний состав транспортного потока	0,28	Умеренная	0,24	Слабая	10,39	11,08
Средняя разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС	0,45	Умеренная	0,44	Умеренная	5,02	17,28

Сопоставив значения парных коэффициентов корреляции (таблица 4.6) с табличным значением (коэффициентом корреляции Пирсона)  $r(20;0,05) = 0,43$ , видим, что разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС статистически значима. Вычисленные значения превышают критическое значение критерия Стьюдента  $t(20;95\%) = 2,09$ , что также подтверждает значимость данного парного коэффициента корреляции).

Также в результате корреляционного анализа была составлена матрица парных значений коэффициентов корреляций рассматриваемых факторов для выявления мультиколлинеарности (таблица 4.6).

Таким образом, в ходе корреляционного анализа выявили мультиколлинеарность между некоторыми парами рассматриваемых факторов, а также значительную линейную связь ( $0,51 < r < 0,7$ ) между следующими парами факторов:

- интенсивность движения – число основных полос на проезжей части;
- интенсивность движения – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м;
- ширина полосы движения – видимость;



Таблица 4.6 – Матрица парных коэффициентов корреляции

Интенсивность движения	Ширина полосы движения	Ширина обочины	Продольный уклон	Радиус кривой в плане	Видимость	Число основных полос на проезжей части	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	Коэффициент сцепления	Структура потока	Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС	
1,00	0,17	0,15	-0,17	-0,14	0,09	0,55	0,67	0,01	-0,45	-0,01	Интенсивность движения
	1,00	-0,15	0,52	-0,41	-0,52	0,26	0,40	0,27	-0,16	0,39	Ширина полосы движения
		1,00	0,09	0,11	0,03	-0,03	0,19	0,44	0,05	0,55	Ширина обочины
			1,00	-0,29	-0,80	-0,15	-0,17	0,40	-0,13	0,42	Продольный уклон
				1,00	0,38	-0,09	-0,15	-0,05	0,27	0,11	Радиус кривой в плане
					1,00	0,14	0,13	-0,18	0,16	-0,28	Видимость
						1,00	0,52	-0,26	-0,31	0,36	Число основных полос на проезжей части
							1,00	0,09	-0,33	0,22	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м
								1,00	0,06	0,22	Коэффициент сцепления
									1,00	0,83	Структура потока
										1,00	Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

ширина полосы движения – продольный уклон;

ширина обочины – разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС;

число основных полос на проезжей части – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

Тесная линейная связь ( $0,71 < r < 0,9$ ):

видимость – продольный уклон.

Корреляционный анализ выявил тесную линейную связь между видимостью и продольным уклоном, поэтому для данной пары факторов был проведен регрессионный анализ, в ходе которого получена модель (4.4), рисунок 4.15. Модель приемлема, так как  $R^2 = 0,64$

$$y = 1040,80 - 9,00x, \quad (4.4)$$

где  $y$  – видимость, м;

$x$  – продольный уклон, ‰.

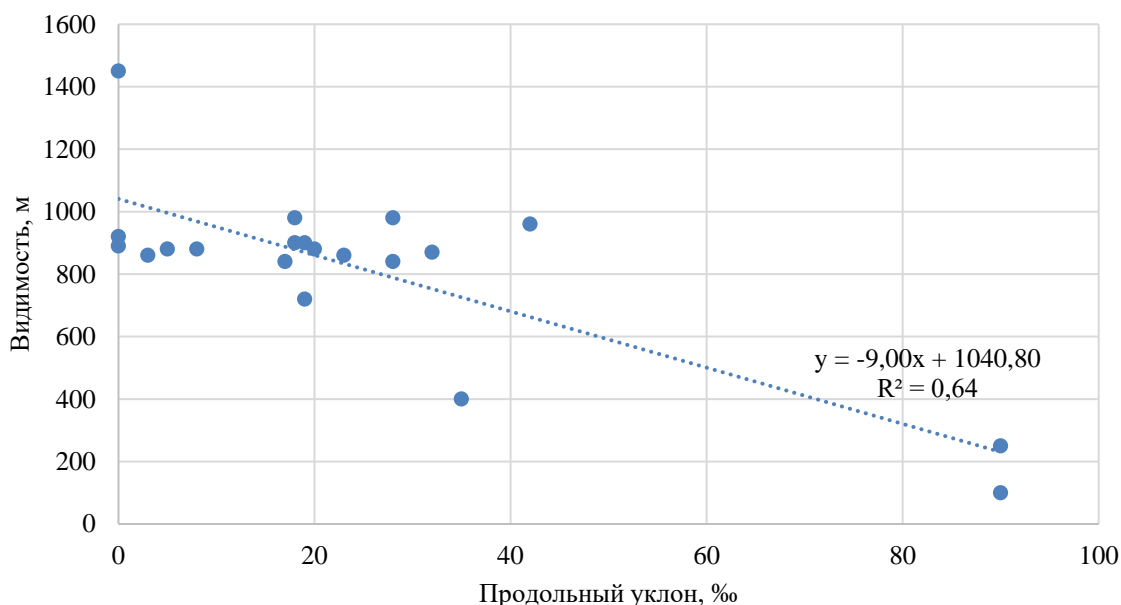


Рисунок 4.15 – График зависимости видимости от продольного уклона

Для общей модели зависимости количества ДТП от рассматриваемых факторов используется единый фактор «видимость», который принимается как минимальное значение видимости в плане или профиле. Так как в ходе эксперимента были определены оба значения для данной пары, то был проведен корреляционно-

регрессионный анализ, в ходе которого получена достаточно адекватная модель 4.5 ( $R^2 = 0,87$ ), рисунок 4.16:

$$y = 1,06x - 121,85, \quad (4.5)$$

где  $y$  – видимость в плане, м;

$x$  – видимость в профиле, м.

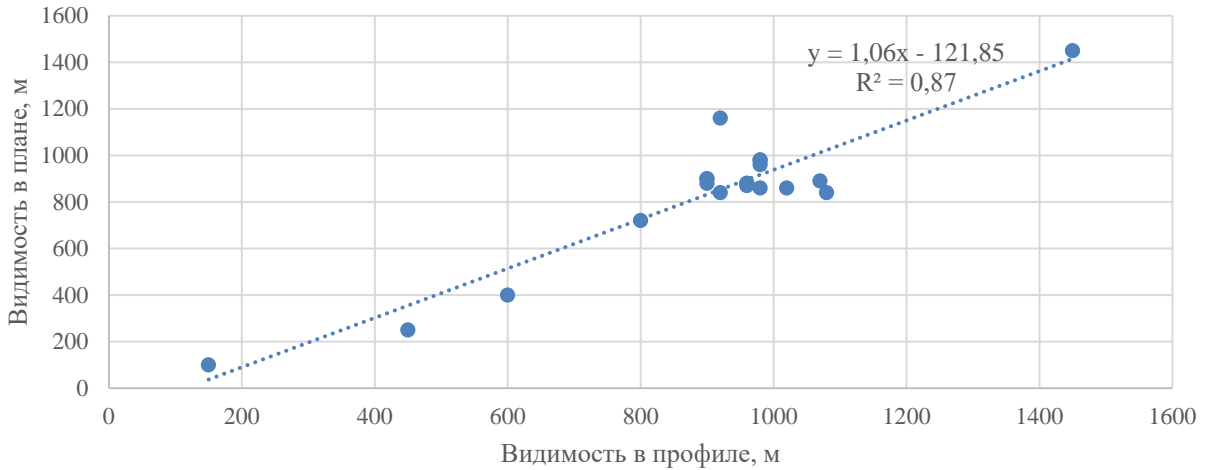


Рисунок 4.16 – График зависимости видимости в плане от видимости в профиле

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 структуры транспортного потока ( $x$ ) на потенциально аварийно-опасных участках, которая представлена в виде выражения (4.7), рисунок 4.17:

$$y = 0,51x + 18,89. \quad (4.6)$$

Коэффициент детерминации равен 0,71. Это говорит о том, что данная модель приемлема. Статистическая значимость модели проверялась с помощью критерия Фишера (F):

$$F(1;150)=308,29 > F_{\text{крит}} = 3,90.$$

Чем больше в структуре транспортного потока ТС категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$ , тем больше разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС (рисунок 4.17). Чем более разнотипен транспортный поток, тем чаще в нем возникает

потребность обгонов. Во многом это связано с разницей в динамических и тормозных качествах ТС различных категорий. Также транспортные средства категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  ограничивают видимость следующих за ними автомобилей, особенное значение это имеет для автомобилей с правым расположением рулевой колонки. Скорость является усугубляющим фактором, который повышает тяжесть всех ДТП. С увеличением средней скорости возрастает и вероятность аварии, а также увеличивается риск летального исхода или тяжелых травм при возникновении ДТП.

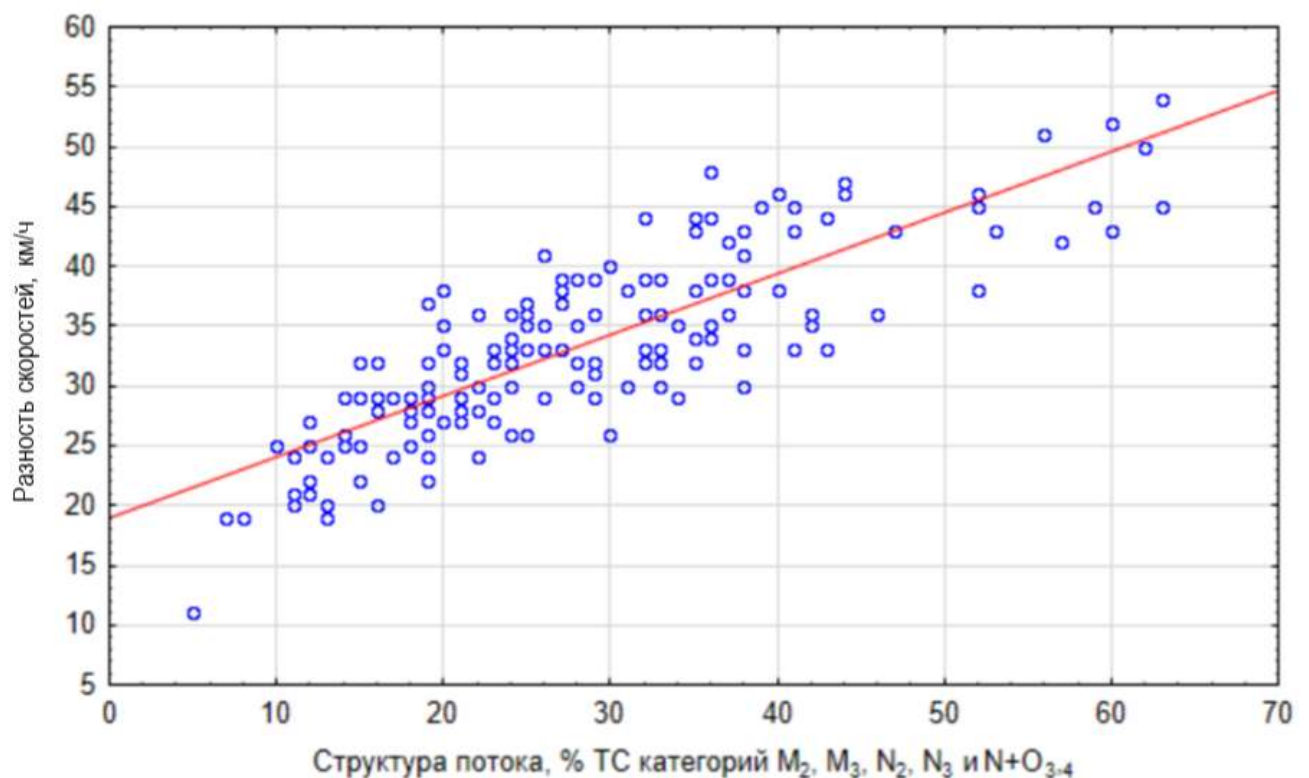


Рисунок 4.17 – График зависимости разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС от структуры транспортного потока на потенциально аварийно-опасных участках

Увеличение разности 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 увеличении доли ТС возрастает эмоциональная напряженность водителей. Они стараются располагать ТС ближе к оси дороги, выжидая момент для совершения

обгона, при этом стараются совершать обгон сразу группы ТС. Поэтому для скорейшего завершения маневра водители обгоняющих ТС развивают скорость, значительно превышающую скорость обгоняемого ТС.

