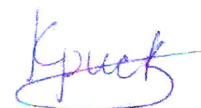


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



**БАКЛАНОВА КРИСТИНА ВЯЧЕСЛАВОВНА**

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

Специальность 05.22.10 – 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 – 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	11
1.1. Анализ состояния дорожно-транспортного комплекса Красноярского края	11
1.2. Анализ состояния аварийности .....	13
1.2.1. Анализ аварийности на дорогах Российской Федерации .....	13
1.2.2. Анализ аварийности на дорогах Красноярского края .....	16
1.2.3. Состояние аварийности на федеральных автомобильных дорогах Красноярского края.....	19
1.2.4. Анализ аварийности на федеральных дорогах с участием транспорта категорий М2, М3 и N.....	26
1.2.5. Вывод по текущему состоянию аварийности на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения Красноярского края.....	28
1.3. Анализ методов и средств оценки безопасности дорожного движения .....	31
1.4. Выводы по главе.....	48
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ИТОГОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АВАРИЙНОСТИ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА.....	49
2.1. Обоснование перечня факторов, оказывающих влияние на БДД.....	49
2.2. Теоретические основы оценки частных коэффициентов аварийности .....	54
2.3. Анализ значимости частных коэффициентов аварийности.....	55
2.4. Обоснование групп частных коэффициентов аварийности.....	64
2.5. Модель оценки итогового коэффициента аварийности, учитывающая характеристики движения транспортного потока .....	68
2.6. Алгоритм оценки итогового коэффициента аварийности .....	75
2.7. Определение предельного значения итогового коэффициента аварийности..	76
2.8. Выводы по главе.....	79

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	82
3.1. Планирование этапов и методик проведения эксперимента .....	82
3.2. Методика определения геометрических элементов автомобильных дорог.....	87
3.2.1. Определение элементов плана и продольного профиля .....	87
3.2.2. Оборудование для определения параметров дорожного полотна .....	91
3.2.3. Методика проведения натурального эксперимента .....	93
3.3. Методика определения коэффициента сцепления шин .....	95
3.4. Методика определения интенсивности и состава транспортного потока.....	96
3.5. Методика определения скоростного режима и дистанции между ТС .....	99
3.6. Обработка первичного массива данных .....	101
3.7. Применяемые методы обработки экспериментальных данных .....	103
3.8. Выводы по главе.....	105
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	107
4.1. Результаты натурных исследований .....	107
4.1.1. Результаты определения геометрических элементов автомобильных дорог .....	107
4.1.2. Результаты исследования интенсивности транспортного потока.....	110
4.1.3. Результаты исследования скоростного режима .....	116
4.2. Результаты обработки экспериментальных данных .....	126
4.3. Предельное значение итогового коэффициента аварийности.....	137
4.4. Сравнение разработанной методики с существующими .....	138
4.5. Практические рекомендации по повышению безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения на основе разработанной модели .....	139
4.6. Оценка экономической эффективности предлагаемой методики.....	141
4.7. Выводы по главе.....	145
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	149
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	152

ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	168
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	169
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	171
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	172
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	183
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	185
ПРИЛОЖЕНИЕ И .....	186

## ВВЕДЕНИЕ

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

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

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 безопасности. В январе 2018 года распоряжением Правительства Российской Федерации утверждена «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы». На данный момент разрабатывается третья государственная программа Российской Федерации по обеспечению БДД на период до 2030 года, направленная на снижение смертности и травматизма населения в результате ДТП на автомобильных дорогах, а также на повышение эффективности системы управления в области обеспечения БДД.

За последние 30 лет наблюдается темп роста автомобилизации опережающий уровень развития транспортной инфраструктуры. Из-за значительной разницы в динамике развития ежегодно увеличивается риск возникновения ДТП. За период 2010 – 2020 гг. российский автопарк в целом вырос на 30 %. Самую большую долю в автопарке транспортных средств занимают легковые автомобили, за 10 лет их количество увеличилось на 40 %, рост численности легких коммерческих автомобилей и грузовых суммарно составил 40 %, количество прицепов увеличилось на 55 %, относительное количество автобусов осталось на том же уровне [7, 77, 99]. Со-

став транспортного потока оказывает существенное влияние на все параметры, характеризующие дорожное движение. Во многом это связано с разницей в динамических и тормозных качествах легковых и грузовых автомобилей. Таким образом, в связи с ростом доли автомобилей большей грузоподъемности и автопоездов увеличивается расслоение транспортного потока по скорости движения транспортных средств (ТС).

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

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

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

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

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

**Задачи исследования:**

1. Обосновать набор факторов, оказывающих влияние на БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.
2. Разработать математическую модель определения итогового коэффициента аварийности для автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения, учитывающую состав транспортного потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.
3. На основе экспериментальных данных выявить взаимосвязи характеристик транспортного потока и получить регрессионную модель, описывающую зависимость частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.
4. Установить зависимости, характеризующие условия видимости на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения, для определения значений частных коэффициентов.
5. Выполнить экспериментальную проверку разработанной методики и ее технико-экономическую оценку.

**Научной новизной обладают:**

1. Научно обоснованный набор факторов, оказывающих влияние на БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.
2. Предложение учитывать скоростной режим при определении итогового коэффициента аварийности.
3. Установленная зависимость влияния состава транспортного потока на вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.
4. Регрессионная зависимость, позволяющая определять значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$ , учитывающего вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

**Теоретическая значимость исследования.** Выявлены закономерности влияния новых факторов: состав транспортного потока и вариационный размах скоро-

стей между обгоняемым и обгоняющим ТС, а также предложена методика определения итогового коэффициента аварийности, дополненная новым частным коэффициентом, учитывающим состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, которая позволяет повысить БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

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

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

Специалистам организаций дорожных служб результаты работы позволят:

- оценивать уровень БДД с учетом характеристик транспортного потока.
- прогнозировать уровень БДД на дорогах общего пользования федерального и регионального значения на этапе их проектирования.

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

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

**Реализация результатов работы.** Результаты работы приняты к внедрению в Министерство транспорта Красноярского края, КГКУ «Управление автомобильных дорог по Красноярскому краю» и УГИБДД ГУ МВД России по Красноярскому краю. Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры транспорта СФУ по направлениям подготовки 23.03.01 «Технология



транспортных процессов» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

**На защиту выносятся следующие научные положения:**

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

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

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

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены в научных докладах и выступлениях на: XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2017» (г. Красноярск, 2017 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2017 г.); XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2018» (г. Красноярск, 2018 г.), X Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (г. Иркутск, 2018 г.), XII Международной научно-практической конференции «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса» (г. Пенза, 2018 г.), XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2019» (г. Красноярск, 2019 г.), 106-й Международной научно-технической конференции

«Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Иркутск, 2019 г.), II Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2019 г.); XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2020» (г. Красноярск, 2020 г.), Сибирском транспортном форуме (г. Новосибирск, 2020 г.), научно-методическом семинаре «Подготовка и структурирование научно-квалификационной работы для защиты в диссертационном совете. Работа над ошибками» (г. Иркутск, 2020 г.), XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2021» (г. Красноярск, 2021 г.), 110 международной научно-технической конференции «Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Иркутск, 2021 г.), III Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» (г. Красноярск, 2021 г.).

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

–выполнил анализ статистики ДТП на федеральных дорогах Красноярского края начиная с 2015г., выявил основные причины ДТП;

–научно обосновал необходимость добавления ранее неучтенных факторов: состав потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС;

–подготовил и провел экспериментальные исследования параметров транспортного потока, на основе которых установил статистическую зависимость: «состав потока – вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС».

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

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

## **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 тысячи километров. Общая стоимость дорожной сети в крае составляет порядка 29,7 млрд рублей.

В крае находится единственная городская агломерация – Красноярская агломерация, общая протяженность автодорог которой составляет около 1,5 тыс. км дорог с усовершенствованным покрытием [92].

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) [78, 89, 92]. По состоянию на 01.01.2021 не соответствуют нормативным требованиям 4198,752 км автомобильных дорог [106].

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, Емель-

яновский, 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 километров. Проходит по следующим районам Красноярского края (Емельяновский, Козульский, Балахтинский, Новоселовский, Минусинский). В границах Республики Хакасия проходит по следующим районам Республики Хакасия (Боградский, Усть-Абаканский, Алтайский) [92].

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» [90] данные позиции исключили из перечня дорог федерального значения.

Краткая характеристика существующих автомобильных дорог общего пользования федерального значения Красноярского края представлена в таблице 1.1 [114].

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

Из таблицы 1.1 видно, что преобладают участки дорог, относящиеся к 3-й категории дорог (63 %). Следовательно, преобладают двухполосные участки дорог.

В 2017 году Красноярский край вступил в программу «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Программа включает в себя два этапа. Первый этап (2017 – 2018 годы) был направлен на ремонт и обустройство дорог, а также на повышение БДД. На втором этапе (2019 – 2025 годы) предполагается приступить к строительству и реконструкции крупных объектов [93].

Реализация приоритетного проекта помогла привести в нормативное состояние более 1071 км дорог (157 объектов улично-дорожной сети региона). К концу 2018 года к нормативному состоянию приведены 58 % дорог агломерации, в том числе 193 км федеральных дорог и 263 км региональной дорожной сети.

В 2019 году на смену проекта пришел одноименный национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Масштаб национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» охватывает практически всю страну, в нем принимают участие 84 субъекта Российской Федерации, в том числе Красноярский край [10, 64].

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, 47, 64].

## **1.2. Анализ состояния аварийности**

### **1.2.1. Анализ аварийности на дорогах Российской Федерации**

На долю автомобильного транспорта в Российской Федерации приходится более 1/2 объема пассажирских перевозок и 3/4 – грузовых перевозок.

С увеличением уровня автомобилизации страны, объемов перевозки пассажиров и грузов возникает проблема обеспечения БДД. В обстановке, характеризующейся высокой интенсивностью движения автомобильного транспорта, в которое

вовлечены десятки миллионов людей и большое число транспортных средств, предупреждение аварийности становится одной из серьезнейших социально-экономических проблем. От ее успешного решения в значительной степени зависят не только жизнь и здоровье людей, но и развитие экономики страны.

Данная проблема, характеризующаяся сложностью и многоплановостью, приобрела особую остроту в последнее десятилетие в связи с возрастающей диспропорцией между приростом количества автотранспортных средств и протяженностью улично-дорожной сети.

По оценкам специалистов, потери, связанные с аварийностью на автомобильных дорогах, в несколько раз превышают ущерб от железнодорожных катастроф, пожаров, других видов несчастных случаев [34].

Анализ состояния и динамики аварийности на автомобильном транспорте [77, 84, 104] (рисунок 1.1) показывает, что уровень дорожно-транспортного травматизма в стране продолжает оставаться недопустимо высоким. В представленной динамике отражены результаты реализации федеральной целевой программы (ФЦП) «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 – 2012 годах» [87] и ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 годах» [88].

Проанализировав аварийность и уровень автомобилизации (рисунок 1.1) в России, можно выделить несколько факторов, определяющих состояние этой проблемы на сегодняшний день:

- темп развития уровня автомобилизации опережает динамику развития транспортной инфраструктуры, так как количественный состав парка вырос в два раза, а протяжённость дорог увеличилась только на 15 %;

- 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;

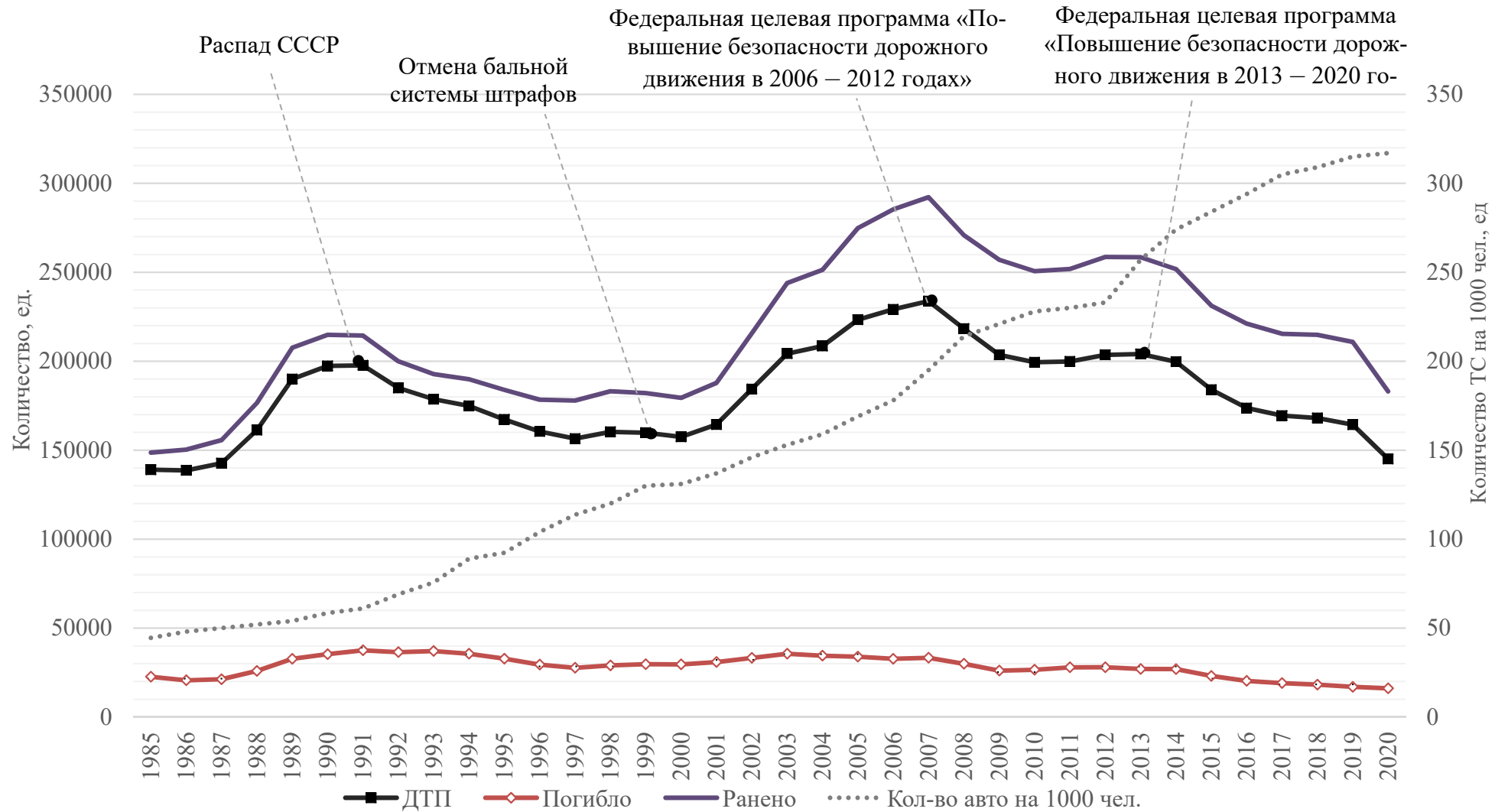


Рисунок 1.1 – Статистика ДТП в России за последние 35 лет

- реализация ФЦП «Повышения безопасности дорожного движения» способствует сокращению количества ДТП [77, 84, 87, 88, 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 [38, 63].

### 1.2.2. Анализ аварийности на дорогах Красноярского края

По состоянию на 9 ноября 2020 года Красноярский край занимал 59 место в рейтинге регионов, исходя из количества ДТП с пострадавшими на 100 тыс. автомобилей [99].

В таблице 1.2 представлена статистика аварийности по Российской Федерации, Сибирского федерального округа и Красноярскому краю [77, 84] за последние 6 лет наблюдений.

Таблица 1.2 – Статистика аварийности

Территория	Округ	Год					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
Российская Федерация	ДТП	184000	173694	169432	168099	164358	145073
	± % АППГ	-8	-6	-3	-1	-2	-12
	Погибло	23114	20308	19088	18214	16981	16152
	Ранено	231197	221140	215374	214853	210877	183040
Сибирский федеральный округ	ДТП	19249	22385	21600	20702	19436	17817
	± % АППГ	-29	+16	-4	-4	-6	-8
	Погибло	2327	2388	2282	2233	2023	2017
	Ранено	24105	28481	27372	26332	24870	22543
Красноярский край	ДТП	4477	4130	3779	3585	3568	3295
	± % АППГ	-6	-8	-9	-5	-1	-8
	Погибло	567	437	401	389	378	365
	Ранено	5659	5322	4747	4321	4376	4070

Из таблицы 1.2 видно, что в целом по России, Сибирскому федеральному округу и Красноярскому краю наблюдается тенденция к снижению общего количества ДТП, погибших и раненых. Количество ДТП в Красноярском крае составляет 17 % от общего количества ДТП по Сибирскому федеральному округу и 2 % по России.



В таблице А.1 приложения А представлена статистика по местам и месяцам совершения ДТП в Красноярском крае. Распределение количества ДТП по месяцам представлено на рисунке 1.2.

Из рисунка 1.2 видно, что пик ДТП 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 счет транзитного транспорта из других регионов [92, 94, 95, 145].

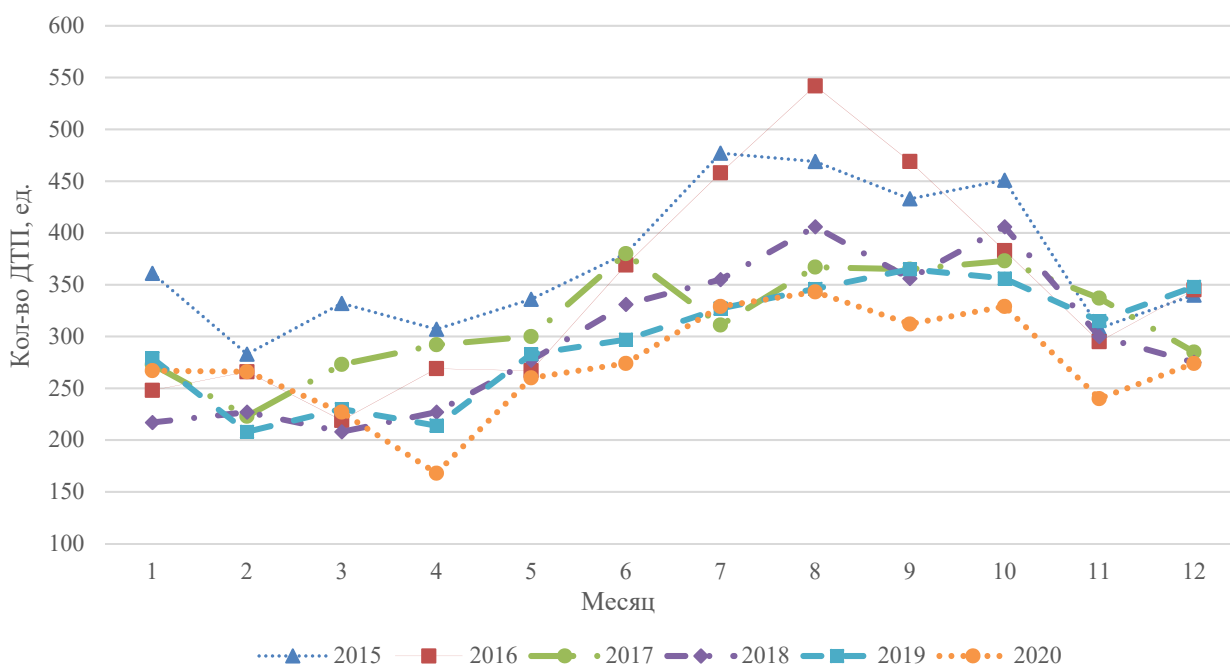


Рисунок 1.2 – Распределение по месяцам ДТП, произошедших на территории Красноярского края

На рисунках 1.3 и 1.4 представлены гистограммы распределения ДТП и погибших в зависимости от значения автомобильных дорог.

Анализ таблицы А.1 и рисунков 1.3 – 1.4 показал, что на долю ДТП на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения приходится 32 %. Несмотря на относительно небольшой процент происшествий, на долю этих ДТП приходится до 73 % погибших при ДТП на территории Красноярского края [144]. Для наглядности на лепестковой диаграмме (рисунок 1.5) отображено относительное количество ДТП и пострадавших на автомобильных дорогах

общего пользования федерального и регионального значения от общего количества по Красноярскому краю за последние 6 лет наблюдений.

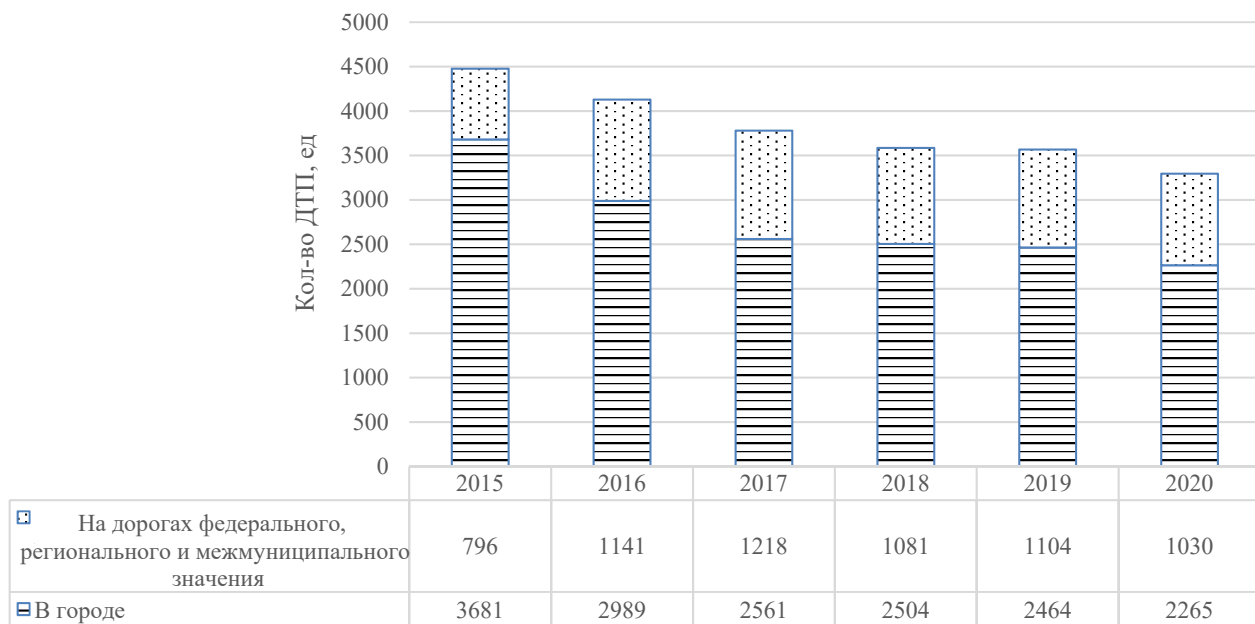


Рисунок 1.3 – Распределение ДТП на территории Красноярского края в зависимости от значения автомобильных дорог

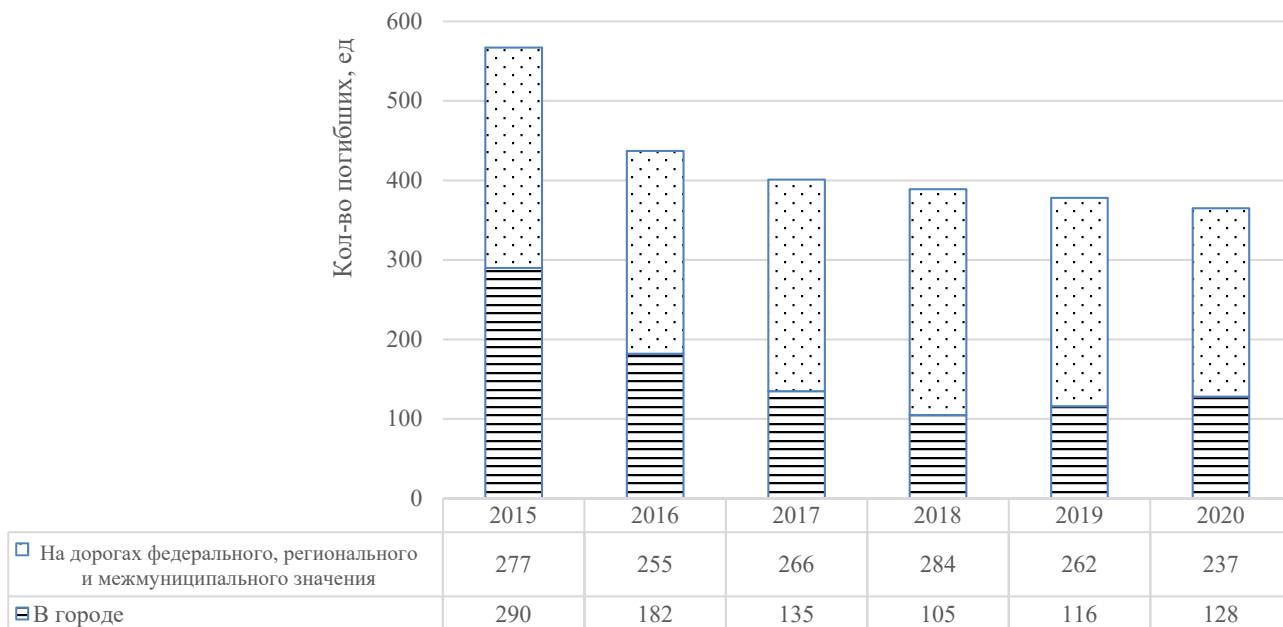


Рисунок 1.4 – Распределение погибших на территории Красноярского края в зависимости от значения автомобильных дорог

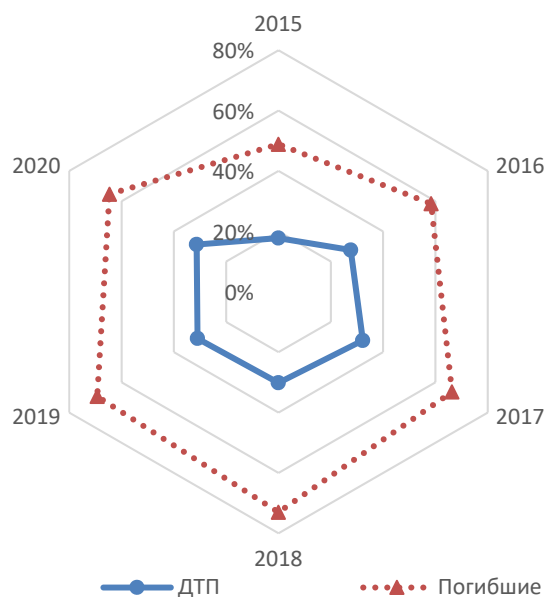


Рисунок 1.5 – Относительное количество ДТП и пострадавших на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения Красноярского края

Из рисунка 1.5 видно, что относительное количество ДТП и пострадавших на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения Красноярского края на протяжении 6 лет держится примерно на одном уровне.

Так как статистика ДТП [84, 94] свидетельствует о большой смертности на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения, рассмотрим более детально статистику ДТП на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения Р255 и Р257, проходящих по территории Красноярского края, более детально для выявления причин ДТП.

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

За 6 лет наблюдений аварийности на ФАД Р255 и Р257 зафиксировано 9 видов ДТП. На рисунке Б.1 приложения Б представлены гистограммы распределение ДТП по видам на ФАД Р255 и Р257.

Основным видом ДТП является столкновение. На ФАД Р255 на ДТП данного вида приходится около 61 % ДТП, при этом 54 % происходит во встречном направлении. Также часто встречаются съезды с дороги, опрокидывания и наезды на пешеходов (по 9 % на каждый вид ДТП). На ФАД Р257 на долю столкновений приходится до 49 %, при этом 66 % происходят во встречном направлении. На съезды с дороги и опрокидывания суммарно приходится до 35 % от общего количества ДТП. В 83 % ДТП произошедших с участием пешеходов, виноваты сами пешеходы [84, 94].

На рисунке 1.6 представлены диаграммы на которых отображено относительное количество ДТП различных видов на ФАД Р255 и Р257, где под иным видом ДТП предусмотрены: наезд на животное; наезд на велосипедиста, наезд на лицо, не являющееся участником дорожного движения, осуществляющее производство работ.

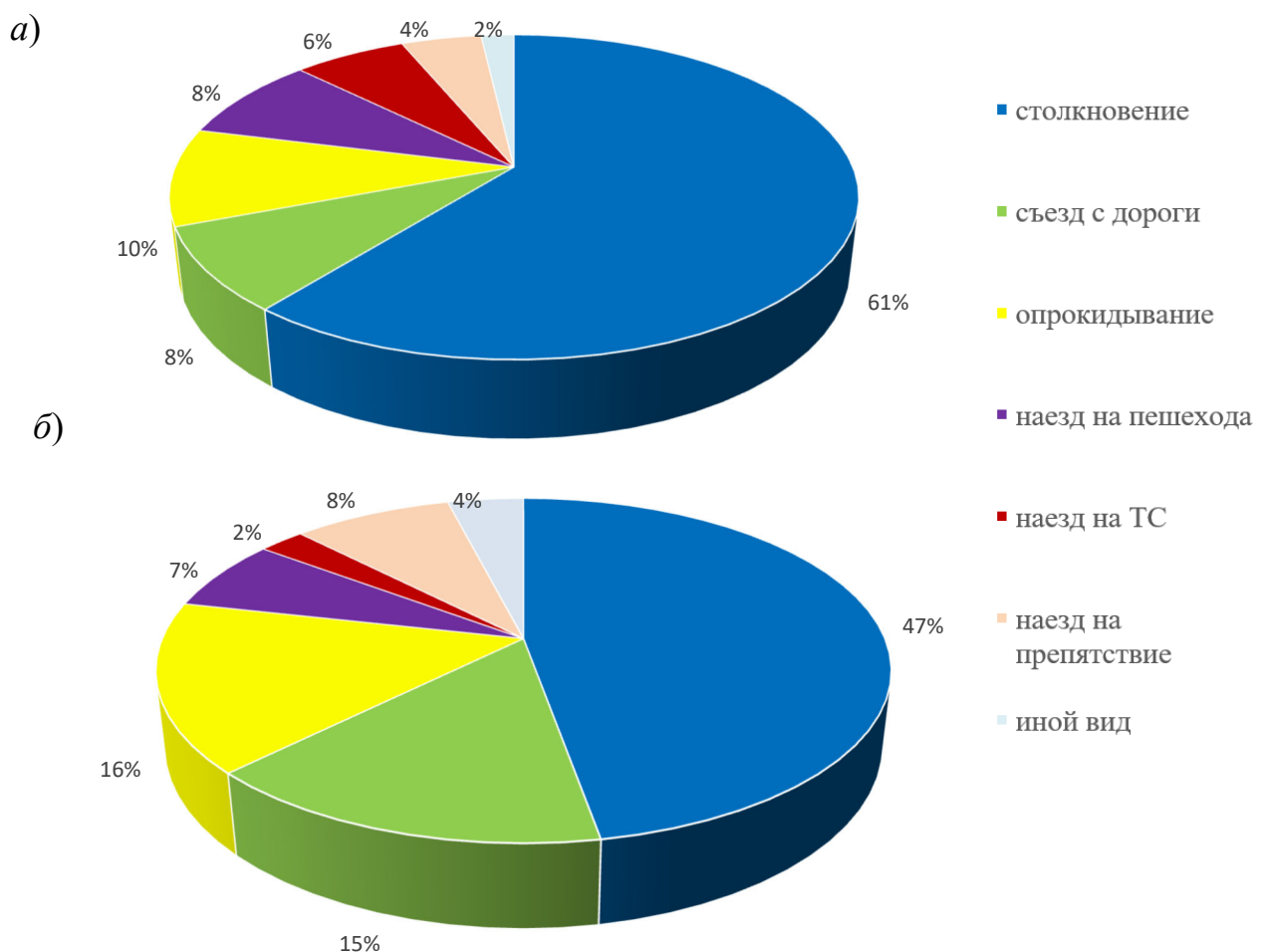


Рисунок 1.6 – Распределение относительного количества ДТП на федеральных дорогах Красноярского края по видам: а – ФАД Р255, б – ФАД Р257

Проанализировав статистику аварийности, можем выделить аварийные участки дорог.

Согласно формулировки в ФЗ «О безопасности дорожного движения» аварийно-опасный участок дороги (место концентрации ДТП) – это участок дороги, улицы, не превышающий 1000 метров вне населенного пункта или 200 метров в населенном пункте, либо пересечение дорог, улиц, где в течение отчетного 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 [113].

Согласно ОДМ 218.4.005–2010 при среднегодовой суточной интенсивности движения свыше 3000 авт./сут. к участкам концентрации ДТП относят любые участки дорог, на которых абсолютное число ДТП 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 [69].

Информация об участках федеральных дорог, которые на протяжении шести лет наблюдений хотя бы один раз характеризовались как аварийно-опасные, представлена в таблице Б.1 приложения Б.

Из таблицы Б.1 видно, что аварийными участками являются не только одиночные участки, но и участки, следующие друг за другом. Также из таблицы Б.1 видно, что наезд на пешехода характерен для участков, проходящих по населенным пунктам, в остальных случаях основным видом ДТП является столкновение. Основная часть опасных участков приходится на горизонтальные участки дороги.

Анализ таблицы Б.1 показал, что весь перечень участков на ФАД Р255 можно разделить на две условные группы: 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). Отметим обозначенные опасные участки дороги на карте ФАД Р255 (рисунок 1.7).

Из рисунка 1.7 видно, что в основном аварийно-опасные участки находятся возле Красноярской городской агломерации, что объясняется наибольшей концентрацией ТС на один километр.

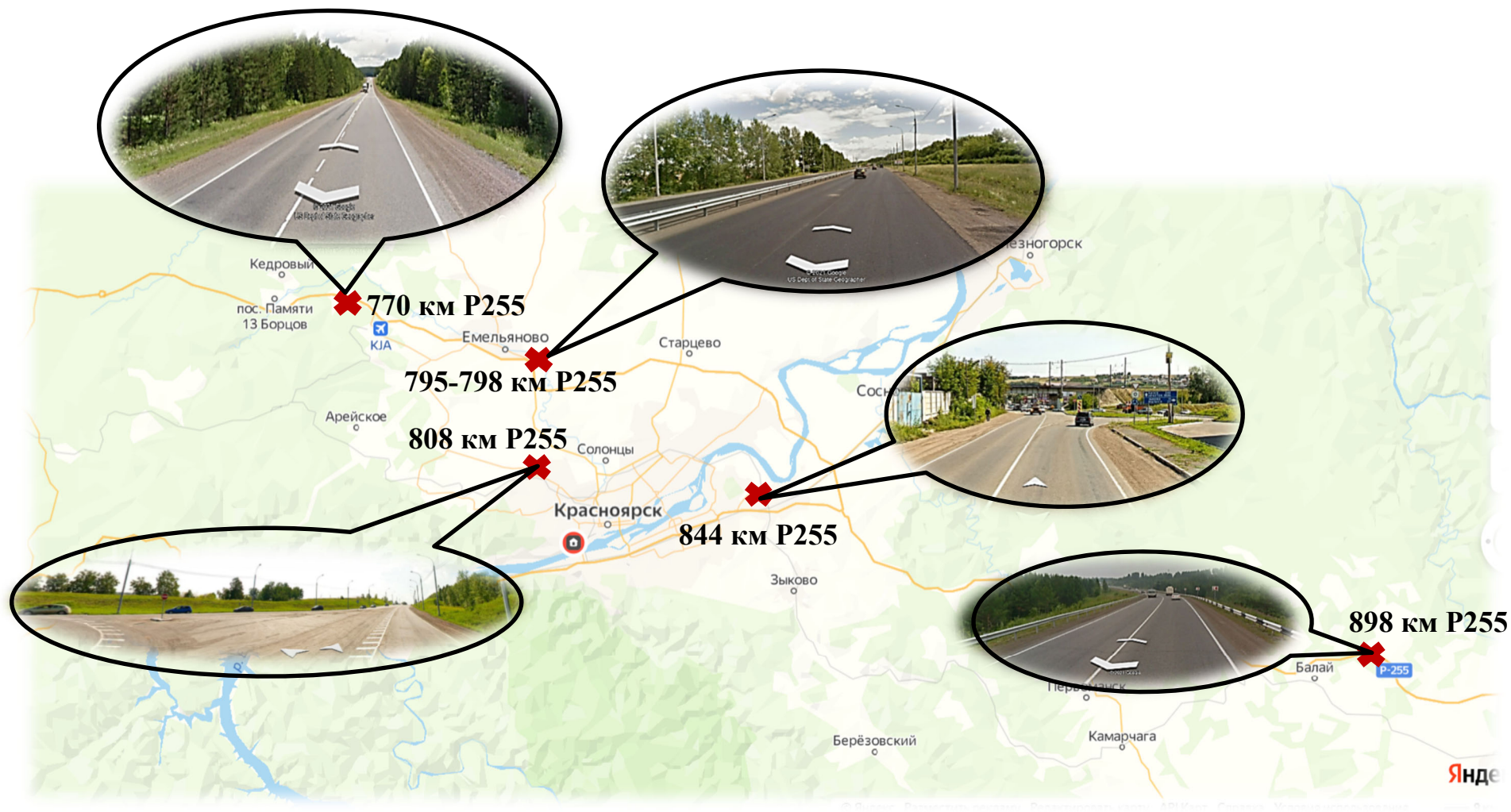


Рисунок 1.7 – Опасные участки на ФАД P255 на территории Красноярского края

Также анализ таблицы Б.1 показал, что на ФАД Р257 до 2018 года аварийными участками являлись 424 и 425 км, где основным видом ДТП было столкновение. В 2017 году наблюдается резкий скачок количества ДТП на 123 километре. 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. Также из таблицы Б.1 видно, что на ФАД Р257 на данный момент нет аварийно-опасных участков, что объясняется проведенными ремонтными работами на данных участках.

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, нарушение требований сигналов светофора и другие нарушения правил дорожного движения (ПДД) являются причиной ДТП [92]. Основные виды нарушений ПДД на ФАД Красноярского края представлены на рисунке 1.8.

Анализ относительного количества нарушений ПДД показал, что основным нарушением является «Другое нарушение», под данной формулировкой понимается несоответствие скорости конкретным дорожным условиям и потеря управляемости автомобилем. Данный вид нарушений в 80 % 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 %).

Помимо основного нарушения в каждом втором ДТП имеются сопутствующие нарушения, которые влекут за собой увеличение тяжести последствий ДТП: 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, нарушение правил перевозки детей, светопропускание стекол менее нормативного, управление в состоянии переутомления, сон за рулём, нарушение правил перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов, превышение установленной скорости движения [94].



Рисунок 1.8 – Основные виды нарушений ПДД на федеральных дорогах Красноярского края

На автомобильной дороге ФАД Р255 на 571–574, 582–583, 630, 633, 659–663, 665, 691, 701–703, 714–716, 724, 743, 753, 760–762, 772–774, 779, 793–796, 799–801, 808–809, 845, 849, 856, 870–871, 880–882, 895, 897–900, 903–905, 909, 931–932, 941–942, 970–971, 976, 1009, 1065, 1079–1081, 1098, 1040, 1045, 1137–1139, 1160 км и на автомобильной дороге ФАД Р257 на 17–19, 24–26, 34–36, 90–101, 133, 152, 248, 434, 451, 471–473 км в зависимости от оперативной обстановки устанавливаются



передвижные технические средства автоматической фотовидеофиксации для фиксации нарушения скоростного режима. На 669 (900 м), 712 (430 м), 774 (300 м), 796 (440 м), 878 (900 м), 1032 (500 м), 1080 (170 м) км на Р255 и 26 (200 м), 30 (570 м), 173 (300 м), 245, 478 (180 м) км на ФАД Р257 установлены многоцелевые комплексы автоматической фотофиксации нарушений правил дорожного движения СКАТ, фиксирующие нарушения скоростного режима [61]. Места расположения технических средств автоматической фотовидеофиксации представлены на рисунке 1.9.

