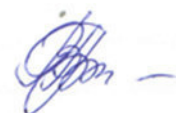


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Институт авиамашиностроения и транспорта
Кафедра Автомобильного транспорта

На правах рукописи



ГРОМАЛОВА ВИКТОРИЯ ОЛЕГОВНА

**УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА ЭКСПЕРТИЗ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ
ПРОИСШЕСТВИЙ С НАЕЗДОМ АВТОМОБИЛЯ НА ПЕШЕХОДА В
ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК НА ДОРОГАХ, ПОКРЫТЫХ ХИМИЧЕСКИМИ
ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта
(технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Федотов Александр Иванович,
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Иркутск – 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	18
1.1. Общий анализ статистики ДТП в Российской Федерации и регионах Сибири	18
1.2 Анализ причин аварийности КТС на зимних дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами	25
1.3. Анализ исследований в области безопасности движения КТС на зимних дорогах, обработанных ХПГМ	32
1.4. Анализ методик экспертизы ДТП на зимних дорогах, обработанных ХПГМ.....	35
1.5. Обзор методик для определения факторов, влияющих на допустимую скорость движения КТС по условиям видимости.....	37
1.6. Анализ работ в области аналитических исследований процесса торможения КТС на дорогах, обработанных ХПГМ	43
1.7. Выводы по первой главе	44
1.8. Задачи исследования	46
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ ОБЪЕКТИВНОСТИ АВТОТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ ДТП С НАЕЗДОМ НА ПЕШЕХОДОВ НА ДОРОГАХ, ПОКРЫТЫХ ХПГМ	47
2.1. Разработка структурной схемы исследуемого процесса	47
2.2. Математическое описание процесса торможения автомобиля на зимних дорогах	49
2.2.1. Математическое описание динамических процессов торможения колес КТС с эластичными шинами	54
2.2.2. Математическое описание характеристик сцепления шины тормозящего колеса с поверхностью дороги	56
2.2.3. Математическое описание характеристик тормозного механизма	59

2.2.4. Математическое описание процессов функционирования ABS	62
2.2.4.1. Математическое описание процессов функционирования электронного блока управления ABS	63
2.2.4.2. Математическое описание процессов функционирования электрогидравлического модулятора давления ABS	67
2.3. Алгоритм расчета параметров процесса торможения автомобиля с работающей и отключенной ABS	70
2.4. Теоретические предпосылки процесса загрязнения световых приборов автомобилей от колес, впереди идущих КТС	72
2.4.1. Математическое описание процесса движения капли от колеса впереди идущего автомобиля	73
2.4.2. Математическое описание процесса образования грязевой пленки на фарах сзади идущего автомобиля	77
2.5. Выводы по главе	80
3. МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	82
3.1. Методика планирования эксперимента	83
3.2. Методика измерения светопропускания автомобильных фар	84
3.2.1. Экспериментальное оборудование для измерения светопропускания загрязненных экранов фар	86
3.2.2. Устройство и работа прибора «Тоник»	88
3.2.3. Последовательность измерения светопропускания стекла с использованием тауметра «Тоник»	90
3.3. Методика экспериментальных исследований процесса загрязнения фар автомобиля ПО ХПГМ	90
3.3.1. Последовательность проведения экспериментального исследования процесса загрязнения фар автомобиля ХПГМ	92
3.3.2. Методика контроля силы света фар автомобиля	93
3.3.3. Оборудование для измерения силы света фар, прибор ИПФ - 01	95
3.3.4. Устройство и принцип работы прибора ИПФ-01	97
3.3.5. Порядок измерения силы света фар автомобилей	98

3.4. Методика определения видимости пешехода по ширине проезжей части в условиях ограниченной видимости	103
3.4.1. Оборудование для измерения расстояния видимости пешехода по ширине проезжей части. Лазерный дальномер RGK D100.....	105
3.5. Экспериментальное исследование эффективности торможения колеса в составе ABS на стенде с беговым барабаном	107
3.6. Методика контроля тормозной эффективности КТС с помощью прибора «ЭФФЕКТ» при дорожных испытаниях	110
3.6.1. Последовательность экспериментального исследования тормозной эффективности КТС при дорожных испытаниях	112
3.6.2. Оборудование для контроля эффективности тормозных систем. Прибор «ЭФФЕКТ»	113
3.6.3. Порядок работы с прибором «ЭФФЕКТ» в процессе проведения дорожных испытаний автомобилей	116
3.7. Выводы по третьей главе	120
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	122
4.1. Результаты экспериментальных исследований процесса загрязнения автомобильных фар на дорогах, покрытых ХПГМ	123
4.2. Результаты исследования силы света фар автомобиля, при их загрязнении ПО ХПГМ	138
4.3. Результаты исследования расстояния видимости водителем препятствия в темное время на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ	150
4.4. Результаты исследования процесса торможения КТС на зимних дорогах, покрытых ХПГМ	169
4.4.1. Результаты экспериментального исследования процесса торможения автомобиля на нешипованных шинах на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ	169
4.4.2. Результаты экспериментального исследования процесса торможения автомобиля с шипованными шинами на зимних дорогах	178

4.4.3. Результаты моделирования процесса торможения автомобиля категории М1 на зимних дорогах	185
4.4.4. Результаты исследования остановочного пути КТС категории М1 на зимних дорогах, покрытых ХПГМ	188
4.5. Уточненная методика экспертиз ДТП с наездом автомобиля на пешехода в темное время суток на дорогах, покрытых ХПГМ	191
4.5.1. Экспертиза ДТП с наездом КТС категории М1 на пешехода на зимних дорогах в темное время суток при известном уровне загрязнения фар	195
4.5.2. Экспертиза ДТП с наездом КТС категории М1 на пешехода на зимних дорогах в темное время суток при известной силе света фар	196
4.6. Выводы по четвертой главе	200
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	206
РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ	206
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	210
Приложение 1	222
Приложение 2	228

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ABS – антиблокировочная система

АТЭ – автотехническая экспертиза

БС – ближний свет

ВРВ – время реакции водителя

ВСП - внешние световые приборы

ДС – дальний свет

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

ЗС – зимняя скользкость

КС – коэффициент сцепления

КТС – колесное транспортное средство

ЛФ – левая фара

НУД – неосвещенные участки дорог

ОИ – объект исследования

ОП – остановочный путь

ПМ - поддрессоренная масса

ПН – попутное направление

ПО ХПГМ – продукты обработки химическими противогололедными материалами

ПТ – процесс торможения

ПФ – правая фара

ПЧ – проезжая часть

РВВ – расстояние видимости водителем

СББ - стенд с беговыми барабанами

СС – структурная схема

СФФ – сила света фар

ТВС – темное время суток

ТМ – тормозной механизм

ТО – темная одежда

ТП – тормозной путь

ТС – тормозная система

УНВ – условия недостаточной видимости

ЭИ – экспериментальное исследование

ЭШ - эластичная шина

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В России из года в год увеличивается парк колесных транспортных средств (КТС). При этом на автомобильных дорогах всего за три дня погибших и пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) людей больше, чем на протяжении всего года на других видах транспорта. Это говорит о том, что автомобильный транспорт является одним из самых опасных видов.