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

$$y = 0,0001 \cdot x_1 + 0,0008 \cdot x_2 - 0,0181 \cdot x_3 + 0,0017, \quad (4.7)$$

где  $x_1$  – структура транспортного потока, % ТС категорий  $M_2, M_3, N_2, N_3, N+O_{3,4}$ ;

$x_2$  – разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч;

$x_3$  – коэффициент загрузки движением.

Статистическая значимость модели проверялась с помощью критерия Фишера:  $F(3;6)=12,74 > F_{\text{крит}}(4,76)$ ,  $R^2=0,86$ .

Согласно зависимости (4.8), вероятность возникновения обгона на потенциально аварийно-опасных участках возрастает с увеличением разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС и уменьшается с увеличением коэффициента загрузки движением, который отражает в себе интенсивность движения и дорожные условия.

Также на основе полученных данных было составлено выражение для определения безопасной скорости обгона в благоприятных дорожных условиях, учитывающее долю обгоняемых ТС категорий  $M_2, M_3, N_2, N_3, N+O_{3,4}$  в транспортном потоке:

$$V_{\text{без}} = V_{\text{п}} + 18,90 + 0,51 * \alpha, \quad (4.8)$$

где  $V_{\text{без}}$  – безопасная скорость обгона с учётом структуры транспортного потока;

$V_{\text{п}}$  – скорость транспортного потока, определенная по выражению (2.19);

$\alpha$  – доля обгоняемых ТС категорий  $M_2, M_3, N_2, N_3, N+O_{3,4}$ .

При проведении эксперимента на участках, где разрешен обгон и превышение (на законодательном уровне) скоростного режима до 20 км/ч [95], минимальное зафиксированное значение разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС составило 11 км/ч. В результате на основе экспериментальных

данных (рисунки 4.10–4.14) была получена регрессионная модель (4.9), описывающая зависимость значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  ( $y$ ) от разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС ( $x$ ). В модели учтено, что отклонение скорости одиночного ТС по отношению к скорости потока на 15 км/ч увеличивает относительную частоту ДТП на 5 % [55]. График зависимости  $K_{11}$  от разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС представлен на рисунке 4.18.

$$y = 0,05x + 1. \quad (4.9)$$

С увеличением разности скоростей возрастает количество обгонов, а следовательно, и вероятность возникновения ДТП [8].

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

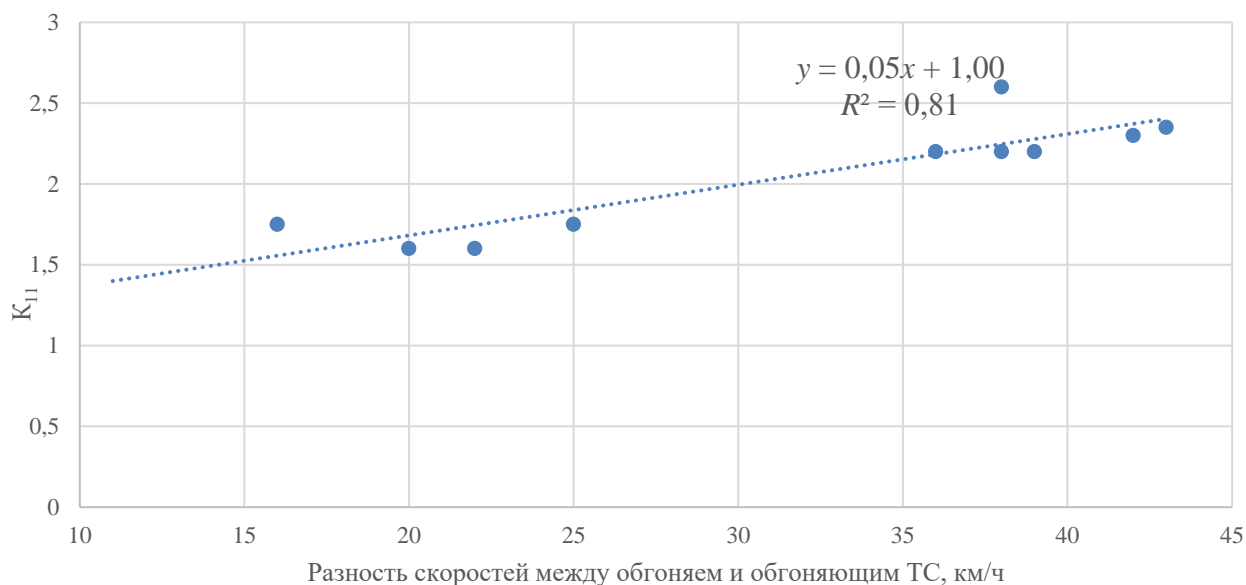


Рисунок 4.18 – График зависимости значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от разности скоростей между обгоняем и обгоняющим ТС

Далее был проведен регрессионный анализ, в ходе которого на 4-й итерации была получена модель, описывающая зависимость среднегодового количества ДТП ( $y$ ) от рассматриваемых факторов:

$$y = 3,2499 - 0,7695 * x_1 - 0,2763 * x_2 + 0,048 * |x_3| - 0,0001 * x_4 - 0,1126 * x_5 + 0,0048 * x_6 + 0,0218 * x_7, \quad (4.10)$$

- где  $x_1$  – ширина полосы движения, м;  
 $x_2$  – ширина обочины, м;  
 $x_3$  – продольный уклон, ‰;  
 $x_4$  – радиус кривой в плане, м;  
 $x_5$  – коэффициент сцепления;  
 $x_6$  – средняя структура транспортного потока, % ТС категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub>;  
 $x_7$  – средняя разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч.

Статистическая значимость модели проверялась с помощью критерия Фишера:  $F(7;7)=6,75$ . Полученное значение выше табличного  $F=3,79$ , т.е. нулевую гипотезу об отсутствии взаимосвязи между количеством ДТП и рассматриваемыми параметрами можно отвергнуть. Таким образом, статистически подтверждено наличие связи между изучаемыми переменными. Скорректированный коэффициент детерминации  $R^2=0,74$  свидетельствует о том, что в 74 % случаев ДТП объясняются факторами, представленными в модели.

Модель (4.10) работает на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов при условиях, представленных в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Дорожные условия для модели (4.10)

Параметр	Условия
Ширина полосы движения, м	$\leq 4$
Ширина обочины, м	$\leq 4$
Продольный уклон, ‰	$\geq 20$
Радиус кривой в плане, м	$\leq 2000$
Коэффициент сцепления	$\leq 0,7$
Структура транспортного потока, % ТС категорий М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub> и N	$\geq 20$
Разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч	$\geq 10$

Так как ДТП является следствием нарушения надежности системы ВАДС, в идеальных условиях на БДД оказывают влияние факторы, не связанные с дорожными характеристиками и параметрами транспортного потока.

### 4.3. Проверка целесообразности усовершенствованной «Методики коэффициентов аварийности», дополненной новыми частными коэффициентами

Для проверки целесообразности совершенствования методики коэффициентов аварийности, дополненной новыми частными коэффициентами, был проведен сравнительный анализ значения итогового коэффициента аварийности, рассчитанного по существующей методике В. Ф. Бабкова [5] и по предлагаемой методике (таблица 4.10). Также в таблице 4.8 определен относительный показатель аварийности для каждого рассматриваемого участка, вычисленный по выражению (1.2).

По методике В. Ф. Бабкова [5] все из рассматриваемых участков соответствуют нормам и не нуждаются в реконструкции несмотря на тот факт, что на 30-м км Р-257 наблюдается максимальный коэффициент происшествий и зафиксировано наибольшее количество ДТП из рассматриваемых участков (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Сравнение значений итогового коэффициента аварийности

Участок ФАД, км	Кол-во ДТП за рассматриваемый период	Коэффициент происше- ствий	Предлагаемая методика		Китог по ме- тодике В.Ф. Бабкова
			Китог	Опасность участка	
24,0	4,0	0,2	831,6	Потенциально аварийно-опасный	693,1
30,0	11,0	0,9	17,4	Потенциально аварийно-опасный	9,1
637,0	3,0	0,2	12,5		8,3
670,0	2,0	0,1	7,9		7,9
711,0	4,0	0,2	11,2		3,8
714,0	8,0	0,4	17,4	Потенциально аварийно-опасный	10,5
726,0	2,0	0,1	31,3		19,8
737,0	0,0	0,0	6,5		2,6
743,0	0,0	0,0	10,7		3,9
763,0	3,0	0,2	13,2		3,9
770,0	6,0	0,3	9,0	Потенциально аварийно-опасный	2,7
772,0	4,0	0,2	11,3	Потенциально аварийно-опасный	5,7
777,0	1,0	0,0	3,1		1,4
785,0	2,0	0,1	5,7		2,8



Участок ФАД, км	Кол-во ДТП за рассматриваемый период	Коэффици- ент происше- ствий	Предлагаемая методика		К <sub>итог</sub> по ме- тодике В.Ф. Бабкова
			К <sub>итог</sub>	Опасность участка	
796,0	5,0	0,1	1,8		1,1
799,0	9,0	0,2	1,8		1,1
854,0	2,0	0,1	2,5		1,2
879,0	6,0	0,6	14,5	Потенциально аварийно-опасный	4,2
898,0	9,0	0,6	1472,9	Потенциально аварийно-опасный	387,3
913,0	0,0	0,0	16,6		8,3

По предлагаемой методике потенциально аварийно-опасными участками являются 24, 30, 714, 770, 772, 879 и 898 км.