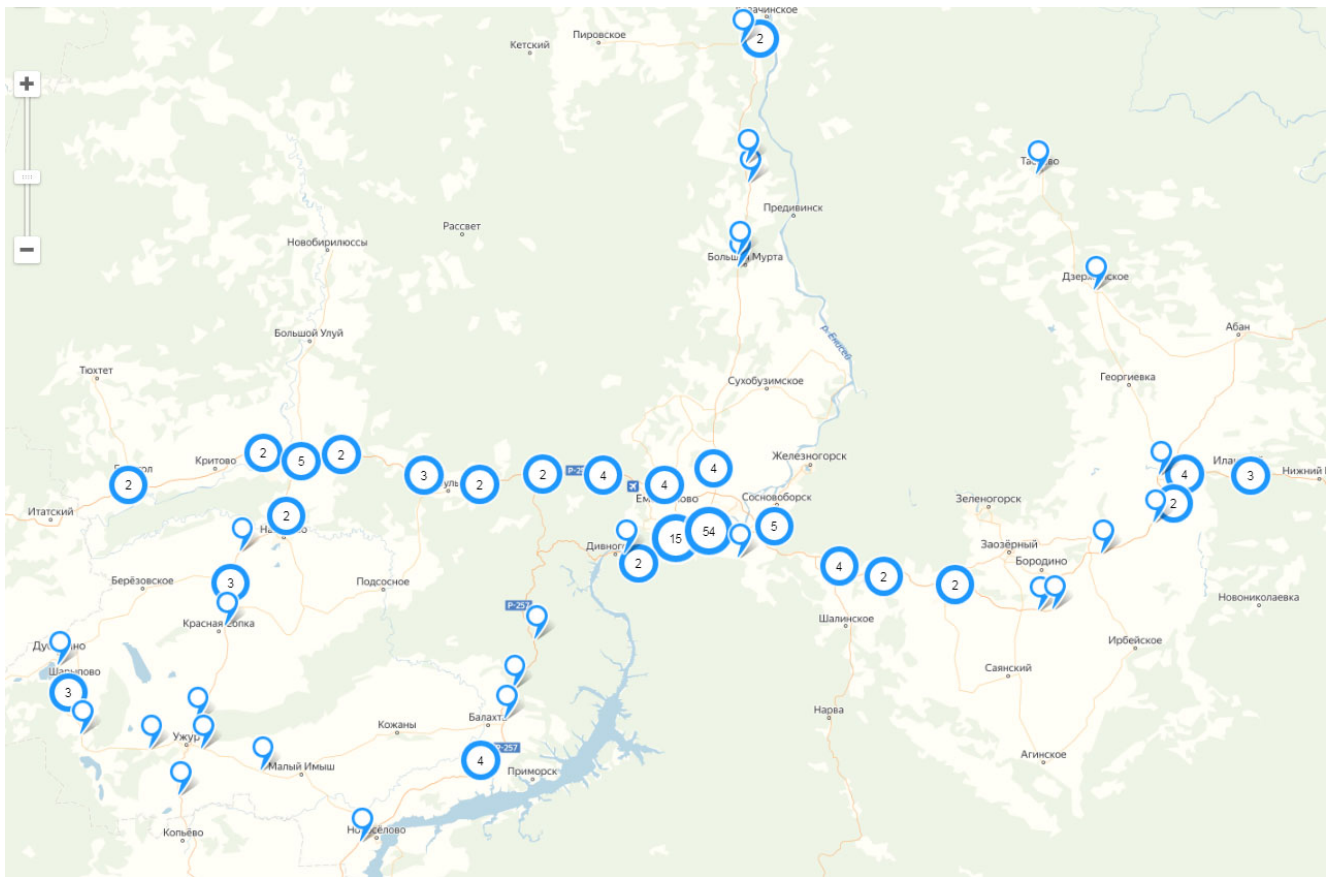


Рисунок 1.9 – Места расположения технических средств автоматической фотовидеофиксации

Сравнительный анализ расположения технических средств автоматической фотовидеофиксации, изображенных на рисунке 1.9, и аварийных участков, изображенных на рисунке 1.7, показал, что расположение технических средств автоматической фотовидеофиксации не способствует значительному снижению аварийности на опасных участках.

### 1.2.4. Анализ аварийности на федеральных дорогах с участием транспорта категорий М2, М3 и N

В ходе анализа статистических данных ДТП, произошедших на федеральных дорогах Красноярского края, были выделены ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N. Статистика ДТП представлена в таблице 1.3 [84].

Из таблицы 1.3 видно, что третья часть ДТП происходит с участием ТС категорий М2, М3 и N, также наблюдается тенденция к увеличению количества данных ДТП. На долю этих ДТП приходится до 66 % от общего количества погибших на федеральных дорогах Красноярского края. Если сравнить между собой аварийность на ФАД Р255 и Р257, то относительное значение количества ДТП с участием транспорта данных категорий на ФАД Р255 вдвое больше. На рисунке 1.10 представлена статистика ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N на ФАД Р255.

Таблица 1.3 – Информация о ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N

ФАД	Параметр		Год					
			2015	2016	2017	2018	2019	2020
Р255	ДТП	Количество	85	114	77	102	111	87
		% от общего количества	30	48	30	41	44	46
	Погибшие	Количество	48	45	51	45	58	50
		% от общего количества	41	52	63	56	66	75
	Ранено	Количество	205	152	154	139	162	117
		% от общего количества	46	42	37	40	46	48
Р257	ДТП	Количество	34	34	39	33	33	25
		% от общего количества	24	24	30	31	30	24
	Погибшие	Количество	25	4	15	15	9	7
		% от общего количества	47	17	65	47	33	47
	Ранено	Количество	60	54	72	44	57	44
		% от общего количества	29	26	33	29	30	26

В ходе анализа ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N выявлено, что наиболее часто встречаются столкновения, съезды и опрокидывания, более детальный анализ представлен в таблице 1.4.

Из таблицы 1.4 видно, что наибольшая часть ДТП приходится на столкновения (до 80 %). Среди столкновений чаще встречаются столкновения во встречном направлении. На долю съездов и опрокидываний в различные периоды времени

приходится до 20 % ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N. При этом в процентном соотношении данные виды ДТП преобладают на автомобильной дороге ФАД Р257.

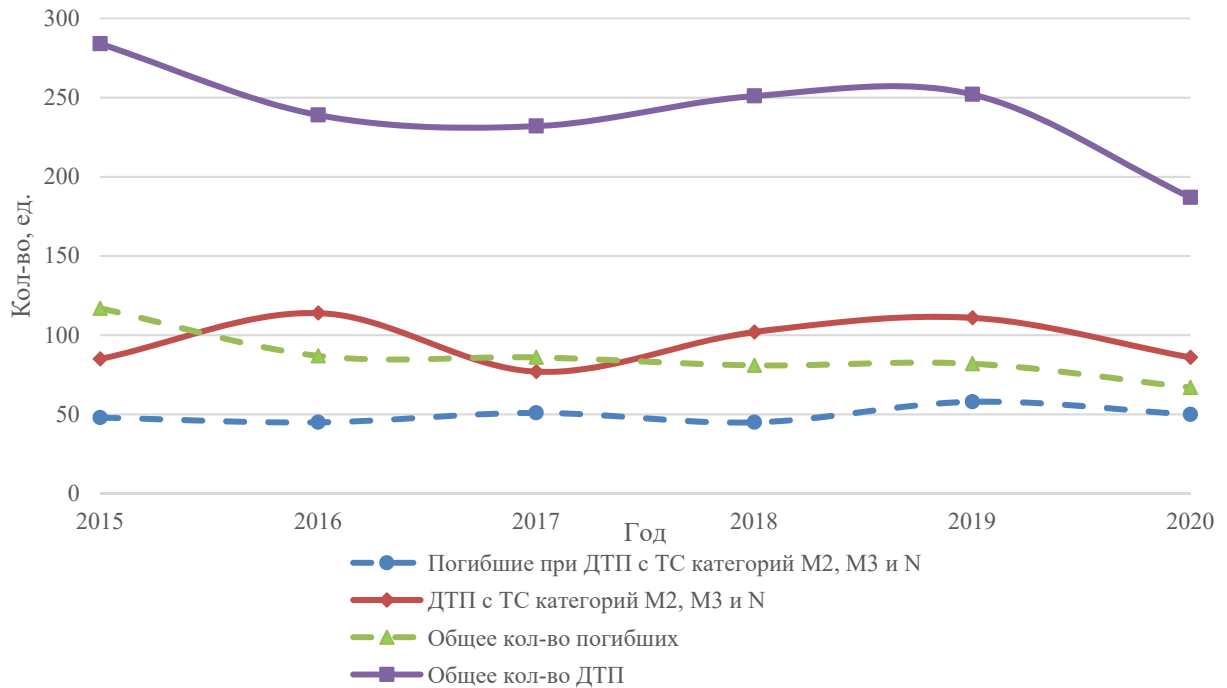


Рисунок 1.10 – Статистика ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N на ФАД Р255

Таблица 1.4 – Анализ ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N

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	86	69, 49/13	80	6	7	1	1
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

Также анализ карточек ДТП показал, что водители ТС категорий М2, М3 и N достаточно часто нарушают ПДД и становятся виновниками ДТП. Информация о

ДТП, произошедших по вине водителей ТС категорий М2, М3 и N представлена в таблице 1.5 [84].

Таблица 1.5 – Информация о ДТП, произошедших по вине водителей ТС категорий М2, М3 и N

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	
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	

Из таблицы 1.5 видно, что на федеральных дорогах в среднем около 40 % ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N происходит по вине водителей данных ТС. В ходе анализа данных ДТП выявлено, что на ФАД Р255 относительное количество ДТП по вине водителей, управляющих данной категорией ТС (36 %), меньше, чем на Р257 (43 %). Также отличается преобладающий вид ДТП, так на ФАД Р257 по вине водителей, управляющих ТС категорий М2, М3 и N, в большей 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**

В результате проведенного анализа аварийности на территории Красноярского края установлено, что ежегодно на автомобильных дорогах общего пользования федерального и межрегионального значения происходит до 32 % ДТП, в которых погибает до 73 % от общего количества погибших. Наибольшее количество

погибших наблюдается при столкновениях, среди столкновений наибольшее количество погибших встречается при встречном столкновении [94].

Количество ДТП с участием ТС категорий М2, М3 и N достигает 48 % от общего количества, доля погибших в данных ДТП от общего числа достигает 66 %.

На ФАД Р255 по вине водителей автомобилей, управляющих ТС категорий М2, М3 и N, в основном происходят столкновения, а на ФАД Р257 съезды с дороги и опрокидывания. Пик ДТП приходится на летний период, за счет увеличения автомобильного потока, в том числе из-за транспорта из других регионов.

Согласно статистике наибольшее количество ДТП происходит в светлое время суток (70 %). В ночное время около 90 % ДТП происходят на неосвещенных участках дороги (рисунок 1.11).

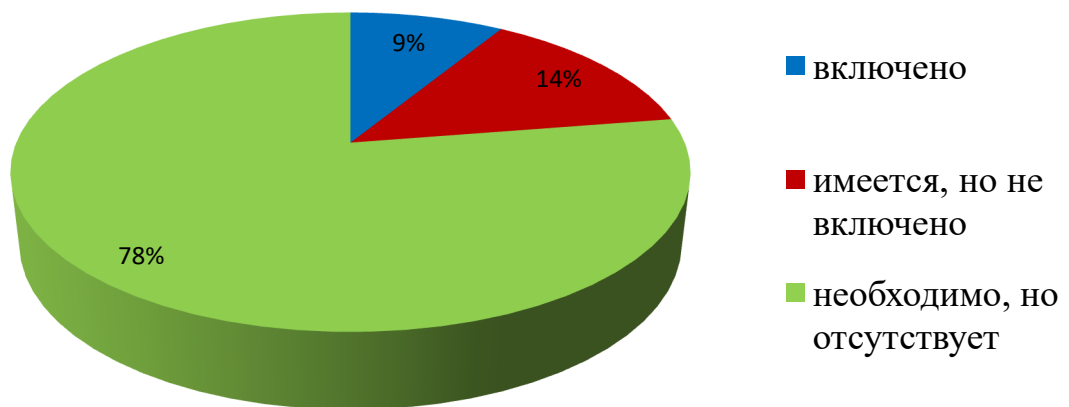


Рисунок 1.11 – Наличие освещения на проезжей части в темное время суток

Наиболее загруженной и аварийно-опасной является сеть автомобильных дорог общего пользования федерального значения, попадающих в границы Красноярской агломерации [95]. Большие потоки автомобильного транспорта, стекающие в административный центр Красноярского края, требуют от дорог высоких транспортно-эксплуатационных показателей. Участки с двухполосным движением уже на протяжении последних десяти лет не справляются с потоком транспорта в границах агломерации и требуют реконструкции.

Наибольшей интенсивностью движения, а также особенно напряженной ситуацией в части динамики развития ситуации с безопасностью дорожного движения являются дороги, обеспечивающие связь краевого центра с крупными населенными пунктами агломерационного образования [92].

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

Ежегодно на территории Красноярского края в 15 % ДТП фиксируются нарушения обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и железнодорожных переездов. Данные по такому виду ДТП предоставлены в таблице 1.6 [84, 99, 107].

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

Среди нарушений обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог отмечаются: 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 [99, 107].

Основными причинами дорожной аварийности на территории Красноярского края являются:

- несоответствие скоростного режима дорожным условиям или превышение допустимой скорости движения;
- несоответствие транспортной инфраструктуры;
- нарушения 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 населенными 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 счет выявления и устранения аварийно-опасных участков. Для оценки степени аварийности на отдельных дорогах или ДС используется ряд качественных показателей. Оценке текущего состоянию БДД посвящено множество работ [1, 2, 4 – 8, 36, 39-43, 48 – 53, 56, 66, 67, 79-82, 85, 101, 109, 112, 117-126].

Методы и средства оценки БДД встречаются как в нормативных документах [19, 62, 69, 70] так и в работах отечественных ученых [1, 2, 4 – 6, 8, 12, 36, 40, 43, 49 – 53, 56, 66, 82, 101, 109, 112, 117–124, 126]. Основной вклад в данной области исследований внес Валерий Федорович Бабков [5], на основе его исследований разработаны отраслевые дорожные методические документы, которые рекомендуются для применения при выполнении работ по проектированию, строительству, реконструкции, капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог.

Согласно ОДМ 218.4.005 – 2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» 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 учета движения, авт./сут.;

$L$  – длина участка дороги, км.

Для получения надежных значений коэффициентов относительной аварийности следует располагать данными о ДТП за период времени, равный 3–5 лет. Для удобства пользования коэффициент относительной аварийности может измеряться числом ДТП на 10 или 100 млн авт.-км (авт.-проездов) [69].

В США и некоторых европейских странах также применяются аналогичные показатели относительной аварийности, которые могут использоваться как для отдельных участков, так и для пересечений на одном уровне [6].

Также на практике помимо относительных показателей аварийности применяются абсолютные показатели аварийности, которые позволяют оценить опасность участка дороги через общее число ДТП за заданный промежуток времени. При этом опасными считаются те участки, на которых число ДТП за рассматриваемый период превышает определенное число [68].



В разных странах имеются различные критерии опасности участка дороги, с которыми сравниваются фактические значения. В России опасность участка определяется по параметрам, описанным в ОДМ 218.6.015–2015 «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации» [72].

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, в Норвегии, США, Великобритании и Франции.

Также в трудах В.Ф. Бабкова описаны метод шума ускорения, метод многофакторного корреляционного анализа и методы, основанные на теории надежности или теории риска, с помощью которых определяют либо вероятность безотказной работы (надежность) 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:

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

где  $a_i$  – ускорения в каждом створе;

$a_{cp}$  – среднее значение ускорений на всем рассматриваемом участке;

$n$  – число створов.

Еще в СССР профессорами В.М. Сиденко и А.А. Рыбальченко был предложен близкий по идее к оценке дорог баллами квалиметрический метод [5]. В данном методе объединено большое количество факторов, влияющих на безопасность движения. Все влияющие факторы были разделены на три группы: технические, эргономические и экономические, при этом функцией комплексного показателя яв-

лялась суммой 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, освещенность дороги, эстетика дороги, шум и загазованность [1, 2].

Метод многофакторного корреляционного анализа используется для определения вероятного числа происшествий на различных участках дорог. Для этого по данным о дорожных условиях 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 метод коэффициентов безопасности и метод коэффициентов аварийности [69]. 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) [69]. Чем значительнее разность скоростей и чем меньше коэффициент безопасности, тем более вероятны ДТП на рассматриваемом участке [109]. Определение коэффициентов безопасности основывается исключительно на положениях теории автомобиля и не учитывает особенностей психологического восприятия водителями ДУ [4, 19].

Метод итогового коэффициентов аварийности. Для решения задач, связанных с оценкой проектов автомобильных дорог по критерию безопасности движения, выявления опасных участков на эксплуатируемых дорогах и выбора соответствующих мероприятий по повышению безопасности движения используется метод «итогового коэффициента аварийности»  $K_{\text{итог}}$ , вычисляемого как произведение частных коэффициентов  $K_i$ . Данный метод предложен профессором В.Ф. Бабковым. Частные коэффициенты, согласно этому методу, характеризуют изменения условий движения по показателям безопасности, вызываемые влиянием отдельных элементов плана, продольного и поперечного профилей трассы дороги, интенсивности движения, придорожной полосы и других факторов, по сравнению с «эталонными» условиями безопасности движения [5, 69, 118].

Таким образом, итоговый коэффициент аварийности 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, 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 [69].

Следует подчеркнуть, что с момента своей разработки, начиная с 60-х годов прошлого века, метод «итогового коэффициента аварийности» постоянно развивался учениками научной школы В.Ф. Бабкова, как в направлении более надежной идентификации опасных участков дорог и прогнозирования их появления, так и в целях более полного учета факторов дорожных условий, влияющих на безопасность движения.

А.П. Васильевым и В.П. Расниковым был предложен метод оценки проектов автомобильных дорог и выявления опасных участков эксплуатируемых дорог на

основе использования «сезонных» коэффициентов аварийности [117–119, 121]. А.П. Шевяковым разработана система коэффициентов для автомобильных магистралей [5], исследования В.В. Варлашкина, Р. Картанбаева, С.С. Петросяна направлены на разработку системы коэффициентов на дорогах в горной местности [118], С.С. Близниченко разрабатывал систему коэффициентов для ДУ предгорной местности [5, 12, 118].

В работах О.А. Дивочкина, В.И. Пуркина и Ю.М. Ситникова были предложены методы прогнозирования показателей безопасности движения в зависимости от величины «итогового коэффициента аварийности» [117–119].

Также В.В. Варлашкиным были предложены  $K_i$  для учета крутизны горных склонов, влияющих на избираемые водителями режимы движения, А. Садырходжаевым – для аллеиных придорожных насаждений на обочинах и ирригационных каналов, А.Н. Нечаевым – для учета ровности дорожных одежд [5].

Указанные исследования, в целом, охватывали период 70-х – 80-х годов прошлого века и основывались на анализе состояния безопасности движения, характерном для транспортно-эксплуатационных показателей дорожной сети, интенсивности и состава движения, динамических качеств автомобилей того периода времени [118], поэтому В.В. Чвановым приведены уточненные значения частных коэффициентов аварийности применительно к современным транспортно-эксплуатационным качествам дорожной сети и состоянию транспортных потоков. Частные коэффициенты приведены для автомобильных дорог разного типа и используются в нормативных документах по оценке уровня БДД [69, 119].

Н. Г. Шешера [126] дополнил методику коэффициентов аварийности расчетом по методу коэффициентов травматизма.

На основе метода коэффициентов аварийности Д.С. Джурук разработал регрессионные уравнения, позволяющие рассчитать коэффициент относительной аварийности  $K_{ав}$  участка автодороги в зависимости от ширины проезжей части, ширины обочины, расстояния видимости, среднегодовой суточной интенсивности движения и радиуса кривизны дороги в плане. В общем виде рекомендуемая модель имеет вид:

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

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 [35].

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

Так, КС характеризуются показателем степени опасности  $\sigma$ . Этот показатель демонстрирует степень технической возможности предотвращения ДТП конкретным водителем в конкретной ситуации и может изменяться в диапазоне от 0 до 1. При этом, чем выше значения показателя  $\sigma$ , тем выше степень опасности соответствующей КС. Значение  $\sigma = 1$  означает, что при наступлении данной КС у ее субъекта не существует технической возможности предотвратить ДТП.

Сущность метода КС заключается в следующем: в течение заданного периода наблюдений  $T$  за рассматриваемым участком дороги на основе метода компьютерной имитации выделяются места возникновения и степени опасности каждой КС. Величина  $T$  определяется необходимостью получения статистических данных о КС, достаточных для получения достоверных оценок [71].

Метод КС исследуется и совершенствуется современными отечественными учеными [6, 43, 50–52, 66, 85, 122, 123]. 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 [52].

Профессор МАДИ А.И. Рябчинский разработал модель прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон по потенциальной опасности в городских очагах аварийности. Разработанный им комплекс включает три методики прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках в конфликтах «транспорт – транспорт», «поворотный транспорт – пешеход», «транзитный транспорт – пешеход» и две методики прогнозирования аварийности на искусственных неровностях в конфликтах «транспорт – транспорт» и «транзитный транспорт – пешеход». Эти методики отличаются учетом большого количества факторов, которые характеризуются приблизительно 110 параметрами, влияющими на аварийность [50].

Ученик А.И. Рябчинского Д.В. Капский разработал методику оперативной контрольной оценки аварийности по усовершенствованному методу конфликтных ситуаций. Его метод отличается математической моделью прогнозирования аварийности, что позволяет учитывать конфликтное взаимодействие участников движения в каждом виде конфликтов «транспорт – транспорт» и «транспорт – пешеход» [50, 51].

Также в ОДМ 218.4.005–2010 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) [69].

Также 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 длине рассматриваемого участка и его параметрах (ширина полосы движения, ширина обочины, ровность дорожного покрытия, расстояние видимости) [6, 43].

Для выявления наиболее опасных участков автомобильных дорог Е.В. Тюлькин разработана программа «Многоуровневая информационно-аналитическая система организации безопасности дорожного движения» (МИАС ОБДД), математическая модель которой позволяет получить как данные о факторах, оказывающих наибольшее влияние на дорожно-транспортную ситуацию (ДТС), на том или ином сегменте дороги, так и их количественное выражение для расчета числового значения безопасности дорожного сегмента, 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.

Таким образом, числовое значение безопасности дорожного сегмента – это сумма рассчитанных коэффициентов однородных факторов дорожной среды  $k_n$ , полученных с использованием метода парных сравнений [112].

На основе формулы Р.Д. Смида профессор МАДИ А.Б. Чубаков предлагает рассчитывать воздействие на дорожно-транспортную аварийность комплекса социально-экономических и административных факторов [124].

Профессор ПГУАС 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, состояния на момент ДТП; срок эксплуатации ТС, пробег ТС, степень загрузки дороги, техническое состояние; дорожное покрытие, наличие уклонов, поворотов и т.д.; время года, суток, освещенность, скользкость покрытия и пр.) [101].

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 ТП. К энергетическим показателям ДД 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 ТП на аварийность, обосновано выявить причины совершения ДТП, связанные с другими элементами системы ВАДС, невозможно [1, 2].

В.А. Корчагиным система ВАДС рассматривается не изолированно, а как подсистема социо-природо-экономической транспортной системы (СПЭС), что позволяет видеть проблему более глобально. В качестве структурных признаков выбираются основные элементы подсистемы ВАДС [53].

В 2020 году И.А. Новиковым предложена математическая модель оценки вероятности возникновения ДТП на участке УДС или автомобильной дороги, которая характеризуется предложенным параметром «место ДТП». Модель основана на использовании параметров, влияющих на совершение дорожных аварий («водитель», «ТП», «ТС», «внешние условия»), весовые значимости которых определяются путем предварительной обработки статистических данных (карточек) ДТП [67]. Графическое представление математической модели определения вероятности ДТП представлено на рисунке 1.12.



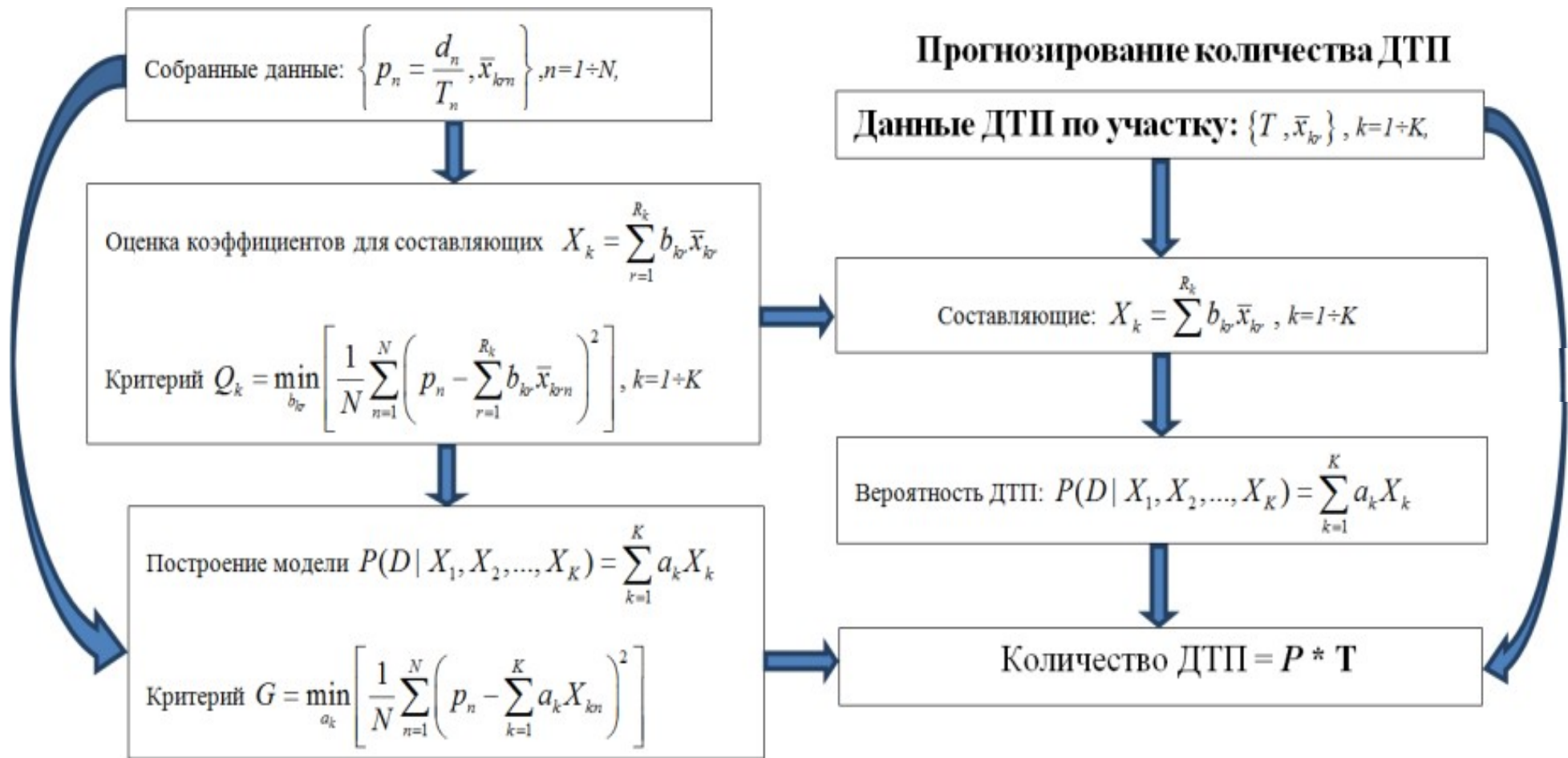


Рисунок 1.12 – Графическое представление математической модели определения вероятности ДТП [60]

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].

Критерии оценки безопасности движения для проектируемых автомобильных дорог приведены в ОДМ 218.6.009 – 2013 «Методических рекомендациях по оценке безопасности движения при проектировании автомобильных дорог» [70].

Работы зарубежных исследователей направлены на прогнозирование годового количества ДТП [129, 139, 132, 142, 144, 146] и исследование конфликтных ситуаций [131, 134 – 137, 143, 147, 148].

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. Объем потока 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.

Многие исследователи сходятся во мнении, что взаимосвязь между ожидаемой вероятностью возникновения ДТП и объемом транспортного потока является нелинейной, несмотря на это разрабатываются и предлагаются альтернативные функциональные зависимости для различных участков дорог [129, 139, 143, 146].

Коллективом исследователей установлена зависимость вероятности возникновения ДТП от интенсивности, длины участка автомагистрали, ширины проезжей части и допустимого скоростного режима. Также установлено, что в зависимости от интенсивности меняется вероятность возникновения ДТП, при этом в исследовании авторы рассматривают четыре вида ДТП. При малых значениях интенсивности возрастает вероятность возникновения ДТП одиночного ТС и с участием нескольких ТС, движущихся в одном направлении. Установлена линейная зависимость увеличения вероятности возникновения ДТП с участием нескольких ТС, движущихся в противоположных направлениях, от повышения интенсивности. Также авторы установили, что рост интенсивности провоцирует ДТП на одноуровневых пересечениях [144].

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 в Пенсильвании [143].

Коллектив исследователей из Китая и США разработал регрессионные модели для определения вероятности возникновения столкновений на основе траекторий движения транспортных средств и интенсивности транспортного потока [141].

Также в исследованиях разбуженных авторов прослеживаются сильные корреляционные связи между конфликтными ситуациями и ДТП [131, 135, 137, 138, 143, 147, 148], поэтому основным направлением в работе зарубежных исследователей является разработка превентивных мер с помощью современных информационных технологий.

В Италии в University of Calabria в 2013 году было проведено исследование, которое представляло собой первое применение методологии разработки индекса эффективности БДД – индекса риска (RI). Исследование было сосредоточено на возможности предоставления участникам дорожного движения информации в режиме реального времени о рисках, связанных с конкретным пройденным участком

дороги, с использованием мультиплатформенного мобильного приложения и системы GPS. 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 [131]. В ряде стран мира подобные системы работают достаточное количество времени и уже доказали свою эффективность.

Проведенный анализ различных методов оценки БДД показал, что все перечисленные методы, предлагаемые российскими учеными по измеряемым показателям, можно условно разделить на 5 групп:

1. Методы оценки, на основе самого факта совершения ДТП.
2. Методы оценки, основанные на оценке участка движения.
3. Методы оценки, учитывающие характер движения автомобиля.
4. Методы оценки поведения участников движения.
5. Методы оценки, основанные на нескольких элементах 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.

Единственным открытым источником для сбора статистических данных является сайт ГИБДД. Но следует отметить, что при заполнении карточек ДТП сотрудниками ДПС указываются не все дорожные условия, отсутствуют данные о: профиле дороги, ширине проезжей части, ширине обочины, ширине тротуара, ширине разделительной полосы. В сведениях о транспортных средствах, участвовавших в ДТП, несмотря на название подраздела «Расположения руля и тип привода», указывается только тип привода. В разделе, характеризующем участников движения, не указывается год рождения, время управления автомобилем и социальная характеристика (рабочий, служащий, военнослужащий, пенсионер, безработный, учащийся, предприниматель, иной). Неполнота и некорректность представленной

информации не позволяет дать оценку аварийности исходя из комплексной оценки системы ВАДС [96].

Таблица 1.7 – Распределение методов по измеряемым показателям

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 (Е.В. Тюлькин)							
14	Метод прогнозирования аварийности (А.И. Рябчинский, Д.В. Капский)							
15	Определение воздействия на дорожно-транспортную аварийность комплекса социально-экономических и административных факторов (А.Б. Чубаков)		+					
16	Эвристический метод оценки состояния системы ВАДС, определение тяжести последствий ДТП (В.В. Салмин)		+	+	+			
17	Анализ энергетических показателей ДД				+	+		
18	Математическая модель оценки вероятности возникновения ДТП на участке улично-дорожной сети (И.А. Новиков)	+	+	+			+	+
19	Коэффициент относительной аварийности участка автодороги (Д.С. Джурук)		+	+				
20	Метод тестирования водителей для загородных дорог(ХАДИ)					+		+

Сравнительный анализ различных методов по измеряемым показателям выявил, что методы коэффициентов аварийности, коэффициентов вариации максимальной безопасной скорости движения, эвристический метод оценки состояния системы ВАДС и квалиметрический метод рассматривают БДД с точки зрения комплекса элементов системы ВАДС [140].

Также анализ показал, что в квалиметрическом методе принцип оценки качества дороги и эвристическом методе оценки состояния системы ВАДС проведено ранжирование факторов, оказывающих влияние на БДД по степени значимости. Однако весовые коэффициенты факторов, полученных в результате опроса 11 экспертов еще в 70-х годах прошлого века, являются укрупненными характеристиками УД и не отображают особенности движения ТП в условиях современного города и на дорогах вне населенных пунктов.

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 ежегодные ДТП на данном участке [140].

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

Метод коэффициентов аварийности используется организациями дорожной службы и проектными организациями. По значениям итоговых коэффициентов аварийности строят линейный график (рисунок 1.13).

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

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

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

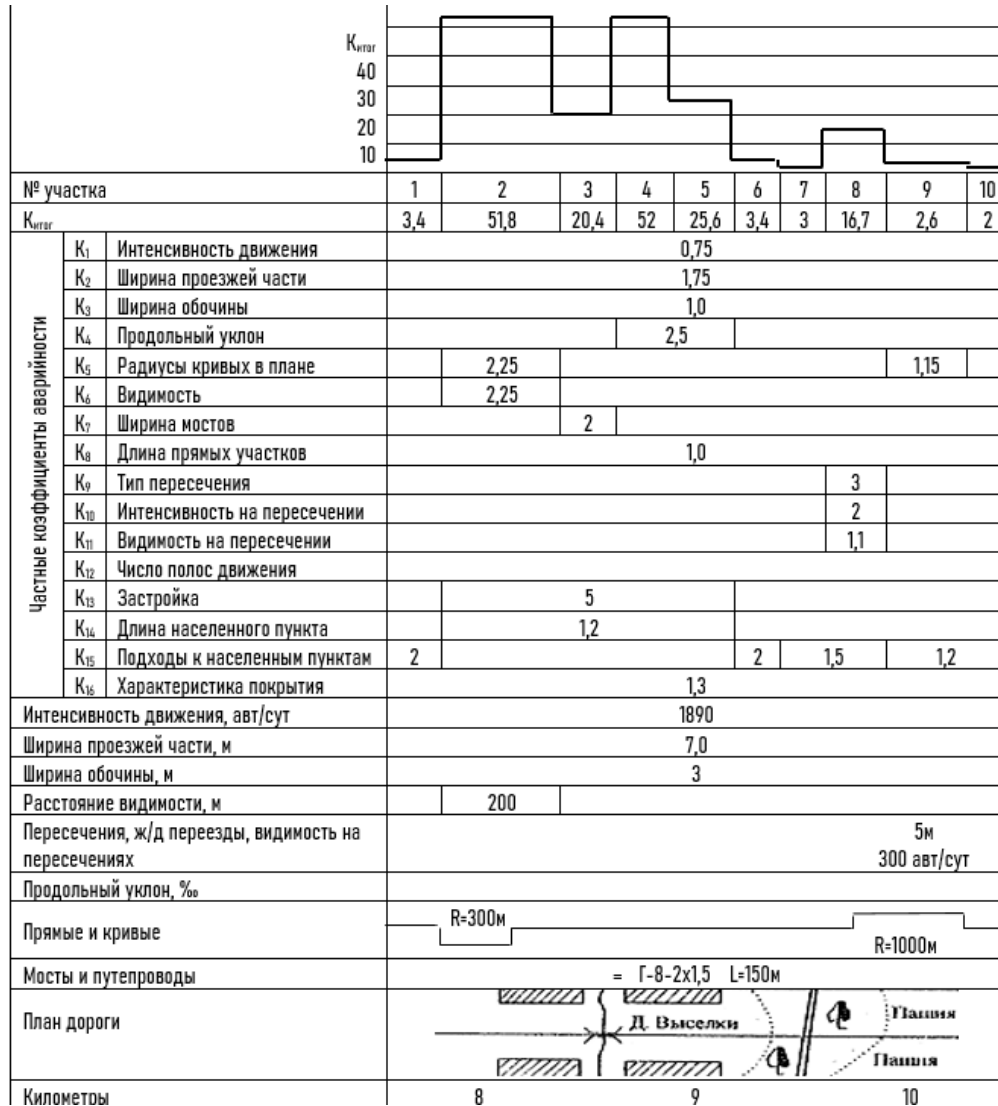


Рисунок 1.13 – Пример графика итогового коэффициента аварийности [5]

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 высокое число гибели и травматизма людей в ДТП на территории Красноярского края демонстрирует несовершенство применяемых на сегодняшний день методов и средств. Наиболее напряженная ситуация с безопасностью дорожного движения на дорогах, обеспечивающих связь краевого центра с наиболее крупными населенными пунктами агломерационного образования.

2. Ежегодно на автомобильных дорогах общего пользования регионального и федерального значения происходит до 32 % от общего количества ДТП на территории Красноярского края, доля погибших в этих ДТП достигает 70 % от общего числа погибших в ДТП по краю. Основной пик ДТП приходится на летний период. Наибольшее количество погибших наблюдается при столкновениях.

3. Количество ДТП на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения с участием ТС категорий М2, М3 и N достигает 48 % от общего количества ДТП на данной категории дорог, доля погибших в данных ДТП достигает 66 % от общего количества погибших в ДТП на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения Красноярского края.

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

5. 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 счет применения дополнительных частных коэффициентов аварийности, учитывающих скоростные режимы движения.



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

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

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

Он установил, что ДТП сопровождаются определённым набором факторов внешней среды, оказывающих существенное влияние на водителя и ТС, и являются результатом совокупного влияния многочисленных параметров, характерных для улично-дорожной сети (УДС). К таким факторам относятся не только количественные, но и качественные показатели геометрических элементов и ДУ.

При изучении влияния элементов плана и профиля дороги на количество ДТП В.Ф. Бабков использовал относительный показатель – количество ДТП, приходящееся на 1 млн авт-км пробега на рассматриваемом элементе. Этот показатель назван далее «частным коэффициентом аварийности» рассматриваемого элемента дороги. При разработке методики определения частных коэффициентов аварийности эталонным элементом был принят горизонтальный прямой участок в открытой местности с шероховатым усовершенствованным покрытием шириной 7–7,5 м, укрепленными обочинами шириной до 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 [17].

При разработке метода коэффициентов аварийности В.Ф. Бабков использовал современные ему данные об интенсивностях движения, составе транспортных потоков и статистики ДТП. В настоящее время ТС обладают улучшенными систе-

мами активной и пассивной безопасности, повысилась их маневренность и курсовая устойчивость, изменились динамические и тормозные свойства. 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, изложена методика оценки БДД и выявления мест повышенной опасности дорожного движения, включающая 23 частных коэффициента аварийности [62].

Перечень частных коэффициентов аварийности для дорог и улиц разных категорий приведен в ОДМ 218.4.005–2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» [69] и рекомендуется к применению при проектировании новых, реконструкции, ремонте и эксплуатации существующих автомобильных дорог общего пользования, а также при разработке нормативных документов в области обеспечения безопасности движения.

Также перечень частных коэффициентов встречается в ОДМ 218.6.009 – 2013 «Методические рекомендации по оценке безопасности движения при проектировании дорог» [70]. Методический документ рекомендуется к использованию в проектных организациях при разработке проектов планировки территории для размещения автомобильной дороги, проектной и рабочей документации, а также при приемке автомобильных дорог в эксплуатацию.

В таблице 2.1 представлены частные коэффициенты аварийности, используемые в различных вариантах методики оценки итогового коэффициента аварийности [62, 69, 70].