Согласно статистическим данным, большое число дорожно-транспортных происшествий связано с наездом и гибелью пешеходов на зимних дорогах в темное время суток (ТВС) в условиях плохой видимости. При этом зимний период является преобладающим по продолжительности в большинстве регионов Российской Федерации. В большей части зимнего периода дороги России характеризуются зимней скользкостью (ЗС), вызванной низкими температурами, выпадением снега, а также отложением и замерзанием снега и льда на дорожном покрытии. Зимняя скользкость дорог приводит к увеличению тормозного пути (ТП) колесных транспортных средств и увеличению числа ДТП, в том числе с летальным исходом.

В борьбе с зимней скользкостью дорожные службы активно применяют химические противогололедные материалы (ХПГМ), нанося их на рыхлый снег, снежный накат, стекловидный лед или их сочетания. Под действием ХПГМ снежно-ледяные отложения начинают таять, образуя совместно с фрикционными материалами (песок, шлак, ПГС и пр.) жидкие фракции на дороге, которые поднимаются колесами движущихся КТС, загрязняя приборы освещения и световой сигнализации (*указатели поворота, стоп-сигналы*) и световозвращатели. Поднятые колесами КТС продукты обработки дороги химическими противогололедными материалами (ПО ХПГМ) оседают на поверхности фар автомобилей, снижают освещенность дороги, видимость водителем придорожной инфраструктуры, стоящих на обочине объектов, а также пешеходов. При этом водитель не имеет информации об уровне загрязнения фар, а их омыватели в условиях низких температур Сибири замерзают и поэтому не работают.

Многочисленные результаты исследований показывают, что дорога, обработанная ХПГМ, имеет крайне низкие фрикционные свойства. Таким образом, в зимнее время на неосвещенных участках дорог (НУД), обработанных ХПГМ, складывается крайне опасная ситуация. С одной стороны, загрязнение фар КТС продуктами ХПГМ значительно снижает расстояние видимости водителем (РВВ) пешехода на проезжей части, а с другой – на обработанной ХПГМ дороге значительно снижается коэффициент сцепления (КС) шин, увеличивается тормозной путь КТС, и водитель, выполняя торможение, зачастую не имеет возможности вовремя остановить транспортное средство. Все это снижает безопасность движения КТС, приводит к росту числа ДТП, а также увеличивает тяжесть их последствий.

Как правило, в процессе проведения автотехнических экспертиз (АТЭ) на месте совершения дорожно-транспортного происшествия уровень загрязнения фар продуктами обработки ХПГМ не фиксируется. При этом и не учитывается один из важных факторов ДТП – возможность водителя видеть пешехода, участника дорожного движения или препятствие на неосвещенной зимней дороге, своевременно остановить КТС и предотвратить ДТП.

Объективность проведения таких автотехнических экспертиз с наездом КТС на пешеходов в темное время суток на неосвещенных участках дорог, покрытых ХПГМ, в условиях зимней скользкости, сдерживается недостатком знаний о закономерностях влияния загрязнения их световых приборов ПО ХПГМ на видимость водителем в темное время суток придорожной инфраструктуры, пешеходов и транспорта на дороге. Проблема усугубляется и отсутствием знаний о закономерностях, связывающих расстояние видимости пешеходов зимой на неосвещенных участках дорог в темное время суток с допустимой скоростью движения КТС по условиям видимости и с длиной его остановочного пути при экстренном торможении на дорогах, покрытых противогололедными материалами.

В связи с вышеизложенным данное научное исследование направлено:

– на выявление закономерностей влияния загрязнений световых приборов КТС ПО дороги ХПГМ на *видимость водителем* в темное время суток пешеходов в темной одежде и *допустимую скорость по условиям видимости*;

– на выявление закономерностей влияния обработки дороги ХПГМ на длину тормозного и остановочного путей КТС;

– на разработку методики, позволяющей рассчитывать *расстояние видимости* водителем пешеходов в темной одежде, *допустимую скорость КТС по условиям видимости* в темное время в условиях загрязнения световых приборов ХПГМ и остановочный путь автомобилей категории М1 на зимних дорогах, покрытых противогололедными материалами.

Научное исследование является актуальным, имеет важное народно-хозяйственное и социальное значение, поскольку позволяет существенно повысить объективность проведения автотехнических экспертиз ДТП с наездом автотранспортных средств на пешеходов в зимний период на дорогах, покрытых ХПГМ, в темное время суток.

Цель исследования. Повышение объективности проведения автотехнических экспертиз ДТП с наездом КТС на пешеходов на зимних дорогах в темное время суток в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов продуктами обработки дороги химическими противогололедными материалами.

Рабочая гипотеза. Объективность проведения автотехнических экспертиз ДТП с наездом КТС на пешеходов на зимних дорогах в темное время суток в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов продуктами обработки дороги ХПГМ, можно значительно повысить на основе использования закономерностей, связывающих расстояние видимости водителем пешеходов, ограниченное загрязнением световых приборов ХПГМ, с допустимой скоростью по условиям видимости и величиной остановочного пути автомобиля

категории М1.

Объект исследования. Процесс экстренного торможения КТС категории М1 на зимних дорогах в темное время суток в условиях недостаточной видимости водителем пешеходов на проезжей части дороги, вызванной загрязнением световых приборов продуктами обработки дороги ХПГМ.