Таким образом, полученные значения итогового коэффициента аварийности по предлагаемой методике свидетельствуют о более точной оценке БДД по сравнению с существующей методикой, так как по существующей методике участки с наибольшим коэффициентом происшествий не являются аварийными, несмотря на высокие показатели аварийности.

#### **4.4. Практические рекомендации по повышению безопасности дорожного движения на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов**

Безопасность движения на автомобильных дорогах общего пользования основывается на восприятии участниками дорожного движения внешней информации (геометрические особенности дороги, поведение других участников движения, техническое состояние автомобиля, погодные условия).

Рекомендуется внести изменения в нормативно техническую документацию по проектированию и эксплуатации автомобильных дорог, а именно: предусмотреть проверку проектов перегонов двухполосных автомобильных дорог вне насе-

лённых пунктов по методике итогового коэффициента аварийности и коэффициентов, учитывающих структуру транспортного потока и разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

А на уже эксплуатируемых перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов при присвоении им статуса потенциально аварийно-опасных для обеспечения БДД необходимо осуществлять информационную поддержку водителей о реальной дорожной обстановке и скорости транспортного потока. Для этого предлагается установить дорожные информационные табло (ДИТ), информация на которых будет обновляться в реальном времени исходя из показаний датчиков интенсивности, скорости движения и состояния дорожного полотна [35].

Для анализа текущей дорожной ситуации на потенциально аварийно-опасном участке необходимо установить камеру видеонаблюдения, которая с помощью нейронных сетей способна анализировать структуру и скорость транспортного потока. Специальный расчётный блок должен определять, насколько сильно скорость одиночного ТС в текущий момент времени отличается от скорости потока:

$$|V_{\Pi} - V_T| \leq 20, \quad (4.11)$$

где  $V_{\Pi}$  – скорость потока;

$V_T$  – скорость одиночного ТС.

На участках, где обгон запрещен, расчётный модуль выведет на экран интерактивного знака рекомендуемую скорость движения исходя из ДУ и структуры транспортного потока. А на участках, где обгон разрешен, модуль может вывести на экран безопасную скорость обгона в благоприятных дорожных условиях, учитывающую долю обгоняемых ТС категорий  $M_2, M_3, N_2, N_3, N+O_{3,4}$  в транспортном потоке.

Зная скорость потока, расчётный блок может определить необходимую минимальную дистанцию между автомобилями в конкретных ДУ, которая должна быть не меньше остановочного пути (см. (3.9)).

Передача информации со станции в базу данных системы осуществляется по запросу с центрального компьютера системы (блока обработки сигналов) по каналу GSM. Схема реализации повышения информативности водителей имеет: датчик

интенсивности, скорости движения и состояние дорожного покрытия (рисунок 4.19), диаграмма деятельности ДИТ представлена на рисунке 4.20.



Рисунок 4.19 – Схема реализации повышения информативности водителей

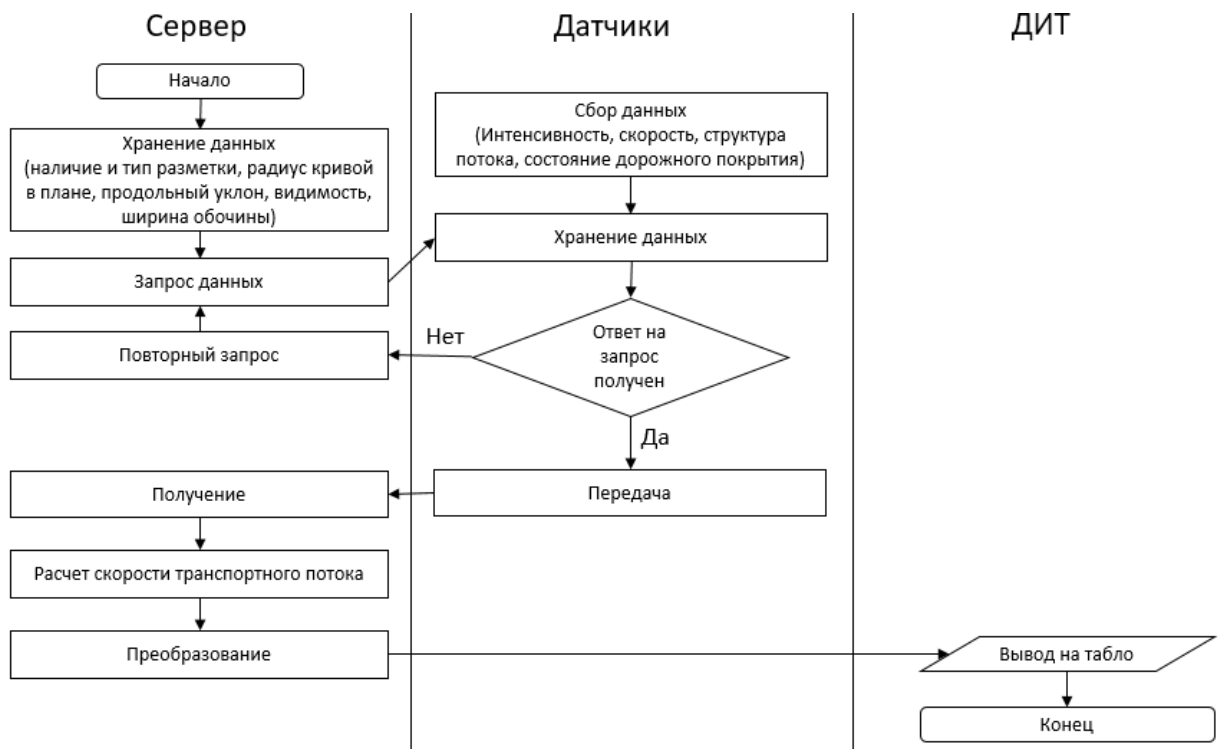


Рисунок 4.20 – Диаграмма деятельности ДИТ

Таким образом, мы можем повысить информированность водителей о реальной дорожной обстановке и напомнить о необходимости соблюдать скоростной режим и минимально необходимую дистанцию.

Используя разработанную математическую модель, можно определить, какой из факторов оказывает негативное влияние на БДД (рисунок 4.21).

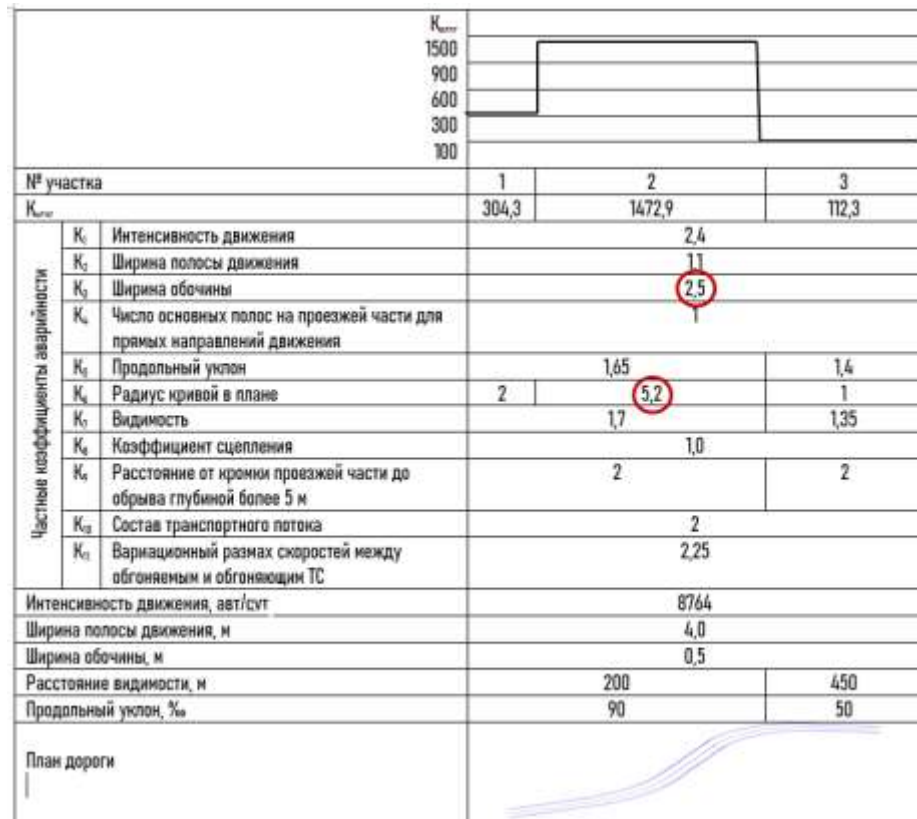


Рисунок 4.21 – График коэффициента аварийности на 898 км Р-255

Проблема БДД на 898-м км заключается в маленьком радиусе кривой в плане, которую можно нивелировать за счёт увеличения числа полос. Для того чтобы прохождение неоднородного транспортного потока по 898-м км автомобильной дороги Р-255 было более безопасно, необходимо увеличить количество полос до трех и нанести разметку. При этом в сторону подъема должно быть организовано две полосы движения, тогда ТС с более высоким скоростным режимом при необходимости смогут продолжить свое движение по второй полосе, не прибегая к экстренному торможению и не выезжая на полосу встречного движения. Таким образом, сократиться количество столкновений, съездов и опрокидываний.

#### 4.5. Оценка экономической эффективности предлагаемой методики

Для расчёта экономической эффективности были определены общие затраты  $Z$ , которые состоят из денежных затрат  $C$  за годовой период использования, на приобретение и монтаж оборудования, а также его обслуживания  $Q$  [119]:

$$Z = C + Q, \quad (4.12)$$

Так как примерная стоимость оборудования и монтажа заранее известна от поставщика/производителя (таблица 4.13), рассчитаем стоимость обслуживания:

$$Q = M + Aq, \quad (4.13)$$

где  $M$  –затраты электроэнергии на работу компьютера, за год 17800 (при потреблении 0,61кВт /ч и 3,22 руб. за 1 кВт.ч);

$A$  – Затраты на техническое обслуживание датчиков, 5000,0 руб.;

$q$  – количество датчиков.

Таким образом, стоимость приобретения, монтажа и обслуживания составляет 670 тыс. руб.

$$Z = 650000 + 17800 + 3 \times 1000 = 670\ 800,0 \text{ руб.}$$

Таблица 4.9 – Примерная стоимость приобретения и монтажа необходимого оборудования

№	Параметр	Кол-во, ед.	Примерная стоимость, руб.
3	ПК	1	100 000,00
4	Приобретение и монтаж датчик интенсивности и скорости движения	1	150 000,00
5	Приобретение и монтаж датчика состояния дорожного покрытия	1	260 000,00
6	Приобретение и монтаж видеокамеры	1	10 000,00
7	Приобретение и монтаж интерактивного дорожного табло	1	130 000,00

Для оценки экономического эффекта сопоставим затраты на использование системы предупреждения водителей с величиной социально-экономического ущерба от ДТП.