Таблица 2.1– Частные коэффициенты аварийности

Частный коэффициент	Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах [69]	Методические рекомендации по оценке проектных решений по безопасности движения на автомобильных дорогах в равнинной, пересеченной и горной местности [62]	Методические рекомендации по оценке безопасности движения при проектировании дорог [70]
1	2	3	4
Интенсивность движения	+	+	+
Ширина проезжей части дорог	+	+	
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 населенного 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 населенных пунктах			+

Из таблицы 2.1 видно, что на данный момент на практике применяется около 30 частных коэффициентов в различных сочетаниях. Но существует 13 базовых коэффициентов, которые встречаются абсолютно во всех трех методиках:

1. Интенсивность движения.
2. Ширина проезжей части.
3. Ширина обочин.
4. Продольный уклон.
5. Радиус кривых в плане.
6. Видимость в плане.
7. Видимость в профиле.
8. Ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги.
9. Число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения.
10. Расстояние проезжей части от застройки.
11. Длина населенного пункта.
12. Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

### 13. Коэффициент сцепления.

Так как коэффициенты: «расстояние проезжей части от застройки» и «длина населенного пункта» учитываются лишь при прохождении дороги через населенный пункт, а коэффициент «ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги» учитывается только при наличии мостов, в предлагаемой методике данные коэффициенты будут рассматриваться как дополнительные, применяемые в частных случаях.

На момент разработки методики количественный и качественный состав транспортного потока отличался, отличались и режимы движения ТС от принятых В.Ф. Бабковым, потому необходимо уточнить и дополнить перечень частных коэффициентов аварийности на основании обобщения данных региональной статистики ДТП. Из этого следует, что приведенный перечень частных коэффициентов аварийности, встречающихся во всех интерпретациях методики нельзя считать исчерпывающим и окончательным.

Так как в последнее время для предотвращения лобовых столкновений превентивным мероприятием все чаще служит разделение встречных потоков необходимо учитывать наличие разделительной полосы. Такие полосы установлены только на 33 % дорог от общего количества федеральных дорог Красноярского края (п.1.1), поэтому данный фактор будем учитывать, как дополнительный, только на тех участках, где есть разделительная полоса.

Анализ карточек ДТП за последние 6 лет показал, что большая часть ДТП происходит из-за несоответствия скорости конкретным дорожным условиям, также выявлено, что с участием транспорта категорий М2, М3 и N происходит до 43 % ДТП, поэтому существующая система коэффициентов аварийности была дополнена новым частным коэффициентом, учитывающим вариационный размах скоростей между обгоняемы и обгоняющим ТС в зависимости от состава транспортного потока. Таким образом, предлагается следующий перечень частных коэффициентов аварийности для определения уровня БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения:

- 1 Интенсивность движения –  $K_1$ .

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

Таким образом, список предлагаемых факторов, оказывающих влияние на БДД на дорогах общего пользования федерального и регионального значения, состоит из 11 позиций [16].

## 2.2. Теоретические основы оценки частных коэффициентов аварийности

В.Ф. Бабков определял частные коэффициенты на основе анализа статистики ДТП для каждого фактора дорожных условий 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 дорожных условиях, ДТП/1 млн. авт.-км.

Эталонным считался горизонтальный прямой участок в открытой местности с шероховатым усовершенствованным покрытием шириной 7–7,5 м, укрепленными

обочинами шириной до 2,5–3 м [5].

С. С. Близниченко и его соавторами для уточнения коэффициентов аварийности принята в качестве расчетной принята аварийность автомобильного движения в эталонных дорожных условиях, соответствующая минимуму дорожно-транспортных происшествий (при ширине проезжей части равной 7.5 м, неукрепленных обочинах и 20 % грузовых автомобилей в составе транспортного потока) [12]:

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

где  $z$  – количество ДТП.

Так как в предыдущих исследованиях установлено, что на ФАД Р255 и Р257 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 определения значения частного коэффициента аварийности необходимо владеть данными о ДТП за период времени, равный 3-5 годам [69].

### **2.3. Анализ значимости частных коэффициентов аварийности**

Специфические особенности и проблемы дорожного движения обусловлены, прежде всего, системой ВАДС. Отказы в системе ВАДС приводят к нарушению ее нормального функционирования. В простейшем случае это могут быть заторы, мелкие неисправности транспортных средств, повреждения дорог, не влекущие за собой более тяжелых последствий. Отказы, которые приводят к гибели или ранению людей либо существенному повреждению дорожных сооружений, технических средств организации дорожного движения (ОДД), транспортных средств, квалифицируются как ДТП. Как следствие, чем меньше интенсивность отказов системы, тем выше уровень БДД [125].

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

Но несмотря на то, что каждое ДТП является результатом совокупного влияния многочисленных факторов (подсистем системы ВАДС), обычно среди них имеется какой-то один, оказывающий в данном месте наибольшее влияние и определяющий основную причину 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 влияние дорожных условий. На основе выявленных им зависимостей рассмотрим влияние дорожных условий и характеристик транспортного потока на безопасность дорожного движения.

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

На автомобильных магистралях, с разделением движения по направлениям, зависимость относительного числа происшествий от интенсивности движения отличается от зависимости для двухполосных дорог. При малых интенсивностях, не характерных для магистралей, наблюдается повышенная аварийность, объясняемая пониженным вниманием водителей при малой загрузке дороги и превышением скоростного режима. В широком интервале интенсивностей, характерных для автомобильных магистралей с четырьмя полосами движения, условия безопасности практически постоянны. Увеличение относительного числа происшествий трехполосных дорог по отношению к двухполосным при одинаковых показателях интенсивности объясняется увеличением количества обгонов [5, 128]. Зависимости частного коэффициента  $K_1$  от интенсивности движения представлена на рисунке 2.1.

#### 2. Ширина проезжей части – $K_2$ .

Наибольшее влияние ширины проезжей части проявляется, когда в составе потока имеется большой процент грузовых автомобилей, ширина которых больше легковых. При увеличении ширины проезжей части повышается комфорт вождения, при экстренных ситуациях появляется место для совершения маневра [5]. Зависимость частного коэффициента  $K_2$  от ширины проезжей части представлена на рисунке 2.2.



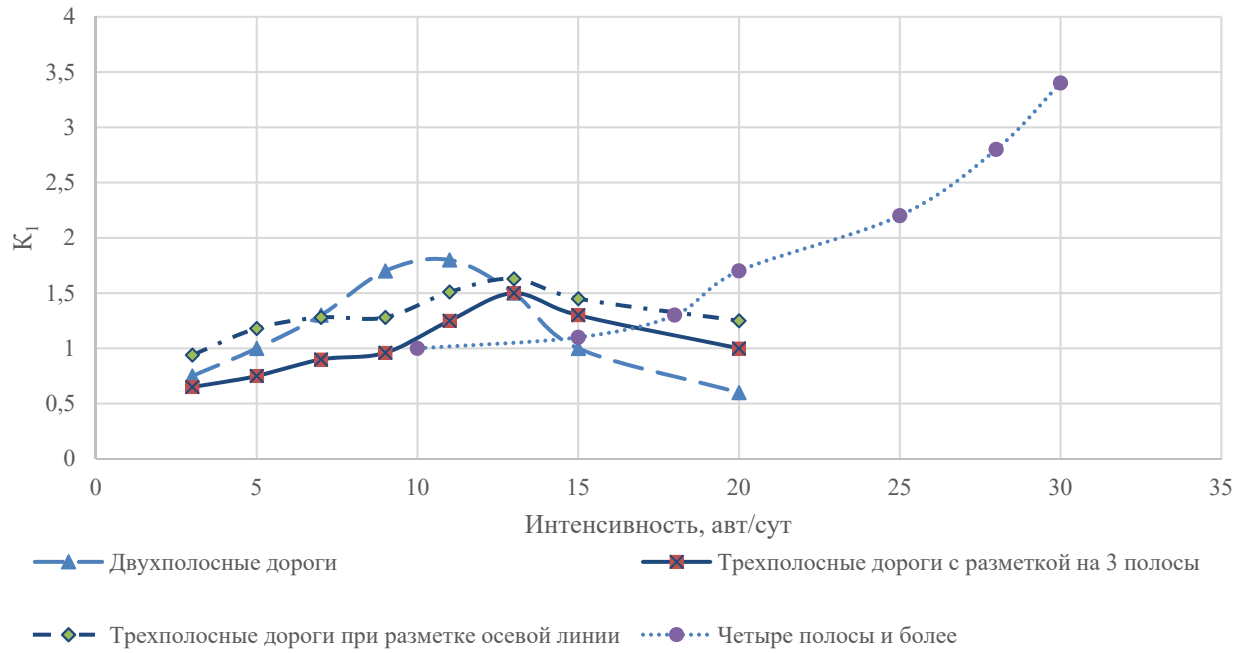


Рисунок 2.1 – График зависимости частного коэффициента  $K_1$  от интенсивности движения

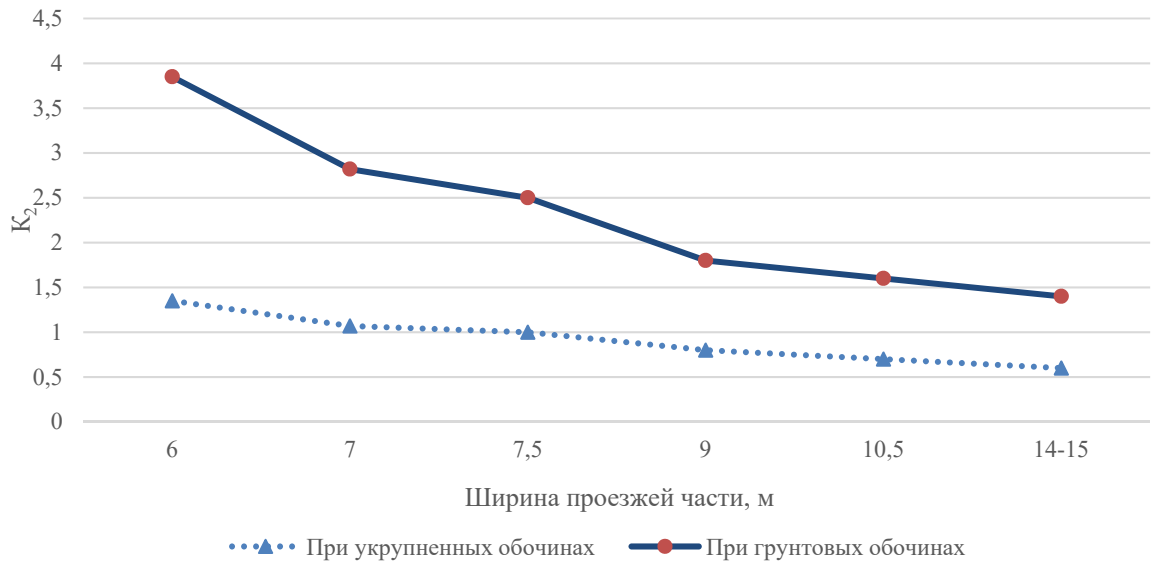


Рисунок 2.2 – График зависимости частного коэффициента  $K_2$  от ширины проезжей части

### 3. Ширина обочины – $K_3$ .

С позиций восприятия водителем коридора движения, наиболее комфортной считается ширина обочины, примерно равная ширине автомобиля [128]. При малых

значениях ширины обочины рост относительного количества ДТП объясняется превышением габаритов ТС ширины обочины, как следствие увеличивается риск возникновения столкновений. Учитывая значительный процент грузовых автомобилей в составе транспортных потоков и расширяющееся использование автопоездов, можно считать оптимальной ширину обочин 3 м [5]. Зависимость частного коэффициента  $K_3$  от ширины обочины представлена на рисунке 2.3.

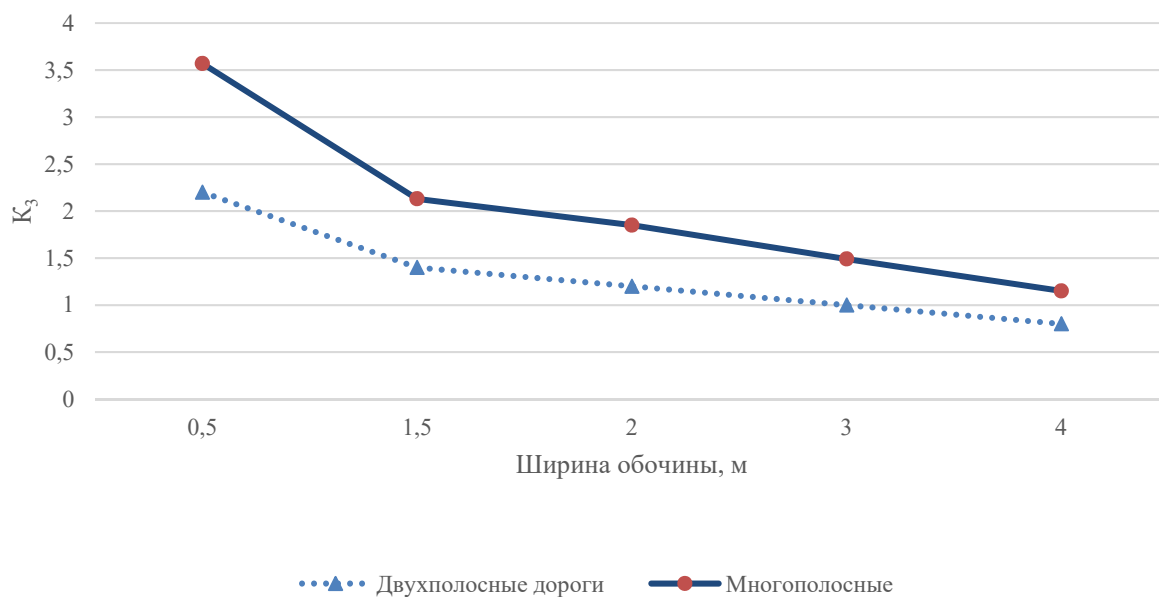


Рисунок 2.3 – График зависимости частного коэффициента  $K_3$  от ширины обочины

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

Увеличение 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 представлена на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 –График зависимости частного коэффициента  $K_4$  от числа основных полос движения

#### 5. Продольный уклон – $K_5$ .

Большие значения продольных уклонов увеличивают вероятность возникновения 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 автомобили въезжают, развив высокие скорости [5]. Зависимость частного коэффициента  $K_5$  от продольного уклона представлена на рисунке 2.5.

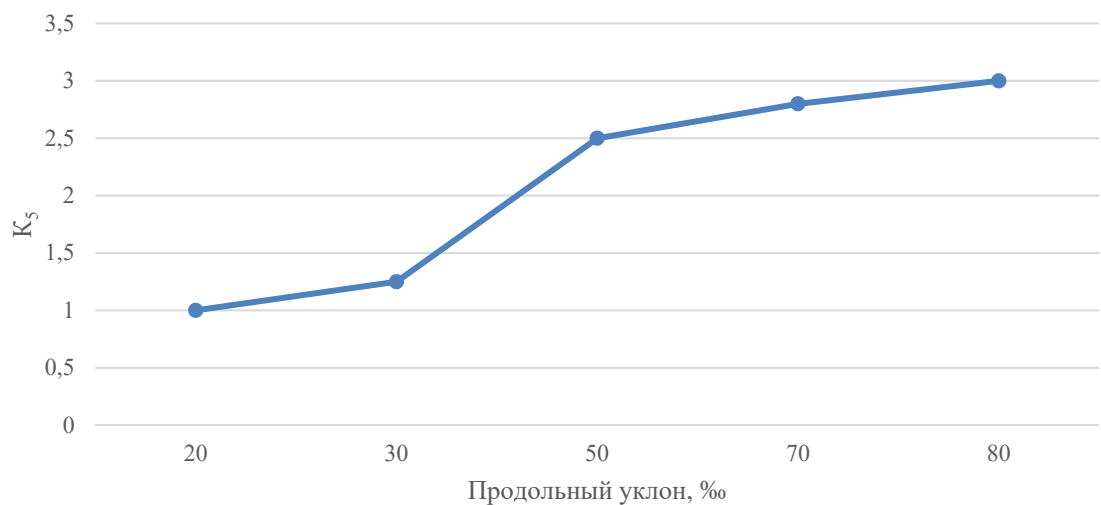


Рисунок 2.5 – График зависимости частного коэффициента  $K_5$  от продольного уклона

## 6. Радиус кривой в плане – $K_6$ .

Размеры радиусов кривых в плане определяют опасность и трудность движения по каждой отдельной кривой. Вероятность возникновения происшествий тем выше, чем меньше их радиус. Рост количества ДТП при малых радиусах (менее 600 м) чаще всего является следствием несоответствия выбранной скорости 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 представлена на рисунке 2.6.

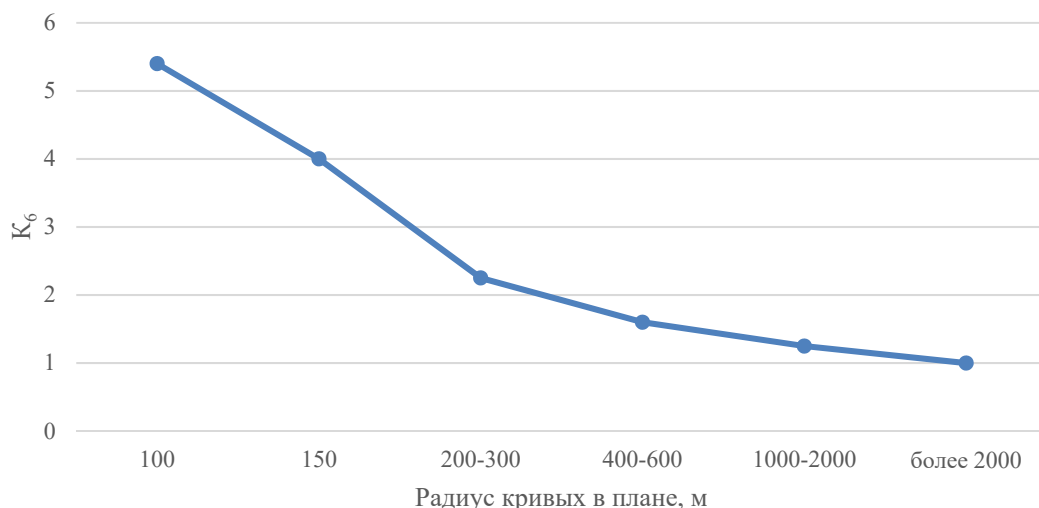


Рисунок 2.6 – График зависимости частного коэффициента  $K_6$  от радиуса кривой в плане

## 7. Видимость в плане $K_7$ и в профиле $K_8$ .

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, 128]. Зависимость частных коэффициентов  $K_7$  и  $K_8$  от видимости представлена на рисунке 2.7.

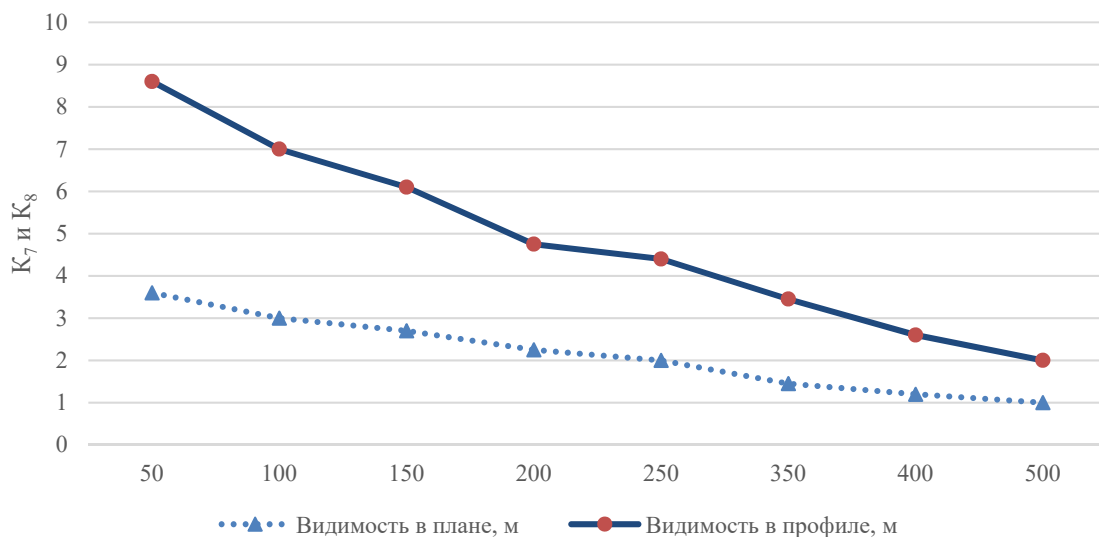


Рисунок 2.7 – График зависимости частных коэффициентов  $K_7$  и  $K_8$  от видимости в плане и профиле

#### 8. Коэффициент сцепления – $K_9$ .

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 коэффициент сцепления покрытия должен быть не менее 0,4 [5, 128]. Зависимость частного коэффициента  $K_9$  от коэффициента сцепления дана на рисунке 2.8.

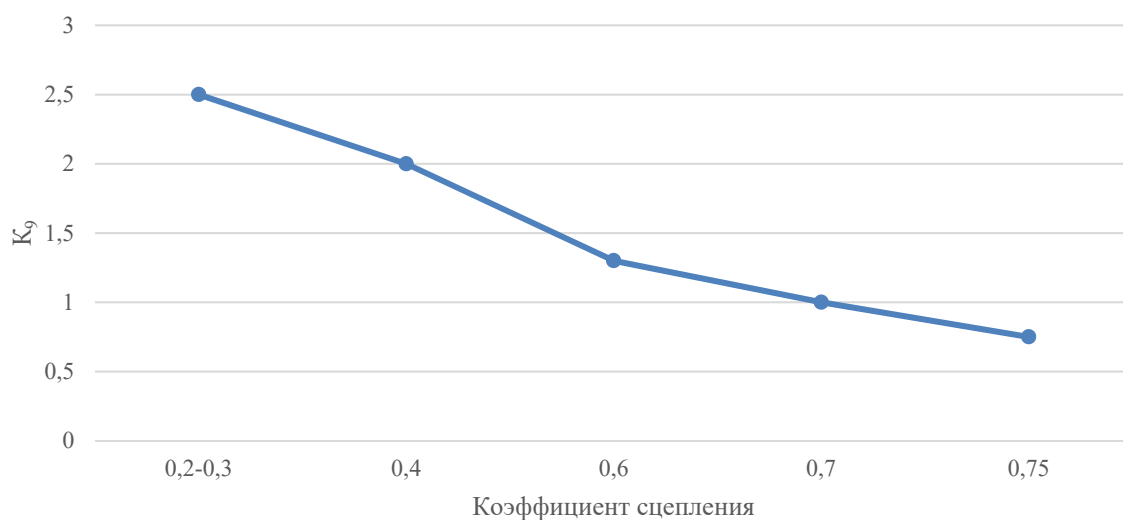


Рисунок 2.8 – График зависимости частного коэффициента  $K_9$  от коэффициента сцепления

9. Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м –  $K_{10}$ .

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, 70]. Зависимость частного коэффициента  $K_{10}$  от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м представлена на рисунке 2.9.

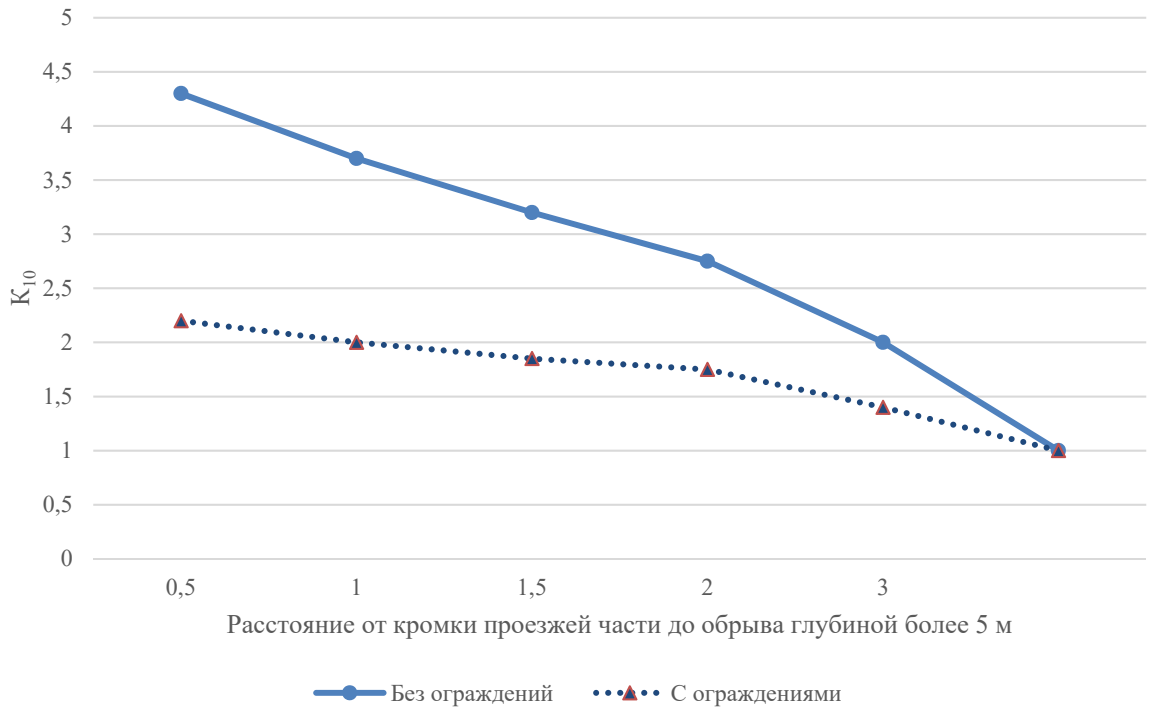


Рисунок 2.9 – График зависимости частного коэффициента  $K_{10}$  от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м

10. Вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС –  $K_{11}$ .

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 [39, 42, 48]. 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: столкновения с опережаемым

автомобилем или автомобилем-лидером. Отсюда следует, 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, 115].

Таблица 2.2 – Влияние изменения скорости движения на количество ДТП

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

Чем разнотипнее транспортный поток, тем значительнее в нем диапазон скоростей, тем чаще возникают потребности обгонов и тем более вероятно возникновение дорожно-транспортного происшествия [5]. Во многом это связано с разницей в динамических и тормозных качествах легковых и грузовых автомобилей. 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 в при аварийной остановке автомобилей, движущихся плотной колонной. Особенно это является 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 составляет 31 % [86]. Зависимость относительного числа происшествий от доли грузовых автомобилей и автобусов в составе транспортного потока представлена на рисунке 2.10.

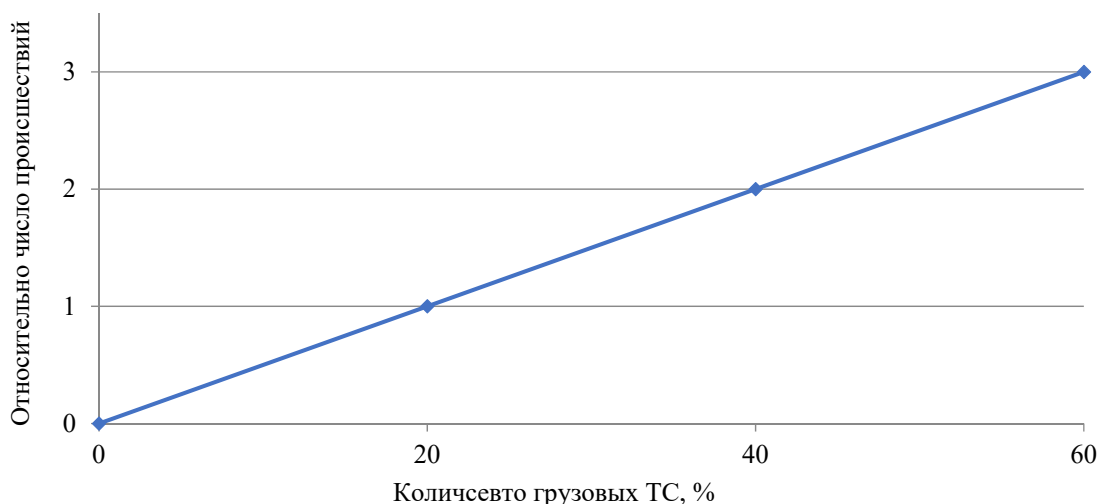


Рисунок 2.10 – График зависимости частного коэффициента  $K_{11}$  от относительного количества грузовых автомобилей

Выявление фактора, оказывающего наибольшее влияние на количество ДТП, а также наиболее опасных участков производится путем построения графика итогового коэффициента аварийности [5]. Ослабление или неудовлетворительное состояние одной из подсистем системы ВАДС всегда будет являться предпосылкой к совершению ДТП.

#### 2.4. Обоснование групп частных коэффициентов аварийности

В ходе анализа значимости частных коэффициентов аварийности выявлено, что 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 учетом 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 характеристики транспортного потока зависят от большого количества факторов [84] и могут меняться в зависимости от дорожных условий и технических параметров ТС, движущихся в потоке.

Также в ходе анализа региональной дорожной сети выявлено, что на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения присутствуют участки с разделительной дорожной полосой, участки проходящие через населенные пункты, присутствуют автодорожные мосты, пересечения и примыкание. Значение частных коэффициентов аварийности учитывающих наличие разделительно полосы, мостов, пересечений и учитывающего факт прохождения участка по населенному пункту всегда постоянно для конкретного участка в зависимости от его параметров. Но относительная протяженность данных участков достаточно мала и они носят частный характер, поэтому данные частные коэффициенты аварийности предлагается рассматривать как дополнительные, в случае их присутствия на конкретном рассматриваемом участке.

Таким образом, выбранные частные коэффициенты можно разделить на 4 группы в зависимости от постоянства их значения. Распределение частных коэффициентов аварийности по группам представлено в таблице 2.3.

К группе *A* относятся коэффициенты, имеющие конкретное постоянное значение для рассматриваемого участка: число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения; продольный уклон; радиус кривой в плане; видимость в плане; видимость в профиле; расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

К группе *B* относятся коэффициенты, значения которых являются величиной переменной и колеблются в широких пределах в различные сезоны года в зависимости от погодных-климатических условий, конструктивных особенностей земляного полотна, проезжей части, краевых полос, обочин, а также от уровня содержания дороги: ширина полосы движения и ширина обочины [16].

Таблица 2.3 – Распределение частных коэффициентов по группам

Группа <i>A</i> – коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке	Группа <i>B</i> – коэффициенты, имеющие сезонные значения	Группа <i>C</i> – коэффициенты, зависящие от случайных факторов	Группа <i>D</i> – коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке, но не характерные для всех участков
<p>К<sub>4</sub> – учитывает количество основных полос на проезжей части для прямых направлений движения;</p> <p>К<sub>5</sub> – учитывает влияния продольного уклона;</p> <p>К<sub>6</sub> – учитывает влияние кривой в плане;</p> <p>К<sub>7</sub> – учитывает влияние видимости в плане;</p> <p>К<sub>8</sub> – учитывает влияние видимости в продольном профиле;</p> <p>К<sub>10</sub> – учитывает расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м</p>	<p>К<sub>2</sub> – учитывает ширину проезжей части;</p> <p>К<sub>3</sub> – учитывает ширину обочины</p>	<p>К<sub>1</sub> – учитывает интенсивность движения;</p> <p>К<sub>9</sub> – учитывает коэффициент сцепления;</p> <p>К<sub>11</sub> – учитывает вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС</p>	<p>При наличии разделительной полосы:</p> <p>К<sub>12</sub> – учитывает ширину разделительной полосы.</p> <p>При наличии мостов:</p> <p>К<sub>13</sub> – учитывает ширину проезжей части мостов по отношению к проезжей части дороги.</p> <p>При наличии пересечений:</p> <p>К<sub>14</sub> – учитывает типы пересечений или примыканий;</p> <p>К<sub>15</sub> – учитывает пересечения в одном уровне, интенсивность движения по основной дороге, авт/сут;</p> <p>К<sub>16</sub> – учитывает видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой.</p> <p>При прохождении участка по населенному пункту:</p> <p>К<sub>17</sub> – учитывает расстояние проезжей части от застройки;</p> <p>К<sub>18</sub> – учитывает длину населенного пункта;</p> <p>К<sub>19</sub> – учитывает длину участков на подходах к населённым пунктам</p>

В летний период на территории Красноярского края сохраняются проектные параметры поперечного профиля дорог и движение происходит по всей ширине проезжей части. Обочины в этот период находятся в сухом плотном состоянии.

В межсезонный период возможно сокращение фактической ширины проезжей части из-за загрязнения проезжей части, которое зависит от типа грунта обочин, их ширины и типа укрепления, общей ширины проезжей части, наличия въездов и съездов без твердого покрытия. Занесенная транспортом на проезжую часть грязь под действием движения перемещается к кромкам и откладывается на прикромочной полосе проезжей части [37]. При отсутствии укрепленных обочин сокращение проезжей части из-за загрязнения составляет 0,6 – 1,2 м. На участках с укрепленными на всю ширину обочинами сокращение ширины проезжей части почти не происходит.

В зимний период возможно исчезновение четких очертаний границ земляного полотна и сглаживание его форм. В районах с длительным зимним периодом, частыми снегопадами и метелями при регулярной снегоочистке на прикромочных полосах обочин и проезжей части образуется ровный плотный слой снега шириной 0,2 – 0,6 м и толщиной 2 – 10 см, по которому может происходить движение автомобилей [54]. Фактическая ширина проезжей части, используемая для движения на дорогах с хорошим зимним содержанием, увеличивается. Поэтому на отдельных участках дорог зимой могут быть лучшие условия для движения, чем летом. При отсутствии регулярной снегоочистки фактическая (чистая) ширина проезжей части резко сокращается или исчезает полностью и движение осуществляется по слою рыхлого или уплотненного снега [54].

Таким образом, особенностью состояния дорог в зимний период является значительное колебание ширины чистой проезжей части по длине дороги и по времени. Большие сужения проезжей части и обочины происходят на снегозаносимых участках дорог, участках установки ограждений, парапетов и направляющих столбиков, которые способствуют образованию снежных отложений и мешают уборке снега. Особенно неблагоприятные условия создаются на кривых малого радиуса (до 300 м) в плане, на которых устанавливаются ограждения, значительно затрудняющие условия снегоочистки [37].

Частные коэффициенты аварийности, учитывающие интенсивность движения, вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС и коэффициент сцепления, включенные в группу *C*, учитывают влияние случайных факторов. Их значения могут варьироваться в суточном, недельном и сезонном циклах, а также зависят от погодных условий [16].

В отдельных случаях в зависимости от характеристик рассматриваемого участка необходим учет дополнительных частных коэффициентов, составляющих четвертую группу *D*. Значение частных коэффициентов аварийности входящих в группу *D* всегда постоянно для конкретного участка.

## **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.

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 [55]:

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

Повышение безопасности ОДД 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 4 группы, то в общем виде математическая модель будет выглядеть следующим образом:

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

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;

$D$  – произведение коэффициентов 4-й группы при их наличии в зависимости от места расположения рассматриваемого участка дороги.

Соответственно произведения групп:

$$A = K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_{10}, \quad (2.6)$$

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

$$C = K_1 \cdot K_9 \cdot K_{11}, \quad (2.8)$$

С учетом того, что значения коэффициентов группы  $B$  характерны для природно-климатических условий конкретного сезона, их условно можно считать постоянными, тогда произведение (2.3) примет следующий вид:

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

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

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

При раскрытии группы  $C$  выражение (2.7) приобретает вид [16]:

$$K_{\text{итог}} = F \cdot K_1 \cdot K_9 \cdot K_{11}. \quad (2.11)$$

Исходя из транспортно-эксплуатационных характеристик участки автомобильных дорог общего пользования можно разделить по типу местности. По характеру рельефа различают три типа местности:

- равнинная – местность с уклонами, не превышающими 1:20 или меньшими на протяжении не менее 500 м;

- пересеченная – местность с уклонами в пределах от 1:20 до 1:3 на протяжении не менее 500 м. Естественные уклоны местности превышают уклоны, допустимые для дороги и обеспечения допустимых параметров в плане и профиле проектируемой автомобильной дороги и требуют устройства насыпей и выемок;

- горная – местность с уклонами, которые могут превышать 1:3 на протяжении не менее 500 м. Наклоны поверхности склонов по отношению к поперечному сечению и продольному профилю, требующие ступенчатой разработки для размещения насыпи [102].

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. При этом ширину обочин на особо трудных участках горной местности и проходящих по особо ценным земельным угодьям, а также в местах с переходно-скоростными полосами и дополнительными полосами на подъем при соответствующем технико-экономическом обосновании с разработкой мероприятий по организации и безопасности движения допускается уменьшать до 1,5 м для автомобильных дорог категорий ІБ, ІВ и ІІ и до 1,0 м – для дорог остальных категорий [27].

Таким образом определены минимальные и максимальные значения константной функции  $F$  в зависимости от типа местности с учётом сезонных изменений таких параметров как: ширина проезжей части и ширина обочины (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Значение константной функции  $F$

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 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, эталонное (безопасное)

значение итогового коэффициента аварийности  $K_{\text{итог}_9}$  получаем путем достижение эталонного значения частного коэффициента аварийности  $K_{11_9}$  (коэффициента вариационного размаха скоростей между обгоняем и обгоняющим ТС) при реальных значениях прочих частных коэффициентов аварийности:

$$K_{\text{итог}_9} = F \cdot K_1 \cdot K_9 \cdot K_{11_9}, \quad (2.12)$$

В общем случае показатель эффективности, или целевая функция, может зависеть от трех групп факторов (или подсистем):

$$\text{ЦП} = U = U(a_1, a_2, a_3 \dots a_n; x_1, x_2, x_3 \dots x_m; z_1, z_2, z_3 \dots z_k), \quad (2.13)$$

где  $a_1 \dots a_n$  – первая группа факторов, характеризующая условия выполнения операции, которые заданы и не могут быть изменены в ходе ее выполнения;

$x_1 \dots x_m$  – вторая группа факторов, которая иногда называется элементами решения, может меняться при управлении, влияя на целевую функцию;

$z_1 \dots z_k$  – третья группа факторов, влияния которых на эффективность системы неизвестно или изучено недостаточно.

Первая и третья группа факторов иногда условно объединяются общим понятием «природа», которое характеризует все внешние для системы условия, влияющие на исход [45, 57].

Таким образом, к первой группе факторов  $a_1 \dots a_n$  относятся следующие: число основных полос на проезжей части для прямых направлений движения, продольный уклон, радиус кривой в плане, видимость в плане, видимость в профиле, расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

При принятии решения надо найти некоторые значения второй группы факторов  $x_1 \dots x_m$ , чтобы получить необходимое значение целевой функции [45, 57].

Так как вторая группа факторов может  $x_1 \dots x_m$  меняться при управлении, влияя на целевую функцию, то к данной группе относится коэффициент вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС. Это единственный коэффициент, на значение которого можно оказать влияния.

К третьей группе факторов  $z_1 \dots z_k$  можно отнести ширину полосы движения,

ширину обочины, интенсивность движения, коэффициент сцепления.

Распределение частных коэффициентов аварийности по группам факторов, оказывающих влияние на целевую функцию, представлено на рисунке 2.11 и отражено в выражении (2.14).