Предмет исследования. Закономерности, отражающие связь параметров, характеризующих видимость водителем пешеходов и участников движения в условиях загрязнения световых приборов противогололедными материалами с параметрами, характеризующими процесс экстренного торможения КТС на зимних дорогах.

Задачи исследования

1. Разработать математическую модель процесса торможения автомобиля категории М1 на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, учитывающую работу ABS, перераспределение нагрузки между осями КТС при торможении, а также характеристики шипованных и нешипованных шин.
2. Выполнить экспериментальные исследования процесса загрязнения фар КТС и силы их света на дорогах, обработанных ХПГМ.
3. Выявить закономерности изменения расстояния видимости водителем пешехода в темной одежде на проезжей части дороги в темное время суток от уровня загрязнения и силы света фар КТС на дорогах, обработанных ХПГМ.
4. Установить функциональные зависимости тормозного и остановочного пути КТС категории М1 на зимних дорогах, обработанных ХПГМ, от начальной скорости торможения;
5. На основе выявленных зависимостей разработать уточненную методику экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в темной одежде в темное время суток на зимних неосвещенных дорогах, покрытых ХПГМ.
6. Выполнить производственную проверку и дать оценку результатам

проведенного научного исследования.

Степень разработанности темы. По теме диссертации учеными ФГБОУ ВО «МАДИ», НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», ФГБОУ ВО «НГТУ» им. Р.Е. Алексеева, ФГБОУ ВО «СибАДИ», ФГБОУ ВО «ЗабГУ» и др. выполнены исследования по выявлению негативных последствий применения ХПГМ на дорогах общего пользования. Проведены глубокие исследования, направленные на выявление закономерностей процесса изменения коэффициента сцепления колес с заснеженной, покрытой льдом, зимней дорогой. Выполнены исследования процесса снижения тормозной эффективности КТС на дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами; получены зависимости изменения аварийности от состояния дорожного полотна, покрытого ХПГМ. Проведены исследования последствий применения химических реагентов на сцепные качества дорожных покрытий.

Известны научные исследования, посвященные вопросу влияния применения противогололедных реагентов на показатели управляемости КТС, его проходимости и устойчивости, оценке продольных сцепных свойств автомобильных шин с дорожным покрытием, обработанным реагентами. Анализ опубликованных работ позволил установить, что исследований, позволяющих оценить влияние таких значимых факторов, как работа ABS, применение шипованных шин на процесс торможения КТС на дорогах, покрытых ХПГМ, не проводилось.

Выполнен обзор научной работы, где автор предполагает, что повысить безопасность пешеходов в темное время суток в условиях недостаточной видимости на дорогах возможно за счет усовершенствования средств информирования водителя.

Группой ученых ФГБОУ ВО «ВСГУТУ» и ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» разработан шинный тестер на базе легкового прицепа, позволяющий проводить исследования сцепных свойств автомобильных шин в боковом направлении на дорогах, покрытых ХПГМ. Теоретически обоснованы

методики оценки влияния реагентов на фрикционные свойства шин.

Исследований по выявлению закономерностей влияния загрязнения световых приборов автомобилей продуктами обработки ХПГМ на освещенность ими дороги и расстояние видимости водителем пешехода на проезжей части дороги не проводилось.

Научной новизной исследования обладают:

– впервые выявленные зависимости изменения *силы света* автомобильных фар КТС от *уровня их загрязнения* продуктами обработки ХПГМ;

– впервые выявленные зависимости изменения *расстояния видимости* водителем пешехода в темной одежде в темное время суток на неосвещенных участках дорог *от уровня загрязнения* фар автомобиля продуктами ХПГМ;

– впервые установленная математическая зависимость *расстояния видимости* водителем пешехода в темной одежде на неосвещенных участках дорог *от силы света* автомобильных фар в условиях их загрязнения ПО ХПГМ;

– впервые научно обоснована и экспериментально подтверждена уточненная методика, позволяющая определять *расстояние видимости* водителем пешехода в темной одежде, *допустимую скорость по условиям видимости* на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, в темное время суток в зависимости *от уровня загрязнения фар* ХПГМ и *силы их света* и *остановочный путь КТС* категории М1 с учетом коэффициента сцепления колес с дорогой. Методика значительно повышает объективность проведения автотехнических экспертиз с наездом КТС на пешеходов на зимних дорогах в темное время суток в условиях загрязнения их фар ПО дороги ХПГМ.

Положения, выносимые на защиту

1. При движении КТС по дорогам, покрытым ХПГМ, происходят загрязнение световых приборов и значительное снижение освещенности участков дорог в темное время суток. Это снижает расстояние видимости водителем дорожной обстановки и пешеходов. При этом в условиях низких

температур Сибири устройства очистки фар, как правило, не работают, а водители КТС не имеют информации об уровне загрязнения фар, что значительно снижает расстояние видимости пешеходов на проезжей части дороги.

2. Выявленные закономерности позволяют рассчитывать расстояние видимости водителем пешеходов в темной одежде на проезжей части дороги при известных параметрах силы света и загрязнения фар продуктами ХПГМ, допустимую скорость движения по условиям видимости, а также величину остановочного пути автомобиля при его экстренном торможении на дорогах, покрытых ХПГМ, при коэффициенте сцепления шины с дорогой от 0,3 до 0,4 и времени реакции водителя от 1,2 до 2 сек.

3. Разработанная уточненная методика экспертиз ДТП с наездом КТС на пешеходов в темной одежде на зимних дорогах в темное время суток в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов продуктами обработки дороги ХПГМ, реализующая выявленные зависимости, позволяет рассчитывать расстояние видимости водителем пешеходов, *допустимую скорость* КТС категории М1 *по условиям видимости*, а также остановочный путь автомобиля на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, с низким коэффициентом сцепления (0,3÷0,4), и тем самым более достоверно оценивать возможность водителя предотвратить ДТП.

Методы исследования

В процессе выполнения аналитических исследований тормозного и остановочного путей применяли методы дифференциального исчисления, численные методы решения дифференциальных уравнений, методы математического моделирования и анализа.

Во время выполнения экспериментов применяли методы контроля светопропускания стеклянных накладок на фары КТС, методы измерения направленности и силы света фар, методы лазерного измерения расстояния видимости пешехода по ширине проезжей части дороги. В ходе экспериментальных исследований использовали метрологически поверенное

научно-исследовательское оборудование.