Существует несколько методических подходов к расчёту экономической оценки социальных потерь в результате ДТП: стоимость среднестатистической жизни, теория человеческого капитала, субъективная оценка стоимости жизни, подход МЧС к оценке стоимости экономического ущерба, подход РСА [22, 52, 65, 117]. На уровне государства/регионов расчёт социальных потерь происходит по Р-03112199-0502-00 «Методика оценки и расчёта нормативов социально-экономического ущерба от ДТП» [106]. Согласно российской методике полные социально-экономические издержки от ДТП складываются из прямых и косвенных потерь. Элементы прямых и косвенных потерь определяют полную оценку ущерба от ДТП [18, 50, 51]. Также существует методика расчёта с учётом поло-возрастной структуры погибших и раненых [65, 100]. По данной методике прямые потери и упущенные выгоды рассчитываются исходя из трех возможных исходов ДТП: смертельный исход, инвалидизация, травматизм.

Произведем расчёт экономических потерь в результате ДТП с помощью данной методики на примере одного из аварийно-опасных участков автомобильной дороги Р-255 км (745 км), на котором за 2022 год произошло три столкновения с участием ТС категории N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> и N+O<sub>3,4</sub>, в которых пострадало три человека. Данные о раненых представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Данные о пострадавших

№	Пол	Степень тяжести
1	Мужской	Раненый, находящийся (находившийся) на амбулаторном лечении, либо которому по характеру полученных травм обозначена необходимость амбулаторного лечения (вне зависимости от его фактического прохождения)
2	Мужской	
3	Мужской	

Согласно методике, при травматизме потери находятся как сумма прямых и косвенных потерь:

$$P(tr) = C(tr)_t + B(tr), \quad (4.14)$$

где  $C(tr)_t$  – это затраты на медицинские услуги по восстановлению индивида от

травмы; находятся как произведение общего числа получивших травму в результате ДТП и средних расходов на медицинские услуги в зависимости от категории травм:

$$C(tr)_t = N(i)_t (h + m), \quad (4.15)$$

$N(i)_t$  – количество человек, получивших травмы в результате ДТП за временной период  $t$ ;

$m$  – средние затраты на медицинские услуги в зависимости от категории полученной травмы;

$h$  – средние затраты на госпитализацию индивида, получившего травму той или иной степени тяжести;

$B(tr)$  – упущенная выгода; находится как произведение среднего периода восстановления для травм разной степени тяжести на количество лиц, получивших травму данного вида, и средний душевой доход в регионе:

$$B(tr) = \sum_{q=1}^n N(wm) \cdot p(trm)_q \cdot R(tr)_q \cdot E(tr)_q + \sum_{q=1}^n N(wf) \cdot p(trf)_q \cdot R(tr)_q \cdot E(tr)_q, \quad (4.16)$$

где  $N(wm)$  – количество раненых мужчин в ДТП (в региональном разрезе);

$N(wf)$  – количество раненых женщин в ДТП (в региональном разрезе);

$p(trm)_q$  – доля индивидов-мужчин, получивших травму степени тяжести ( $q$ ) в результате ДТП;

$p(trf)_q$  – доля индивидов-женщин, получивших травму степени тяжести ( $q$ ) в результате ДТП;

$R(tr)_q$  – среднедушевые доходы в регионе (в год), 498105,6 руб;

$E(tr)_q$  – средний реабилитационный период при травме степени тяжести (лет), 0,3.

Таким образом, подставив средние значения с учётом того, что все пострадавшие получили последствия средней степени тяжести, получаем упущенную выгоду более чем 448 тыс. руб.

Так как показатель эффективности – это отношение величины предотвращенного ущерба к величине расходов на реализацию программы, получаем следующее значение эффективности в первый год использования:

$$\mathcal{E} = \frac{Z}{P(tr)} = \frac{448295,0}{670800,0} = 0,67. \quad (4.17)$$

Показатель эффективности за три года с учётом того, что в среднем в ДТП страдает около трех человек, составляет:

$$\mathcal{E} = \frac{448295,0 * 3 * 1,04}{670800,0 + 22800 * 2} = 1,9.$$

Таким образом, эффективность за три года от установки интерактивного дорожного полотна, на котором будет отображаться рекомендуемая скорость движения на конкретном участке дороги с учётом состояния дорожного полотна, интенсивности и структуры транспортного потока, составит 680 тыс. руб.

#### **4.6. Проверка эффективности предложенных мероприятий**

Предположение о том, что приведение скорости отдельного ТС к скорости транспортного потока снижает риск возникновения ДТП из-за отсутствия разности скоростей, подтверждается региональными статистическими данными аварийности на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов (123, 424 км Р-257, 657 и 908 км Р-255). Данные участки имели статус аварийно-опасных до момента проведения на них ремонтных работ, во время которых устанавливались временные дорожные знаки, ограничивающие скоростной режим.

Так на 123 км Р-257 за 2017 и 2018 годы произошло 13 ДТП (рисунок 4.22). Однако в 2019 году на данном участке автомобильной дороги начались ремонтные работы и было установлено ограничение скоростного режима (40 км/ч). ТС В потоке ТС двигались с одинаковой скоростью, отсутствовала разность в скоростях их движения, следовательно, отсутствовали обгоны.



Р-257 'Енисей' Красноярск - Абакан - Кызыл - граница с Монголией, КМ							
№ 123							
10 дтп всего		0 погибло		17 ранено		0 % степень тяжести последствий	
№	ДАТА ДТП	РАЙОН	ВИД ДТП	ПОГИБЛО	РАНЕНО	КОЛ-ВО ТС	КОЛ-ВО УЧ
1	25.12.2017	г. Дивногорск	Столкновение	0	1	2	3
2	03.10.2017	г. Дивногорск	Опрокидывание	0	3	1	3
3	15.09.2017	г. Дивногорск	Съезд с дороги	0	1	1	3
4	16.07.2017	г. Дивногорск	Съезд с дороги	0	1	1	2
5	15.07.2017	г. Дивногорск	Столкновение	0	6	3	9
6	01.07.2017	г. Дивногорск	Столкновение	0	1	2	3
7	23.06.2017	г. Дивногорск	Опрокидывание	0	1	1	1
8	13.06.2017	г. Дивногорск	Опрокидывание	0	1	1	1
9	11.06.2017	г. Дивногорск	Опрокидывание	0	1	1	1
10	17.04.2017	г. Дивногорск	Съезд с дороги	0	1	1	2

Р-257 'Енисей' Красноярск - Абакан - Кызыл - граница с Монголией, КМ							
№ 123							
3 дтп всего		1 погибло		6 ранено		14,3 % степень тяжести последствий	
№	ДАТА ДТП	РАЙОН	ВИД ДТП	ПОГИБЛО	РАНЕНО	КОЛ-ВО ТС	КОЛ-ВО УЧ
1	07.11.2018	г. Дивногорск	Столкновение	1	3	3	5
2	23.10.2018	г. Дивногорск	Съезд с дороги	0	1	1	1
3	07.07.2018	г. Дивногорск	Опрокидывание	0	2	1	2

Рисунок 4.22 – Статистика аварийности на 123 км Р-257

Таким образом, приведение скорости движения одиночного ТС к скорости движения транспортного потока способствует снижению аварийности.

#### 4.7. Выводы по главе

1. Общий объем составил 80 исследований на 20 участках (637, 670, 711, 714, 726, 737, 743, 763, 770, 772, 777, 785, 796, 799, 854, 879, 898, 913 км на ФАД Р-255, и 24 и 30 км на ФАД Р-257), отличающихся уровнем аварийности, характеристиками дорожного движения и геометрическими параметрами. С целью охвата исследованием максимально широкого диапазона условий движения фиксация данных проводилась для каждого из участков в разное время года. Анализ полученных данных показал, что ширина полосы движения, обочины, разделительной полосы в летнее, осенне-весеннее время соответствует нормативным значениям, указанным в ГОСТ Р 52399–2005 «Геометрические элементы автомобильных дорог» [32].

2. В результате анализа количественных и качественных показателей транспортного потока выявлен ежегодный рост интенсивности движения транспортных средств как в целом, так и на участках, где присутствует факт несоответствия принятых при расчёте технических параметров участка (участков) фактическим параметрам. Также выявлено, что структура транспортного потока неоднородна, особенно это заметно на участках, находящихся в значительной отдаленности от Красноярской агломерации.

3. Анализ скоростного режима показал, что в 50 % случаев скорость движения единичных ТС превышает максимально допустимую скорость движения на рассматриваемых участках. Также выявлена разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС (от 10 до 70 км/ч). В среднем скорость обгоняющего ТС больше скорости обгоняемого ТС на 30 км/ч.

4. На основе экспериментальных данных выявлены взаимосвязи характеристик транспортного потока:

- зависимость средней скорости движения от разрешенной скорости движения;
- зависимость максимальной скорости движения от средней скорости движения;
- зависимость минимальной скорости движения от средней скорости движения.

5. Математически доказано влияние структуры транспортного потока и разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на БДД.

6. На основе 158 обгонов установлен вид зависимости разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС от доли ТС категорий М2, М3 и N. Полученная зависимость позволяет оценивать разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на основе данных о структуре транспортного потока.

7. Установлена зависимость вероятности возникновения маневра «обгон» группы ТС от структуры транспортного потока, разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС и коэффициента загрузки движением.

8. Установлена зависимость частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС. Полученная зависимость впервые позволяет учитывать режим движения транспортного потока при определении итогового коэффициента аварийности.

9. Определены максимально допустимые значения итогового коэффициента аварийности для вновь строящихся и эксплуатируемых дорог в зависимости от местности и количества полос. Участок нуждается в реконструкции, если его значение превышает значение, указанное в таблице. В остальных случаях итоговое значение коэффициента аварийности следует понижать изменением скоростного режима движения ТС.

10. Проведен сравнительный анализ итоговых коэффициентов аварийности по предложенной методике и по существующей. Выявлено следующее: полученные значения итогового коэффициента аварийности по предлагаемой методике свидетельствуют о более точной оценке БДД, так как по существующей методике В. Ф. Бабкова участки с наибольшим коэффициентом происшествий не являются аварийными.

11. Даны практические рекомендации по использованию предложенной методики, дополненной новым коэффициентом, учитывающим разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

12. Проведена оценка экономической эффективности использования данной методики на практике. Установлено, что потери от ДТП превышают затраты на реализацию предложенных мероприятий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 М2, М3, N2, N3, N+O<sub>3,4</sub>, 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 М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N+O<sub>3,4</sub> 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.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Абрамова Л. С. Анализ методов определения показателей безопасности дорожного движения / Л. С. Абрамова, В. В. Ширин, Г. Г. Птица // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2015. – 69. – С. 118-123.
2. Абрамова Л.С. Классификация методов определения показателей безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах / Л. С. Абрамова, Г. Г. Птица // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы международной научно-практической конференции. – Пермь. – 2013. – С. 8–16.
3. Автоматическая дорожная метеостанция «КОНДОР» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itc.by/its-solution/road-weather-station/> (Дата обращения: 01.04.2021).
4. Ахметшин И. А. Использование коэффициента безопасности для оценки условий движения на автомобильных дорогах/ И. А. Ахметшин, А. А. Афлятонов, Ф. М. Даутов // Вестник НЦБЖД. – 2009. – № 2. – С. 81–82.
5. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов/ В. Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. –271 с.
6. Бадалян А. М. Оценка уровня безопасности движения на двухполосных автомобильных дорогах методом имитационного моделирования конфликтных ситуаций: дис. ... канд. техн. наук. – М.: 2002. – 325 с.
7. Бакланова К. В. Повышение точности расследования дорожно-транспортных происшествий путем применения современных методов их фиксации / К. В. Бакланова, Е. С Воеводин, Е. В. Фомин, А. С. Поляков, Н. В. Голуб // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. – 2020. – № 8. – С. 34–41.
8. Бакланова К .В. Влияние параметров транспортного потока и характеристик дорог на безопасность дорожного движения / К. В. Бакланова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. (принята в печать).