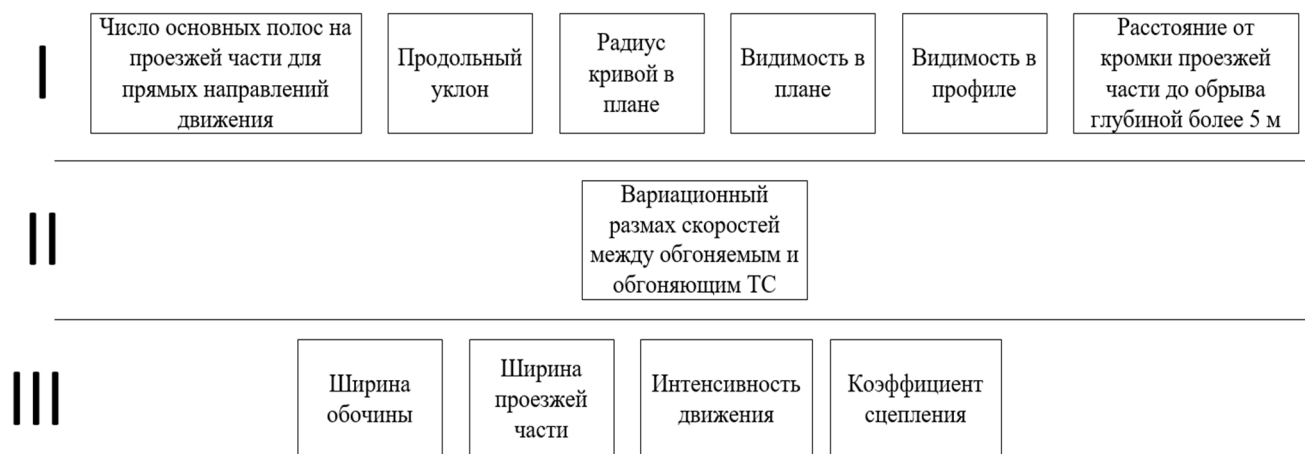


Рисунок 2.11 – Распределение частных коэффициентов по группам факторов, влияющих на целевую функцию

$$K_{\text{итог}} = a \cdot x \cdot z, \quad (2.14)$$

где  $a$  – произведение первой группы факторов;

$x$  – произведение второй группы факторов;

$z$  – произведение третьей группы факторов.

$$a = K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_{10}, \quad (2.15)$$

$$x = K_{11}, \quad (2.16)$$

$$z = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_9. \quad (2.17)$$

Таким образом, выразив группы факторов, получим следующую зависимость коэффициента  $K_{11}$ , учитывающего вариационный размах скоростей:

$$K_{11} = \frac{K_{\text{итог}}}{\prod_{i=1}^{i=10} K_i}, \quad (2.18)$$

где  $K_{\text{итог}}$  – коэффициент аварийности, полученный по практическим данным статистики ДТП;

$\prod_{i=1}^{i=10} K_i$  – теоретическое значение итогового коэффициента аварийности,



рассчитанное как произведение частных коэффициентов  $K_1, K_2, \dots, K_{10}$ .

Так как оперативным способом регулирования значения итогового коэффициента аварийности является скорость движения ТП, отраженная в частном коэффициенте  $K_{11}$  (вариационный размах скоростей), составим условия определения безопасной скорости движения по конкретному участку дороги в заданных дорожных условиях:

$$v = \begin{cases} V_p, & K_{\text{итог}} = K_{\text{итог э}}, \\ V_{\text{п}}, & K_{\text{итог}} > K_{\text{итог э}}, \end{cases} \quad (2.19)$$

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

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

Есть несколько подходов определения расчетной средней скорости транспортного потока:

1. По ВСН 25– 86 «Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» средняя скорость смешанного потока автомобилей  $V_{\text{п}}$  для сухого покрытия в летнее время года при коэффициенте загрузки от 0,1 до 0,85 с учетом влияния ДУ и интенсивности движения на двухполосных дорогах определяется следующим образом:

$$V_{\text{п}} = V_0 \cdot \theta - a \cdot K_a \cdot N, \quad (2.20)$$

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 таблиц 1.5– 1.7 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 .

$$\theta = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3, \quad (2.21)$$

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;

2. Согласно ОДМ 218.2.020– 2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [68] рекомендуются следующие выражения для расчета средних скоростей  $V_{\Pi}$  для дорог с коэффициентом загрузки  $z$  больше чем 0,8:

для двух полос:

$$V_{\Pi} = 61 - (0,019 - 0,00014p_{\text{л}})N + 0,24p_{\text{л}}, \quad (2.22)$$

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

для четырех полос:

$$V_{\Pi} = 65 - (0,011 - 0,00012p_{\text{л}})N + 0,22p_{\text{л}}. \quad (2.23)$$

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

$$V_{\Pi} = V_0 - \alpha N, \quad (2.24)$$

где  $V_0$  – скорость движения одиночного автомобиля при отсутствии помех (в расчете принимается как максимальная допустимая скорость движения);

$\alpha$  – коэффициент снижения скорости, который зависит от состава транспортного потока. При 20 % легковых автомобилей – 0,016, при 50 % – 0,012 и при 80 % – 0,008 [103].

## 2.6. Алгоритм оценки итогового коэффициента аварийности

Для определения итогового коэффициента аварийности необходимо выполнить следующий ряд действий:

1. Фиксация параметров группы *A*:

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

- Продольный уклон –  $K_5$ .

- Радиус кривой в плане –  $K_6$ .

- Видимость в плане –  $K_7$ .

- Видимость в профиле –  $K_8$ .

- Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, –  $K_{10}$ .

2. Расчет произведения частных коэффициентов аварийности, относящихся к группе *A*.

3. Фиксация параметров группы *B*:

- Ширина проезжей части –  $K_2$ .

- Ширина обочины –  $K_3$ .

4. Расчет произведения частных коэффициентов аварийности, относящихся к группе *B*.

5. При присутствии дополнительных факторов таких как: наличие разделительной полосы, мостов, пересечений, прохождение участка через населенный пункт произвести фиксацию частных коэффициентов аварийности и рассчитать значение группы *D*. Если же дополнительные факторы отсутствуют, принять произведение частных факторов группы *D* за единицу.

6. Определения значения константной функции *F*, путем нахождения произведения частных коэффициентов аварийности групп *A*, *B* и *D*.

7. Фиксация параметров группы *C*:

- Коэффициент сцепления –  $K_9$ .

- Вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС –  $K_{11}$ .

8. Определение значения итогового коэффициента аварийности.
9. Определение эталонного значения итогового коэффициента аварийности:
10. Сравнение значения итогового коэффициента аварийности с эталонным значением.
11. Если значения совпадают, то вывод разрешенной скорости движения на рассматриваемом участке. Если значения итогового коэффициента аварийности больше эталонного значения, определение средней скорости потока и вывод данного значения.

Таким образом, получаем алгоритм определения итогового коэффициента аварийности и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени (рисунок 2.12).

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

## **2.7. Определение предельного значения итогового коэффициента аварийности**

Согласно ОДМ 218.4.005–2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» безопасными считаются следующие значения коэффициента аварийности:

В проектах реконструкции дорог II–IV категории и нового строительства рекомендуется перепроектировать участки, для которых итоговый коэффициент аварийности более 15–20.

Для ремонтируемых участков дорог тех же категорий (в условиях равнинного или холмистого рельефа) предусматривают перестройку участков с коэффициентами аварийности более 25–40.

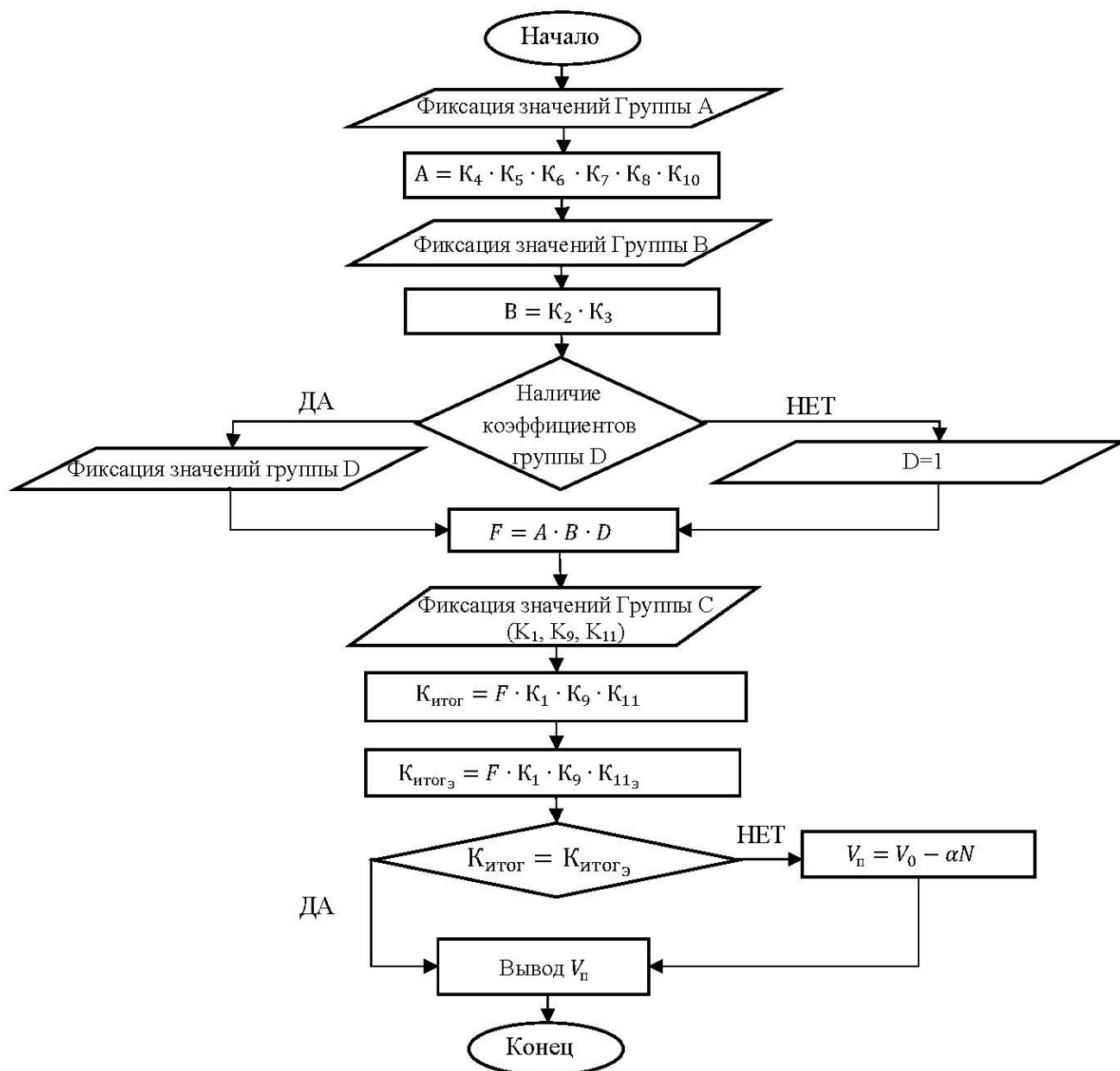


Рисунок 2.12 – Алгоритм определения итогового коэффициента аварийности и информирования водителей о допустимой скорости движения в конкретный момент времени

На горных дорогах с позиции безопасности движения допустимыми можно считать участки со значениями итогового коэффициента аварийности менее 35 и более 350. Однако следует иметь в виду, что при его значениях более 350 скорости движения и пропускная способность дороги значительно снижаются [69].

Данные рекомендуемые значения итогового коэффициента аварийности установлены В.Ф. Бабковым [5].

В.В. Чвановым установлена статистическая зависимость показателя риска ДТП от значения уточненного итогового коэффициентом аварийности на автомобильных дорогах разного типа. На основе показателей риска ДТП, который является одним из критериев определения уровня безопасности движения, и зависимости данного показателя от значения итогового коэффициента аварийности установлены предельные значения итогового коэффициента аварийности на дорогах различного типа [119–121]. Рекомендуемые значения итогового коэффициента аварийности представлены в таблице 2.5, где \* отмечены значения для горной или сильно пересеченной местности.

Отличия предельных значения итогового коэффициента аварийности, определённых В.В. Чвановым, значительно отличаются от принятых значений В.Ф. Бабковым, объясняются рядом факторов. К основным из них относится изменения современных условий движения, которые нашли отражение в уточнённых значениях частных коэффициентов аварийности, повышении общих требований к обеспечению безопасности движения с учетом возросшей интенсивностью движения транспортных потоков. Таким образом, в целом, предлагаемые граничные значения итогового коэффициента аварийности предъявляют существенно более жесткие требования к оценке проектных решений автомобильных дорог по критерию безопасности движения, чем это было установлено ранее В.Ф. Бабковым.

Таблица 2.5 – Предельные значения итогового коэффициента аварийности [120]

Вид проектной документации	Многополосные дороги с разделительной полосой	Многополосные дороги без разделительной полосы	Двухполосные дороги
Проекты нового строительства и реконструкции автомобильных дорог	2,5-5,0*	2,0-5,0*	2,0-9,0*
Проекты капитального ремонта	5,0-13,0*	5,0-19,0*	9,0-22,0*

Так как В.В. Чванов при расчетах предельных значений итогового коэффициента аварийности использовались уточненные частные коэффициенты, соответствующие современным транспортно-эксплуатационным качествам дорожной сети и состоянию транспортных потоков и данные значения используются в нормативных документах, для определения предельного значения итогового коэффициента аварийности с учетом состава транспортного потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС предлагается следующее выражение:

$$K_{\text{итог}_{\Pi}} = K_{\Pi} \cdot K_{11_{\Pi}}, \quad (2.25)$$

где  $K_{\text{итог}_{\Pi}}$  – предельного значения итогового коэффициента аварийности с учетом состава транспортного потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС;

$K_{\Pi}$  – предельного значения итогового коэффициента аварийности определенное В.В. Чвановым;

$K_{11_{\Pi}}$  – предельное значение частного коэффициента учитывающего вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

Предельное значение частного коэффициента учитывающего вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС определяется исходя из статистических данных по выражению 2.23.

## 2.8. 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. В связи с тем, что 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, необходимо уточнить и дополнить перечень

частных коэффициентов аварийности на основании обобщения данных региональной статистики ДТП. Из этого следует, что приведенный перечень частных коэффициентов аварийности, встречающихся во всех интерпретациях методики, нельзя считать исчерпывающим и окончательным. Поэтому обоснован набор факторов, оказывающих влияние на БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения.

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 в плане; видимость в профиле; коэффициент сцепления; расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м.

На основе анализа аварийности на территории Красноярского края выявлен ранее не рассматривавшийся при определении итогового коэффициента аварийности фактор – вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, который необходимо учитывать при оценке БДД.

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

- группа *A* – частные коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке;
- группа *B* – значения которых являются величиной переменной и могут меняться в зависимости от времени года;
- группа *C* – частные коэффициенты, значения которых постоянно меняются в зависимости от параметров транспортного потока и от погодных-климатических условий;
- группа *D* – дополнительные частные коэффициенты, имеющие конкретное значение на рассматриваемом участке в зависимости от его месторасположения.



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

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

где  $F$  – константная функция (произведение значений коэффициентов групп  $A$ ,  $B$  и  $D$ , постоянное значение для конкретного участка дороги).

6. Установление значений частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  и его зависимости от вариационного размаха скоростей будет осуществлено сравнением теоретических и наблюдаемых значений итогового коэффициента аварийности с использованием предложенной в работе зависимостью (формула 2.16).

7. Предложено выражение для определения предельного значения итогового коэффициента аварийности.

## 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 вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

При планировании эксперимента были определены входные и выходные параметры на основе сбора и анализа информации. В первой части экспериментального исследования за входные данные были приняты регистрируемые во время эксперимента, но не управляемые факторы: 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 проезжей части, ширина обочины, видимость в плане и профиле, коэффициент сцепления, интенсивность. Далее установлены выходные параметры, за которые приняты состав потока и вариационный размах скоростей.

На подготовительном этапе были определены перечень фиксируемых параметров и участки для проведения натурного эксперимента, сформулированы условия для фиксации состава потока и скоростей ТС, определен перечень оборудования.

Для экспериментальных исследований необходимо было подобрать оборудование, которое соответствует 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 в ЭВМ с целью последующей обработки и анализа.

В таблице 3.1 представлен перечень фиксируемых факторов и необходимого оборудования. Фиксируемые данные сводились в общую итоговую ведомость, образец которой представлен на рисунке 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
Интенсивность движения, авт/ч	
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	
Коэффициент сцепления	
Ширина разделительной полосы, м	
Состав потока, %	
Средняя скорость ТС, км/ч	

Рисунок 3.1 – Ведомость для фиксации результатов эксперимента

Для проведения активного эксперимента на территории Красноярского края было выбрано 10 участков (711, 714, 763, 770, 796, 799, 875, 898, 27 и 30 км) на федеральных дорогах Р255 и Р257, отличающихся уровнем аварийности, характеристиками дорожного движения, геометрическими параметрами и типами местности. Для эксперимента выбирался однородный участок, без каких-либо изменений элементов дороги, так как согласно рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах устанавливаются зоны влияния дорожных элементов. Зоны влияния представлены в таблице 3.2 [69].

Таблица 3.1 – Печень фиксируемых факторов и необходимого оборудования

Параметр	Ед. измерения	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 [28] / ГОСТ 33383–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров [25]
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 [28]/ ГОСТ 33383–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров [25] ОДМ 218.6.027–2017 Рекомендации по проведению аудита безопасности дорожного движения при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог [73]

## 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 [28]/ ГОСТ 32963–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Расстояние видимости. Методы измерений [21]
Коэффициент сцепления		Качеств.	Инструментальный	Портативный ППК-Ф, Динамометрическая тележка	ГОСТ 33078–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием [23]
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 [73]
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 3.2 – Зона влияния элементов дороги

Элемент дороги	Зона влияния			
	Зимой	Осенью	Весной	Летом
Подъемы и спуски	За вершиной подъема 100 м, у подошвы спуска 150 м			
Пересечения в одном уровне: при наличии твердого покрытия на пересекаемой дороге: при отсутствии твердого покрытия на пересекаемой дороге	По 100 м в сторону		По 50 м в каждую сторону	
	То же		По 100...150 м в каждую сторону в зависимости от типа грунта	
Кривые в плане с обеспеченной видимостью при радиусах менее 400 м	По 50 м от начала и конца кривой			
Кривые с необеспеченной видимостью при любом радиусе	По 100 м от начала и конца кривой			
Мосты, трубы и другие сооружения	По 100 м в каждую сторону от начала и конца сужения		По 75 м в каждую сторону от начала и конца сужения	
Пересечения на разных уровнях	В пределах между примыканиями к основной дороге переходно-скоростных полос или правоповоротных съездов			
Автобусные остановки и населенные пункты	По 100 м от границ			

Из таблицы 3.2 видно, что различные элементы дороги оказывают свое влияние на протяжении 50–150 м в каждую сторону от элемента.

Так как тип местности определяется на участке протяженностью не менее 500 м и в ФГУП «РосдорНИИ» установлено, что в качестве минимальной расчетной длины участков внегородских дорог, обеспечивающей наиболее высокую надежность определения показателя риска ДТП с пострадавшими следует рассматривать протяженность однородных участков близкую к 1 км [121], измерения проводились на участке протяженностью не менее 500 м и не более 1000 м с учетом того, что мосты, пересечения, подъемы и спуски оказывают свое влияние на протяжении 50–150 м в каждую сторону.

Данные характеристики участка представлены на рисунке 3.2.

При определении скорости и интенсивности движения выделялся створ протяженностью 50–100 м в зависимости от прямой видимости проезжей части.

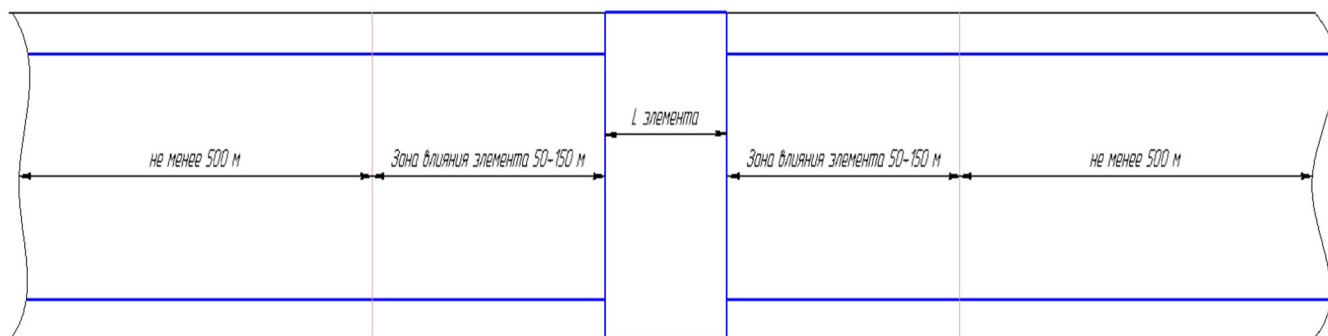


Рисунок 3.2 – Протяженность участка для определения значения итогового коэффициента аварийности

Места проведения измерений в целях обеспечения безопасности были обозначены переносными ограждениями и предупреждающими знаками. Средства измерений были поверены и подготовлены в соответствии с инструкцией по их эксплуатации [15, 130].

С целью охвата исследованием максимально широкого диапазона условий движения фиксация данных проводилась для каждого из участков в разные времена 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

Методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог перечислены в ГОСТ Р 52577–2006 [28] и ГОСТ 33383–2015 [25].

Определение параметров проводят измерительным контролем и(или) визуально, в зависимости от определяемого параметра.

Для определения значений геометрических параметров применяют средства измерений, прошедшие в установленном порядке поверку и(или) аттестацию, обеспечивают условия, при которых должны проводиться измерения, и проводят обработку результатов.

При проведении измерений должен быть обеспечен свободный доступ к объекту измерения и возможность размещения средств измерения. Места измерений, при необходимости, должны быть очищены, размечены или замаркированы. Измерения проводят на поверхности измеряемого слоя. В зависимости от времени года на поверхности измеряемого слоя не должно быть снежного покрова, обледенения, пыли и грязи.

Измерения линейных размеров проводят согласно ГОСТ 26433.0 – ГОСТ 26433.2 и в соответствии с инструкцией на средства измерения по их эксплуатации [25].

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.

Измерения проводились при помощи дорожной универсальной рейки с базой измерения 3000 мм. Измерения проводились путем непосредственного приложения рейки в продольном направлении и снятия контрольных отсчетов. Измерения проводились как по середине каждой из полос движения, так и по краям проезжей части на расстоянии не менее 0,5 м от кромки [25, 28].

При измерении радиусов кривых в плане траектория движения передвижной лаборатории должна соответствовать кривизне автомобильной дороги. Для этого в процессе проезда кривой измерительная установка должна двигаться строго параллельно оси проезжей части. При измерении радиусов кривых на автомобильных



дорогах с многополосной проезжей частью передвижная лаборатория должна двигаться по внутренней полосе проезжей части. Для уменьшения влияния систематических погрешностей на результат измерения наблюдения производят в прямом и обратном направлениях, на разных участках шкалы отсчетного устройства, меняя установку и настройку прибора и соблюдая другие приемы, указанные в инструкции по эксплуатации на средства измерения. При этом должны быть соблюдены условия равноточности наблюдений (выполнение наблюдений одним наблюдателем, тем же методом, с помощью одного и того же прибора и в одинаковых условиях) [65].

Также радиус существующей кривой в плане при отсутствии документации может быть определен тремя способами [99] используют стандартный инструмент GIS Google Earth линейка [133] или Яндекс–карты линейка [127], позволяющий измерять расстояния на карте.

По первому способу с помощью теодолита определяют угол поворота. Затем находят точки «Начало круговой кривой» (НКК) и «Конец круговой кривой» (ККК) (рисунок 3.3).

Радиус кривой определяют 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.

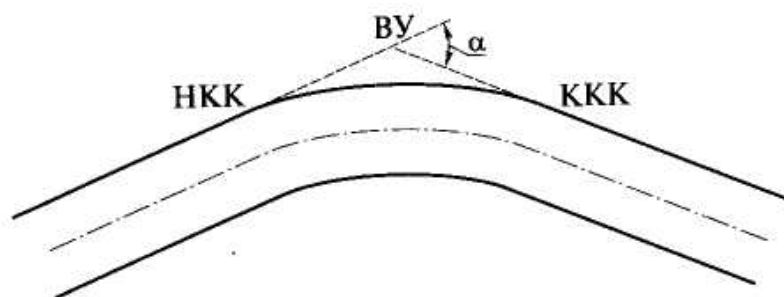


Рисунок 3.3 – Схема для определения радиуса кривой по длине кривой и углу поворота

При длине кривой, определяемой не по оси дороги, а по кромке проезжей части, найденное значение радиуса уточняется:

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

где  $R_k$  – уточненный радиус кривой, м;

$R$  – вычисленное значение радиуса, м;

$B$  – ширина проезжей части, м [100].

Пример измерения данных по первому способу показан на рисунке 3.4.

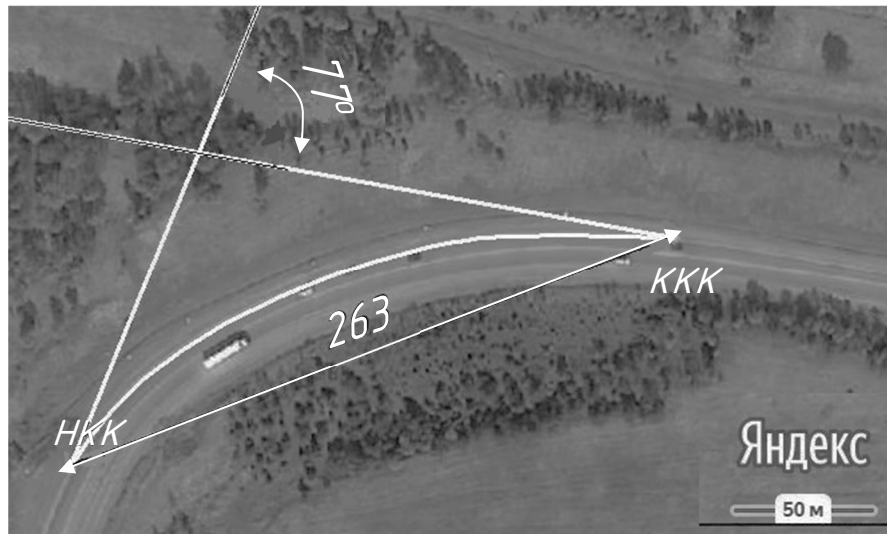


Рисунок 3.4 – Пример определения радиуса кривой

Непосредственно на дороге расстояние видимости может быть оценено с помощью приборов, имеющих дальномерные приспособления [102]. Не допускается проводить измерение расстояния видимости в условиях недостаточной видимости, а также в случае невозможности выполнения измерений по заданной траектории, например, при порывистом ветре, значительных повреждениях дорожного покрытия, превышающих установленные действующими нормативными документами.

Измерения выполняют два наблюдателя. Оба наблюдателя должны быть оснащены средствами связи (радиостанции, телефоны и т.п.). При отсутствии средств связи при необходимости (например, на кривых в плане), с целью передачи визуальной информации, допускается привлечение третьего оператора. Для фиксации положения глаз первого наблюдателя на требуемой высоте используют вешку 1 в соответствии с рисунком 3.5. Вешку 2 фиксирует второй наблюдатель. Во время

работы вешку 1 устанавливают так, чтобы ось перекладины вешки совпадала с касательной к кривой, а вешку 2 – вертикально. При вертикальном положении вешки 2 объект видимости должен касаться одной стороной поверхности дорожного покрытия, а плоскостью должен быть обращен в сторону первого наблюдателя. Для контроля вертикального положения вешки допускается использовать отвес или жидкостный уровень [21].

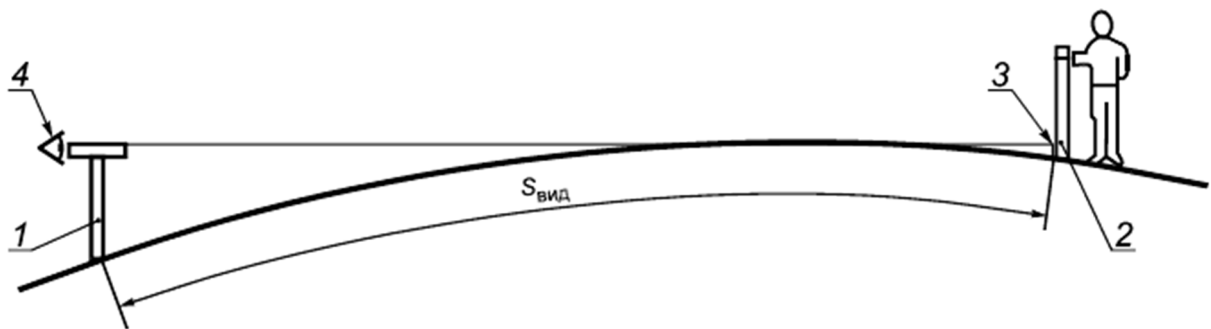


Рисунок 3.5 – Схема определения расстояния видимости: 1 – вешка 1; 2 – вешка 2 с объектом видимости 3;  $S_{\text{вид}}$  – створ видимости; 4 – глаз наблюдателя

Измерения расстояния видимости участков дороги выполняют в продольном направлении вдоль кромки проезжей части на расстоянии 1,5–1,7 м от нее. Измерения выполняют отдельно для каждого направления движения. За конечный результат принимают меньшее значение из измеренных расстояний.

Расстояние видимости до контрольного объекта определяется визуально и при помощи рулетки. Результаты линейных измерений сравнивают с требуемым значением расстояния видимости на данном участке [28]. Требуемые значения геометрических элементов автомобильных дорог представлены в ГОСТ Р 52399–2005 [27].

### 3.2.2. Оборудование для определения параметров дорожного полотна

Для измерения линейных размеров применялась рулетка измерительная металлическая по ГОСТ 7502 [31], дорожная универсальная рейка и курвиметр (мерное колесо) [21, 29], жидкостный строительный уровень по ГОСТ Р 58514–2019

[30].

Рулетка измерительная металлическая не ниже 3-го класса точности должна быть длиной более 10 м [21].

Допускаемое отклонение действительной длины интервалов шкал рулеток от нанесенной на шкале при температуре окружающей среды 20 °С и натяжении измерительной ленты рабочим усилием должно быть не более  $\pm 0,30$  мм [31].

Лента рулетки не должна иметь вмятин и перегибов. Разматывание и наматывание ленты на барабан должно производиться свободно. Все деления на ленте должны быть видны и однозначно считываться [21].

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

Сборку рейки в рабочее положение проводят перед проведением измерения.

Сборка рейки должна проводиться так, чтобы исключить возможные зазоры (люфт) между сборными частями.

Для проверки рабочего состояния рейки необходимо выполнить следующую процедуру. На ровной поверхности при видимом отсутствии посторонних предметов отметить места приложения каждого края рейки мелом и снять со шкалы значение уклона. Перевернуть рейку на 180°, приложить ее точно в отмеченные места и снять значение уклона повторно.

Значения полученных отсчетов не должны отличаться более чем на 3 ‰ с точностью до 1 ‰.

При несоблюдении данного условия необходимо откорректировать показания рейки путем ослабления винта шкалы и ее поворота в сторону уменьшения величины уклона. Поворот шкалы осуществляется на величину, равную половине разницы между полученными результатами.

Данную процедуру необходимо повторять до достижения заданной величины отклонения.

Требования к дорожной универсальной рейке представлены в таблице 3.3 [28].

Таблица 3.3 – Требования к дорожной универсальной рейке

Параметр	Показатель
Предел измерения линейки, м	до 3,0
Цена деления линейки, мм	5,0
Погрешность нанесения делений линейки, мм, не более	$\pm 2,0$
Предел измерения уклона, мм/м, не более	100,0
Погрешность измерения уклона, мм/м, не более	$\pm 0,5$
Непрямолинейность опорной грани, включая прогиб, мм, не более	0,3-0,7

Курвиметр должен обладать следующими характеристиками: предел измерений – не менее 900 м и точность измерения – не более 0,05 м [29].

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].

### 3.2.3. Методика проведения натурального эксперимента

Натурный эксперимент выполнен на легковом автомобиле Toyota Caldina, с помощью которого осматривалось состояние проезжей части на выбранных участках (рисунок 3.6). На уровне глаз водителя в автомобиле была установлена видеокамера для того, чтобы снять вид проезжей части, обочин, откосов и прилегающей обстановки.

При помощи дорожной универсальной рейки были определены высота ограждений и уклон. Сборка рейки проводилась так, чтобы исключить возможные зазоры (люфт) между сборными частями. Измерения проводились путем непосредственного приложения рейки в продольном и поперечном направлении и снятия контрольных отсчетов. Измерения проводят как по середине каждой из полос движения, так и по краям проезжей части на расстоянии не менее 0,5 м от кромки [130].

Курвиметром типа КП-203 (дорожное колесо) с использованием жидкостного строительного уровня была определена видимость. При помощи стальной ленты были определены ширина полосы движения, ширина разделительной полосы, ширина обочины, расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м [130]. Измерения линейных размеров проводились согласно ГОСТ Р

52577–2006 [28] и ГОСТ 33383–2015 [25] и в соответствии с инструкцией на средства измерения по их эксплуатации (рисунок 3.7).



Рисунок 3.6 – Осмотр проезжей части



Рисунок 3.7 – Измерения линейных размеров

В связи со сложностью неоднократного транспортирования на дальние расстояния специализированных передвижных лабораторий, оборудованных соответствующей измерительной аппаратурой – гироскопическими установками, для определения радиусов горизонтальных кривых использовался инструмент ГИС Google Earth линейка [133].

### 3.3. Методика определения коэффициента сцепления шин

Коэффициент сцепления определяют с помощью динамометрических тележек или портативных приборов. Наиболее точные значения получают при использовании динамометрических прицепов. Измерения динамометрическими прицепами выполняют, как правило, на участках дорог большой протяженности при скорости  $(60 \pm 5)$  км/ч [23].

При отсутствии динамометрических прицепов степень скользкости дорожного покрытия оценивают методом торможения автомобиля на мокром дорожном покрытии. Измерения тормозного пути выполняют на прямых горизонтальных участках дороги при отсутствии сильного ветра и закрытии движения на участке измерений. Автомобиль должен иметь шины с неизношенным рисунком протектора и отрегулированную тормозную систему, обеспечивающую одновременное и полное затормаживание всех колес.

Спидометр должен быть оттарированным и обеспечивающим возможность определения скорости движения с точностью до  $\pm 5$  км/ч. Автомобиль на участке торможения разгоняют до скорости 40 км/ч и резко тормозят. Длину тормозного пути измеряют рулеткой по следу на поверхности дорожного покрытия. Большую точность измерений обеспечивает автомобиль, оборудованный пистолетом-ракетницей, который заряжается краской или порошком (сухой краской). Пистолет-ракетницу связывают с педалью тормоза. При нажатии на педаль вызывается выстрел и на проезжую часть наносится отметка, фиксирующая начало тормозного пути. Для ускорения определения коэффициента сцепления используют данные, приведенные в таблице учебника «Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц» [102].

На основе данного метода В.Г. Маслеников разработал регрессионную модель для аналитического определения фактического значения коэффициента продольного сцепления шин АТС категории М1 при экстренном торможении на асфальтобетонном покрытии:

$$\varphi = 0,000086881F_z + 0,887096774\varphi_n - 0,270569892, \quad (3.3)$$

где  $F_z$  – нормальная нагрузка на колесо, Н;

$\varphi_n$  – значение коэффициента сцепления, определяемое с помощью прибора ПОИКС,  $\varphi_n$  [59].

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

### **3.4. Методика определения интенсивности и состава транспортного потока**

Согласно ГОСТ 32965–2014 [22] существует два метода учета интенсивности:

1. Автоматизированный метод учета интенсивности движения: Определение интенсивности движения с применением различного рода переносного или стационарно установленного оборудования, позволяющего автоматически фиксировать, подсчитывать и сохранять данные о проходящих транспортных средствах.

2. Визуальный метод учета интенсивности движения. Определение интенсивности движения визуальным наблюдением и фиксированием вручную или на электронных носителях количества транспортных средств, проходящих по автомобильной дороге.

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

Для определения интенсивности движения ДС разбивается на перегоны и подходы к населенным пунктам. Границей перегона или подхода может быть пересечение (примыкание) с другой дорогой, населенный пункт и другие места, где состав и интенсивность движения изменяются более чем на 15 %.

На каждом перегоне или подходе определяется место дислокации пункта учета таким образом, чтобы для транспортного потока не было объездных путей.



На автомобильных дорогах с количеством полос четыре и более учет интенсивности движения следует проводить в прямом и обратном направлении раздельно. Учет интенсивности движения следует проводить в рабочие дни недели. Учет интенсивности движения не проводят в те дни, которые значительно изменяют интенсивность движения.

Визуальный учет интенсивности движения осуществляется с помощью видеофиксации, которая проводится в два этапа:

- этап 1 – видеофиксация, позволяющая идентифицировать типы, конструктивные и технические особенности всех транспортных средств, движущихся в потоке;

- этап 2 – определение интенсивности движения по видеофайлам визуальным методом.

Учет интенсивности движения проводится в светлое время суток непрерывно в течение не менее 4 ч [22].

Обработка результатов учета интенсивности движения заключается в расчете характеристик ТП.

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 учетов интенсивности движения;

$K_{CЧ}$  – коэффициент часа;

$K_{CD}$  – коэффициент дня недели;

$K_{CM}$  – коэффициент месяца;

Значения коэффициентов принимаются по таблицам К.1–К.4 ГОСТ 32965–2014 [22];

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:

$$N_{\text{сут max}} = \frac{N_{\text{СС}}}{K_{\text{СД min}} \cdot K_{\text{СМ min}}}, \quad (3.5)$$

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

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

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

Для учета состава ТП все транспортные средства в потоке были разделены на 4 группы по категориям [22], данные категории были соотнесены с ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств»:

1. Категория L (Мототранспортные средства).

2. Категория М1 (ТС, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения - легковые автомобили).

3. Категория М2/ Категория М3 (ТС, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, технически допустимая максимальная масса которых не превышает 5 т /ТС, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, технически допустимая максимальная масса которых превышает 5 т).

4. Категория N (ТС, используемые для перевозки грузов – автомобили грузовые и их шасси) [111].

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

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

- ТК категории М1 имеют малые габаритные размеры и обширную цветовую гамму по сравнению с другими ТС;

- ТС категории N имеют четко выраженную водительскую кабину и большое лобовое стекло;

- ТС категории М2 имеют четко выраженное выпуклое лобовое стекло;
- ТС категории М3 имеют прямоугольную форму.

Используемая форма учета интенсивности движения составлена на основе формы представленной в ГОСТе 32965–2014 [22] приведена на рисунке 3.8.

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	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 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
M2/M3	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
	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 3.8 – Форма учета интенсивности

### 3.5. 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. Определен контрольный створ протяжением 50 м. На его границах закрепляются вешки или делаются метки на проезжей части.
2. На въездном створе фиксируется момент наезда заднего колеса автомобиля на контрольный створ.
3. При съезде заднего колеса контролируемого автомобиля с выездного створа определяется время прохождения «опытным» автомобилем контрольного створа, которое заносится в журнал.

Зная пройденный путь и время, скорость движения определим 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:

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

Вариационный размах скоростей  $\Delta V$  находился путем определения разницы между обгоняющим и обгоняемыми 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 дорожных условиях 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,  $t_H=0,4 \dots 0,5$  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 расчетах принимают следующие показатели: на опорной поверхности при  $\varphi \geq 0,4$  для легковых автомобилей  $k_3 = 1,2$ , грузовых –  $k_3 = 1,3 \dots 1,4$ ; 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> [35, 83].

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 [130].

По методу подобия по заранее известному расстоянию, определенному с помощью дорожного колеса, определялась дистанция между ТС, движущимися в одном направлении. Образец определения дистанции между ТС представлен на рисунке 3.9.

### 3.6. Обработка первичного массива данных

Экспортирование видеофайлов и их обработка проводились с применением Windows Movie Maker, Microsoft Excel и SPSS Statistics [13]. 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.
5. Привести данные к необходимым единицам измерений.
6. На основе полученных данных определить интенсивность и состав ТП.
7. На основе полученных данных определить время прохождения ТС выделенного сегмента, рассчитать скорость движения каждого автомобиля в отдельности и среднюю скорость ТП.
8. На основе видеозаписи и полученных данных определить вариационный размах скоростей.
9. Определить погрешности полученных экспериментальных данных [60].