В процессе планирования эксперимента, обработки его результатов, в процессе оценки адекватности математической модели применяли методы теории вероятностей и статистические методы.

Теоретическая значимость исследования. Выявленные в процессе исследования автором закономерности позволяют аналитически определять *допустимую скорость КТС категории М1* в условиях недостаточной видимости водителем пешеходов и участников движения, вызванной загрязнением световых приборов, в зависимости от уровня их загрязнения и силы света, и остановочный путь КТС категории М1 на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, с учетом коэффициента сцепления колес с дорогой. Также выявленные закономерности позволяют аналитически определять расстояние видимости водителем КТС пешеходов, с учетом силы света и уровня загрязнения фар продуктами обработки дороги ХПГМ.

Практическая значимость результатов исследования

Научно обоснованный комплекс мер, выявленные закономерности и реализующая их разработанная уточненная методика позволяют:

- экспертам, выполняющим экспертизу ДТП, рассчитывать расстояние видимости водителем пешеходов, допустимую скорость КТС по условиям видимости на зимних дорогах, покрытых противогололедными материалами, в темное время суток в условиях загрязнения световых приборов, а также остановочный путь автомобиля, тем самым повышать объективность заключений дорожно-транспортных экспертиз ДТП, оформляемых экспертами в экспертных учреждениях;

- органам ГИБДД и дорожным службам применять аргументированные действия, повышающие безопасность движения в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов КТС противогололедными материалами.

Реализация результатов работы. Уточненная методика экспертиз дорожно-транспортных происшествий, с наездом автомобиля на пешехода в

темной одежде в темное время суток на дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами, прошла проверку и внедрена в работу ООО «Забайкальский центр судебной экспертизы» (г. Чита), в «Бюро судебной экспертизы» (ИП Родак В.Ю., г. Иркутск) и в учебный процесс кафедры «Автомобильный транспорт» ИАМиТ ФГБОУ ВО ИРНИТУ.

Ее экспериментальная проверка показала, что погрешность определения расстояния видимости водителем автомобиля с загрязненными фарами пешехода в темной одежде в темное время суток на неосвещенном участке дороги, покрытой ХПГМ, в процентном выражении может быть снижена в два раза.

Выявленные закономерности позволяют определять допустимую скорость КТС категории М1 по условиям видимости с фарами, загрязненными ПО дороги ХПГМ, обеспечивающую предотвращение наезда на пешехода на неосвещенных зимних дорогах в темное время суток. Это позволяет значительно повышать объективность экспертизы ДТП и дает значительный социальный эффект.

Апробация работы

Материалы и результаты научного исследования доложены и одобрены на 83-й, 99-й, 106-й и 116-й Международных научно-технических конференциях Ассоциации автомобильных инженеров в ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» (г. Иркутск, 2013, 2015, 2017, 2019, 2023 гг.); на научно-практической конференции Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, посвященной 95-летию образования Республики Бурятия (г. Улан-Удэ, 9–13 апреля 2018 г.); на IV, X, XII Международных научно-технических конференциях «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» (г. Иркутск, 2014, 2018, 2019 гг.), на VII Международной конференции «Проблемы механики современных машин» (г. Улан-Удэ, 25–30 июня 2018 г.), на II Всероссийской научно-практической конференции «Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация», ФГБОУ ВО

«ЗаБГУ» (г. Чита, 30–31 октября 2018 г.); на Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергоэффективность автотранспортных средств: Нанотехнологии, информационно-коммуникационные системы, альтернативные источники энергии» (г. Воронеж, 14–17 мая 2019 г.); на V Международной сетевой научно-технической конференции «Интеграционные процессы в научно-техническом и образовательных пространствах» (Киргизская Республика, г. Бишкек, 17–18 сентября 2019 г.).

Личный вклад автора состоит в формулировании цели, задач диссертационной работы и научной гипотезы, в постановке и решении научных задач, в разработке математических моделей и проведении расчетов, научном обосновании уточненной методики, направленной на повышение объективности экспертиз ДТП с наездом КТС на пешехода на зимних дорогах в темное время суток в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов противогололедными материалами, в подготовке и проведении экспериментальных и аналитических исследований – от идеи до практической реализации, в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, содержит 230 страниц, 34 таблицы, 97 иллюстраций, список литературы из 106 наименований, 2 приложения.

Публикации. По теме диссертации опубликована 21 печатная работа общим объемом 5,1 усл. п.л., в том числе 5 работ в журналах, индексируемых международной системой цитирования Scopus, Web of Science, 5 работ в изданиях из перечня ВАК Минобрнауки РФ.

Работа выполнена на кафедре «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» в период с 2012 по 2023 гг.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Общий анализ статистики ДТП в Российской Федерации и регионах Сибири

В нашей стране, да и за рубежом, автомобильный транспорт занимает доминирующее положение по сравнению с другими видами транспорта.

Более 75 % от общего числа пассажиров ежегодно перевозится автомобильным транспортом общего пользования, а грузовым транспортом - более 80 % объема всех грузов. В стране неуклонно растет парк индивидуального легкового автомобильного транспорта категории М1.

Статистика подтверждает, что в стране дорожно-транспортные происшествия (ДТП) стали происходить чаще, по сравнению с предыдущими годами, а количество погибших и раненых не уменьшается [53]. На этом основании, автомобильный транспорт можно считать самым опасным видом транспорта.

Согласно статистическим данным ГИБДД, опубликованным на официальном сайте в Российской Федерации за 2022 год, большая доля ДТП произошли по причине наезда колесных транспортных средств (КТС) на КТС, следовавших в попутном направлении (ПН) (рис. 1.1). Из их общего числа, 24,6 % участников дорожного движения погибло в ДТП, произошедших на скользких дорогах (рис. 1.1, а). На дорогах, покрытых ХПГМ – 5,6 % погибших (рис. 1.1, а). Следует отметить, что в ДТП с наездом на КТС в ПН, которые произошли в условиях ограниченной видимости и плохой погоды, доля погибших составляет 34,9 % (рис. 1.1, б), а на федеральных трассах - 81 % (рис. 1.1, в). Из общего числа ДТП с наездом на КТС в попутном направлении 38 % людей погибли в ТВС на НУД и в сумерках (рис. 1.1, г) [53].