9. Бакланова К. В. Исследование скоростного режима на федеральных дорогах Красноярского края / К. В. Бакланова. // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. – 2023. – № 4. (принята в печать).
10. Банатов А. В. Оценка безопасности движения в городских условиях: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2002. – 170 с.
11. Бараз В. Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel: учебное пособие / В. Р. Бараз. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005. – 102 с.
12. Барышева В. К. Галанов Ю. И., Ивлев Е. Т., Пахомова Е. Г. Теория вероятностей: учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 136 с.
13. Безопасные и качественные дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://krudor.ru/actual/bkd/> (Дата обращения: 01.04.2021).
14. Белов В. В. Факторы, влияющие на выводы эксперта при оценке конкретной видимости / В. В. Белов, А. А. Чернов // АЛЛЕЯ НАУКИ. – 2018. – № 8 (24). – С. 374–383.
15. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
16. Близниченко С. С. Совершенствование метода коэффициентов аварийности / С. С. Близниченко, Е. А. Крапивина, А. Р. Оветченко // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Омск, 2012. – С. 43–48.
17. Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA: учебное пособие для вузов / В. П. Боровиков. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2013. – 288 с.
18. Булинский А. В. Теория случайных процессов / А. В. Булинский, А. Н. Ширяев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 402 с.
19. Воеводин Е. С. 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: УрГУПС. Екатеринбург. – 2020. – № 1. – С. 57–62.

20. Воеводин Е. С. Совершенствование метода коэффициентов аварийности для междугородней сети / Е. С. Воеводин, К. В. Бакланова, А. С. Кашура, С. Я. Яланский, Д. С. Филинкова // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации-2021: материалы 110-й Международной научно-технической конференции. – С. 246–252.

21. Воеводин Е. С. Определение оптимальных параметров элементов системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда» / Е. С. Воеводин, Е. В. Фомин, К. В. Пулянова, А. М. Асхабов, А. С. Кашура, Н. В. Голуб // Вестник Иркутского государственного технического университета: ИРНИТУ. – 2018. – № 55. – С. 240–250.

22. ВСН 3–81 Инструкция по учету потерь народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий при проектировании автомобильных дорог. Введ.01.04.1982.

23. ВСН 25–86 Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. Введ.01.05.1987.

24. ГОСТ 22576–90 Автотранспортные средства. скоростные свойства. Методы испытаний. Введ.01.01.1992.

25. ГОСТ 32963–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Расстояние видимости. Методы измерений. Введ.01.12.2015.

26. ГОСТ 32965–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока. Введ.31.08.2016.

27. ГОСТ 33078–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием. Введ.14.08.2015.

28. ГОСТ 33181–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. Введ.01.12.2015.

29. ГОСТ 33383–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров. Введ.31.08.2016.



30. ГОСТ 33475-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования
31. ГОСТ Р 50597–2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. Введ.26.09.2017.
32. ГОСТ Р 52399–2005 Геометрические элементы автомобильных дорог. Введ.22.11.2005.
33. ГОСТ Р 52577–2006 Дороги автомобильные общего пользования. методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог. Введ.09.10.2006.
34. ГОСТ Р 54809–2011 Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Методы контроля. Введ.13.12.2011.
35. ГОСТ Р 56350-2015 Интеллектуальные транспортные системы. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к динамическим информационным табло
36. ГОСТ Р 58514–2019 Уровни строительные. Технические условия. Введ.30.08.2019.
37. ГОСТ 7502–98 Рулетки измерительные металлические. Технические условия. Введ.27.07.1999.
38. ГОСТ Р 8.736–2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Введ.13.12.2011.
39. Государственный доклад «О состоянии безопасности дорожного движения в РФ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902068002> (Дата обращения: 01.04.2021).
40. Гражданцев Е. В. Разработка модели системы оповещения водителей транспортных средств о вероятном возникновении ДТП / Е.В. Гражданцев, В.А. Зеер, К.В. Пулянова, Е.С. Воеводин, А.М. Асхабов, А.И. Елагин // Грузовик – 2020.– 4.– С. 35– 45.

41. Гришкевич А. И. Автомобили. Теория: учебник для спец. «Автомобили и тракторы» / А. И. Гришкевич. – Минск: Вышэйш. шк., 1986. – 206 с.
42. Джурук Д. С. Методика повышения безопасности дорожного движения на двухполосных дорогах в местах концентрации ДТП на примере Сибирского федерального округа: диссертация ... кандидата технических наук. – СПб.: 2020. – 173 с.
43. Добров Э. М. Теория эксплуатации автомобильных дорог: учебное пособие / Э. М. Добров, Э. В. Дингес, Г. С. Бахрах, А. М. Стрижевский, В. П. Носов, А. П. Васильев, В. К. Апестин, В. В. Ушаков – М.: КноРус. – 2018. – 592 с.
44. Дорожно-транспортные травмы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (Дата обращения: 01.04.2021).
45. Добромиров В. Н. Скорость как фактор влияния на безопасность дорожного движения / В. Н. Добромиров, С. С. Евтюков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 73.
46. Добромиров В. Н. Совершенствование методов оценки безопасности дорожного движения на скоростных автомобильных дорогах / В. Н. Добромиров, С. С. Евтюков, Е. В. Куракина // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 1 (56). – С. 94–100.
47. Евтюков С. С. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения в Ленинградской области / С. С. Евтюков, Е. В. Голов // Транспорт Урала. – 2017. – № 2 (53). – С. 85–89.
48. Евтюков С.С. Влияние параметров дороги на определение скорости движения при экспертном исследовании ДТП / С. С. Евтюков, Е. В. Куракина // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 1 (42). – С. 103–108.
49. Еремин В. М. Концептуальная модель функционирования системы ВАДС как основа компьютерной имитации / В. М. Еремин // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1 (2). – С. 90–93.
50. Завадский Ю. В. Методика статистической обработки экспериментальных данных / Ю. В. Завадский. – М.: МАДИ. – 1973. – 67 с.

51. Заложных В. М. Управление техническими системами: курс лекций/ В. М. Заложных, В. А. Иванников. – Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия. – 2010. – 55 с.
52. Зубец А. Н. Численная оценка стоимости жизни человека в России и в мире / А. Н. Зубец, А. В. Новиков // Финансы: теория и практика. – 2018. – Т. 22. № 4. – С. 52–75.
53. Иванченко Л. А. Развитие транспортной инфраструктуры в России. / Л. А. Иванченко // Логистические системы в глобальной экономике, 2019. – 9.– С. 116–119.
54. Казанова Л. А. О некоторых вопросах влияния скорости на безопасность дорожного движения / Л. А. Казанова, Т. М. Линник, Д. В. Митрошин // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2019. – № 1 (2). – С. 217– 222.
55. Каленов Г. К. Повышение безопасности дорожного движения в республике Казахстан: дис ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 141 с.
56. Капский Д. В. Метод конфликтных зон прогнозирования дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности/ Д. В. Капский. –Издательство «Новое знание». – 2015. – 372 с.
57. Капский Д. В. Метод конфликтных зон прогнозирования аварийности: разработка и совершенствование / Д. В. Капский, А. И. Рябчинский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. – 2016. – № 1. – С. 107–113.
58. Каримов Н. М. Параметры расчета конфликтных точек многополосных кольцевых пересечений / Н.М. Каримов, А.Ю. Михайлов // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: сборник статей VIII Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием; под редакцией В. В. Салмина. – Пенза, 2022. – С. 99–103.
59. Кастырин Д. Ю. Повышение безопасности дорожного движения на основе прогнозирования опасности транспортных пересечений дорожной сети города: дис ... канд. техн. наук. – Воронеж.: 2019. – 166 с.

60. Клявин В. Э. Разработка научных методов повышения уровня системной безопасности дорожного движения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. –Липецк, 2017. – 43 с.

61. Козлов В. Г. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик ширины проезжей части и обочин по сезонам года/ В. Г. Козлов, А. В. Скрыпников, Р. В. Могутнов, Е. В. Чирков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2018.–2. – С. 54–63.

62. Кочегурова Е. А. Теория и методы оптимизации: учебное пособие / Е. А. Кочегурова. — Томск: ТПУ. – 2013. — 134 с.

63. Кравченко Л. А. Повышение безопасности дорожного движения методом регулирования скоростей движения: дис ... канд. техн. наук. – М.: 2003. – 171 с.

64. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами: учебное пособие/МАДИ (ТУ). – М., 2003. – 247 с.

65. Кулакова Т. В. Методика расчета стоимости человеческой жизни/ Т. В. Кулакова // II Международный форум «Инновации в дорожном строительстве». Сочи–2016 г.

66. Маслеников В.иГ. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий с участием автотранспортных средств категории М1 при отрицательных температурах асфальтобетонного покрытия дороги: автореф. дис ... канд. техн. наук. – Чита, 2019. – 20 с.

67. Маталыцкий М. А. Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по физико-математическим специальностям / М. А. Маталыцкий, Г. А. Хацкевич. – Минск: Вышэйшая школа. 2012. – 719 с.

68. Места размещения технических средств автоматической фотовидеофиксации [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://гибдд.рф/r/24/milestones/> (Дата обращения: 01.04.2021).

69. Методические рекомендации по оценке проектных решений по безопасности движения на автомобильных дорогах в равнинной, пересеченной и горной местности. Введ. 01.01.1983.

70. Мировая статистика смертности в автоавариях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insur-portal.ru/dtp/statistika-smertnosti-v-dtp> (Дата обращения: 01.04.2021).

71. Михайлов А. Ю. Уровень обслуживания как показатель надёжности улично-дорожной сети / А.Ю. Михайлов, Р. Н. Горбунов, З. В. Горбунова // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 4 (77). – С. 194–203.

72. Национальный проект «Безопасные и качественные дороги». Целевые показатели и основные результаты реализации проекта в Красноярском крае [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mintrans.krskstate.ru/dat/File/29/BKAD%20informatsiya%20na%20portal.pdf> (Дата обращения: 01.04.2021).

73. Никитин В. И. Первичная статистическая обработка экспериментальных данных: методические указания по выполнению контрольной работы для студентов заочной и очно-заочной формы обучения / В. И. Никитин. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. – 80 с.