Составление банка данных об измеряемых параметрах сопровождается влиянием множества 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 [11] позволяет повысить достоверность анализа результатов наблюдений.

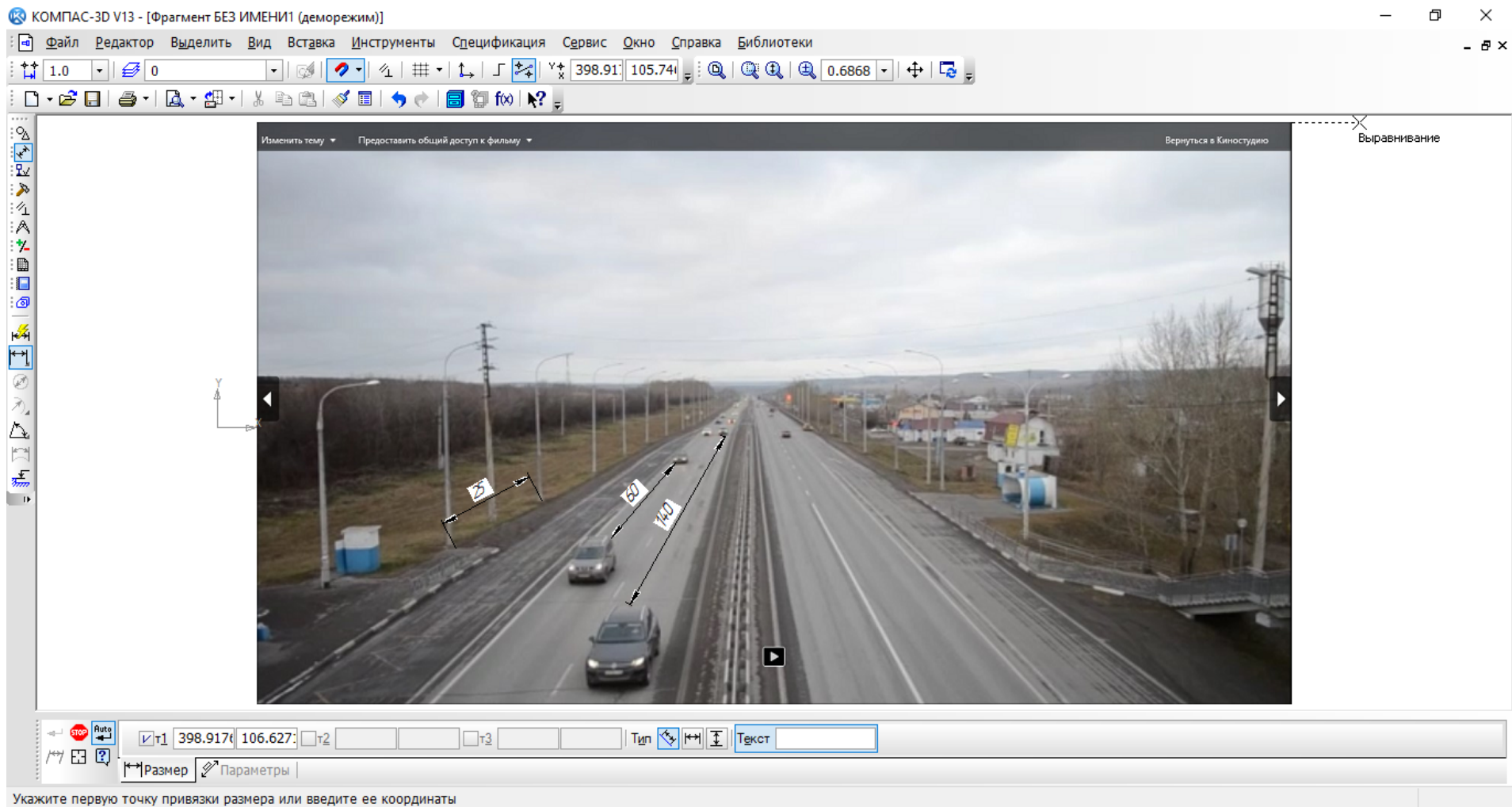


Рисунок 3.9 – Образец определения дистанции между ТС

Так как статистическую погрешность фиксации некоторого параметра  $x$  можно представить в виде совокупности систематической и случайной составляющих, то была проведена оценка измеряемых величин [116].

Систематическая погрешность определялась при расчете скоростного режима ТС и учитывалась в дальнейших обработках 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:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.10)$$

где  $x_i$  – результат измерений;

$n$  – число результатов измерений.

Среднее квадратическое отклонение группы, содержащей результаты измерений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3.11)$$

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

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.12)$$

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

### 3.7. Применяемые методы обработки экспериментальных данных

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

Задачи корреляционного анализа сводятся к выделению важнейших факторов, которые влияют на результативный признак, измерению тесноты связи между

факторами, выявлению неизвестных причин связей и оценке факторов, оказывающих максимальное влияние на результат [44].

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  $r_{\text{крит}}$ , значения которого отыскиваются 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 [60, 116].

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 [9].

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 применяются различного вида уравнения прямолинейной и криволинейной связи.

В случае криволинейных зависимостей применяются математические функции следующего вида:

$$\text{гиперболическая} \quad y = b_0 + \frac{b_1}{x}, \quad (3.13)$$

$$\text{показательная} \quad y = b_0 + b_1^x, \quad (3.14)$$

$$\text{степенная} \quad y = b_0 \cdot x^{b_1}, \quad (3.15)$$

$$\text{параболическая} \quad y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2, \quad (3.16)$$

$$\text{логарифмическая} \quad y = b_0 + b_1 \cdot \lg x, \quad (3.17)$$

$$\text{экспоненциальная} \quad y = b_0 \cdot \exp(b_0 x), \quad (3.18)$$

другие [14].

Решение математических уравнений связи предполагает вычисление по исходным данным их параметров (свободного члена  $b_0$  и коэффициентов регрессии  $b_1, b_2, \dots$ ) [9].

### 3.8. Выводы по главе

1. Для проведения активного эксперимента на территории Красноярского края было выбрано 10 участков (711, 714, 763, 770, 796, 799, 875, 898, 27 и 30 км) на ФАД Р255 и Р257, отличающихся уровнем аварийности, характеристиками дорожного движения, геометрическими параметрами и типами местности. Эксперимент проводился на однородном участке. С целью охвата исследованием максимально широкого диапазона условий движения фиксация данных проводилась для каждого из участков в разные времена 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 в ЭВМ с целью последующей обработки и анализа.

3. Для выявления зависимостей, характеризующих влияние геометрических элементов, был выполнен эксперимент с использованием измерительной металлической рулетки, дорожной универсальной рейкой 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 состав потока определялись визуально, для выявления скоростного режима были использованы Windows Movie Maker и Microsoft Excel. Дистанция между ТС определялась по методу подобию с помощью КОМПАС 3D V13.

5. Для обработки данных был использован корреляционно-регрессионный анализ.

## 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 относятся к дорогам категории III.

Результаты определения геометрических элементов автомобильных дорог по каждому участку представлены в таблицах Г.1–Г.10 приложения В, на рисунках Г.1–Г.10 приложения В представлены изображения исследуемых участков со спутника, с Яндекс–карт и Google Earth [127, 133], а также фотографии, сделанные в момент исследования в зимний период времени.

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» [27, 99, 105].

В зимнее время на некоторых участках наблюдается уменьшений эффективной ширины проезжей части из-за снежного наката (слой снега на проезжей части дороги, уплотненный колесами проезжающих ТС) и снежных валов. 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. Состояние дорог в зимнее время представлено на рисунке 4.1.

а)



Дата	08.01.2021
Время	12:00

б)



Дата	08.01.2021
Время	16:20

в)



Дата	08.01.2021
Время	11:15

г)



Дата	08.01.2021
Время	17:25

Рисунок 4.1 – Состояние покрытия и эффективная ширина проезжей части на ФАД Красноярского края: а – 711 км Р255, б – 712 км Р255, в – 760 км Р255, г – 762 км Р255

дорог осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов:

- Технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) [111];

- ГОСТ Р 50597 – 2017 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля» [26].

- ГОСТ 33181–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания» [24];

- Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования, утвержденные письмом Минтранса России от 17 марта 2004 г. № ОС–28/1270-ис [76];

- Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах, утвержденное распоряжением Минтранса России от 16 июня 2003 г. № ОС–548-р [100];

- ОДМ 218.8.002–2010 «Методические рекомендации по зимнему содержанию автомобильных дорог с использованием специализированной гидрометеорологической информации (для опытного применения)», утвержденный распоряжением Федерального дорожного агентства от 14 апреля 2010 г. № 296-р [74].

Согласно документам, представленным выше, автомобильные дороги федерального, регионального и межмуниципального значения при интенсивности движения до 1500 автомобилей в сутки, а также дороги с дорожными одеждами переходного и низшего типов, могут содержаться под уплотненным снежным покровом (УСП). Это специально сформированный слой снега, к которому предъявляются особые требования по содержанию.

Так как интенсивность движения транспортных средств на данных участках федеральных дорог более 1500 автомобилей в сутки, то на рассматриваемых участках наблюдается нарушение требований к уровню зимнего содержания автомобильных дорог.

#### 4.1.2. Результаты исследования интенсивности транспортного потока

В ходе натурного эксперимента также было выявлено, что наибольшая интенсивность наблюдается на территории Красноярской агломерации. Данные по средней часовой интенсивности на каждом рассматриваемом участке представлены в таблицах Г.1–Г.10 приложения Г. Средние значения часовой интенсивности и состав потока на рассматриваемых участках представлен на рисунке 4.2.

Натурный эксперимент по определению состава потока показал, что в течение часа доля ТС категорий М2, М3 и N на различных участках федеральных дорог колеблется от 5 % до 33 % от общего количества зафиксированных ТС.

Сравним полученные данные в ходе эксперимента с показаниями датчиков интенсивности движения ФКУ Упрдор «Енисей», установленных на рассматриваемых участках на ФАД Р255 и Р257 [114]. Показания за 5 лет наблюдений представлены на рисунке 4.3, а на рисунке 4.4 – ежемесячные показания датчиков за 2015 год.

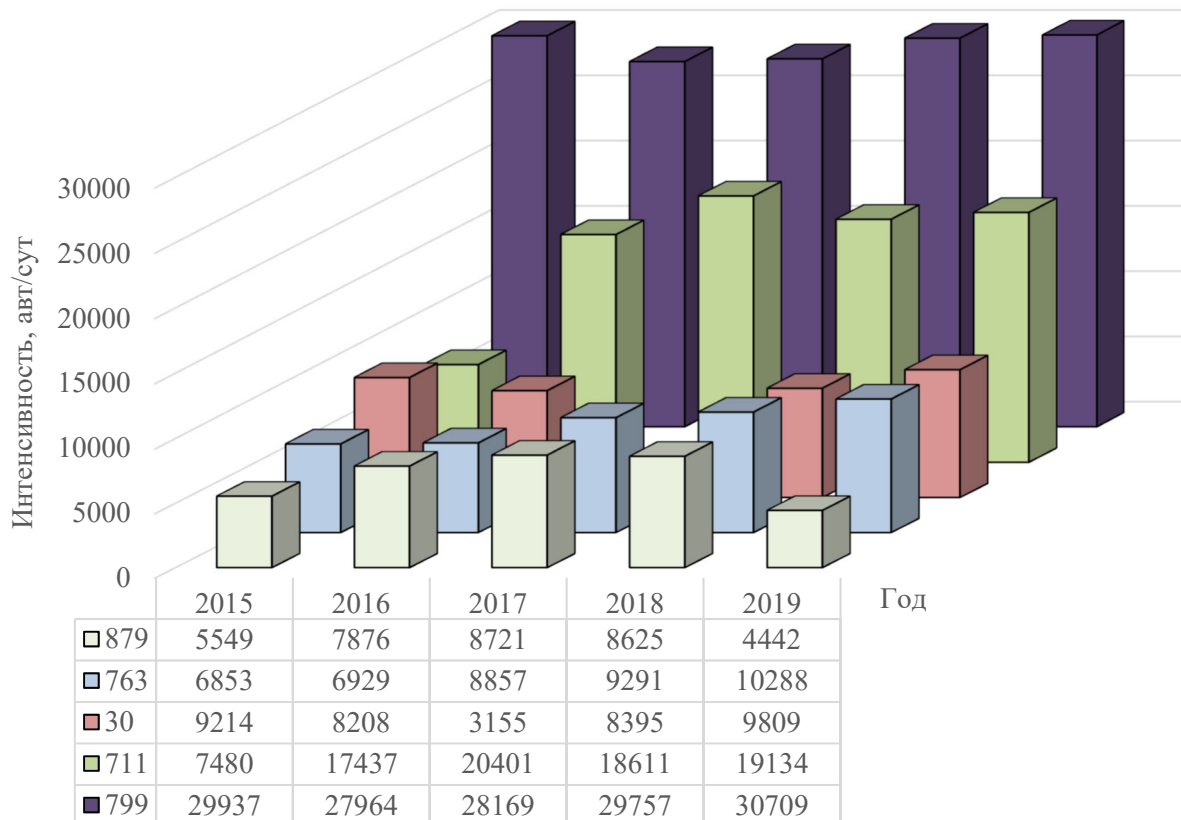
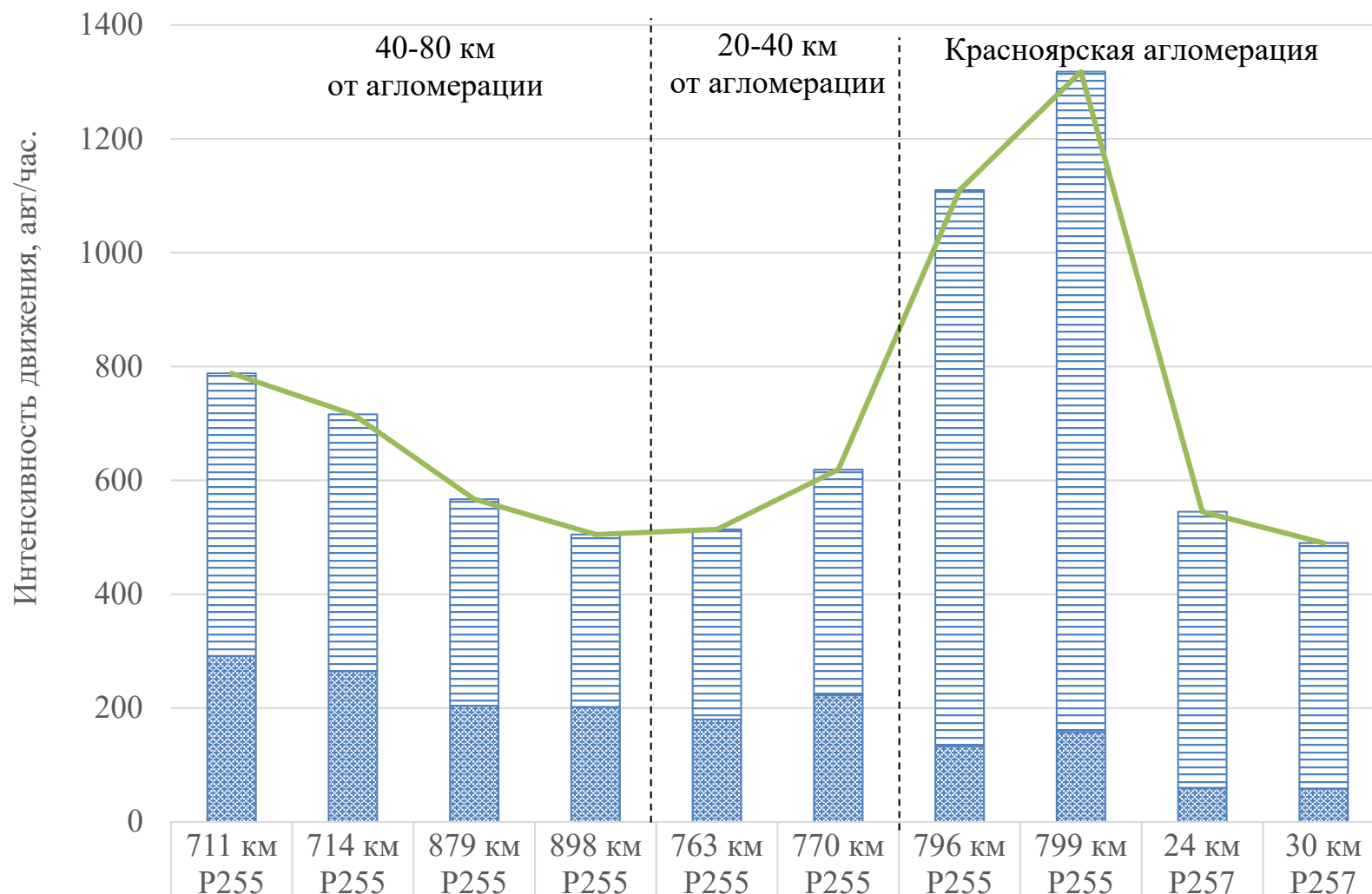


Рисунок 4.3 – Показания датчиков интенсивности движения ФКУ Упрдор «Енисей» с 2015 по 2019 года



TC категории M1	496	451	363	303	334	396	977	1160	485	431
TC категорий M2, M3 и N	292	265	204	202	180	223	133	158	60	59
Интенсивность	788	716	567	505	514	619	1110	1318	545	490

Рисунок 4.2 – Результаты натурного эксперимента по определению интенсивности и состава транспортного потока

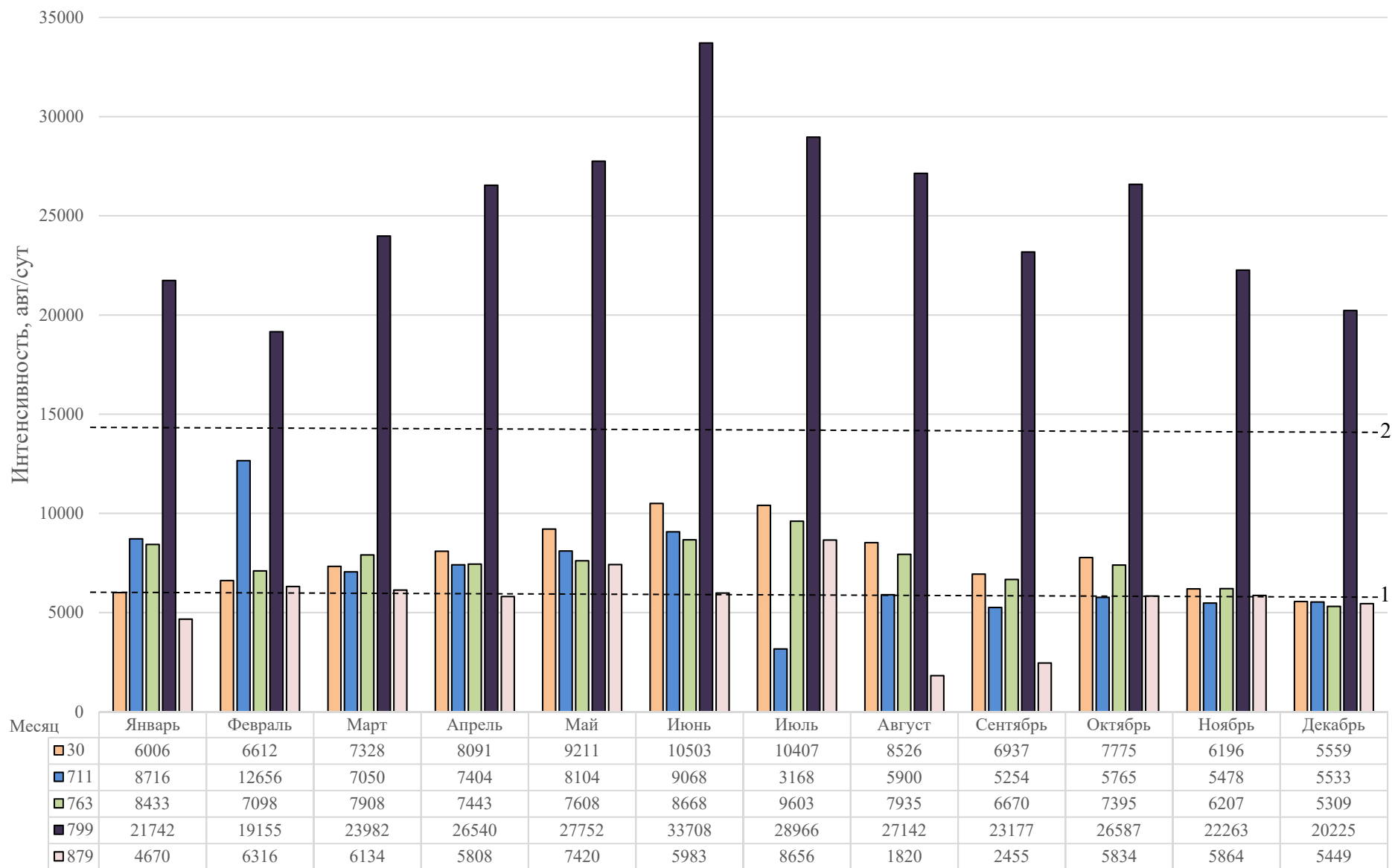


Рисунок 4.4 – Показания датчиков интенсивности движения ФКУ Упрдор «Енисей» за 2015 год: 1– расчетная интенсивность движения для дорог категорий II и III, 2– расчетная интенсивность движения для дорог категории I



Анализ данных представленный на рисунках 4.3 и 4.4 показал, что в целом наблюдается тенденция к ежегодному росту интенсивности транспортного потока, наибольшая интенсивность наблюдается в летний период.

Наиболее загруженной является сеть автомобильных дорог общего пользования федерального значения, попадающих в границы Красноярской агломерации.

На некоторых участках наблюдается значительная разница между фактической и расчетной интенсивностью. Наибольшая разница наблюдается в летний месяц. Среднемесячная суточная интенсивность наиболее напряженного в году месяца на 799 км более чем в 2 раза превышает установленную на основе экономических изысканий или расчетов среднегодовую суточную интенсивность для дороги первой категории.

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

- несоответствие принятых при расчете технических параметров участка (участков) фактическим параметрам;
- осуществление по участкам дороги технологических перевозок предприятием, не имеющим своих подъездных путей;
- некорректный учет интенсивности движения;
- наличие не учтенных в расчетах автомобильных дорог или населенных пунктов;
- проведение ремонтных работ на участках дороги в период учета интенсивности движения [22].

На 799 км ФАД Р255 в период учета интенсивности не проводилось никаких ремонтных работ, отсутствовали неучтенные автомобильные дороги. Исходя из вышеперечисленных фактов можно сделать вывод, что присутствует факт несоответствия принятых при расчете технических параметров участка (участков) фактическим параметрам.

Сравним показатели интенсивности, определенные в ходе исследования с показаниями датчиков, установленных на этих участках. Сравнительный анализ представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сравнительный анализ среднесуточной интенсивности на рассматриваемых участках

Участок	Экспериментальные данные			Показатели датчиков ФКУ Упрдор «Енисей»		
	Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее
711 км	8635	13425	12476	5254	17088	14017
763 км	6347	9746	7842	5309	10281	8549
799 км	15214	23242	23156	19155	26366	25211
879 км	1539	6478	5673	1820	8656	6963
30 км	4126	8744	6712	5559	10503	7466

Из таблицы 4.1 видно, что интенсивность движения, определенная опытным путем, на рассматриваемых участках меньше, чем показания датчиков. Это связано с тем, что значения датчиков показывают фактическую среднесуточную интенсивность, а в ходе эксперимента эти данные были рассчитаны из часовой интенсивности в момент наблюдения.

В ходе исследования показаний датчиков ФКУ Упрдор «Енисей» также был проанализирован состав ТП. Доля ТС категорий М2, М3 и L за 5 лет представлена на рисунке 4.5.

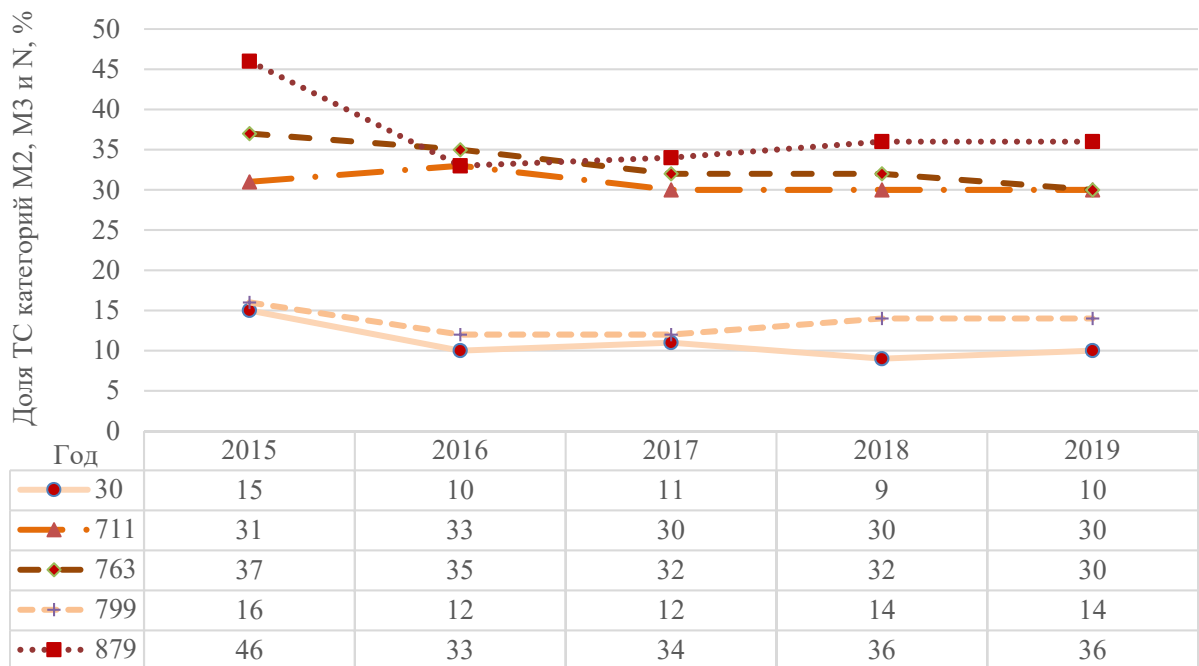


Рисунок 4.5 – Состав транспортного потока по показаниям датчиков интенсивности движения ФКУ Упрдор

Анализ состав ТП показал, что он неоднороден, особенно это заметно на участках, находящихся в значительной отдаленности от Красноярской агломерации. Относительное количество транспортных средств, способствующих замедлению скорости ТП на разных участках, колеблется от 12 % до 70 %. Наименьшее количество автобусов и грузовых автомобилей наблюдается на участках, находящихся в непосредственной близости к Красноярску. При этом на долю автобусов 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.

Сравним показатели состава потока, определенные в ходе исследования с показаниями датчиков, установленных на этих участках. Сравнительный анализ представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Сравнительный анализ состава потока на рассматриваемых участках, % автобусов и грузовых автомобилей

Участок. км	Экспериментальные данные			Показатели датчиков ФКУ Упрдор «Енисей»		
	Минимальное	Максимально	Среднее	Минимальное	Максимально	Среднее
711	32	47	37	25	48	43
763	22	54	39	27	54	35
799	5	18	12	12	33	16
879	32	51	40	30	56	36
30	6	16	12	8	28	10

Из таблицы 4.2 видно, что состав потока, определенный в ходе эксперимента, отличается от состава потока, определенного по показаниям датчиков на 10 – 20 %.

В ходе анализа ТП выявлен ежегодный рост интенсивности движения транспортных средств как в целом, так и на участках, где присутствует факт несоответствия принятых при расчете технических параметров участка (участков) фактическим параметрам. Также выявлено, что состав ТП неоднороден, относительное количество транспортных средств, способствующих замедлению скорости ТП на разных участках, колеблется от 5 % до 46 %.

### 4.1.3. Результаты исследования скоростного режима

В ходе определения скоростного режима транспортных средств выявлено, что в 50 % случаев скорость движения единичных транспортных средств превышает максимально допустимую скорость движения на конкретном рассматриваемом участке. Значения минимальных и максимальных скоростей движения ТС, зарегистрированных на рассматриваемых участках, а также максимально допустимая скорость движения на этих же участках представлены в таблицах Г.1 – Г.10 приложения Г.

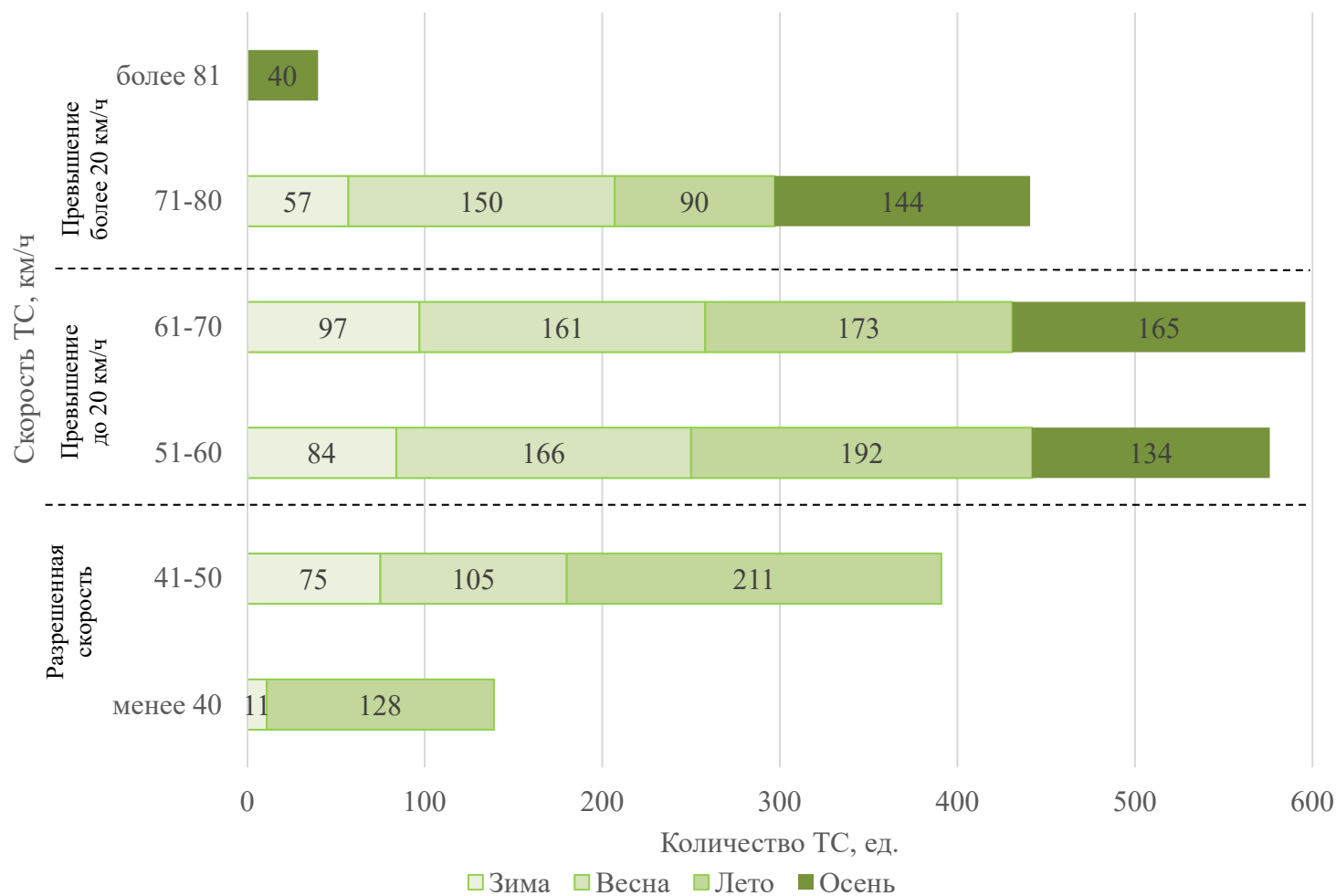
Распределение скоростей движения транспортных средств на различных по скоростному режиму участках представлено на рисунках 4.6 – 4.8.

Сравнительный анализ рисунков 4.6–4.8 показал, что, несмотря на различную конфигурацию рассматриваемых участков, средняя скорость движения на всех участках превышает значение разрешенной скорости движения.

Большие значения скоростей (более 110 км/ч) на 711, 714, 796 и 799 км ФАД Р255 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 в разрез со здравым смыслом. Это провоцирует нарушение ПДД, как следствие, увеличивается вероятность возникновения ДТП.

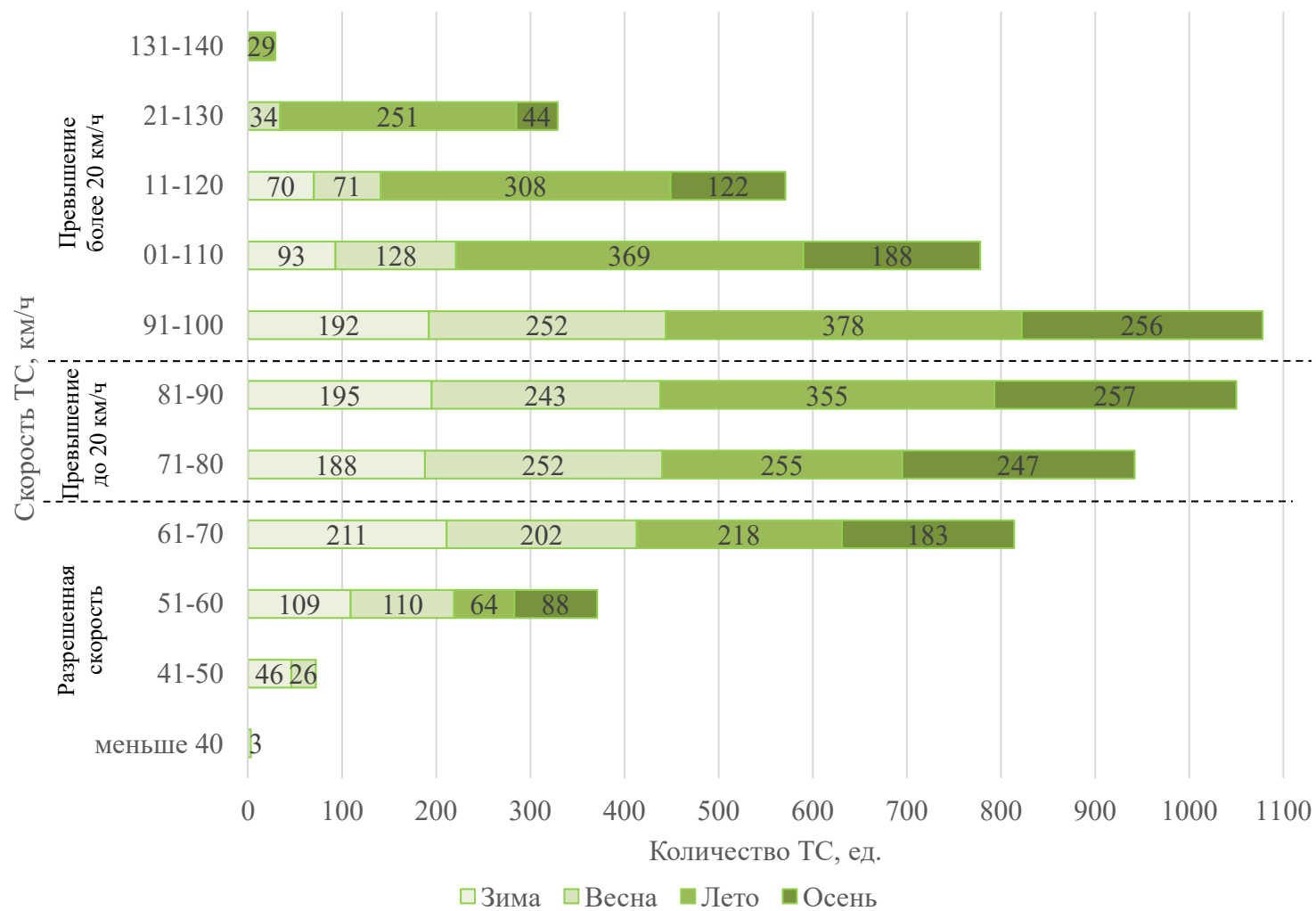
Так как выявлено нарушение скоростного режима, то была проанализирована дистанция между ТС. По описанной методике в п. 3.5 был рассчитан теоретический тормозной путь для сухого и мокрого асфальта. Результаты расчета предоставлены в виде графика на рисунке 4.9.