Очень велика доля ДТП, связанных с наездом КТС на стоящих или идущих вдоль дороги пешеходов. Статистика показывает, что в подобного рода ДТП, которые произошли на дорогах с низким сцеплением (*гололед*,

снег, мокрое покрытие и пр.), число погибших составляет - 32,8 %, а на дорогах, покрытых ХПГМ погибло 5 % пешеходов (рис. 1.2, а).

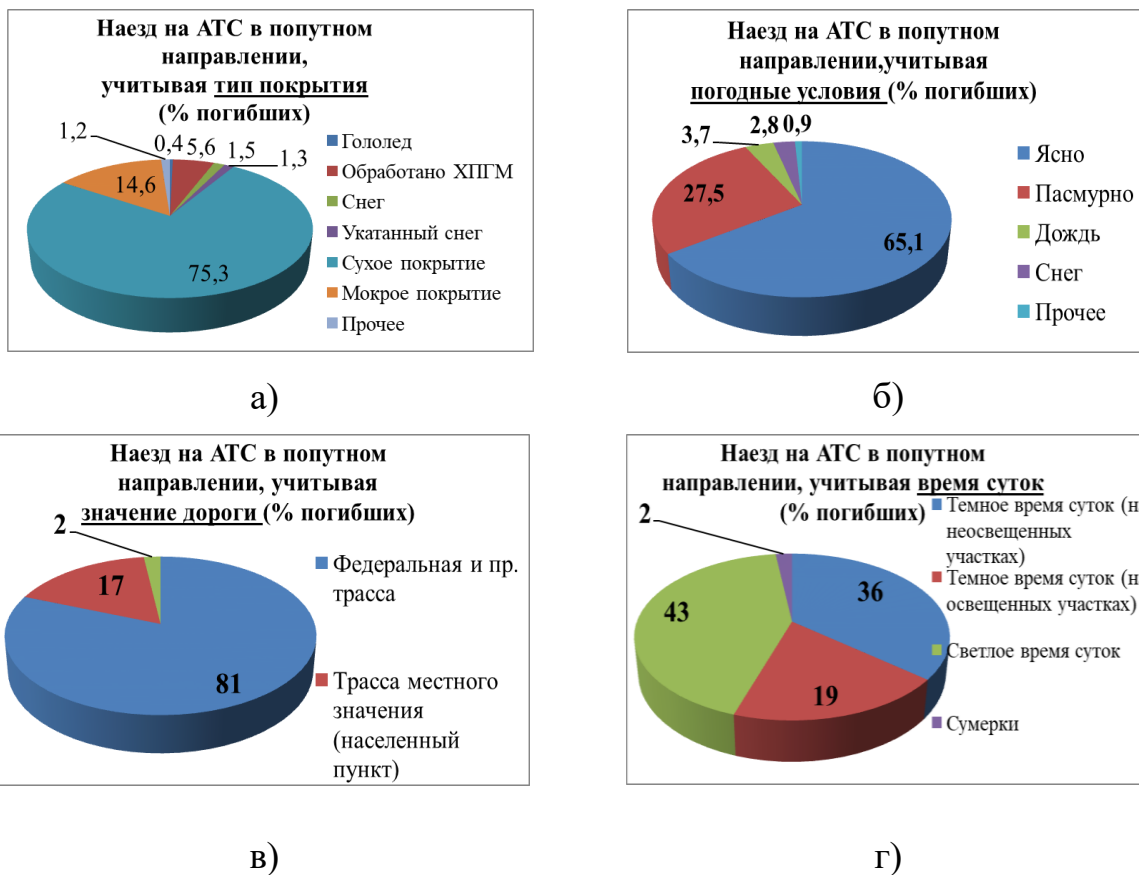


Рис. 1.1. Статистические данные о ДТП при наезде на транспортное средство в попутном направлении в РФ за 2022 год

Большая доля погибших в ДТП (47 %) с наездом на стоящих или идущих вдоль дороги пешеходов, произошедших в условиях недостаточной видимости (УНВ) (рис. 1.2, б). Эти ДТП сопровождалось такими неблагоприятными погодными условиями, как снег, дождь, пасмурная погода и пр.

Статистика показывает, что 64 % погибших в ДТП с наездом на стоящих или идущих вдоль дороги пешеходов, произошли на федеральных магистралях, остальные – на трассах местного значения (рис. 1.2, в).

Особо следует отметить тот факт, что в ДТП с наездом на стоящих или идущих вдоль дороги пешеходов, которые происходят именно в темное время суток на НУД, гибнет больше всего людей - 71 % (рис. 1.2, г) [53].