74. Новиков А. Н. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках улично-дорожной сети города / А. Н. Новиков, Л. Е. Кущенко, С. В. Кущенко, И. А. Новиков // Вестник гражданских инженеров. 2021. – 2 (85). – С. 222–231.

75. Новиков И. А. Методология прогнозирования и предупреждения дорожно-транспортных происшествий: дис... д-ра техн. наук. – Орел, 2020. – 305 с.

76. ОДМ 218.2.020–2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. «Институт Проблем Безопасности Движения» (Автономная некоммерческая организация «ИПБД»), Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ), Иркутским государственным техническим университетом, Тихоокеанским государственным университетом, ФГУП «РОСДОРНИИ», ООО «ИНЭМДорТранс».

77. ОДМ 218.4.005–2010 Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. Разработан МАДИ, ФГУП «РосдорНИИ» с участием ИТС ВолгГАСА.

78. ОДМ 218.6.009–2013 Методические рекомендации по оценке безопасности движения при проектировании автомобильных дорог. Разработан ФГУП «РОСДОРНИИ».

79. ОДМ 218.6.011–2013 Методика оценки влияния дорожных условий на аварийность на автомобильных дорогах федерального значения для планирования мероприятий по повышению безопасности дорожного движения. Разработан «ИНЭМДорТранс».

80. ОДМ 218.6.015–2015 Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах РФ. Разработан ФГУП «РОСДОРНИИ».

81. ОДМ 218.6.027–2017 Рекомендации по проведению аудита безопасности дорожного движения при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Разработан ФГУП «РОСДОРНИИ».

82. ОДМ 218.8.002–2010 Методические рекомендации по зимнему содержанию автомобильных дорог с использованием специализированной гидрометеорологической информации (для опытного применения). Разработан ФГУП «РОСДОРНИИ».

83. Организация движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transspot.ru/2013/02/24/skorost-avtomobilya-i-bezopasnost-chast-1/> (Дата обращения: 01.04.2021).

84. ОДМ. Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования (приняты и введены в действие письмом Минтранса РФ от 17.03.2004 N ОС- 28/1270-ис). Разработан ФГУП «РосдорНИИ» и МАДИ.

85. Основные итоги работы транспорта [Электронный ресурс]: – Режим доступа <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (Дата обращения: 01.04.2021).

86. Отчет счетной палаты от 8 декабря 2016 года о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ формирования и использования бюджетных ассигнований дорожных фондов субъектов РФ».

87. Парсаев Е. В. Повышение безопасности дорожного движения на федеральных дорогах омской области /Е. В. Парсаев, Ю. А. Рябоконь, И. А. Тетерина // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сборник материалов II национальной научно-практической конференции. – 2019. – С. 294–299.

88. Парсаев Е. В. Повышение качества выполнения проектов организации дорожного движения на период эксплуатации дорог / Е. В. Парсаев, И. А. Тетерина// Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сборник материалов V международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ». – Омск. – 2021. – С. 295–299.

89. Парсаев Е.В. Информационное обеспечение водителей путем применения технических средств организации дорожного движения / Е. В. Парсаев, И. А. Тетерина // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сборник материалов IV национальной научно-практической конференции. – Омск, – 2021. –С. 369–373.

90. Пегин П. А. Повышение эффективности и безопасности эксплуатации автомобильного транспорта на основе увеличения пропускной способности автомагистралей: дис... д-ра техн. наук. – Орел, 2011. – 345 с.

91. Письмо Минобрнауки России от 18.08.2015 N АК-2288/06 «О направлении методических рекомендаций (вместе с Методическими рекомендациями к примерным программам профессионального обучения водителей транспортных различных категорий и подкатегорий по предметам базового цикла)».

92. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://stat.gibdd.ru/> (Дата обращения: 29.01.2024).

93. Полтавская Ю. О. Оценка условий движения транспортных потоков с применением геоинформационных технологий / Ю. О. Полтавская, М. Н. Крипак,

В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. – № 1 (49). – С. 155–161.

94. Поляков А. С. Исследование влияния расположения рулевого колеса автомобиля на безопасность дорожного движения/ А. С. Поляков, К. В, Пульянова // Проспект Свободный – 2019: материалы XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СФУ.– 2019. – С. 1231–1233.

95. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 24.10.2022) «О Правилах дорожного движения».

96. Постановление правительство РФ от 20 февраля 2006 года N 100 «О федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах».

97. Постановление правительство РФ от 3 октября 2013 года N 864 «О федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах».

98. Постановление правительства Красноярского края от 12.09.2017 №533-п «О внесении изменения в постановление Совета администрации Красноярского края от 17.06.2002 №205-п «Об утверждении перечня автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения Красноярского края».

99. Постановление Правительства РФ от 2 февраля 2019 г. N 72 «О внесении изменения в перечень автомобильных дорог общего пользования федерального значения».

100. Презентация «Оценка социально-экономического ущерба от ДТП в России: методологические вопросы в контексте зарубежных исследований» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/44988294> (Дата обращения: 01.04.2021).

101. Приказ министерства транспорта Красноярского края от 9 января 2018 г. N 6/2-Н «Об утверждении транспортной стратегии Красноярского края до 2030 года».

102. Программа «Безопасные и качественные дороги-2017».



103. Пулянова К. В. Анализ статистики ДТП на федеральных дорогах Красноярского края / К. В. Пулянова, Е. С. Воеводин // Борисовские чтения: сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции. Красноярск, 2017. – С. 97–100.

104. Пулянова К. В. Исследование интенсивности транспортного потока на Р-255 и Р-257 на территории Красноярского края / К. В. Пулянова, Е. С. Воеводин, А. М. Асхабов, А. С. Кашура // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса. – Пенза. – 2018. – С. 71–74.

105. Пулянова К. В. Проблемы статистического анализа дорожно-транспортных происшествий / К. В. Пулянова, Е. С. Воеводин, С. А. Катаев // Борисовские чтения, 25–27 сентября 2019 г.: сборник материалов II Всероссийской научно-технической конференции. – Красноярск. – 2019. – С. 212–215.

106. Р-03112199-0502-00 «Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий».

107. Рейтинг российских регионов по аварийности на дорогах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20210208/zarplata-1596593906.html> (Дата обращения: 01.04.2021).

108. Российский парк грузовиков: основные показатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/31621> (Дата обращения: 01.04.2021).

109. Руководства по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах, утвержденных распоряжением Минтранса России от 16 июня 2003 г. № ОС-548-р.

110. Салмин В. В. Эвристический метод оценки состояния системы «Водитель – автомобиль – дорога – среда» / В. В. Салмин, Е. А. Нелюцкова // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 1 (36). – С. 111–115.

111. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

112. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия». – 2008. – 352 с.

113. Смертность от ДТП в мире, 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insur-https://openbase.online/smertnost-ot-dtp-v-mire/> (Дата обращения: 01.04.2021).

114. Справочник «Справочная энциклопедия дорожника. Том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог».

115. Статистическая отчетность ФДА РОСАВТОДОР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/about/upravlenie-fda/upravlenie-stroitelstva-avtomobilnykh-dorog/statisticheskaya-otchetnost-napravleniya-v-rosstat/439191> (Дата обращения: 01.04.2021).

116. Степанов И. С. Влияние элементов системы водитель – автомобиль – дорога – среда на безопасность дорожного движения: учебное пособие // И. С. Степанов, Ю. Ю. Покровский, В. В. Ломакин, Ю. Г. Москалева. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 171 с.

117. Стоимость человеческой жизни в России с учетом морального ущерба [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/44988294> (Дата обращения: 01.04.2021).

118. Сусанин В. В. Исследование параметров подсистемы «водитель – дорога»: дис... канд. техн. наук. – СПб., 1999. – 201 с.

119. Тимоховец В. Д. Совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов: дис ... канд. техн. наук. – Омск, 2020. – 133 с.

120. ТР ТС 018/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (с изменениями на 21 июня 2019 года).

121. Тюлькин Е. В. Автоматизация процесса статистического исследования факторов ДТП / Е. В. Тюлькин // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 5 (52). – С. 248–253.

122. Федеральный закон от 10.12.1995 N 196 «О безопасности дорожного движения (с изменениями на 8 декабря 2020 года)».

123. Характеристики федеральных автомобильных дорог закрепленных за ФКУ Упрдор «Енисей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uprdor-enisey.ru/index.php/federalnye-avtodorogi/kharakteristiki-uchastkov> (Дата обращения: 01.04.2021).

124. Хомяк Я. В. Организация дорожного движения: учебник для вузов / Я. В. Хомяк. – Киев: Высш. шк. – 1986. – 271 с.

125. Худяков В. А. Повышение безопасности дорожного движения на перекрестках с учётом опасности конфликтных точек / В. А. Худяков, М. Р. Янучков, О. А. Сучкова // Прогрессивные технологии в транспортных системах: евразийское сотрудничество: материалы XV международной научно-практической конференции. – Оренбург, 2020. – С. 655–662.

126. Хрущева И. В. Основы математической статистики и теории случайных процессов: учебное пособие / И. В. Хрущева, В. И. Щербаков, Д. С. Леванова. – СПб.: Лань. – 2009. – 331 с.

127. Чванов В. В. Метод оценки качественных состояний безопасности дорожного движения и область его применения / В. В. Чванов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2010. – № 2. – С. 11–16.

128. Чванов В. В. Методы оценки уровней безопасности движения на автомобильных дорогах по показателю риска дорожно-транспортных происшествий / В. В. Чванов // Дороги и мосты: сборник статей. – М., ГП РосдорНИИ. – Фирма «Верстка». – 2004. – С. 173–192.

129. Чванов В. В. Об уточнении метода «итогового коэффициента аварийности» для оценки безопасности применительно к современным условиям движения / В. В. Чванов // Дороги и мосты: сборник статей. – ФГУП РосдорНИИ. – М., 2006. – 16/2. – С. 219–230.

130. Чванов В. В. Нормирование итогового коэффициента аварийности. «Наука и техника в дорожной отрасли / В. В. Чванов, И. Ф. Живописцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – № 3. – С. 13–16.

131. Чванов В. В., Живописцев И. Ф. Особенности применения метода оценки безопасности движения с использованием итогового коэффициента аварийности в современных условиях / В. В. Чванов, И. Ф. Живописцев // Дороги и мосты: сборник статей. – М., ФГУП РосдорНИИ, 2009. – № 22/2. – С. 232–255.

132. Чикалина С. Л. Исследование влияния конфликтных ситуаций на изменение скорости транспортных потоков в зонах нерегулируемых перекрестков / С. Л. Чикалина, Н. А. Елфимова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 8 (127). – С. 193–198.

133. Чикалина С. Л. Конфликт транспортных и пешеходных потоков в зонах нерегулируемых перекрестков / С. Л. Чикалина, О. С. Прокофьева, Н. А. Елфимова // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 38–43.

134. Чубаков А. Б. Методология оценки состояния дорожно-транспортной аварийности в регионах РФ: дис... д-ра техн. наук. – Омск, 2015. – 298 с.