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



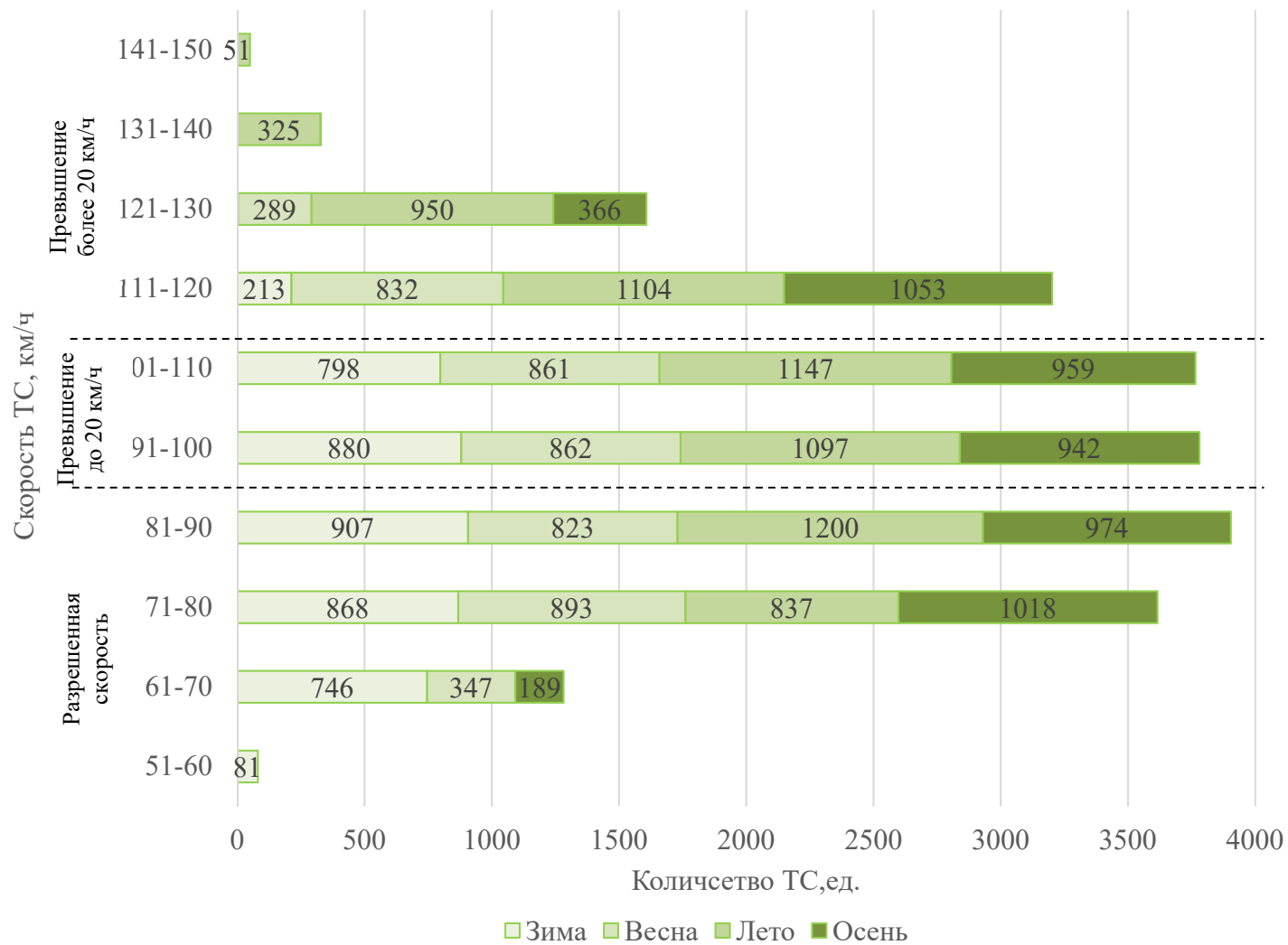
Минимальное	35
Максимально	89
Среднее	64,1
Стандартное отклонение	10,9
Мода	56, 62 и 69
Медиана	63
Дисперсия	119,9
Нижний квартиль	54
Верхний квартиль	72

Рисунок 4.6 – Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 50 км/ч



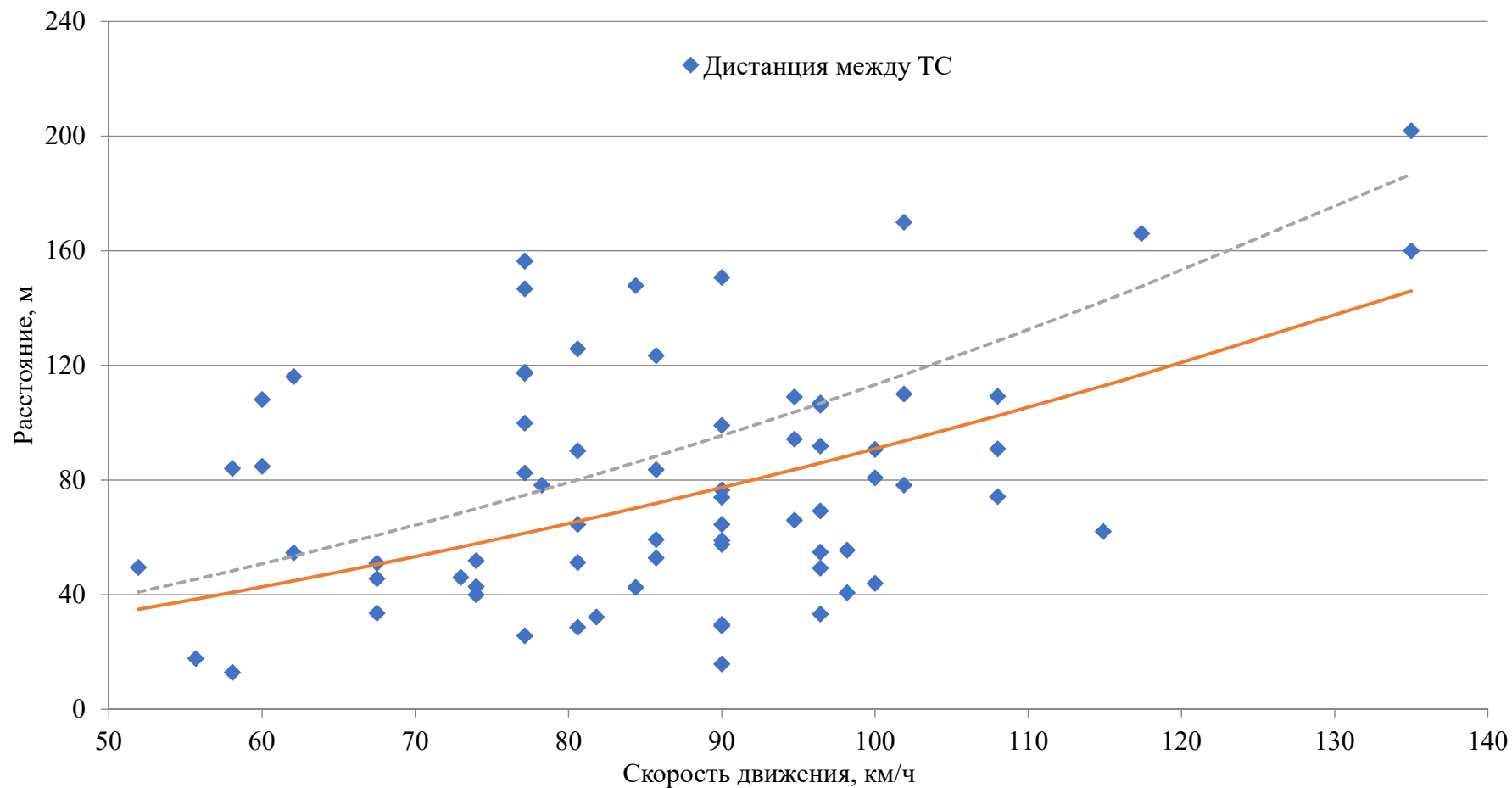
Минимальное	38
Максимально	142
Среднее	91
Стандартное отклонение	20,1
Мода	87, 91 и 99
Медиана	90
Дисперсия	405
Нижний квартиль	76
Верхний квартиль	106

Рисунок 4.7 – Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 70 км/ч



Минимальное	47
Максимально	153
Среднее	96
Стандартное отклонение	18
Мода	76, 103, 107
Медиана	96
Дисперсия	310
Нижний квартиль	82
Верхний квартиль	110

Рисунок 4.8 – Скоростной режим на участках с разрешенной скоростью 90 км/ч





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 4.9 – Зависимость теоретического остановочного пути от начальной скорости торможения



В ходе анализа скоростного режима транспортных средств выявлена зависимость средней скорости движения ( $y$ ) от разрешенной скорости движения ( $x$ ) (4.1). График зависимости средней скорости движения от разрешенной скорости движения представлен на рисунке 4.10.

$$y = 6,13x^{0,61}. \quad (4.1)$$

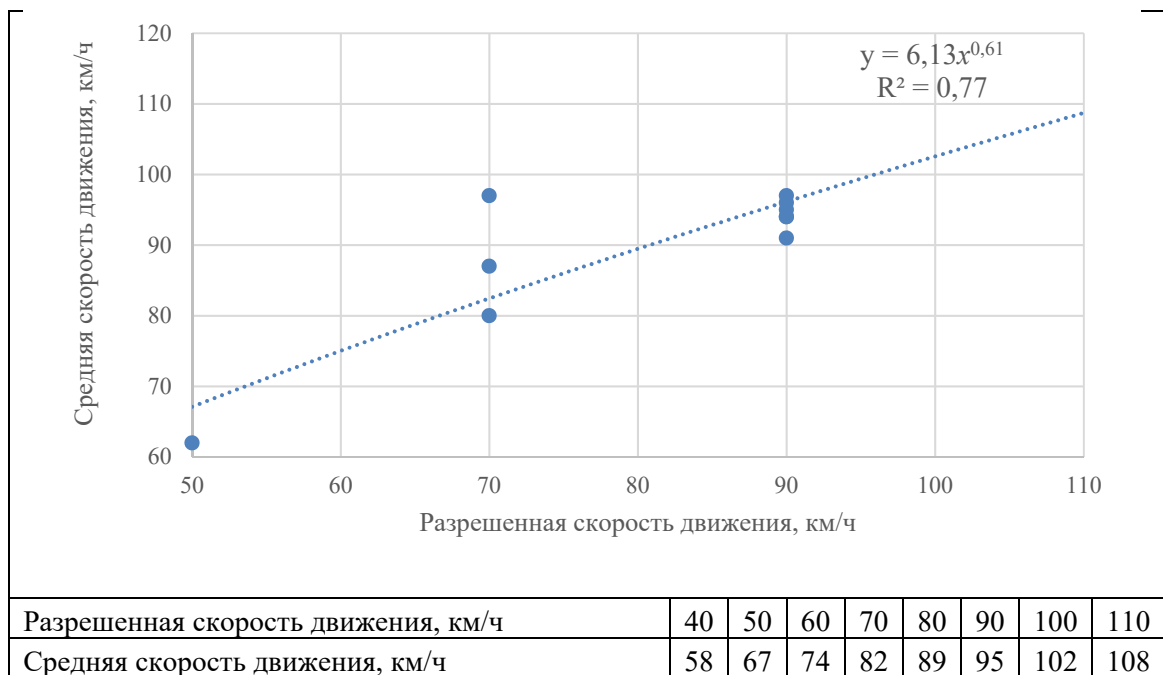


Рисунок 4.10 – График зависимости средней скорости движения от разрешенной скорости движения

Из графика, изображенного на рисунке 4.10 видно, что средняя скорость движения находится в прямой зависимости от разрешенной скорости. Так как на территории Красноярского края максимальная разрешенная скорость движения составляет 90 км/ч, по выявленной зависимости была определена средняя скорость движения для участков, на которых разрешено движение со скоростью более 90 км/ч, для применения данной модели в других регионах.

На основе экспериментальных данных установлены зависимости между средней скоростью потока ( $y$ ) и отклонениями от нее – максимальной (4.2) и минимальной (4.3). Графики зависимости представлены на рисунках 4.11 и рисунках 4.12 соответственно.

$$y = 0,78x^{1,15}, \tag{4.2}$$

$$y = 0,12x^{1,33}. \tag{4.3}$$

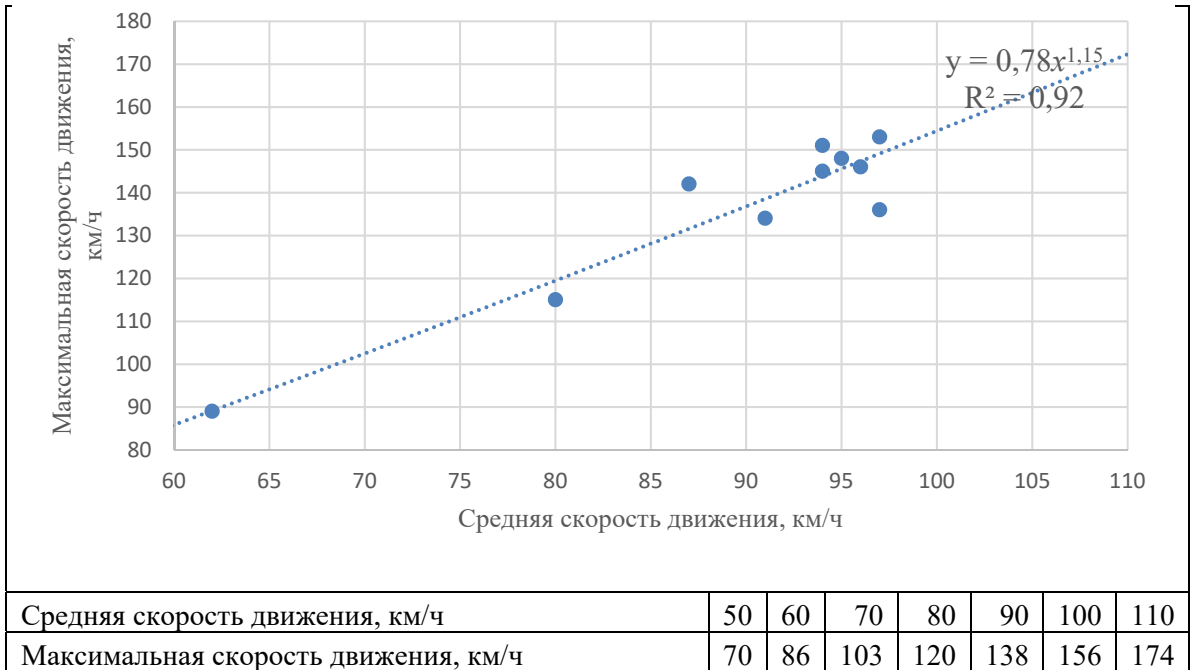


Рисунок 4.11 – График зависимости максимальной скорости от средней скорости движения

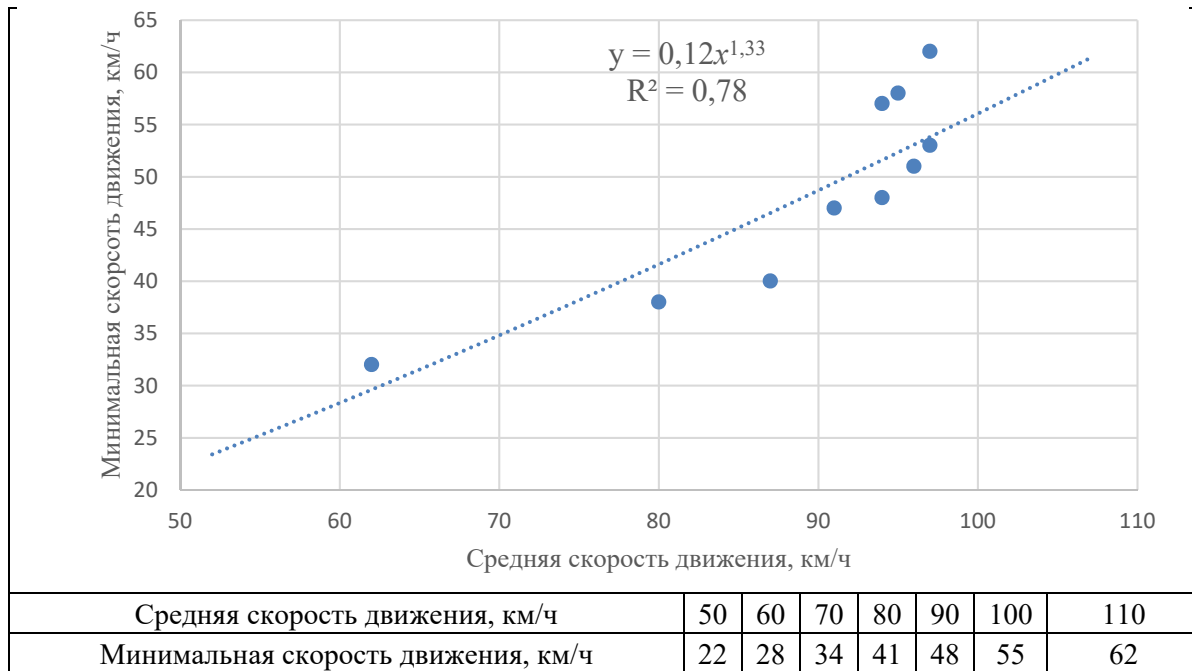


Рисунок 4.12 – График зависимости минимальной скорости от средней скорости движения

Максимальная скорость движения ТС ограничивается дорожными условиями и техническими особенностями ТС. В идеальных дорожных условиях и при малой интенсивности единичные легковые ТС, зарегистрированные на территории Красноярского края, могут развивать скорость до 250 км/ч. Но в ходе эксперимента максимальная зарегистрированная скорость движения ТС составляет 153 км/ч. Несмотря на большой вариационный 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 90 %.

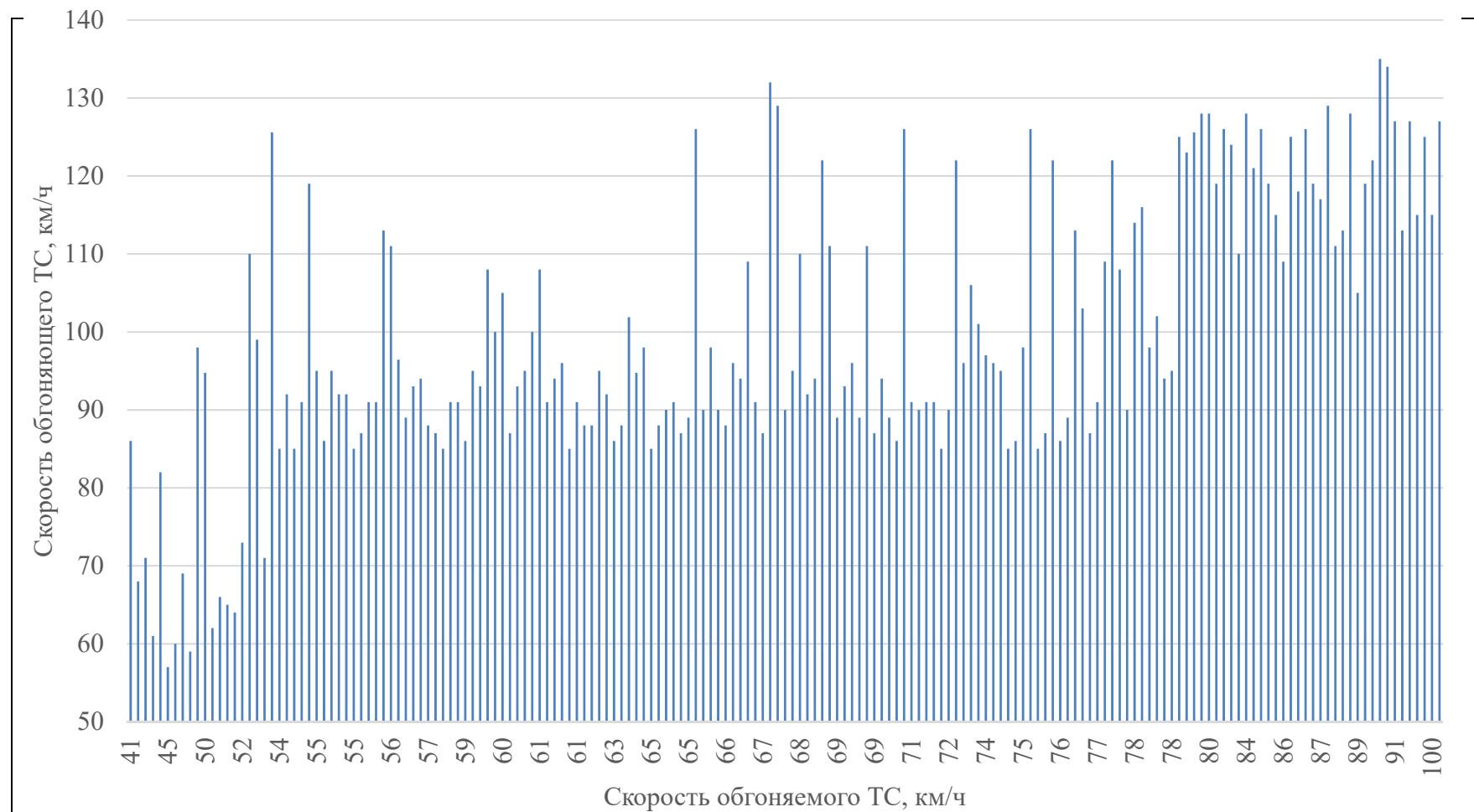
Из графика, изображенного на рисунке 4.12 видно, что минимальная скорость движения имеет прямую зависимость от средней. Минимальная скорость движения, также, как и максимальная зависит от дорожных условий и технического состояния транспортных средств. К медленно едущим транспортным средствам без специальных знаков могут возникнуть вопросы у сотрудников ГИБДД. В ПДД четко прописано, что водителям запрещено создавать помехи другим водителям, двигаясь без необходимости со слишком малой скоростью.

Также анализ скоростного режима показал, что скорость движения в транспортном потоке неоднородна, вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС варьируется от 11 до 70 км/ч (рисунок 4.13).

Из рисунка 4.13 видно, что в 60 % разность в скорости между обгоняемым и обгоняющим ТС составляет от 21 до 40 км/ч. В среднем вариационный размах между обгоняем и обгоняющим ТС составляет 31 км/ч.

Средний вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на рассматриваемых участках представлен на рисунке 4.14 и в таблице Д.1 приложения Д.

Из рисунка 4.14 видно, что средний вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС отличается на рассматриваемых участках. Наименьший вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС зарегистрирован на участках, входящих в Красноярскую агломерацию.



Вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч	от 11 до 20	от 21 до 30	от 31 до 40	от 41 до 50	от 51 до 60	от 61 до 70	более 70
Кол-во пар ТС	33	49	43	21	7	4	1

Рисунок 4.13 – Вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС

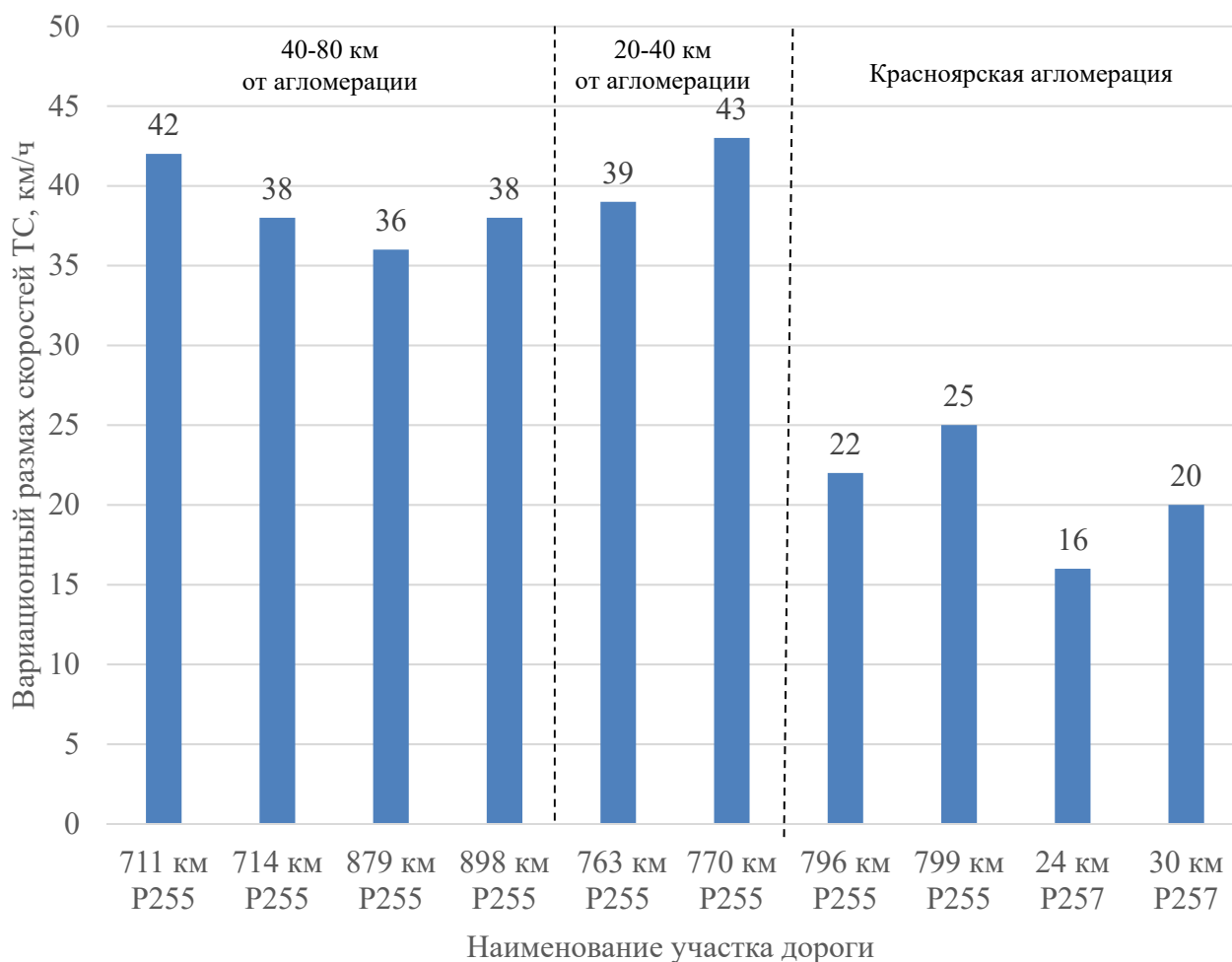


Рисунок 4.14 – Средний вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на рассматриваемых участках

В ходе анализа скоростного режима выявлено, что вариационный размах обгоняемого и обгоняющего ТС достигает до 70 км/ч. Так на 711, 714, 763, 770, 796 и 799 км ФАД P255 большинство водителей (65 %), совершающих обгон либо опережение, превысили допустимую скорость движения, а на 898 км ФАД P255 все водители, совершающие обгон, превысили допустимую скорость движения несмотря на то, что согласно разметке и дорожным знакам обгон на данном участке запрещен. Скорость обгона на 898 км ФАД P255 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.

## 4.2. Результаты обработки экспериментальных данных

Был выполнен анализ мультиколлинеарности объясняющих переменных, результат анализа представлен в таблице 4.3. В результате анализа выявлены переменные, имеющие наиболее высокую парную корреляцию с количеством ДТП:

- ширина обочины;
- продольный уклон;
- видимость в плане;
- видимость в профиле;
- расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м;
- коэффициент сцепления;
- вариационный размах скоростей.

Значения коэффициентов корреляции выявленных факторов меньше, чем критическое значение ( $r_{\text{крит}}=0,381$ ), что говорит об отсутствии значимой линейной связи между количеством ДТП и каждым из перечисленных фактором.

Но в ходе анализа мультиколлинеарности выявлена существенная связь между следующими парами факторов:

- видимость в профиле – видимость в плане;
- состав потока – вариационный размах скоростей;
- радиус кривой в плане – видимость в плане;
- радиус кривой в плане – видимость в профиле;
- радиус кривой в плане – продольный уклон;
- расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м - продольный уклон;
- видимость в плане – продольный уклон;
- радиус кривой в плане – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м;
- интенсивность движения – число основных полос на проезжей части;
- расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м – видимость в плане;

Таблица 4.3 – Результаты корреляционного анализа

Кол-во ДТП	Интенсивность движения	Ширина полосы движения	Ширина обочины	Продольный уклон	Радиус кривой в плане	Видимость в плане	Видимость в профиле	Число основных полос на проезжей части	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	Коэффициент сцепления	Состав потока	Вариационный размах скоростей	
1,00	0,08	0,12	-0,27	0,28	-0,01	0,22	0,16	0,04	-0,25	0,15	0,04	0,15	Кол-во ДТП
	1,00	0,18	-0,10	-0,51	0,36	0,32	0,24	0,75	0,50	0,24	-0,44	-0,35	Интенсивность движения
		1,00	-0,44	0,39	-0,61	-0,66	-0,65	-0,05	-0,31	0,23	0,01	-0,10	Ширина полосы движения
			1,00	-0,45	0,45	0,54	0,55	-0,01	0,37	0,23	0,28	0,47	Ширина обочины
				1,00	-0,89	-0,82	-0,74	-0,44	-0,83	-0,11	0,05	-0,15	Продольный уклон
					1,00	0,94	0,93	0,48	0,76	-0,03	0,07	0,28	Радиус кривой в плане
						1,00	0,98	0,47	0,75	0,02	0,15	0,35	Видимость в плане
							1,00	0,47	0,75	0,02	0,16	0,36	Видимость в профиле
								1,00	0,39	0,09	-0,28	-0,15	Число основных полос на проезжей части
									1,00	0,15	0,31	0,50	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м
										1,00	-0,15	0,03	Коэффициент сцепления
											1,00	0,95	Состав потока
												1,00	Вариационный размах скоростей

- расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м – видимость в профиле.

Ячейки таблицы 4.3, в которых располагаются коэффициенты корреляции перечисленных пар факторов выделены цветом.

Далее был определен коэффициент (индекс) детерминации  $R^2$  для одиннадцати выбранных пар. Значения коэффициентов детерминации  $R^2$  представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Значения коэффициента детерминации для пар с существенной зависимостью

Пара факторов	Значение $R^2$
Видимость в профиле – Видимость в плане	0,96
Состав потока – Вариационный размах скоростей	0,90
Видимость в плане – Радиус кривой в плане	0,88
Радиус кривой в плане – Видимость в профиле	0,86
Радиус кривой в плане – Продольный уклон	0,79
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м – Продольный уклон	0,69
Видимость в плане – Продольный уклон	0,67
Радиус кривой в плане – Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м	0,58
Интенсивность движения – Число основных полос на проезжей части	0,56
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м – Видимость в плане	0,56
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м – Видимость в профиле	0,56

Между новыми вводимыми факторами состав потока и вариационный размах скоростей существует тесная связь  $r=0,95$  (таблица 4.3). Для определения вида связи между этими факторами был проведен регрессионный анализ, в ходе которого получена математическая модель (4.4):

$$y = 16,29 \ln x - 19,38. \quad (4.4)$$

где  $y$  – вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч;

$x$  – состав потока, %.



Полученная зависимость (4.4) позволяет спрогнозировать вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС при отсутствии данных о скорости движения ТС. График зависимости вариационного размаха скоростей от состава потока представлена на рисунке 4.15.

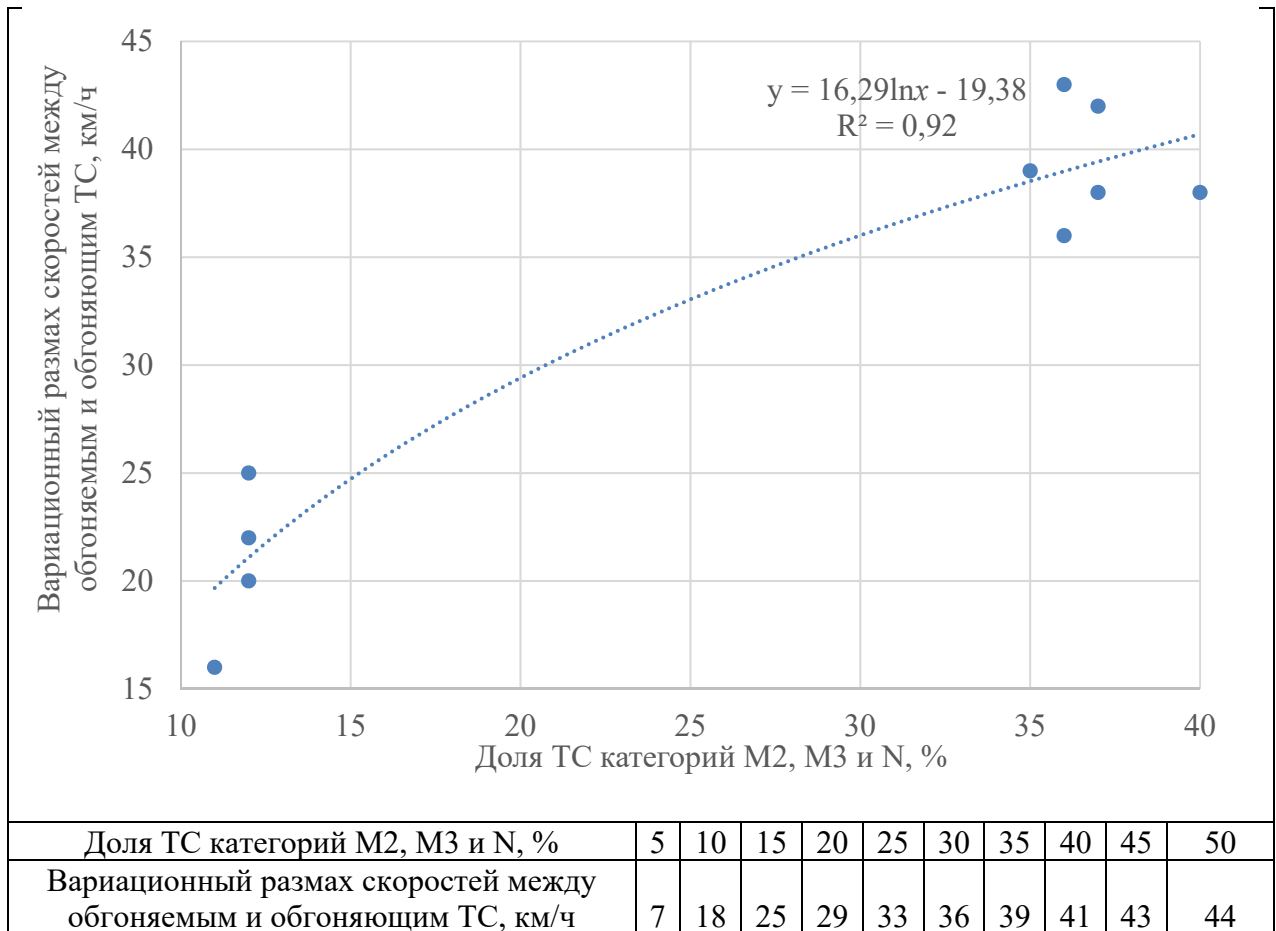


Рисунок 4.15 – График зависимости вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС от доли ТС категорий М2, М3 и N

Из графика, изображенного на рисунке 4.15 видно, что чем больше в составе транспортного потока ТС категорий М2, М3 и N, тем больше вариационный размах скоростей. Чем более разнотипен транспортный поток, тем чаще в нем возникают потребности обгонов. Во многом это связано с разницей в динамических и тормозных качествах ТС различных категорий. Также транспортные средства категорий М2, М3 и N ограничивают видимость следующих за ними автомобилей, тем самым провоцируют сзади едущий автомобиль совершить обгон на более высокой скорости, чтобы успеть завершить маневр.

Так как в ходе эксперимента не была зарегистрирована вариационная разность скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС менее 11 км/ч и на законодательном уровне разрешено превышением скоростного режима до 20 км/ч, на основе экспериментальных данных (рисунки 4.10 – 4.14) была получена регрессионная модель (4.5), описывающая зависимость значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  ( $y$ ) от вариационного размаха 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% [49]. График зависимости  $K_{11}$  от вариационного размаха скоростей представлен на рисунке 4.16.

$$y = 0,03x + 1,05. \quad (4.5)$$

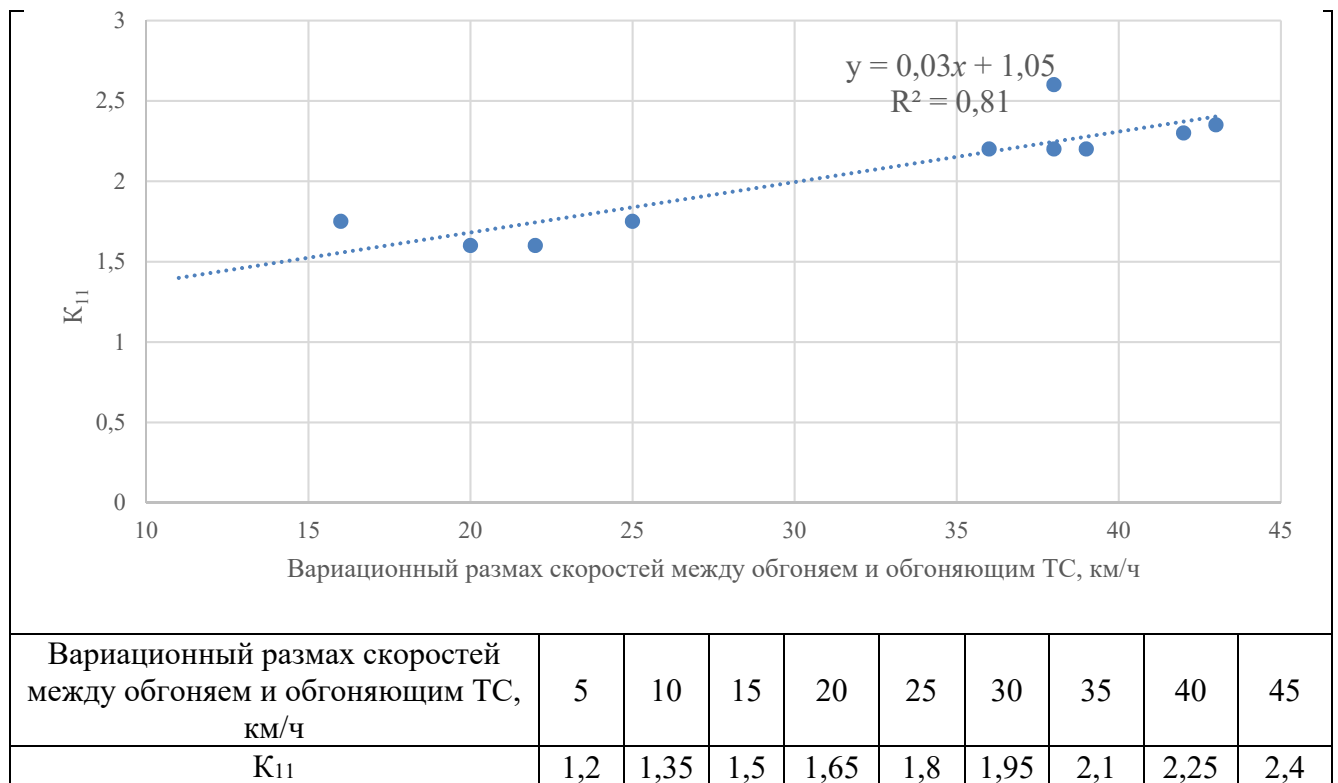


Рисунок 4.16 – График зависимости значения частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  от вариационного размаха скоростей между обгоняем и обгоняющим ТС

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

При расчете итогового графика аварийности условия видимости оцениваются частными коэффициентами  $K_7$  и  $K_8$ . Так как в ходе анализа мультиколлинеарности (таблица 4.3, 4.4) выявлено наличие связи видимости в плане и видимости в профиле с другими факторами, были определены зависимости для оценки видимости. Зависимости видимости в плане (4.6) – (4.8) представлены на рисунках 4.17–4.20.

Зависимости видимости в плане ( $y$ ) от радиуса кривой ( $x$ ):

$$y = 238,88 \ln x - 834,50. \quad (4.6)$$

Зависимость видимости в плане ( $y$ ) от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м ( $x$ ):

$$y = 293,15 \ln x + 503,20. \quad (4.7)$$

Зависимость видимости в плане ( $y$ ) от продольного уклона ( $x$ ):

$$y = -13,98x + 1089,20. \quad (4.8)$$

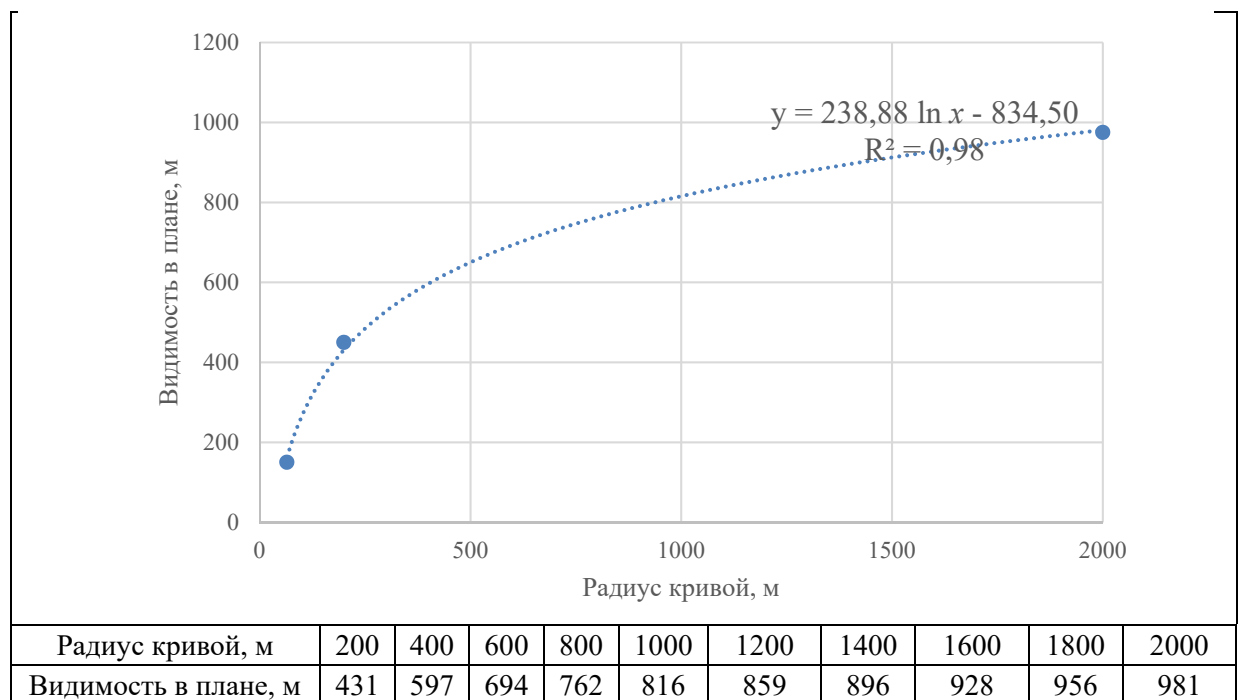


Рисунок 4.17 – График зависимости видимости в плане от радиуса кривой

Из рисунков 4.17 и 4.18 видно, что зависимости построены по трем точкам. Это связано с тем, что на большинстве исследуемых участках радиус кривой превышает 2000 м ( $K_6=1$ ), на этих же участках расстояние от кромки проезжей части

до обрыва глубиной более 5 м превышает 5 м ( $K_{10}=1$ ), при этом видимость в плане превышает 800 м ( $K_7=1$ ).