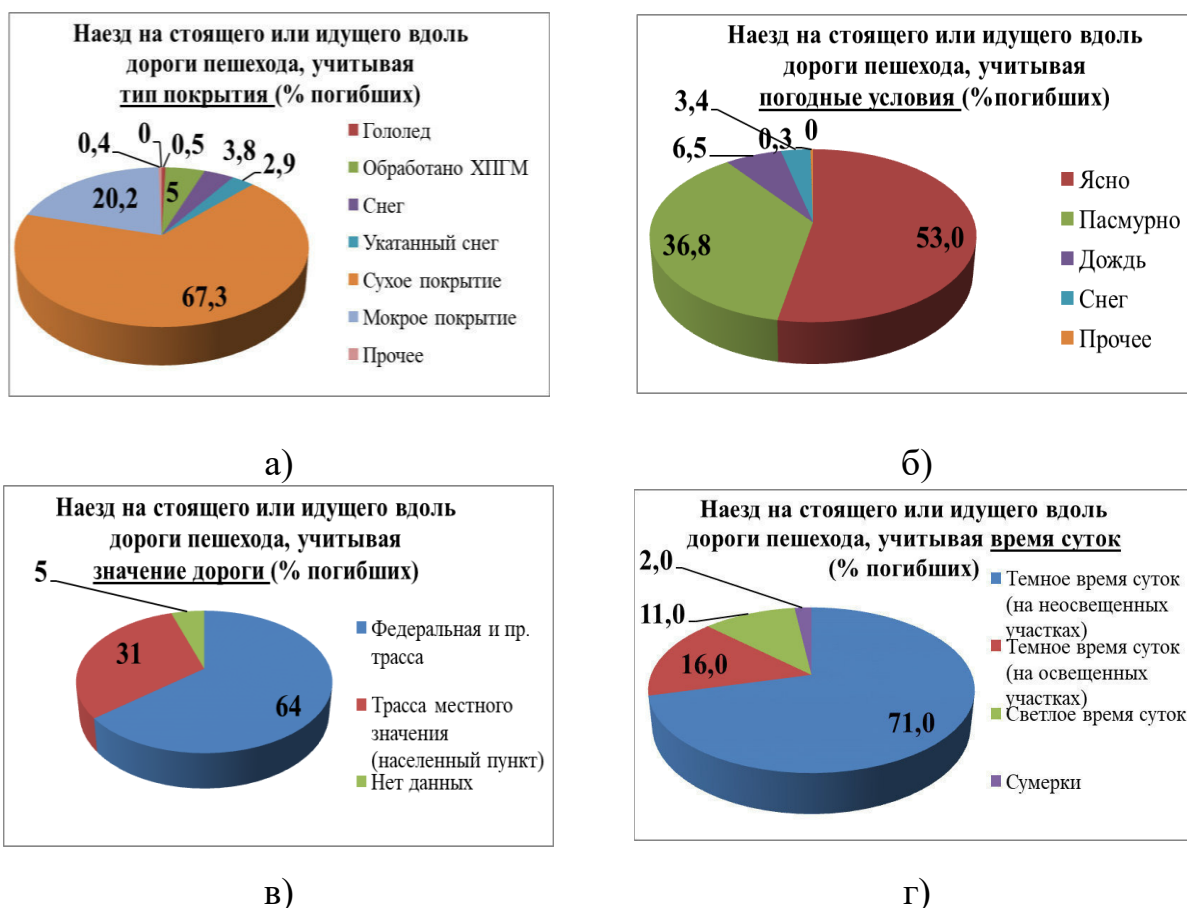


Рис. 1.2. Статистические данные о ДТП при наезде на стоящего или идущего вдоль дороги пешехода в РФ за 2022 год



Рис. 1.3. ДТП с наездом на пешехода в ТВС

Исходя из данных статистики, высокий процент погибших в ДТП приходится на зимний период в ТВС в УНВ на дорогах с низкими фрикционными свойствами (рис. 1.3).

Зимний период является преобладающим по продолжительности

времени в большинстве регионов Российской Федерации. Большая его часть характеризуется скользкими дорогами, вызванными выпадением снега, низкими температурами, а также отложением и замерзанием снега на дорожном покрытии. В отличие от западных регионов России, это особенно актуально для регионов Сибири, где зимний период отличается крайне низкими температурами, высокой продолжительностью холодного времени года и скользкими дорогами. На протяжении десятков лет для обеспечения безопасности движения КТС в холодное время года на многих участках дорог нашей страны дорожные службы в борьбе с ЗС активно практикуют применение противогололедных материалов.

В рамках анализа результатов применения ХПГМ в зимний период на дорогах Сибири были проанализированы три сибирских региона: Иркутская область, Забайкальский край и Республика Бурятия [53].

В Иркутской области противогололедную обработку дорог в период зимней скользкости дорожные службы ведут активно и регулярно. Причем как на проезжих частях улиц города Иркутска, так и на дорогах вне населенных пунктов. Обработка дорог Иркутской области ведется в течение всего холодного периода времени года и особенно тщательно в периоды активного выпадения снега. В результате на проезжей части (ПЧ) улиц и на загородных участках дорог очень часто образуется «сэндвич» из слоев снега, и песка на уплотненном снежном накате поверхности дороги. При этом между снежным накатом и снежно-песчаным слоем содержится солевой рассол (рис. 1.4), который вместе с частицами снега и песка поднимается колесами впереди и сбоку движущихся КТС и загрязняет соседние автомобили.

В Республике Бурятия борьба с зимней скользкостью на большей части дорог ведется методом уборки снежного покрова и нанесения на очищенную поверхность дороги песка. При этом обработка дороги химическими противогололедными материалами на основе соли ведется только на трассе

Р-258 «Байкал» на единственном участке протяженностью 236 км. В городе Улан-Удэ применение ХПГМ на проезжей части улиц и тротуарах запрещено на законодательном уровне.



а)

б)



в)

г)

Рис. 1.4. Дороги Иркутской области, обработанные химическими противогололедными материалами: а, б – проезжие части дорог в черте города Иркутска; в, г – на федеральной дороге Р-258 «Байкал»

В качестве примера на рис. 1.5 представлены фотографии, которые были выполнены в один и тот же день в феврале 2017 года на федеральной трассе Р-258 «Байкал» во время поездки от п. Турка (Республика Бурятия) до г. Иркутска. На рис. 1.5, а отчетливо виден результат обработки иркутского участка дороги ХПГМ. При этом на участке той же дороги на территории

Республики Бурятия снег убран и поверхность дороги посыпана песком (рис 1.5, б).

В Забайкальском крае применение ХПГМ на загородных дорогах не производится. В г. Чите иногда на проезжие части улиц наносят жидкие противогололедные реагенты с целью борьбы с черным льдом.



а)



б)

Рис. 1.5. Вид участков федеральной трассы Р-258 «Байкал» в зимний период: а – в Иркутской области (дорога обработана ХПГМ); б – в Республике Бурятия (на дороге убран снег и посыпан песок)

Обработка дорог химическими противогололедными материалами призвана повышать безопасность дорожного движения. Но как показывает статистика, применение ХПГМ ведет к снижению фрикционных свойств дорог и возникновению ДТП. Как уже было отмечено выше, особенно часты ДТП в темное время суток с наездом на стоящих или идущих вдоль дороги пешеходов, особенно на неосвещенных участках дорог.

Анализ статистических данных ГИБДД РФ по числу ДТП, произошедших в указанных выше сибирских регионах, в зимний период (с ноября по март в 2020–2022 гг.), представлен на рис. 1.6, а и б.

Он показывает, что в Иркутской области в зимний период дорожно-транспортных происшествий происходит в 2,7 раз больше, чем в Забайкальском крае и в 2,8 раз больше, чем в Республике Бурятия.

Анализ статистических данных по погибшим в ДТП на рис. 1.7, а и б,

показывает, что в Иркутской области погибших в ДТП по сравнению с Забайкальским краем в 1,9 раз больше и в 3 раза больше, чем в Бурятии, причем зимой в Иркутской области этот показатель увеличивается на 38 %.