135. Шаповалова О. И. Исследование влияния внешней среды на способность водителей к предупреждению дорожно-транспортных происшествий / О. И. Шаповалова, Е. В. Якунина, И. Н. Якунин, Н. Н. Якунин // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник материалов XVI международной научно-практической конференции. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Оренбургский государственный университет, Международная ассоциация автомобильного и дорожного образования, Уральское межрегиональное отделение Российской академии транспорта. – Оренбург, 2021. – С. 573–580.

136. Шарыпов А. В., Осипов Г. В. Основы теории надежности транспортных систем: учебное пособие / А. В. Шарыпов, Г. В. Осипов. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 128 с.

137. Шешера Н. Г. Повышение безопасности дорожного движения на основе усовершенствованной методики коэффициентов аварийности: дис... канд. техн. наук. – Хабаровск, 2017. – 183 с.

138. Якунин И. Н. Оценка влияния высоких температур окружающей среды на частотные и структурные характеристики нарушений правил дорожного движения / И. Н. Якунин, А. Ф. Фаттахова, Е. В. Якунина, О. И. Шаповалова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 2. – С. 115–126.

139. Якунин И. Н. Функциональная модель обеспечения безопасности дорожного движения автотранспортного предприятия с учётом высоких температур окружающей среды / И. Н. Якунин, А.П. Фот, Н. Н. Якунин, А. Ф. Фаттахова // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». – 2022. – № 19(2): – С. 278–288.

140. Яндекс карты [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://yandex.ru/maps> (Дата обращения: 01.04.2021).

141. Ярмолинский А. И. Совершенствование методики оценки аварийности автомобильных дорог по степени обеспечения безопасности движения в городских условиях / А. И. Ярмолинский, И. Н. Пугачев, Н. Г. Шешера // Вестник ТОГУ. – 2016. – № 3(42). – С. 33–42.

142. American Association of State Highway and Transportation Officials, [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.transportation.org/> (Дата обращения: 01.04.2021).

143. Baklanova K. 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. – P.12005.

144. Charly, T. Mathew Estimation of traffic conflicts using precise lateral position and width of vehicles for safety assessment Accident Analysis and Prevention, 132 (2019), Article 105264 <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105264>.

145. Chunyang Han. Investigating varying effect of road-level factors on crash frequency across regions: A Bayesian hierarchical random parameter modeling approach / Chunyang Han Helai Huang Jaeyoung Lee Jie Wang // Analytic Methods in Accident Research. –2018. –20. P. 81-91.

146. Google Earth [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://earth.google.com/web>.

147. Ho Ting Cheng. Infotainment and road safety service support in vehicular networking: From a communication perspective / Ho Ting Cheng, Hanguan Shan , Weihua Zhuang. // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2011. –6. – P. 2020-2038.
148. Johnsson C. In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators / Johnsson C., A. Lareshyn, T. De Ceunynck // *Transport Reviews* – 2018. – 38 (6). P/ 765-785.
149. Lai Zheng . Modeling traffic conflicts for use in road safety analysis: A review of analytic methods and future directions / Lai Zheng, Tarek Sayed, Fred Mannering // *Analytic Methods in Accident Research*. –2021. –29. P. 100142.
150. Lenin A.. Event-based road safety assessment: A novel approach towards risk microsimulation in roundabouts // Lenin A., Bulla-Cruz, Lareshyn A., Lyons L. // *Measurement*. – 2020. –165. P. 108192.
151. Mahmud S. Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs / S. Mahmud, L. Ferreira, M. Hoque, A. Tavassoli. // *IATSS Research*. – 2017. – 41. P. 153-163.
152. Matarage I. Calibration of highway safety manual predictive models for Kansas freeway segments / I. Matarage, S. Dissanayake // *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*/ 2019 v 26(2) P. 1–9.
153. 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. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.– 2019. – 632. – P.12015.
154. Silyanov V.V. Simulation of Regional Mortality Rate in Road Accidents / V.V. Silyanov, A.B. Chubukov, V.T. Kapitanov, O.Yu. Monina, P. Pavel // *Transportation Research Procedia*. – 2017. – №20. – Pp. 112–124.
155. Tong Liu. Using empirical traffic trajectory data for crash risk evaluation under three-phase traffic theory framework/ Tong Liu, Zhibin Li, Pan Liu, Chengcheng Xu , David A // *Noyce Accident Analysis and Prevention*.–2021.–157.–P.106191.
156. Vaiana R. Road Safety Performance Assessment: A New Road Network Risk Index for Info Mobility / Vaiana Rosolino Iuele Teres Astarita Vittorio Festa D.

Carmine Tassitani Antonio Rogano Daniele Zaffino Claudio // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. –2014. –111. –P. 624-633.

157. Vikash V. Estimating safety performance functions for two-lane rural roads using an alternative functional form for traffic / Vikash V. Gayah , Eric T. Donnell // *Accident Analysis and Prevention*. –2021. – 157. – P. 106173.

158. Voevodin E. Reduction of accidents on public roads by increasing informativeness of drivers / Voevodin E. S., Pulyanova K. V, Kashura A. S., Askhabov A. M., Fomin E. V, Golub N. V // *Proceedings of the international conference: aviamechanical engineering and transport (AVENT 2018)*. – 2018. – 158. P. 443–447.

159. Xiao Qin. Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments / Xiao Qin, John N. Ivan, Nalini Ravishanker // *Accident Analysis and Prevention*. 2004. – 36. – P. 183–191.

160. Xie K. Use of real-world connected vehicle data in identifying high-risk locations based on a new surrogate safety measure / K. Xie, D. Yang, K. Ozbay, H. Yang. // *Accident Analysis and Prevention* – 2019. – 125. P. 311–319.

161. Zheng L. Traffic conflict techniques for road safety analysis: Open questions and some insights/ L. Zheng, K. Ismail, X. Meng // *Canadian Journal of Civil Engineering*. – 2014. – 41. – P. 633–641.







## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Таблица Б.1 – Информация об аварийных участках

Ки-ло-метр до-роги	Год / Количество ДТП, ед.								Преобладающий вид ДТП	Район	План дороги
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022			
597	0	0	0	0	1	3	0	2	Столкновение	Ачинский	Горизонтальный участок
611	2	1	1	1	1	1	0	3	Столкновение	Ачинский	Горизонтальный участок
653	0	1	2	0	1	3	0	1	Столкновение	Ачинский	Горизонтальный участок
657	1	0	1	0	5	0	0	1	Столкновение	Ачинский	Горизонтальный участок
714	0	0	2	5	0	0	1	2	Наезд на стоящее ТС	Козульский	Горизонтальный участок
770	2	5	3	0	3	0	0	0	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
784	1	0	1	1	4	1	1	0	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
795	2	6	0	4	4	1	4	4	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
796	6	0	2	0	2	1	1	0	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
798	2	2	0	3	6	1	1	2	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
808	4	4	0	2	2	1	3	5	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
843	3	0	0	2	1	0	0	1	Наезд на пешехода	П. Березовка	Горизонтальный участок
844	1	6	1	2	2	1	1	1	Наезд на пешехода	П. Березовка	Горизонтальный участок
879	0	0	2	3	1	1	0	2	Столкновение	Манский	Затяжной поворот
898	2	3	2	2	1	3	1	1	Столкновение	Манский	Затяжной поворот подъем/спуск
908	1	0	5	2	2	1	1	1	Столкновение	Уярский	Затяжной поворот
931	0	0	1	5	3	0	1	1	Столкновение	Уярский	Горизонтальный участок
20-21	2	1	1	2	1	2	1	4	Съезд с дороги и опрокидывание	Дивногорск	Уклоны и повороты
30-31	1	3	3	5	2	6	1	4	Столкновение	Дивногорск	Горизонтальный участок
83	0	0	1	0	0	0	1	3	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
123	1	1	10	3	1	0	1	1	Съезд с дороги и опрокидывание	Балахтинский	Уклоны и повороты
424	2	4	4	1	0	0	0	0	Столкновение	Минусинский	Горизонтальный участок
425	4	1	2	0	0	0	0	2	Столкновение	Минусинский	Горизонтальный участок

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Проведение эксперимента

Таблица В.1 – Печень фиксируемых факторов и необходимого оборудования

Параметр	Ед. изм.	Тип показателя	Тип обследования	Необходимое оборудование	Документ, регламентирующий требования к оборудованию и процессу измерения
1	2	3	4	5	7
Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения	Ед.	Колич.	Визуальный	-	ГОСТ Р 52577–2006 Дороги автомобильные общего пользования. Методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог [33] / ГОСТ 33383–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров [29]
Ширина полосы движения	м	Колич.	Инструментальный	Нивелир класса Н-3 и равноточные ему нивелиры/ Рейка РН-3 двусторонняя, шашечная /Рулетка измерительная металлическая	
Ширина обочины					
Ширина разделительной полосы					
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м					
Продольный уклон	‰	Колич.	Инструментальный		
Радиус кривой в плане	м	Колич.	Инструментальный	Специализированные передвижные лаборатории, оборудованные соответствующей измерительной аппаратурой (например, гироскопическими установками)	ГОСТ Р 52577–2006 Дороги автомобильные общего пользования. Методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог [33]/ ГОСТ 33383–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров [29] ОДМ 218.6.027–2017 Рекомендации по проведению аудита безопасности дорожного движения при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог [81]






Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5	7
Видимость	м	Колич.	Инструментальный	Дальномеры/ Измерители пройденного пути, установленные на передвижных дорожных лабораториях/ Мерные колеса/ Рулетки измерительные металлические не ниже 3-го класса точности длиной более 10 м	ГОСТ Р 52577–2006 Дороги автомобильные общего пользования. Методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог [33]/ ГОСТ 32963–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Расстояние видимости. Методы измерений [25]
Коэффициент сцепления		Качест.	Инструментальный	Портативный ППК-Ф, динамометрическая тележка	ГОСТ 33078–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием [27]
Интенсивность движения	тыс. авт/сут.	Колич.	Инструментальный/ визуальный	Оборудование для фиксации данных	ОДМ 218.6.027–2017 Рекомендации по проведению аудита безопасности дорожного движения при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог [81]
Скорость движения	км/ч	Колич.	Математический	Оборудование для фиксации данных	ВСН 25–86 Минавтодор РСФСР «Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» [19]

Таблица В.2 – Категории ТС




Категория ТС	Рисунок	Конструктивные особенности	Тип транспортного средства
1	2	3	4
L		Узкая ширина	Мотоциклы
M1	 	Малые размеры	Легковые автомобили, небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него
N	 	Четко распознаваемая водительская кабина, большая длина	Двухосные грузовые автомобили

Окончание таблицы В.2





1	2	3	4
N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> , N+O <sub>3,4</sub>			Трехосные грузовые автомобили
			Четырехосные грузовые автомобили
			Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)
			Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)
			Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
			Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
			Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
			Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)
			Шестиосные седельные автопоезда
			Автомобили с семью и более осями и другие
M <sub>2</sub> /M <sub>3</sub>		Четкая прямоугольная форма	Автобусы

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 – Первичные данные о рассматриваемых участках





Номер п\п	Км, до-рога	Кол-во ДТП	Конфигурация участка
1	2	3	4
1	24, Р-257	4	
2	30, Р-257	12	
3	637, Р-255	3	

Продолжение таблицы Г.1.