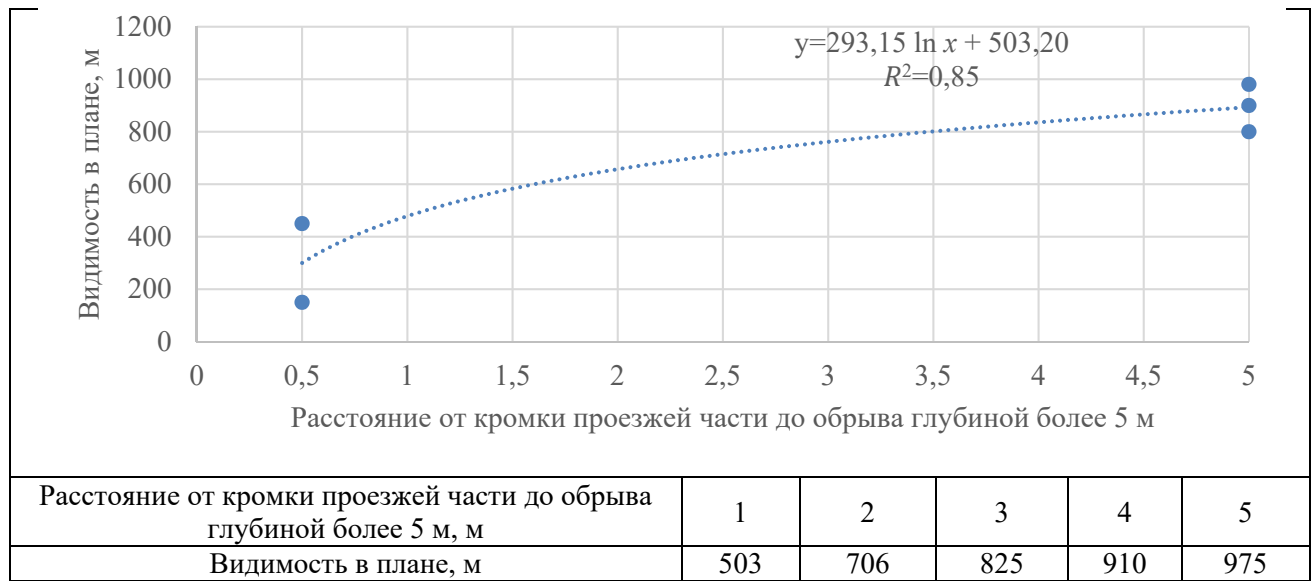


Рисунок 4.18 – График зависимости видимости в плане от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м

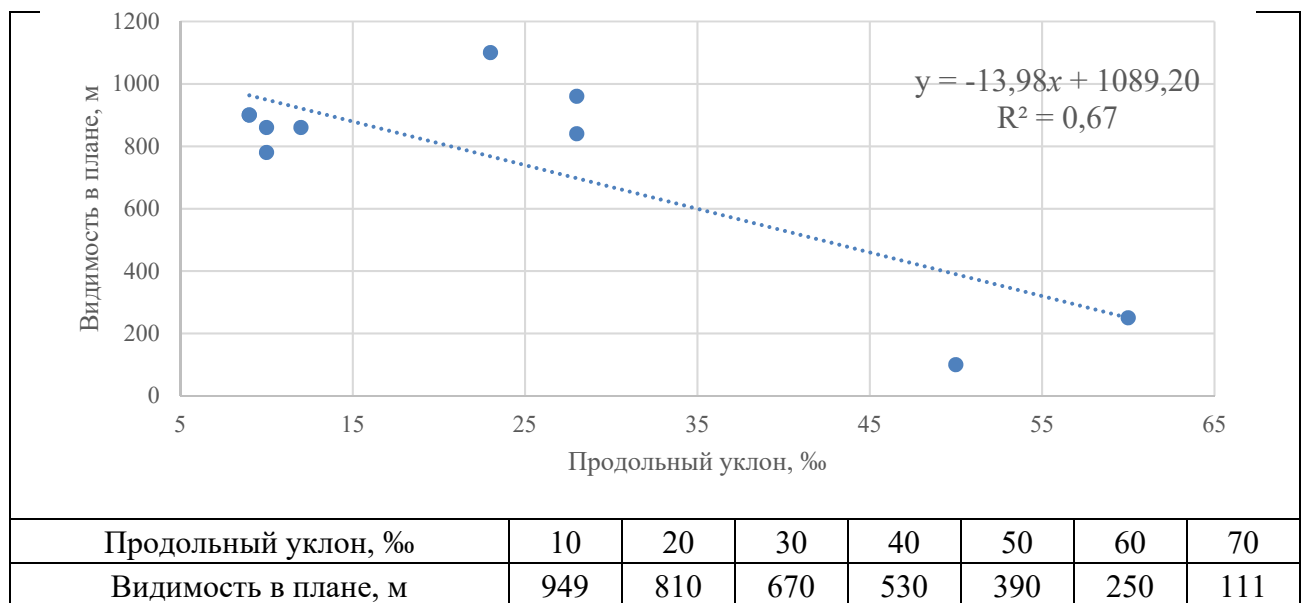


Рисунок 4.19 – График зависимости видимости в плане от продольного уклона

Из рисунка 4.19 видно, что видимость в плане имеет обратную зависимость от продольного уклона.

Полученные зависимости 4.6 – 4.8 позволяют определить видимость в плане, в случае отсутствия данных о видимости.

В ходе регрессионного анализа выявлены высокие коэффициенты парной корреляции между следующими парами: видимость в плане – радиус кривой, видимость в плане – от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, видимость в плане – продольный уклон. В этой связи установлена регрессионная зависимость видимости в плане от радиуса кривой, расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м и продольного уклона (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,915$ ), использование которой снижает трудоемкость определения частного коэффициента аварийности  $K_7$ :

$$y = 0,53x_1 - 0,49x_2 + 6,61x_3 - 258,31, \quad (4.9)$$

где  $y$  – видимость в плане, м;

$x_1$  – радиус кривой, м;

$x_2$  – расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м;

$x_3$  – продольный уклон, ‰.

В связи с тесной связью видимости в профиле и видимости в плане, была определена зависимость видимости в профиле ( $y$ ) от видимости в плане ( $x$ ) (4.10), график которой представлен на рисунке 4.20.

$$y = 4,53x^{0,79}. \quad (4.10)$$

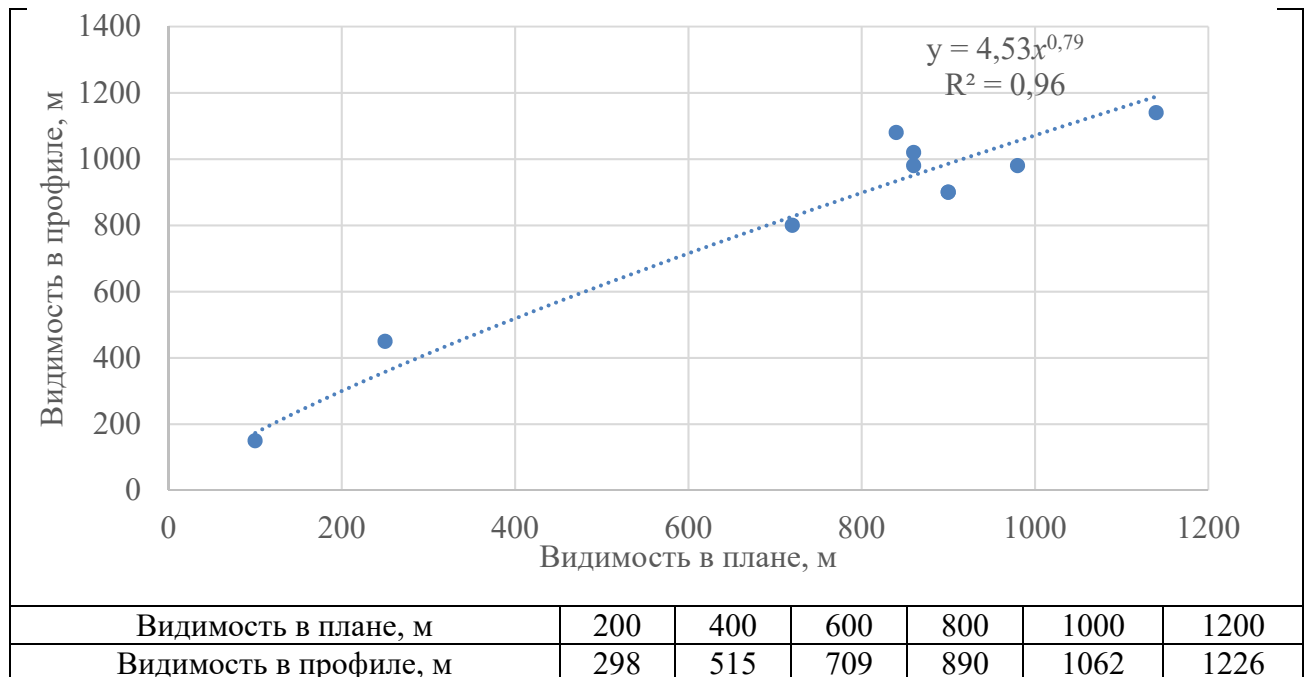


Рисунок 4.20 – График зависимости видимости в профиле от видимости в плане

Полученная зависимость видимости в профиле от видимости в плане упрощает процесс определения частного коэффициента  $K_8$ , при отсутствии данных о видимости в профиле.

Также в ходе регрессионного анализа найдены зависимость радиуса кривой от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м (4.11), зависимость расстояния от кромки проезжей части от продольного уклона (4.12), зависимости продольного уклона от радиуса кривой (4.14) Графики зависимостей представлены на рисунках 4.21–4.23 соответственно.

Зависимость расстояния от кромки проезжей части ( $y$ ) до обрыва глубиной более 5 м от радиуса кривой ( $x$ ):

$$y = 0,0024x + 0,18. \quad (4.11)$$

Зависимость продольного уклона ( $y$ ) от радиуса кривой ( $x$ ):

$$y = -0,02x + 57,51. \quad (4.12)$$

Зависимость расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м ( $y$ ) от продольного уклона ( $x$ ):

$$y = -0,09x + 6,03. \quad (4.13)$$

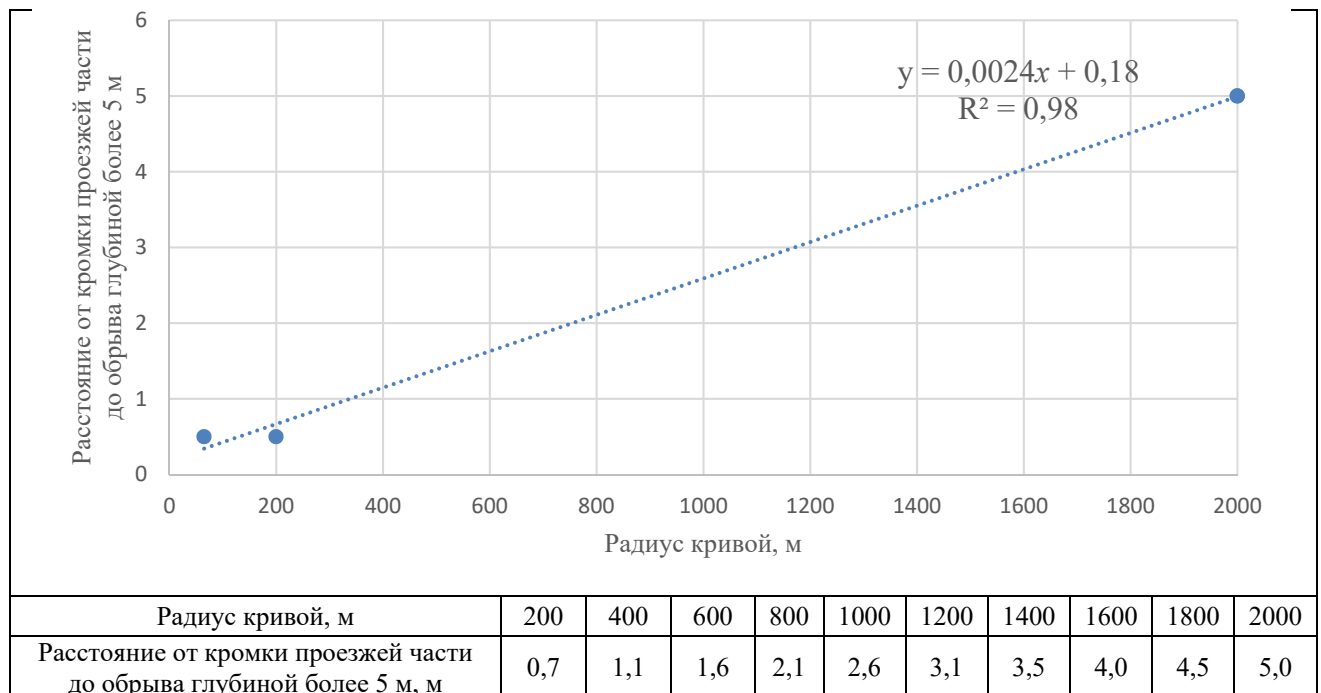


Рисунок 4.21 – График зависимости расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м от радиуса кривой

Из рисунка 4.21 видно, что с увеличением радиуса кривой расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м увеличивается.

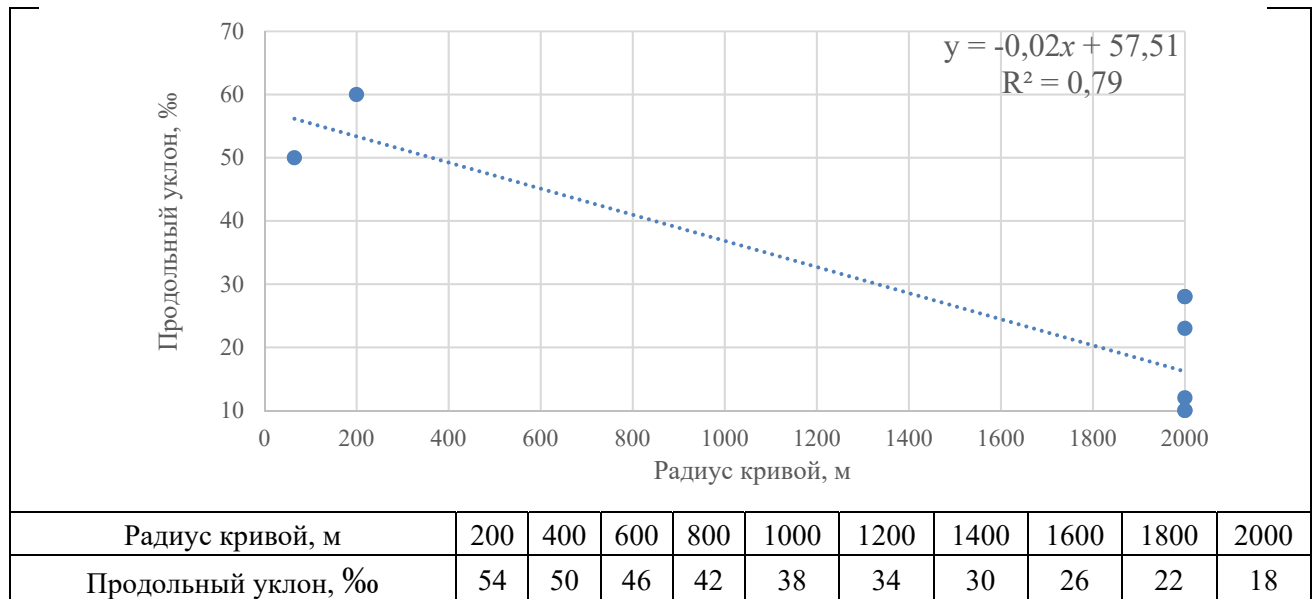


Рисунок 4.22 – График зависимости продольного уклона от радиуса кривой

Из рисунка 4.22 видно, с увеличением радиуса кривой продольный уклон уменьшается.

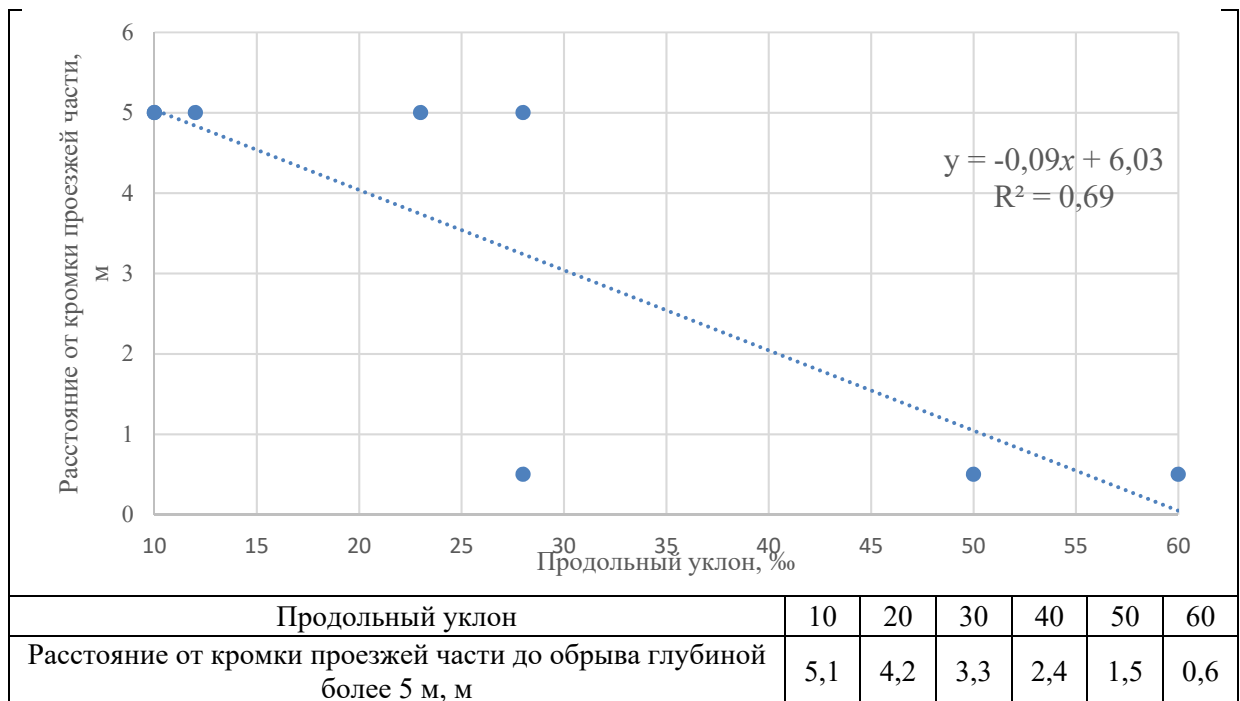


Рисунок 4.23 – График зависимости расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м от продольного уклона

Из рисунка 4.23 видно, что расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м уменьшается с увеличением продольного уклона.

Найденные зависимости (4.11) – (4.13) позволяют определить один параметр через другой при отсутствии необходимых данных.

Так как в ходе корреляционного анализа выявлена связь между интенсивностью движения и числом полос, для этой пары факторов также была определена зависимость (4.14). График зависимости интенсивности движения от числа полос представлен на рисунке 4.24.

Зависимость интенсивности движения ( $y$ ) от числа полос ( $x$ ):

$$y = 313,19x^{0,76}. \quad (4.14)$$

Результаты регрессионного анализа зависимости интенсивности движения от числа полос говорят о недостаточно сильной связи между парой факторов, так как  $R^2$  меньше 0,6.

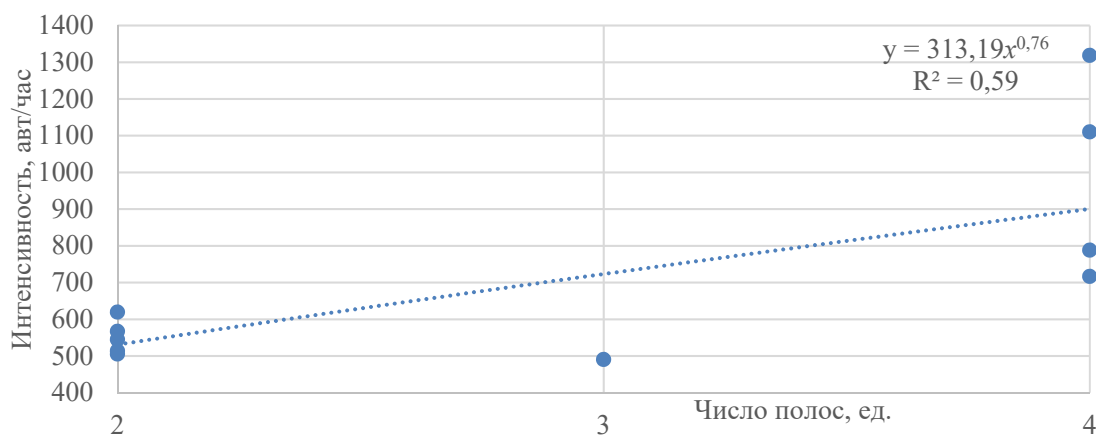


Рисунок 4.24 – График зависимости интенсивности движения от числа полос

Из совокупности результатов корреляционного и регрессионного анализов можно сделать заключение, что вновь вводимые параметры: состав транспортного потока и вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, коррелируют между собой и оказывают влияние на показатель БДД в совокупности с остальными факторами.



### 4.3. Предельное значение итогового коэффициента аварийности

Для определения допустимых значений итогового коэффициента аварийности по разработанной методике с учетом состава транспортного потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС были определены коэффициенты аварийности для всех рассматриваемых участков исходя из значений частых коэффициентов аварийности, представленных в таблице Е.1 приложения Е. Значения итоговых коэффициентов аварийности для всех участков представлены в таблице Ж.1 приложения Ж.

С помощью разработанной математической модели были определены предельно допустимые значения итогового коэффициента аварийности для вновь строящихся и эксплуатируемых дорог исходя из показателей аварийности, характеристик автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения, проходящих по территории Красноярского края, и границ предложенный В.В. Чвановым (таблица 4.5 где \* отмечены значения для горной или сильно пересеченной местности).

Таблица 4.5 – Предельно допустимые значения итогового коэффициента аварийности

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

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

#### 4.4. Сравнение разработанной методики с существующими

Проверим, насколько отличаются результаты итогового значения коэффициента аварийности, рассчитанного по существующей методике В.Ф. Бабкова [5] и по предлагаемой методике. Значения частных коэффициентов аварийности по методике В.Ф. Бабкова и методике В.В. Чванова представлены в таблице Ж.1 приложения Ж. Значения итоговых коэффициентов аварийности рассчитанных по методике В.Ф. Бабкова, В.В. Чванова и по предлагаемой методике представлены в таблице 4.6. Также в таблице 4.6 определен относительный показатель аварийности для каждого рассматриваемого участка, определенный по выражению (1.2).

Таблица 4.6 – Сравнение значений итогового коэффициента аварийности

Участок, км ФАД	Коэффициент происшествий	К <sub>итог</sub> по методике В.Ф. Бабкова	К <sub>итог</sub> по методике В.В. Чванова	К <sub>итог</sub> по предлагаемой методике
24	0,3	1212,0	832,0	1247,0
30	1,1	2,0	8,0	14,0
711	0,2	2,0	3,0	8,0
714	0,5	2,0	8,0	17,0
763	0,2	3,0	3,0	7,0
770	1,0	5,0	3,0	6,0
796	0,2	6,0	2,0	4,0
798	0,2	3,0	2,0	4,0
879	0,6	8,0	4,0	8,0
898	1,2	387,0	327,0	736,0

По методике В.Ф. Бабкова [5] все из рассматриваемых участков соответствуют нормам и не нуждаются в реконструкции.

По методике В.В. Чванова [69, 119–121] 24, 30, 714 и 898 км нуждаются в реконструкции.

По предлагаемой методике в реконструкции нуждаются 24, 30, 714 и 898 км. На остальных участках безопасность дорожного движения можно увеличить за счет корректировки скоростного режима ТС.

По коэффициенту происшествий на 30 и 898 км наблюдается наибольшее количество ДТП на 1 млн. автомобилей, прошедших через эти участки.

Таким образом полученные значения итогового коэффициента аварийности

по предлагаемой методике свидетельствуют о более точной оценке БДД, так как по существующей методике участки с наибольшим коэффициентом происшествий не являются аварийными, несмотря на то, что ежегодно на данных участках происходит более 3 ДТП.

#### **4.5. Практические рекомендации по повышению безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения на основе разработанной модели**

Для повышения информативности водителей о реальной дорожной обстановке и оптимальной скорости движения в конкретный момент времени предлагается установить интерактивные дорожные знаки, информация на которых будет обновляться в реальном времени исходя из показаний датчиков автоматической дорожной метеорологической станции. Для анализа текущей дорожной ситуации не менее чем за 500 метров и исходя из зоны влияния элементов дороги до аварийного участка необходимо установить камеру видеонаблюдения, которая с помощью нейронных сетей способна анализировать состав и скорость автомобильного потока. На основе данных об интенсивности и составе ТП, а также данных о коэффициенте сцепления с дорогой, полученных от специального датчика, специальный расчетный блок должен определить насколько сильно скорость одиночного ТС в текущий момент времени отличается от скорости потока:

$$|V_{\Pi} - V_{\text{Т}}| \leq 20, \quad (4.15)$$

где  $V_{\Pi}$  – скорость потока;

$V_{\text{Т}}$  – скорость одиночного ТС.

Если скорость одиночного автомобиля будет отличаться от скорости потока более чем на 20 км/ч, расчетный модуль выведет на экран интерактивного знака рекомендуемую скорость движения исходя из ДУ и состава ТП.

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

Передача информации со станции в базу данных системы осуществляется по запросу с центрального компьютера системы (блока обработки сигналов) по каналу GSM. После обработки информации по разработанному алгоритму, представленному в п.2.3, на интерактивном знаке должна появиться информация об актуальной рекомендуемой скорости движения. Схема реализации повышения информативности водителей с полнокомплектной станции, включающей в себя: контроллер станции, датчик температуры и влажности воздуха, датчик осадков, датчик направления и скорости воздушного потока, датчик температуры поверхности и грунта, датчик состояния дорожного покрытия, датчик атмосферного давления, датчик оптической видимости, датчик интенсивности и скорости движения, представлена на рисунке 4. 25.

Упрощенная схема, состоящая только из датчиков интенсивности, скорости движения и состояния дорожного покрытия представлена на рисунке 4. 26.

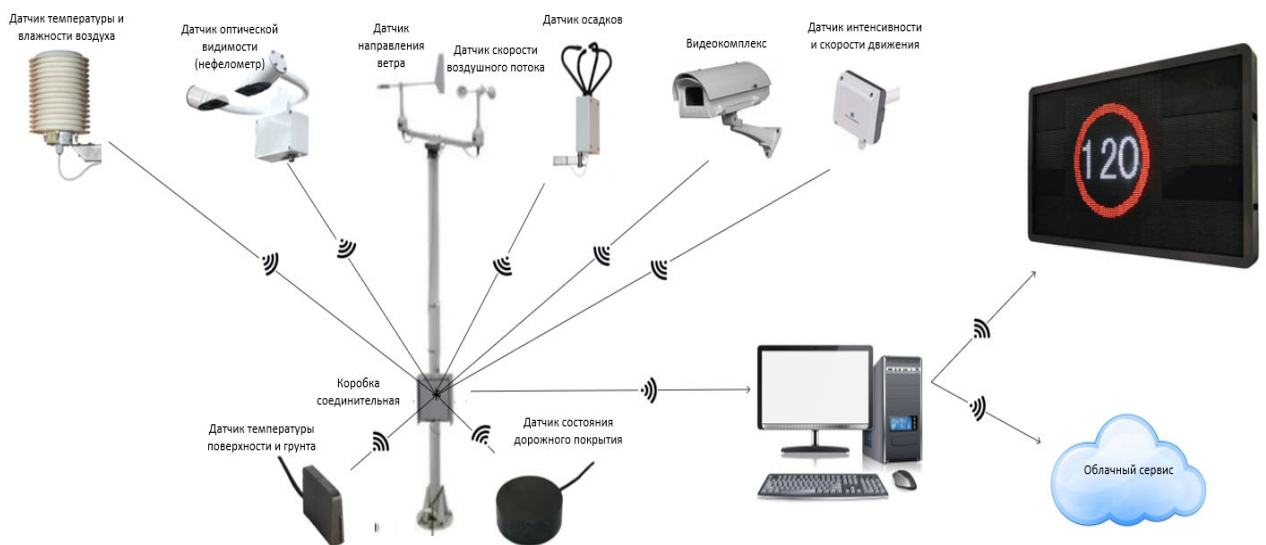


Рисунок 4.25 – Схема реализации повышения информативности водителей

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

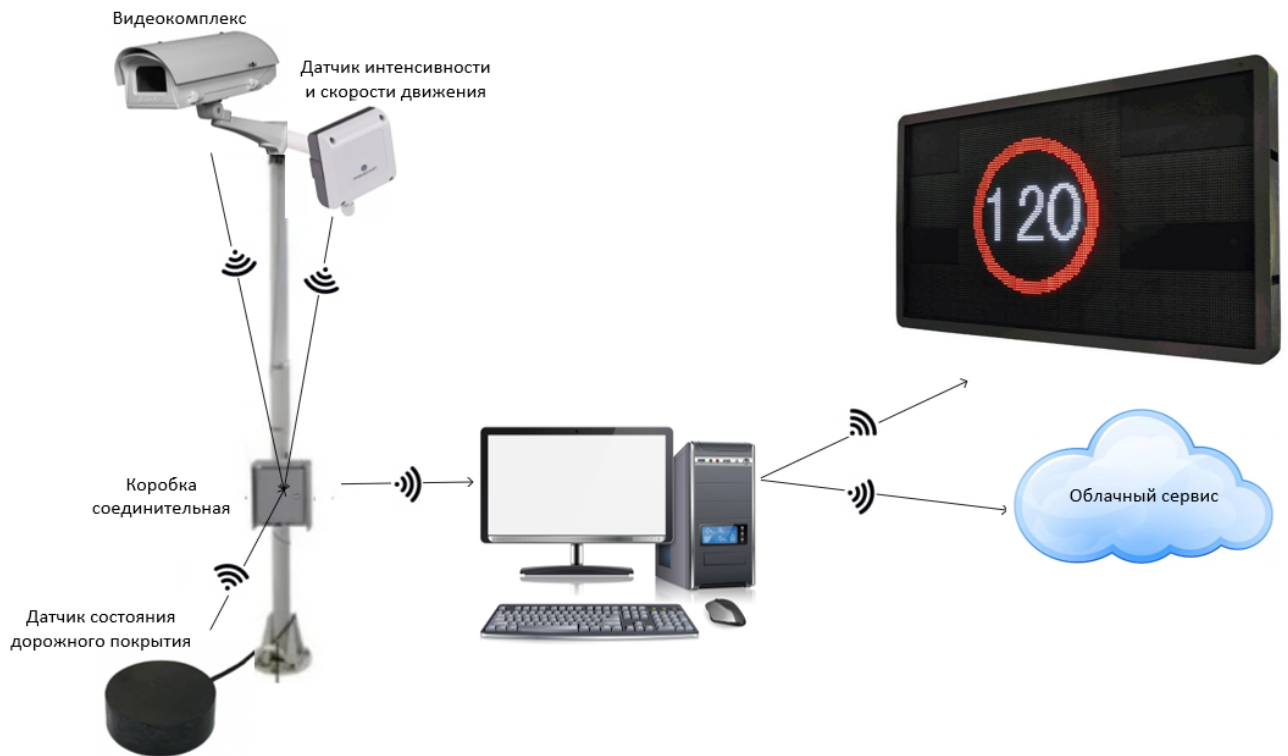


Рисунок 4.26 – Схема реализации повышения информативности водителей (упрощенный вариант)

Используя разработанную математическую модель, можно определить, какой из факторов оказывает негативное влияние на БДД. Для того чтобы прохождение неоднородного ТП по 898 км автомобильной дороги Р255 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.

#### 4.6. Оценка экономической эффективности предлагаемой методики

Для расчета 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 ( $Q$ ) [110]:

$$Z = C + Q, \quad (4.16)$$

Было рассмотрено два варианта: приобретение автоматической дорожной метеорологической станции «Кондор» (АДМС) [3] и интерактивного дорожного табло ( $Z_1$ ); приобретение только необходимых датчиков для определения состава потока, скорости движения и состояния дорожного полотна и интерактивного дорожного табло ( $Z_2$ ).

Так как примерная стоимость оборудования и монтажа заранее известна от поставщика/производителя и представлена в таблице 4.7, рассчитаем стоимость обслуживания:

$$Q = M + Aq, \quad (4.17)$$

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

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

$q$  – количество датчиков.

Таким образом, зная стоимость приобретения, монтажа и обслуживания, рассчитываем два возможных варианта:

$$Z_1 = 1300000 + 17800 + 9 \times 1000 = 1326800,0 \text{ руб.};$$

$$Z_2 = 650000 + 17800 + 3 \times 1000 = 670800,0 \text{ руб.}$$

Таблица 4.7 – Примерная стоимость приобретения и монтажа необходимого оборудования

№	Наименование	Кол-во, ед.	Примерная стоимость, руб.
1	АДМС «Кондор»	1	800 000,00
2	Монтаж АДМС «Кондор»	1	100 000,00
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 видеочамеры	1	10 000,00
7	Приобретение и монтаж интерактивного дорожного табло	1	130 000,00

Из расчетов видно, что приобретение полнокомплектной автоматической дорожной метеорологической станции вдвое дороже, чем приобретение только необходимых датчиков.

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

Существует несколько методических подходов к расчету 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 [46, 58, 108]. На уровне государства/регионов расчет социальных потерь происходит по Р-03112199-0502-00 «Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от ДТП» [97].

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].

Оценки стоимости человеческой жизни имеют большое экономическое значение, так в 2019 году стоимость человеческой жизни составила 5,8 млн руб. [91].

Также существует методика расчета с учетом поло-возрастной структуры погибших и раненых [58, 91]. По данной методике прямые потери и упущенные выгоды рассчитываются исходя из трех возможных исходов ДТП: смертельный исход, инвалидизация, травматизм.

Произведем расчет экономических потерь в результате ДТП с помощью данной методики на примере аварийно-опасного участка 898 км автомобильной дороги Р255 км, на котором за 2020 год произошло 3 съезда с дороги из-за несоответствия скорости конкретным дорожным условиям, в которых пострадало 4 человека, данные о раненых представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Данные о пострадавших

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

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

$$P(tr) = C(tr)_t + B(tr), \quad (4.18)$$

где  $C(tr)_t$  — это затраты на медицинские услуги по восстановлению индивида от травмы. Находятся как произведение общего число получивших травму в результате ДТП и средних расходов на медицинские услуги в зависимости от категории травм:

$$C(tr)_t = N(i)_t (h + m), \quad (4.19)$$

$N(i)_t$  – 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 одной 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:

$$B(tr) = \sum_{q=1}^n N(wm) \cdot p(trm)_q \cdot R(tr)_q \cdot E(tr)_q + \sum_{q=1}^n N(wf) \cdot p(trf)_q \cdot R(tr)_q \cdot E(tr)_q, \quad (4.20)$$

$N(wm)$  – 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), 364116,0 руб;

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

Таким образом, подставив средние значения с учетом того, что все пострадавшие получили последствия средней степени тяжести, получаем следующее значение:

$$P(tr) = 2000000 + 436939,2 = 2\,436\,939,2 \text{ руб.}$$

Таким образом потери от ДТП на 898 км за 2020 год составили около 2,5 млн руб.

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

$$\Xi = \frac{Z}{P(tr)} = \frac{2436939,2}{670800,0} = 3,6. \quad (4.21)$$

Таким образом, эффективность от установки интерактивного дорожного полотна, на котором будет отображаться рекомендуемая скорость движения на конкретном участке дороги с учетом состояния дорожного полотна, интенсивности и состава ТП, составит 1 766 139,2 руб.

#### 4.7. Выводы по главе

1. Общий объем составил 40 исследований на 10 участках (711, 714, 763, 770, 796, 799, 879, 898, 27 и 30 км) на ФАД Р255 и Р257, 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 разные времена 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».

2. В ходе 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 расчете технических параметров участка (участков) фактическим параметрам. Также выявлено, что состав транспортного потока неоднороден, 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 выявлен вариационных размах 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 ( $y$ ) от разрешенной скорости движения ( $x$ ):

$$y = 6,13x^{0,61},$$

зависимость максимальной скорости движения ( $y$ ) от средней скорости движения ( $x$ ):

$$y = 0,78x^{1,15},$$

зависимость минимальной скорости движения ( $y$ ) от средней скорости движения ( $x$ ):

$$y = 0,12x^{1,33}.$$

5. В ходе анализа мультиколлинеарности объясняющих переменных выявлены переменные, имеющие наиболее высокую парную корреляцию с количеством ДТП (коэффициенты парной корреляции выше чем критическое значение  $r_{\text{крит}}=0,38$ ): ширина обочины, продольный уклон, видимость в плане, видимость в

профиле, расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, что подтверждает значимость частных коэффициентов аварийности, соответствующим этим переменным.

Самое высокое значения коэффициента парной корреляции  $R=0,95$  установлено между переменными состав транспортного потока и вариационный размах скоростей.

6. Установлен вид зависимости вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС ( $y$ ) от доли ТС категорий М2, М3 и N ( $x$ ):

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

Полученная зависимость позволяет оценивать вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на основе данных о составе транспортного потока.

7. Установлена зависимость частного коэффициента аварийности  $K_{11}$  ( $y$ ) от вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС ( $x$ ):

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

Полученная зависимость впервые позволяет учитывать режим движения транспортного потока при определении итогового коэффициента аварийности.

8. Установлены зависимости, характеризующие условия видимости на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения, использовать которые рекомендуются для определения частных коэффициентов аварийности  $K_7$  и  $K_8$ :

- зависимость видимости в плане ( $y$ ) от радиуса кривой ( $x$ ):

$$y = 238,88 \ln x - 834,50,$$

- зависимость видимости в плане ( $y$ ) от расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м ( $x$ ):

$$y = 293,15 \ln x + 503,20,$$

- зависимость видимости в плане ( $y$ ) от продольного уклона ( $x$ ):

$$y = -13,98x + 1089,20,$$

- зависимость видимости в плане ( $y$ ) от радиуса кривой ( $x_1$ ), расстояния от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м ( $x_2$ ) и продольного уклона ( $x_3$ ):

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

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

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

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 существующим методикам. Выявлено что 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, несмотря на то, что ежегодно на данных участках происходит более 3 ДТП.

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

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Выполненная экспериментальная проверка оценки БДД по разработанной методике на исследуемых участках ФАД подтверждает возможность повыше-

ния точности оценки БДД на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения путем применения метода итогового коэффициента аварийности с учетом вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС.

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

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

**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. – 2. – 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: диссертация ... кандидата технических 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. Банатов А. В. Оценка безопасности движения в городских условиях: диссертация ... кандидата технических наук. – Волгоград: 2002. – 170 с.



9. 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.
10. Безопасные и качественные дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://krudor.ru/actual/bkd/> (Дата обращения: 01.04.2021).
11. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев. Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
12. Близниченко С.С. Совершенствование метода коэффициентов аварийности / Близниченко С.С., Крапивина Е.А., Овеченко А.Р. // материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования» Омск, 2012. – С. 43-48.
13. 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.
14. Булинский А.В. Теория случайных процессов / А. В. Булинский, А. Н. Ширяев. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 402 с.
15. 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.
16. 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 // Материалы 110-й Международной научно-технической конференции «Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» -2021. -С. 246-252.
17. 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: ИРНТУ. – 2018. – 2 №55. – С. 240-250.