Рис. 1.6. Статистика **числа ДТП**, произошедших в регионах Сибири за 2020–2022 годы **в темное время суток**: а – в зимнее время года; б – в летнее время года

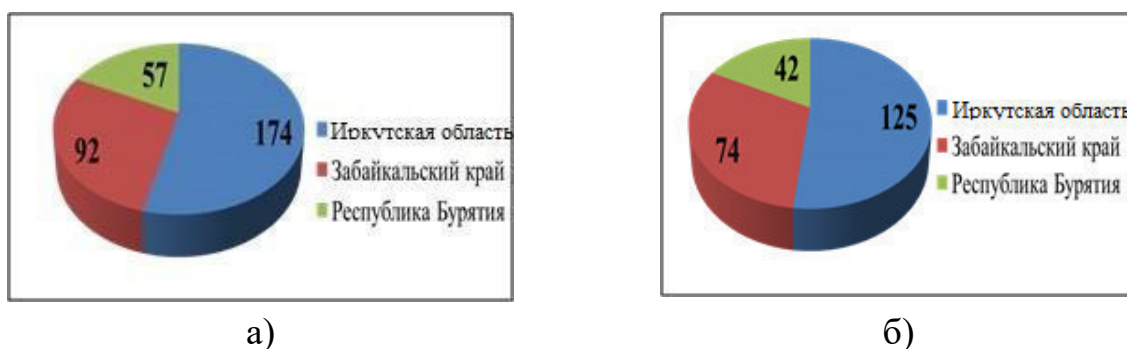


Рис. 1.7. Статистика **количества погибших в ДТП**, произошедших в регионах Сибири за 2020–2022 годы **в темное время суток**: а – в зимнее время года; б – в летнее время года



Рис. 1.8. Статистика **количества раненых в ДТП**, произошедших в регионах Сибири за 2020–2022 годы **в темное время суток**: а – в зимнее время года; б – в летнее время года

Аналогичный анализ статистических данных ГИБДД РФ по количеству

раненых в ДТП показывает, что раненых в ДТП, произошедших в Иркутской области в 3 раза больше, чем в Забайкальском крае, и в 2,6 раз больше, чем в Республике Бурятия (рис. 1.8, а и б) [53].

Не менее интересны результаты анализа числа ДТП, произошедших в регионах Сибири по времени года. Так, в Иркутской области в зимнее время года в темное время суток ДТП происходят на 38 % больше, чем в летнее время, при этом в них гибнет на 28 % больше, чем в летний период, а количество раненых зимой на те же 40 % больше, чем в летний период.

Аналогичный анализ ДТП по Республике Бурятия показывает, что в зимнее время года в темное время суток ДТП происходят только на 7,5 % больше, чем в летнее время, а количество раненых зимой на 3,2 % больше, чем в летний период. Примерно такая же статистика по ДТП и в Забайкальском крае.

Приведенный анализ статистических данных показывает, что обработка дорог ХПГМ в рамках борьбы с зимней скользкостью не всегда дает ожидаемый положительный результат. Побочным эффектом противогололедной обработки зимних дорог Сибири ХПГМ является снижение фрикционных свойств дорожного покрытия, повышения числа ДТП, особенно в темное время на неосвещенных участках дорог в УНВ водителем пешеходов, транспортных средств и придорожной инфраструктуры.

1.2. Анализ причин аварийности КТС на зимних дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами

Одним из ключевых документов, направленных на решение проблемы скользкости на зимних дорогах РФ, считается отраслевой дорожный методический документ «Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах» и ГОСТ Р 50597-93 Государственный стандарт Российской Федерации *«Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения*

безопасности дорожного движения» (утвержден Постановлением Госстандарта России от 11.10.1993 N 221) [18, 60]. В первом документе изложены: дорожная классификация зимней скользкости и противогололедных материалов, способы, технологии и организация борьбы с ЗС на автомобильных дорогах, нормы распределения противогололедных материалов (ПГМ) и др. Дорожные службы призваны обеспечивать транспортно-эксплуатационное состояние дорог, удовлетворяющее требованиям ГОСТ Р 50597-93 и соответствовать заданному уровню их содержания [18, 21, 60].

Для выполнения этих требований дорожные службы обязаны осуществлять предписанные нормативными документами правила:

- мероприятия профилактического характера, направленные на препятствование: появления ЗС на дорожном покрытии, ослабления сцепления снежно-ледяного покрова с дорожным покрытием, максимальном уменьшении прочных свойств снежно-ледяных формирований [60];

- мероприятия профилактического характера, направленные на повышение сцепных свойств дорожного полотна, в случае образования на нем снежно-ледяного покрова, гололеда, укатанного снега и т. д. за счет искусственно созданной шероховатости или расплавления снежно-ледяного покрова (гололедных пленок) [60].

Руководствуясь данным документом, решением Думы г. Иркутска *«О правилах благоустройства территории г. Иркутска»* (ст. 86) в осенне-зимний период (с 15 октября по 15 апреля) уборка проезжей части улиц, проездов и т. п. осуществляется с применением специализированной техники и противогололедных материалов [27].

Противогололедные материалы, которыми обрабатывают дороги общего пользования, бывают химические, фрикционные и комбинированные. В состав фрикционных материалов вводят только натуральные природные компоненты (смеси песка, гравия, щебня). В состав химических противогололедных материалов (ХПГМ) в качестве химических примесей

добавляют *твердые соли*, такие как хлорид натрия, соль сильвинитовых отвалов и хлорид кальция [71].

ХПГМ наносят на стекловидный лед, рыхлый снег, снежный накат или их сочетания. Под действием ХПГМ снежно-ледяные отложения начинают таять, образуя совместно с фрикционными материалами (песок, шлак, ПГС и пр.) жидкую грязь на дороге.

Многолетний опыт эксплуатации КТС по дорогам Сибири убедительно показывает, что образовавшаяся жидкая грязь поднимается колесами впереди движущихся транспортных средств и загрязняет приборы освещения и световой сигнализации сзади идущих попутных и встречных автотранспортных средств. Загрязняет сигналы указателей поворота, габаритные огни, световозвращатели и стоп-сигналы. Опыт эксплуатации КТС на зимних дорогах сибирских регионов показывает, что установленные на некоторых автомобилях омыватели фар не работают, поскольку форсунки омывающих устройств примерзают под действием налипания снега, грязи и действия низких температур, набегающего на КТС воздуха (рис. 1.9).