1	2	3	4
4	670, P-255	2	
5	711, P-255	5	
6	714, P-255	8	
7	726, P-255	1	




Продолжение таблицы Г.1.





1	2	3	4
8	737, P-255	0	
9	743, P-255	1	
10	763, P-255	2	
11	770, P-255	13	



Продолжение таблицы Г.1.

1	2	3	4
12	772, P-255	4	
13	777, P-255	1	
14	785, P-255	2	

Продолжение таблицы Г.1.

1	2	3	4
15	796, P-255	5	
16	799, P-255	9	
17	854, P-255	2	
18	879, P-255	6	

Продолжение таблицы Г.1.

1	2	3	4
19	898, P-255	9	
20	913, P-255	13	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Итоговые результаты эксперимента

Таблица Д.1 – Итоговая таблица с исследуемыми параметрами

	Среднечасовая интенсивность движения, авт\сут	Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость, м	Число основных полос на проезжей части	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления
24	9480	3,75	0,5	90	65	100	2	0,5	0,7
30	6712	3,5	1,5	28	2953	980	3	0,5	0,57
637	9307	3,5	0	0	5432	920	2	1	0,57
670	11411	3,5	0	8	3485	880	2	0	0,35
711	12476	3,75	2	3	2170	860	4	200	0,57
714	12455	3,5	0,5	28	4454	840	4	200	0,4
726	11689	3,5	0	5	1658	880	2	0	0,3
737	11689	3,5	2	35	2288	400	2	3	0,7
743	10994	3,5	2,5	32	1646	870	2	5	0,7
763	7842	3,5	3	23	3660	860	2	5	0,5
770	10768	3,5	2,5	42	10842	960	2	15	0,7
772	11235	3,5	0	0	6234	890	2	1	0,57
777	14316	3,5	2,5	18	5190	980	2	50	0,7
785	15221	3,5	2,5	17	1294	840	2	200	0,7
796	19309	3,75	1	18	3927	900	4	300	0,57
799	23156	3,75	1	19	1072	900	4	300	0,6
854	14473	3,75	2	20	2306	880	2	500	0,7
879	5673	3,75	0,5	19	4893	720	2	100	0,6
898	8785	4	0,5	90	200	250	2	0	0,7
913	7655	3,5	0	0	2298	1450	2	1	0,7

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Значения частных коэффициентов аварийности

Таблица Е.1 – Значения частных коэффициентов аварийности для дорог II–V категорий в равнинной и холмистой местности

<b>Интенсивность движения, тыс. авт./сут</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
K <sub>1</sub> (двухполосные дороги)	3,5	2,5	2,1	1,75	1,3	1,2	1	1,3	2,1			
K <sub>1</sub> (трехполосные дороги)	6,5	3,2	2,5	2,2	1,8	1,6	1,5	1,2	1,1	1	1,3	1,8
<b>Интенсивность движения, тыс. авт./сут</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	
K <sub>1</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)	3	2,4	1,6	1,32	1,15	1,05	1	1,12	1,32	1,6		
K <sub>1</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой)	3,7	3,2	2,3	1,6	1,3	1,15	1,1	1	1,05	1,1	1,2	
<b>Ширина полосы движения, м</b>	<b>2,75</b>	<b>3</b>	<b>3,25</b>	<b>3,5</b>	<b>3,75</b>	<b>4</b>	<b>4,5</b>	<b>5</b>				
K <sub>2</sub> (двухполосные дороги)	2	1,35	1,2	1,1	1	1,1	1,2	1,5				
K <sub>2</sub> (трехполосные дороги)	3,4	2,1	1,6	1,4	1,1	1	1,4	2,3				
K <sub>2</sub> ( многополосные дороги без разделительной полосы)	1,6	1,2	1,1	1	1,35	1,45	1,6	1,7				
K <sub>2</sub> ( многополосные дороги с разделительной полосой)	2,9	2	1,45	1,1	1	1,18	1,8	2,3				
<b>Ширина обочины, м</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>				
K <sub>3</sub> (двухполосные дороги с укрепленными обочинами)	1,65	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1					
K <sub>3</sub> (двухполосные дороги с неукрепленными обочинами)	2,5	1,85	1,5	1,35	1,2	1,1	1					
K <sub>3</sub> (трехполосные дороги с укрепленными обочинами)	2,75	2	1,5	1,25	1,1	1						
K <sub>3</sub> (трехполосные дороги с неукрепленными обочинами)	6,25	5,2	4,5	4,2	4	1,1	1,05	1				
K <sub>3</sub> (многополосные пороги без разделительной полосы с укрепленными обочинами)	4,2	2,9	2	1,8	1,6	1,5	1,25	1				
K <sub>3</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы с неукрепленными обочинами)	4,3	3,1	2,1	1,5	1,4	1,2	1,1	1				
K <sub>3</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой с укрепленными обочинами)	1,6	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1				
K <sub>3</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой с неукрепленными обочинами)	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1						
<b>Число основных полос движения проезжей части</b>	<b>2</b>	<b>3 без разметки</b>	<b>3 с разметкой</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>						
K <sub>4</sub> (двухполосные и трехполосные дороги)	1	1,3	0,7									
K <sub>4</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)				0,83	0,63	0,52						

К <sub>4</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой)				0,56	0,5	0,35			
<b>Продольный уклон, %</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>80</b>				
К <sub>5</sub> (двухполосные и трехполосные дороги)	1	1,1	1,4	1,9	2,2				
К <sub>5</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)	1	1,2	1,8	2,9	3,2				
К <sub>5</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой)	1	1,1	1,6	2,7	3				
<b>Радиус кривых в плане, м</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200-300</b>	<b>400-600</b>	<b>1000-2000</b>	<b>Более 2000</b>			
К <sub>6</sub> (двухполосные и трехполосные дороги)	7,2	6,2	5,2	4	2	1			
К <sub>6</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)	5,6	4,5	3,6	1,5	1,05	1			
К <sub>6</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой)	5	4,2	3,4	1,25	1,05	1			
<b>Расстояние видимости в плане, м</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>600</b>
К <sub>7</sub> (двухполосные и трехполосные дороги)	4,5	2,5	1,9	1,8	1,7	1,5	1,35	1,1	1
К <sub>7</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)	9,5	5,5	3,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1
К <sub>7</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой)	3,8	3	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	1,05	1
<b>Расстояние видимости в профиле, м</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>600</b>
К <sub>7</sub> (двухполосные и трехполосные дороги)	6	4,2	3	2,6	2,4	2,3	2	1,5	1
К <sub>7</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)	11	7	5	3,5	2,9	2,4	2,2	1,7	1
К <sub>7</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой)	4	3,5	2,8	2	1,5	1,3	1,2	1,05	1
<b>Коэффициент сцепления</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>			
К <sub>8</sub> (двухполосные и трехполосные дороги)	3,6	1,84	1,4	1,2	1,1	1			
К <sub>8</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)	4,8	2	1,46	1,2	1,1	1			
К <sub>8</sub> (многополосные дороги с разделительной полосой)..	4,4	2,2	1,38	1,12	1,05	1			
<b>Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>			
К <sub>9</sub> Без ограждений	4,3	3,7	3,2	2,75	2	1			
К <sub>9</sub> С ограждениями	2,2	2	1,85	1,75	1,4	1			



## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Акты внедрения



#### АКТ

**О практическом применении результатов диссертационного исследования старшего преподавателя кафедры транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет»  
Баклановой Кристины Вячеславовны**

Настоящим актом подтверждается, что методика определения потенциально аварийно-опасных участков на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов, учитывающая доли автотранспортных средств категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  в потоке и скорости их движения, принята к внедрению.

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 увеличением доли автомобилей большей грузоподъемности и автопоездов увеличивается расслоение транспортного потока по скорости движения ТС. Существующие методы оценки безопасности дорожного движения не учитывают совокупность этих факторов. В связи с этим, научное исследование, направленное на выявление закономерностей влияния структуры транспортного потока и разности скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на безопасность дорожного движения на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов, является актуальным. Его результаты позволят значительно снизить аварийность, путем нормирования итогового значения коэффициента аварийности в зависимости от реальных дорожных условий и характеристик транспортного потока.

Рисунок Ж.1 –Акт внедрения от Министерства транспорта Красноярского края

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника ОНРЭРиИО  
управления Госавтоинспекции ГУ  
МВД России по Красноярскому краю  
В.Л. Ивашкевич

«31» сентября 2024 года

## АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата наук Баклановой Кристины Вячеславовны по теме «Организация безопасного дорожного движения потока автомобилей с различными скоростями вне населённых пунктов»**

Настоящий акт свидетельствует о том, что управление Госавтоинспекции ГУ МВД России по Красноярскому краю приняло к использованию методику определения потенциально аварийно-опасных участков на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов, учитывающую доли автотранспортных средств категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  в потоке и скорости их движения, и методику организации движения транспортного потока на потенциально аварийно-опасных участках, отличающаяся от известных тем, что из условия предотвращения образования заторов определяется скорость движения медленно движущихся ТС категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$ , ограничивается скорость движения автотранспортных средств, следующих за ними. Методики разработаны на основании исследований, представленных в диссертационной работе К.В. Баклановой по теме «Организация безопасного дорожного движения потока автомобилей с различными скоростями вне населённых пунктов».

Представленные методики являются актуальными и обладают практической значимостью в процессе организации дорожного движения. Применение методик позволяет повысить уровень безопасности дорожного движения.

Рисунок Ж.2 – Акт внедрения в УГИБДД ГУ МВД  
России по Красноярскому краю





УТВЕРЖДАЮ:  
 Проректор по учебной работе  
 ФГАОУ ВО  
 «Сибирский федеральный  
 университет»  
 Д.С. Гуц

« 15 » апреля 2024 г.

### АКТ

использования результатов кандидатской диссертации  
 Баклановой Кристины Вячеславовны  
**«Организация безопасного дорожного движения потока автомобилей  
 с различными скоростями вне населённых пунктов»**  
 в учебно-методической и научно-исследовательской работе  
 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Настоящим актом подтверждается внедрение в учебный процесс ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» материалов и результатов научно-исследовательской работы по теме «Организация безопасного дорожного движения потока автомобилей с различными скоростями вне населённых пунктов».

Разработанная автором методика определения потенциально аварийно-опасных участков на перегонах двухполосных автомобильных дорог вне населённых пунктов, учитывающая доли автотранспортных средств категорий  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N+O_{3,4}$  в потоке и скорости их движения используется при проведении практических занятий по дисциплинам «Автомобильные дороги и городские улицы» для обучающихся по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» и «Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и улиц» для обучающихся по направлению подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Директор  
 Политехнического института

М.В. Первухин

Заведующий кафедры «Транспорт»

Е.С. Воеводин

Рисунок Ж.3 – Акт внедрения в учебный процесс