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

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

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

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

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

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

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

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

26. 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.

27. ГОСТ Р 52399–2005 Геометрические элементы автомобильных дорог. Введ.22.11.2005.

28. ГОСТ Р 52577–2006 Дороги автомобильные общего пользования. методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог. Введ.09.10.2006.

29. ГОСТ Р 54809–2011 Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Методы контроля. Введ.13.12.2011.

30. ГОСТ Р 58514–2019 Уровни строительные. Технические условия. Введ.30.08.2019.
31. ГОСТ 7502–98 Рулетки измерительные металлические. Технические условия. Введ.27.07.1999.
32. ГОСТ Р 8.736–2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Введ.13.12.2011.
33. Государственный доклад «О состоянии безопасности дорожного движения в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902068002> (Дата обращения: 01.04.2021).
34. Гражданцев Е. В. Разработка модели системы оповещения водителей транспортных средств о вероятном возникновении ДТП / Е.В. Гражданцев, В.А. Зеер, К.В. Пульянова, Е.С. Воеводин, А.М. Асхабов, А.И. Елагин // Грузовик – 2020.– 4.– С. 35– 45.
35. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория: Учеб. для спец. «Автомобили и тракторы» / А. И. Гришкевич. – Минск: Вышэйш. шк., 1986. – 206 с.
36. 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.
37. Добров Э.М. Теория эксплуатации автомобильных дорог: учебное пособие / Э.М. Добров, Э.В. Дингес, Г.С. Бахрах, А.М. Стрижевский, В.П. Носов, Васильев, А.П. Апестин В.К., В.В. Ушаков– М.: КноРус. – 2018. – 592 с.
38. 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).
39. Добромиров В.Н. Скорость как фактор влияния на безопасность дорожного движения / Добромиров В.Н., Евтюков С.С. // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 73.

40. Добромиров В. Н. Совершенствование методов оценки безопасности дорожного движения на скоростных автомобильных дорогах / Добромиров В. Н., Евтюков С. С., Куракина Е. В. // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 1 (56). С. 94-100
41. Евтюков С.С. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения в Ленинградской области / Евтюков С. С., Голов Е. В. // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 85-89.
42. Евтюков С.С. Влияние параметров дороги на определение скорости движения при экспертном исследовании ДТП / Евтюков С.С., Куракина Е.В. // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 1 (42). С. 103-108.
43. 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.
44. Завадский Ю.В. Методика статистической обработки экспериментальных данных / Ю.В. Завадский. - М.: МАДИ. –1973. – 67 с.
45. Заложных В.М. Управление техническими системами: курс лекций/ В.М. Заложных, В.А. Иванников. – Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия. –2010. – 55 с.
46. 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.
47. Иванченко Л.А. Развитие транспортной инфраструктуры в России. / Л.А. Иванченко // Логистические системы в глобальной экономике.: 2019. –9.– С. 116-119.
48. Казанова Л. А. О некоторых вопросах влияния скорости на безопасность дорожного движения / Казанова Л. А., Линник Т. М., Митрошин Д. В. // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. 2019. № 1 (2). С. 217-222.
49. Каленов Г.К. Повышение безопасности дорожного движения в республике Казахстан: диссертация ... кандидата технических наук. – М.: 2008. – 141 с.

50. Капский Д.В. Метод конфликтных зон прогнозирования дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности/ Издательство «Новое знание». – 2015. – 372 с.

51. 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.

52. Кастырин Д. Ю. Повышение безопасности дорожного движения на основе прогнозирования опасности транспортных пересечений дорожной сети города. диссертация ... кандидата технических наук. – Воронеж.: 2019. – 166 с.

53. Клявин В. Э. Разработка научных методов повышения уровня системной безопасности дорожного движения: автореферат дис. ... доктора технических наук. –Липецк.: 2017. – 43 с.

54. 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.

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

56. Кравченко Л. А. Повышение безопасности дорожного движения методом регулирования скоростей движения: диссертация ... кандидата технических наук. – М.: 2003. – 171 с.

57. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами: Учебное пособие/МАДИ (ТУ) М: 2003 – 247с.

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

59. Маслеников В.Г. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий с участием автотранспортных средств категории М1 при отрицательных температурах

асфальтобетонного покрытия дороги: автореферат диссертации ... кандидата технических наук. – Чита.: 2019. – 20 с.

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

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

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

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

64. 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/ВКАД%20informatsiya%20na%20portal.pdf> (Дата обращения: 01.04.2021).

65. 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.

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

67. Новиков И.А. Методология прогнозирования и предупреждения дорожно-транспортных происшествий: диссертация ... доктора технических наук. – Орел.: 2020. – 305 с.

68. 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».

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

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

71. 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».

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

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

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

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

76. 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.

77. Основные итоги работы транспорта [Электронный ресурс]: – Режим доступа <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (Дата обращения: 01.04.2021).

78. Отчет счетной палаты от 8 декабря 2016 года о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ формирования и использования бюджетных ассигнований дорожных фондов субъектов Российской Федерации».

79. Парсаев Е.В. Повышение безопасности дорожного движения на федеральных дорогах омской области /Парсаев Е.В., Рябоконь Ю.А., Тетерина И.А. // В сборнике: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. сборник материалов II национальной научно-практической конференции – 2019. – С. 294-299.

80. Парсаев Е.В. Повышение качества выполнения проектов организации дорожного движения на период эксплуатации дорог / Парсаев Е.В., Тетерина И.А.// В сборнике: 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.

81. Парсаев Е.В. Информационное обеспечение водителей путем применения технических средств организации дорожного движения / Парсаев Е.В., Тетерина И.А. // В сборнике: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов IV национальной научно-практической конференции. Омск, – 2021. –С. 369-373.

82. Пегин П.А. Повышение эффективности и безопасности эксплуатации автомобильного транспорта на основе увеличения пропускной способности автомагистралей: диссертация ... доктора технических наук. – Орел.: 2011. – 345 с.



83. 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)».

84. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://stat.gibdd.ru/> (Дата обращения: 01.04.2021).

85. Полтавская Ю.О. Оценка условий движения транспортных потоков с применением геоинформационных технологий / Полтавская Ю.О., Крипак М.Н., Гозбенко В.Е. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. – № 1 (49). – С. 155-161.

86. Поляков А.С. Исследование влияния расположения рулевого колеса автомобиля на безопасность дорожного движения/ А.С. Поляков, К.В, Пульянова // Материалы XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, «Перспектив Свободный – 2019». г. Красноярск: СФУ.– 2019. – С. 1231-1233.

87. Постановление правительства российской федерации от 20 февраля 2006 года N 100 «О федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах».

88. Постановление правительства российской федерации от 3 октября 2013 года N 864 «О федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах».

89. 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».

90. Постановление Правительства РФ от 2 февраля 2019 г. N 72 «О внесении изменения в перечень автомобильных дорог общего пользования федерального значения».

91. 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).

92. Приказ министерства транспорта Красноярского края от 9 января 2018 г. N 6/2-Н «Об утверждении транспортной стратегии Красноярского края до 2030 года».

93. Программа «Безопасные и качественные дороги 2017».

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

95. Пулянова К.В. Исследование интенсивности транспортного потока на Р255 и Р257 на территории Красноярского края / К.В. Пулянова, Е.С. Воеводин, Асхабов А.М., Кашура А.С.// Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: Пенза. – 2018. – С. 71–74.

96. Пулянова К.В. Проблемы статистического анализа дорожно-транспортных происшествий/ К.В. Пулянова, Е.С. Воеводин, С.А. Катаев //Сборник материалов II Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения», 25-27 сентября 2019 – Красноярск – 2019 –С. 212-215.

97. Р-03112199-0502-00 «Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий».

98. Рейтинг российских регионов по аварийности на дорогах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20210208/zarplata-1596593906.html> (Дата обращения: 01.04.2021).

99. Российский парк грузовиков: основные показатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/31621> (Дата обращения: 01.04.2021).

100. Руководства по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах, утвержденных распоряжением Минтранса России от 16 июня 2003 г. № ОС-548-р.

101. 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.

102. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

103. 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.

104. 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).

105. Справочник «Справочная энциклопедия дорожника. Том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог».

106. Статистическая отчетность ФДА РОСАВТОДОР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/about/upravlenie-fda/upravlenie-stroitelstva-avtomobilnykh-dorog/statisticheskaya-otchetnost-napravlenaya-v-rosstat/439191> (Дата обращения: 01.04.2021).

107. 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.

108. Стоимость человеческой жизни в России с учетом морального ущерба [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/44988294> (Дата обращения: 01.04.2021).

109. Сусанин В.В. Исследование параметров подсистемы водитель – дорога: диссертация ... кандидата технических наук. – СПб.: 1999. – 201 с.

110. Тимоховец В. Д. Совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов: диссертация ... кандидата технических наук. – Омск: 2020. – 133 с.

111. ТР ТС 018/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (с изменениями на 21 июня 2019 года).

112. Тюлькин Е.В. Автоматизация процесса статистического исследования факторов ДТП / Е.В. Тюлькин // Вестник гражданских инженеров. 2015. – № 5 (52). – С. 248–253.

113. Федеральный закон от 10.12.1995 N 196 «О безопасности дорожного движения (с изменениями на 8 декабря 2020 года)».

114. 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).

115. Хомяк Я. В. Организация дорожного движения: учебник для вузов / Я. В. Хомяк. – Киев: Высшая школа. – 1986. – 271 с.

116. 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.

117. Чванов В.В. Метод оценки качественных состояний безопасности дорожного движения и область его применения. Наука и техника в дорожной отрасли – 2010 – 2 – С. 11-16.

118. Чванов В.В. Методы оценки уровней безопасности движения на автомобильных дорогах по показателю риска дорожно-транспортных происшествий. «Дороги и мосты». Сборник ст./ ГП РосдорНИИ – Фирма «Верстка» – 2004 – С. 173-192.

119. Чванов В.В. Об уточнении метода «итогового коэффициента аварийности» для оценки безопасности применительно к современным условиям движения. «Дороги и мосты». Сборник ст./ ФГУП РосдорНИИ. – М.: 2006 – 16/2 – С. 219-230.

120. Чванов В.В. Нормирование итогового коэффициента аварийности. «Наука и техника в дорожной отрасли / Чванов В.В. Живописцев И.Ф. // Наука и техника в дорожной отрасли – 2009 – 3 – С. 13-16.

121. Чванов В.В. Живописцев И.Ф. Особенности применения метода оценки безопасности движения с использованием итогового коэффициента аварийности в современных условиях. «Дороги и мосты». Сборник ст./ ФГУП РосдорНИИ. — М.: 2009 – 22/2 – С. 232-255.

122. Чикалина С.Л. Исследование влияния конфликтных ситуаций на изменение скорости транспортных потоков в зонах нерегулируемых перекрестков / Чикалина С.Л., Елфимова Н.А. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 8 (127). С. 193-198.

123. Чикалина С.Л. Конфликт транспортных и пешеходных потоков в зонах нерегулируемых перекрестков / Чикалина С.Л., Прокофьева О.С., Елфимова Н.А.// Молодежный вестник ИрГТУ. 2018. Т. 8. № 4. С. 38-43.

124. Чубаков А.Б. Методология оценки состояния дорожно-транспортной аварийности в регионах Российской Федерации: диссертация ... доктора технических наук. – Омск: 2015. – 298 с.

125. Шарыпов А.В., Осипов Г.В. Основы теории надежности транспортных систем: Учебное пособие. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. –128 с.

126. Шешера Н. Г. Повышение безопасности дорожного движения на основе усовершенствованной методики коэффициентов аварийности: диссертация ... кандидата технических наук. – Хабаровск: 2017. – 183 с.

127. Яндекс карты [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://yandex.ru/maps> (Дата обращения: 01.04.2021).

128. 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.

129. American Association of State Highway and Transportation Officials, [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.transportation.org/> (Дата обращения: 01.04.2021).

130. 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.

131. 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>.

132. 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.

133. Google Earth [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://earth.google.com/web>.

134. 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.

135. Johnsson C. In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators / Johnsson C., A. Laureshyn, T. De Ceunynck // Transport Reviews – 2018. – 38 (6). P/ 765-785.

136. 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.

137. Lenin A.. Event-based road safety assessment: A novel approach towards risk microsimulation in roundabouts // Lenin A., Bulla-Cruz, Laureshyn A., Lyons L. // Measurement. – 2020. –165. P. 108192.

138. 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.

139. 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.

140. 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.
141. 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.
142. 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.
143. 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.
144. 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.
145. 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.
146. 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.
147. 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.
148. 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 А

### Статистика ДТП

Таблица А.1 – Статистика ДТП по местам совершения (1 – ДТП на дорогах федерального и регионального значения, 2 – ДТП на дорогах федерального значения)

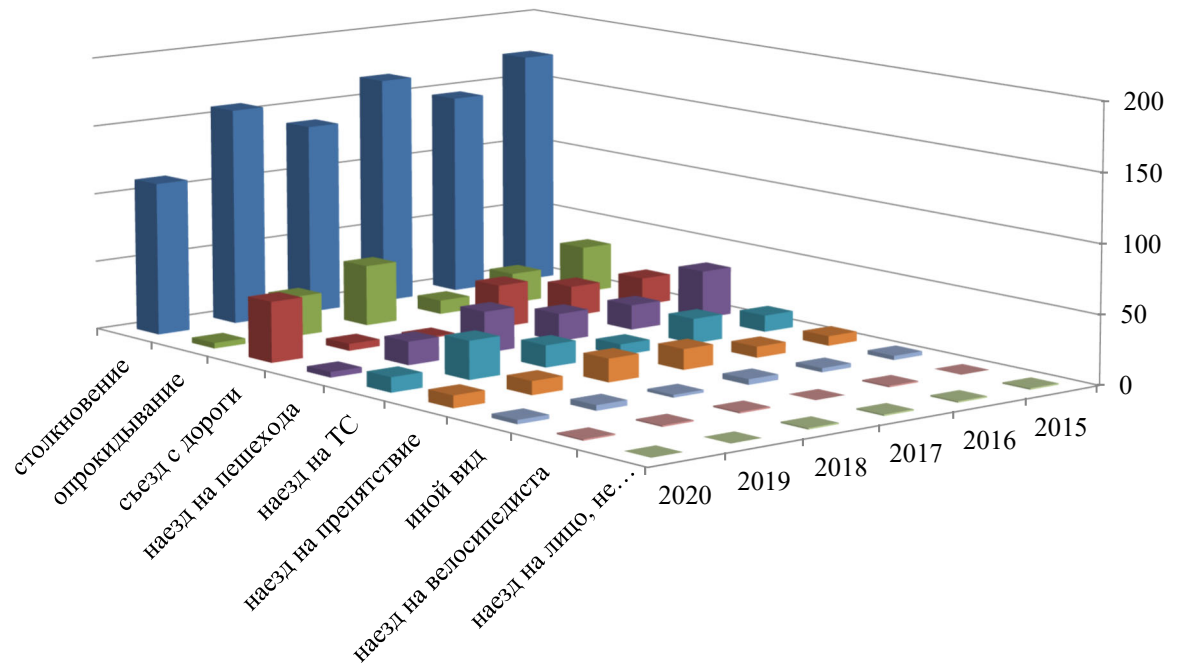
Ме сто ДТ П	Месяц																																																																	
	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11			12																																
	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р	Д	П	Р																														
2015 год																																																																		
Кр ай	361	322	43	451	383	65	283	39	8	358	332	23	34	34	13	442	307	20	44	44	9	363	336	33	39	402	37	380	43	8	495	477	51	76	652	13	469	625	59	433	51	12	509	451	35	67	517	47	308	42	19	400	340	30	33	445	42									
1	22	4	21	38	27	71	27	39	8	264	273	20	43	21	3	251	269	14	44	29	6	329	267	20	33	402	37	380	43	8	495	477	51	76	652	13	469	625	59	433	51	12	509	451	35	67	517	47	308	42	19	400	340	30	33	445	42									
2	43	21	65	19	8	23	34	13	23	44	34	13	44	34	13	44	34	13	44	34	13	329	267	20	33	402	37	380	43	8	495	477	51	76	652	13	469	625	59	433	51	12	509	451	35	67	517	47	308	42	19	400	340	30	33	445	42									
2016 год																																																																		
Кр ай	248	28	20	18	6	38	266	34	12	330	219	19	25	251	26	269	29	14	29	29	6	329	267	20	33	402	37	380	43	8	495	477	51	76	652	13	469	625	59	433	51	12	509	451	35	67	517	47	308	42	19	400	340	30	33	445	42									
1	28	4	38	34	12	31	219	25	26	269	29	14	29	29	6	269	29	14	29	29	6	329	267	20	33	402	37	380	43	8	495	477	51	76	652	13	469	625	59	433	51	12	509	451	35	67	517	47	308	42	19	400	340	30	33	445	42									
2	20	4	38	26	12	31	219	25	26	269	29	14	29	29	6	269	29	14	29	29	6	329	267	20	33	402	37	380	43	8	495	477	51	76	652	13	469	625	59	433	51	12	509	451	35	67	517	47	308	42	19	400	340	30	33	445	42									
2017 год																																																																		
Кр ай	273	61	30	27	10	71	223	27	9	264	273	20	21	315	24	292	30	9	30	30	9	354	300	22	38	365	30	380	48	9	489	311	40	28	28	5	28	722	95	469	722	40	49	615	50	383	43	8	503	295	34	28	370	56	25	442	61									
1	61	10	71	22	9	24	273	27	9	264	273	20	21	315	24	292	30	9	30	30	9	354	300	22	38	365	30	380	48	9	489	311	40	28	28	5	28	722	95	469	722	40	49	615	50	383	43	8	503	295	34	28	370	56	25	442	61									
2	30	10	71	22	9	24	223	27	9	264	273	20	21	315	24	292	30	9	30	30	9	354	300	22	38	365	30	380	48	9	489	311	40	28	28	5	28	722	95	469	722	40	49	615	50	383	43	8	503	295	34	28	370	56	25	442	61									
2018 год																																																																		
Кр ай	217	45	20	24	11	33	227	23	3	268	208	17	15	248	27	227	24	20	43	19	6	264	277	26	38	332	36	331	40	13	405	355	35	33	33	9	452	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52						
1	45	11	33	23	12	25	208	23	3	268	208	17	15	248	27	227	24	20	43	19	6	264	277	26	38	332	36	331	40	13	405	355	35	33	33	9	452	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52						
2	20	9	33	21	12	25	208	23	3	268	208	17	15	248	27	227	24	20	43	19	6	264	277	26	38	332	36	331	40	13	405	355	35	33	33	9	452	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52	406	406	33	41	419	52						
2019 год																																																																		
Кр ай	279	43	39	26	13	65	208	20	3	230	230	17	29	262	20	214	24	17	24	24	4	252	283	30	36	335	46	297	33	11	367	327	38	33	33	12	422	346	33	29	422	61	356	356	40	36	463	61	356	356	40	36	463	61	356	356	40	36	463	61						
1	43	13	65	20	13	14	208	20	3	230	230	17	29	262	20	214	24	17	24	24	4	252	283	30	36	335	46	297	33	11	367	327	38	33	33	12	422	346	33	29	422	61	356	356	40	36	463	61	356	356	40	36	463	61	356	356	40	36	463	61						
2	39	13	65	20	13	14	208	20	3	230	230	17	29	262	20	214	24	17	24	24	4	252	283	30	36	335	46	297	33	11	367	327	38	33	33	12	422	346	33	29	422	61	356	356	40	36	463	61	356	356	40	36	463	61	356	356	40	36	463	61						
2020 год																																																																		
Кр ай	267	41	26	21	11	50	266	16	4	356	227	26	25	272	37	168	15	2	15	15	2	204	260	15	29	302	18	274	25	4	323	327	33	31	31	7	392	343	44	38	440	57	312	312	24	34	354	25	329	329	41	59	398	66	240	240	26	32	314	35	274	43	13	334	63	36
1	41	11	50	16	11	17	266	16	4	356	227	26	25	272	37	168	15	2	15	15	2	204	260	15	29	302	18	274	25	4	323	327	33	31	31	7	392	343	44	38	440	57	312	312	24	34	354	25	329	329	41	59	398	66	240	240	26	32	314	35	274	43	13	334	63	36
2	26	11	50	16	11	17	266	16	4	356	227	26	25	272	37	168	15	2	15	15	2	204	260	15	29	302	18	274	25	4	323	327	33	31	31	7	392	343	44	38	440	57	312	312	24	34	354	25	329	329	41	59	398	66	240	240	26	32	314	35	274	43	13	334	63	36



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Анализ аварийности

А)



Б)

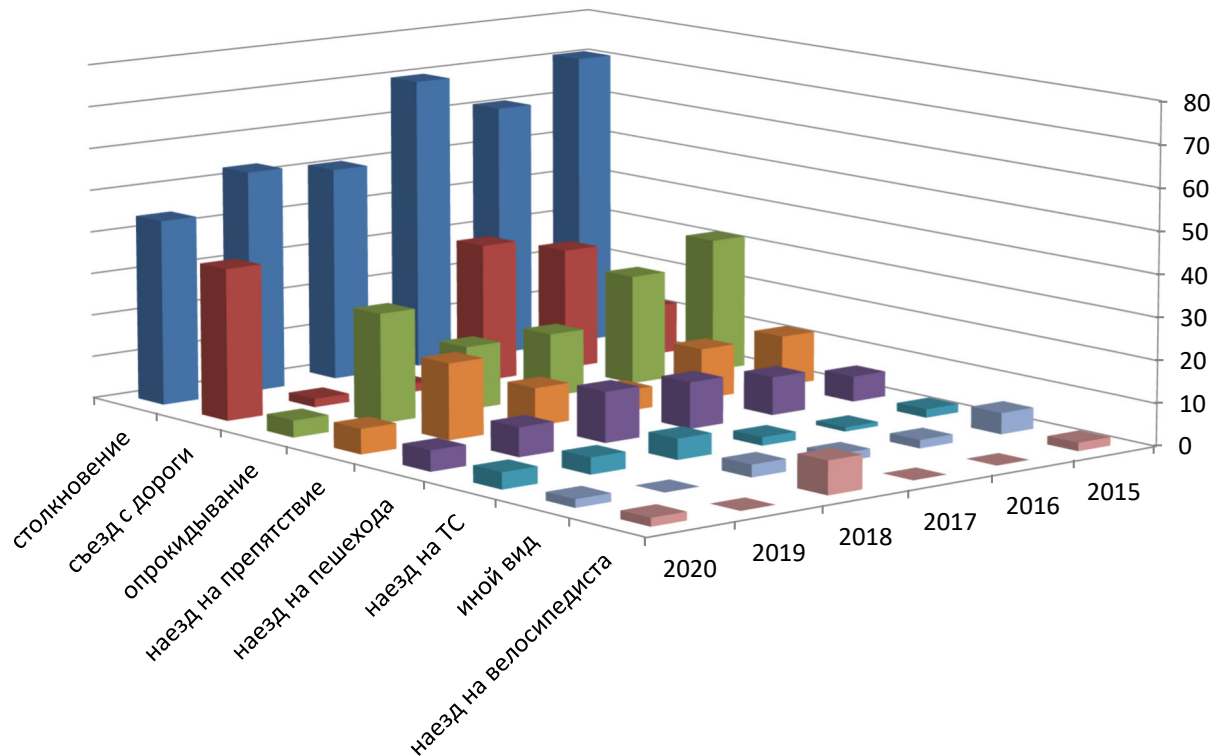


Рисунок Б.1 – Распределение ДТП по видам: А-Р255, Б-Р257









Таблица Б.1 – Информация об аварийных участках

№ км	Количество ДТП, ед.						Преобладающий вид ДТП	Район	План дороги
	2015	2016	2017	2018	2019	2020			
597	0	0	0	0	1	3	Столкновение	Ачинский	Горизонтальный участок
653	0	1	2	0	1	3	Столкновение	Ачинский	Горизонтальный участок
657	1	0	1	0	5	0	Столкновение	Ачинский	Горизонтальный участок
714	0	0	2	5	0	0	Наезд на стоящее ТС	Козульский	Горизонтальный участок
770	2	5	3	0	3	0	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
784	1	0	1	1	4	1	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
795	2	6	0	4	4	1	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
796	6	0	2	0	2	1	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
798	2	2	0	3	6	1	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
808	4	4	0	2	2	1	Столкновение	Емельяновский	Горизонтальный участок
843	3	0	0	2	1	0	Наезд на пешехода	П. Березовка	Горизонтальный участок
844	1	6	1	2	2	1	Наезд на пешехода	П. Березовка	Горизонтальный участок
879	0	0	2	3	1	1	Столкновение	Манский	Затяжной поворот
898	2	3	2	2	1	3	Съезд с дороги/опрокидывание	Манский	Затяжной поворот подъем/спуск
908	1	0	5	2	2	1	Столкновение	Уярский	Затяжной поворот
931	0	0	1	5	3	0	Столкновение	Уярский	Горизонтальный участок
123	1	1	1 0	3	1	0	Съезд с дороги и опрокидывание	Балахтинский	Уклоны и повороты
424	2	4	4	1	0	0	Столкновение	Минусинский	Горизонтальный участок
425	4	1	2	0	0	0	Столкновение	Минусинский	Горизонтальный участок

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Конструктивные особенности ТС различных категорий

Таблица В.1 – Категории ТС

Категория ТС	Рисунок	Конструктивные особенности	Тип транспортного средства
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
			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
	M2/M3		

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Характеристики рассматриваемых участков



Рисунок Г.1 – 24 км Р257

Таблица Г.1 - Результаты натуральных экспериментов на 24 км Р257

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,75	0,5	50	65	100	2	-	0,5	0,75	322-794	50	52-89

## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.2 – 30 км Р257

Таблица Г.2 - Результаты натуральных экспериментов на 30 км Р257

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,5	1,5	28	Более 2000	Более 600	3	-	3	0,7	312-836	70	40-142

## Продолжение приложения Г

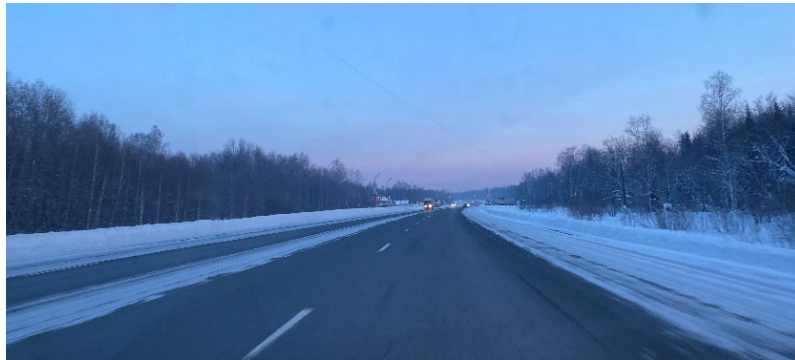


Рисунок Г.3 – 711 км Р255

Таблица Г.3 - Результаты натурных экспериментов на 711 км Р255

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной	Расстояние от кромки проезжей части до обочины глубиной более 5	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,75	2	12	Более 2000	Более 600	4	-	-	0,71	693-956	90	64-142

## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.4 – 714 км Р255

Таблица Г.4 - Результаты натурных экспериментов на 714 км Р255

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,5	0,5	28	Более 2000	750	4	-	-	0,68	606-987	90	58-134

## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.5 – 763 км Р255

Таблица Г.5 - Результаты натуральных экспериментов на 763 км Р255

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,5	3	10	Более 2000	Более 700	2	-	-	0,71	470-768	70	53-136



## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.6 – 770 км Р255

Таблица Г.6 - Результаты натурных экспериментов на 770 км Р255

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,5	2,5	23	Более 2000	Более 800	2	-	-	0,72	599-821	90	67-151

## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.7 – 796 км Р255

Таблица Г.7 - Результаты натуральных экспериментов на 796 км Р255

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,75	1	9	Более 2000	Более 800	4	2	-	0,71	1107-1523	90	51-136

## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.8 – 799 км Р255

Таблица Г.8 - Результаты натурных экспериментов на 799 км Р255

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,75	1	9	Более 2000	Более 800	4	2	-		1123-1562	90	48-145

## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.9 – 879 км Р255

Таблица Г.9 - Результаты натуральных экспериментов на 879 км Р255

Ширина полосы движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
3,5	0,5	22	Более 2000	Более 800	2	-	-	0,71	378-876	90	47-134

## Продолжение приложения Г



Рисунок Г.10 – 898 км Р255

Таблица Г.10 - Результаты натуральных экспериментов на 898 км Р255

Ширина движения, м	Ширина обочины, м	Продольный уклон, %	Радиус кривой в плане, м	Видимость в плане, м	Число основных полос на проезжей части	Ширина разделительной полосы, м	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	Коэффициент сцепления	Интенсивность (мин-макс.) авт/час	Разрешенная скорость движения, км/ч	Скорость ТС (мин-макс) км/ч
4	0,5	48	200	250	2	-	0,5	0,71	389-725	70	42-115

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Итоговые результаты эксперимента

Таблица Д.1 – Итоговая таблица с исследуемыми параметрами

Параметр	Исследуемый участок									
	24	30	711	714	763	770	796	799	879	898
Среднечасовая интенсивность движения, авт\час	545	490	788	716	514	619	1110	1318	567	505
Ширина проезжей части, м	7,5	7	7,5	7	7	7	7,5	7,5	7,5	8
Ширина обочины, м	0,5	1,5	2	0,5	3	2,5	1	1	0,5	0,5
Продольный уклон, %	50	28	12	28	10	23	9	9	10	60
Радиус кривой в плане, м	65	Более 2000	Более 2000	Более 2000	Более 2000	Более 2000	Более 2000	Более 2000	Более 2000	200
Видимость в плане, м	100	980	860	840	860	1140	900	900	720	250
Видимость в профиле,	150	980	1020	1080	980	1140	900	900	800	450
Число основных полос на проезжей части	2	3	4	4	2	2	4	4	2	2
Ширина разделительной полосы, м	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м, м	0,5	0,5	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5	0,5
Коэффициент сцепления	0,7	0,69	0,71	0,68	0,75	0,74	0,73	0,8	0,67	0,75
Средний состав потока, % грузовых ТС	11	12	37	37	35	36	12	12	36	40
Средний вариационный размах скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, км/ч	16	20	42	38	39	43	22	25	36	38

## 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>
К <sub>1</sub> (двухполосные дороги)	3,5	2,5	2,1	1,75	1,3	1,2	1	1,3	2,1			
К <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>	
К <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		
К <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>				
К <sub>2</sub> (двухполосные дороги)	2	1,35	1,2	1,1	1	1,1	1,2	1,5				
К <sub>2</sub> (трехполосные дороги)	3,4	2,1	1,6	1,4	1,1	1	1,4	2,3				
К <sub>2</sub> ( многополосные дороги без разделительной полосы)	1,6	1,2	1,1	1	1,35	1,45	1,6	1,7				
К <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>				
К <sub>3</sub> (двухполосные дороги с укрепленными обочинами)	1,65	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1					
К <sub>3</sub> (двухполосные дороги с неукрепленными обочинами)	2,5	1,85	1,5	1,35	1,2	1,1	1					
К <sub>3</sub> (трехполосные дороги с укрепленными обочинами)	2,75	2	1,5	1,25	1,1	1						
К <sub>3</sub> (трехполосные дороги с неукрепленными обочинами)	6,25	5,2	4,5	4,2	4	1,1	1,05	1				
К <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				
К <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				
К <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				
К <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>						
К <sub>4</sub> (двухполосные и трехполосные дороги)	1	1,3	0,7									
К <sub>4</sub> (многополосные дороги без разделительной полосы)				0,83	0,63	0,52						

К4 (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>				
К5 (двухполосные и трехполосные дороги)	1	1,1	1,4	1,9	2,2				
К5 (многополосные дороги без разделительной полосы)	1	1,2	1,8	2,9	3,2				
К5 (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>			
К6 (двухполосные и трехполосные дороги)	7,2	6,2	5,2	4	2	1			
К6 (многополосные дороги без разделительной полосы)	5,6	4,5	3,6	1,5	1,05	1			
К6 (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>
К7 (двухполосные и трехполосные дороги)	4,5	2,5	1,9	1,8	1,7	1,5	1,35	1,1	1
К7 (многополосные дороги без разделительной полосы)	9,5	5,5	3,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1
К7 (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>
К8 (двухполосные и трехполосные дороги)	6	4,2	3	2,6	2,4	2,3	2	1,5	1
К8 (многополосные дороги без разделительной полосы)	11	7	5	3,5	2,9	2,4	2,2	1,7	1
К8 (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>			
К9 (двухполосные и трехполосные дороги)	3,6	1,84	1,4	1,2	1,1	1			
К9 (многополосные дороги без разделительной полосы)	4,8	2	1,46	1,2	1,1	1			
К9(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>			
К10 Без ограждений	4,3	3,7	3,2	2,75	2	1			
К10 С ограждениями	2,2	2	1,85	1,75	1,4	1			



## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Итоговый коэффициент аварийности для рассматриваемых участков

Таблица Ж.1 – Значения частных коэффициентов аварийности для рассматриваемых участков

Обозначение Ка	Параметр	Группа Ка	24	30	711	714	763	770	796	799	879	898
К <sub>4</sub>	Число основных полос движения	А	1/1	1,5/1,3	0,8/0,83	0,8/0,83	1/1	1/1	0,8/0,56	0,8/0,56	1	1
К <sub>5</sub>	Продольный уклон		2,5/1,4	1,25/1,1	1/1	1,2/1,2	1	1,25/1	1	1	1	2,8/1,65
К <sub>6</sub>	Радиус кривой в плане		5,4/7,2	1	1	1	1	1	1	1	1	3/5,2
К <sub>7</sub>	Видимость в плане		3/2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2/1,7
К <sub>8</sub>	Видимость в профиле		3,4/3	1	1	1	1	1	1	1	1	2,0/1,7
К <sub>9</sub>	Расстояние от кромки проезжей части до обрыва глубиной более 5 м		2,2/2	1/1,1	1	1	1	1	1	1	1	2,2/2
К <sub>2</sub>	Ширина проезжей части	В	1,07/1	1,75/1,4	1,5/1,35	1,75/1	1,75/1,1	1,75/1,1	1,5/1	1,5/1	1,75/1	1,5/1,1
К <sub>3</sub>	Ширина обочины		2,2/2,5	0,73/1,5	0,6/1,85	1,2/4,2	1,2/1,1	1/1,15	0,73/1,3	0,73/1,3	2,2/1,65	2,2/2,5
К <sub>1</sub>	Интенсивность движения	С	1,7/2,2	0,9/2,5	1/1,7	1/1,8	1,3/2,7	1,7/2,1	1,1/1,4	1,3/1,4	1,7/2,3	1,3/2,4
К <sub>10</sub>	Коэффициент сцепления		1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
К <sub>11</sub>	Вариационный размах скоростей		1,5	1,65	2,25	2,25	2,25	2,25	1,65	1,65	2,1	2,25
Доп. Коэффициенты, группа D												
Ширина разделительной полосы									2,2/2	2,2/2		
Типы пересечений или примыканий (К <sub>14</sub> )									1,5/1			
Пересечения в одном уровне, интенсивность движения по основной дороге (К <sub>15</sub> )									2,0/1			
Видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой (К <sub>16</sub> )									1/1			
К <sub>итог</sub>			1247	14	8	17	7	6	4	4	8	736

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### Акты внедрения



#### АКТ

**О практическом применении результатов диссертационного исследования аспиранта кафедры транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» Баклановой Кристины Вячеславовны**

Настоящим актом подтверждается, что результаты НИР по теме: «Совершенствование методики определения итогового коэффициента аварийности для автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения», носят практический характер.

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 состава транспортного потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС на безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения, является актуальным. Его результаты позволяют значительно снизить аварийность, путем нормирования итогового значения коэффициента аварийности в зависимости от реальных дорожных условий и параметров транспортного потока.


 Полющук Дмитрий Юрьевич

Рисунок И.1 – Справка о внедрении в Министерство транспорта Красноярского края



### АКТ

**О практическом применении результатов диссертационного  
исследования аспиранта кафедры транспорта  
федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»  
Баклановой Кристины Вячеславовны**

Настоящим актом подтверждается, что НИР по теме «Совершенствование методики определения итогового коэффициента аварийности для автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения», проходят процесс внедрения в краевом государственном казённом учреждении «Управление автомобильных дорог по Красноярскому краю» в рамках оценки безопасности дорожного движения.

Повышение безопасности дорожного движения является одним из приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации. С учетом того, что за последние 30 лет темп развития автомобилизации опережает темп развития транспортной инфраструктуры, значительно изменился количественный и качественный состав транспортного потока, использования методики итогового коэффициента аварийности с учетом состава транспортного потока и вариационного размаха скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС, позволит повысить объективность выявления аварийно-опасных участков.

Рисунок И.2– Справка о внедрении в краевое государственное казенное учреждение «Управление автомобильных дорог по Красноярскому краю»

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник отделения УГИБДД ГУ  
МВД России по Красноярскому краю



АКТ

**о внедрении результатов диссертационного исследования Баклановой  
Кристины Вячеславовны на тему «Совершенствование метода  
коэффициентов аварийности для автомобильных дорог общего  
пользования федерального и регионального значения на примере  
Красноярского края»**

Комиссия ГУ МВД ГИБДД по Красноярскому краю в составе сотрудников отделения ТНиРЭР УГИБДД ГУ МВД России по Красноярскому краю (Эргарт И.А., Бутрамович С.А., Акимов А.И.) рассмотрела вопрос об использовании результатов диссертационного исследования Баклановой Кристины Вячеславовны и установила следующее:

Комиссия установила:

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. Повышение безопасности дорожного движения на междугородной дорожной сети с учетом вышеизложенных факторов в рамках единой научной работы до настоящего времени исследованию не подвергались. В связи с этим, научное исследование, направленное на выявление закономерностей влияния состава потока и разности скоростей на безопасность дорожного движения на междугородной дорожной сети, является актуальным. Его результаты позволяют значительно снизить аварийность, путем нормирования итогового значения коэффициента аварийности в зависимости от реальных дорожных условий и параметров транспортного потока.

Разработанная в рамках данного исследования методика, благодаря вариационному размаху скоростей между обгоняемым и обгоняющим ТС и составу транспортного потока позволяет в значительной мере повысить объективность выявления аварийно-опасных участков автомобильных дорог.

**Рисунок И.3— Справка о внедрении в УГИБДД ГУ МВД  
России по Красноярскому краю**

УТВЕРЖДАЮ:  
 Проректор по учебной работе  
 ФГАОУ ВО  
 «Сибирский федеральный  
 университет»  
 Д.С. Гуц



« 10 » 09 2021 г.

#### АКТ

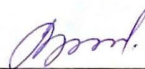
использования результатов кандидатской диссертации  
 Баклановой Кристины Вячеславовны  
**«Совершенствование методики определения итогового коэффициента  
 аварийности для автомобильных дорог общего пользования федерального  
 и регионального значения»**  
 в учебно-методической и научно-исследовательской работе  
 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Диссертационная работа выполнена К.В. Баклановой на кафедре транспорта ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» под научным руководством кандидата технических наук, доцента Е.С. Воеводина.

Основные положения, научные и практические выводы и рекомендации диссертационного исследования К.В. Баклановой были апробированы на научно-практических конференциях различного уровня. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ.

На кафедре транспорта ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» результаты исследования К.В. Баклановой включены в рабочие программы и курсы лекций дисциплин, входящих в ОП направления 23.03.01 – «Технология транспортных процессов»: «Пути сообщения и технологические сооружения», «Организация движения», и ОП 23.03.03 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»: «Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и улиц».

Научные положения и рекомендации диссертации К.В. Баклановой используются кафедрой транспорта при проведении научных исследований.

  
 \_\_\_\_\_

Заведующий кафедры «Транспорт»  
 канд. техн. наук Воеводин Е.С.

Рисунок И.4 – Справка о внедрении в учебный процесс