а)

б)

Рис. 1.9. Внешний вид фар автомобиля категории М1: а – чистая фара; б – фара, загрязненная ПО ХПГМ. Стрелкой обозначена форсунка, призванная выполнять очистку фары.

Проведенный поисковый эксперимент показывает, что загрязнение

поверхностей фар автомобиля продуктами обработки ХПГМ приводит к тому, что в процессе его движения снижается сила света фар (ССФ) и, как следствие, освещенность дороги в темное время на неосвещенных ее участках. Очень важно, что водители при этом не имеют информации об уровне загрязнения фар. Более того, они, как правило, не замечают снижение освещенности дороги либо замечают слишком поздно, когда дорогу видно очень плохо. Загрязнение фар ХПГМ значительно сокращает расстояние видимости водителем (РВВ) участников дорожного движения, дорожной инфраструктуры и пешеходов в темной одежде (ТО) в темное время суток (ТВС) (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Видимость водителем пешеходов в темной одежде в ТВС на неосвещенной дороге

По данным официального сайта ГИБДД РФ, высокий процент ДТП с

наездом на пешеходов происходит именно в ТВС на НУД. При этом большинство погибших и пострадавших в ДТП пешеходов были в темной одежде (ТО) (см. рис. 1.2, г) [53].

В практике экспертной деятельности часто применяется термин «темная одежда». В процессе выполнения автотехнических экспертиз [33, 35, 37, 38] темной одеждой считают одежду, которая имеет темные цветовые комбинации серо-темных, черных, коричневых, фиолетовых тонов и оттенков [104]. На рис. 1.11 изображен график, показывающий влияние цвета одежды пешехода на расстояние его видимости водителем.



Рис. 1.11. График зависимости расстояния видимости водителем пешеходов в зависимости от цвета их одежды [103]

График на рис 1.11 убедительно показывает, что пешеход в одежде со световозвращательными (люминесцентными) элементами будет виден водителем на дороге с расстояния 130 метров. Пешеход в белой одежде будет виден водителем на дороге с расстояния 55 метров, в желтой одежде – с расстояния 35–40 м., в красной – с расстояния 20–25 м., а вот пешехода в темной одежде водитель сможет увидеть только с расстояния всего лишь 15–20 м. [103]. По этой причине водитель при движении в ТВС или в УНВ не имеет возможности, чтобы принять меры для экстренной остановки

автомобиля или его маневра в случае, если пешеход облачен в темную одежду. Это неизбежно ведет к росту числа ДТП с наездом КТС на пешеходов.

С 1 июля 2015 года российские законодатели обязали пешеходов при переходе дороги вне населенных пунктов в УНВ иметь при себе предметы со световозвращающими элементами, которые значительно повышают расстояние видимости водителями транспортных средств пешеходов (п. 4.1 ПДД) [57]. За нарушение этого пункта ПДД даже введен штраф размере 500 руб. (ч. 1 ст. 12.29 КоАП), который на нарушителей накладывают очень редко [36].

Поэтому даже на законодательном уровне эту проблему решить не просто. Количество подобного рода ДТП не уменьшается. Многие пешеходы не считают необходимым обозначать себя световозвращающими элементами, чем подвергают опасности себя и других участников дорожного движения.

Таким образом, учитывая, что наибольшее число погибших и пострадавших в ДТП пешеходов были в темной одежде [53], при проведении данного научного исследования были приняты самые тяжелые условия для водителя и пешехода, т. е. исследовали расстояние видимости пешехода только в одежде темного цвета.

Не менее острой проблемой, связанной с применением на дорогах ХПГМ, является снижение фрикционных свойств дорожного покрытия. Выпавшие осадки в виде снега с противогололедными материалами на ПЧ дорог превращаются в грязные снежно-ледяные отложения. И эта субстанция имеет свойство замерзать при низких температурных режимах сибирских регионов. Таким образом, фрикционные свойства дорог в условиях низких температур (*еще более снижающихся в темное время суток*) также снижаются.

Зимняя скользкость дорог приводит к увеличению тормозного и остановочного путей колесных транспортных средств, при их экстренном торможении на зимних дорогах с низким КС [74]. В ТВС, в условиях загрязнения фар автомобиля продуктами обработки дороги

противогололедными материалами (ПО ХПГМ), это вдвойне опасно, поскольку большая длина ТП в УНВ водителем объекта на дороге могут привести (*и приводят*) к ДТП [21, 23, 97, 98].

В соответствии с правилами дорожного движения РФ (п. 10), разрешенная максимальная скорость движения автотранспортных средств в границах населенных пунктов составляет – 60 км/ч, на автомагистралях – не более 110 км/ч, и на остальных дорогах – не более 90 км/ч [57]. Учитывая, что согласно КоАП РФ (ст. 12.9), допустимое превышение скорости КТС составляет 20 км/час, то скорость движения КТС в населенных пунктах нередко составляет 80 км/ч, а вне населенных пунктов – 110 км/ч [36].

Двигаясь по дорогам, обработанным химическими противогололедными материалами, водитель КТС не имеет достоверной информации об уровне загрязнения его фар продуктами ХПГМ. Поэтому он не всегда имеет возможности объективно оценивать и выдерживать безопасный скоростной режим в ТВС. В УНВ, ограниченной загрязнением фар, тормозной и остановочный пути автомобиля на скользкой дороге становятся недостаточными. Это может повлечь наезд на пешехода или автотранспортное средство при экстренном торможении в ТВС на НУД.

При разборе причин ДТП, которые произошли зимой в ТВС на дорогах, обработанных ХПГМ, большинство участников ДТП отмечают, что поздно заметили препятствие. У них не было возможности вовремя среагировать и принять меры к предотвращению ДТП. При этом, как правило, дорога, покрытая ХПГМ, в ТВС при вечерних низких температурах была скользкой. В протоколах осмотра места ДТП отмечают, что фары КТС загрязнены или сильно загрязнены, т. к. омыватели фар автомобиля не работали [30].

Данные проблемные ситуации являются причинами большого числа ДТП, произошедших Сибири в ТВС на зимних дорогах обработанных ХПГМ (рис. 1.12) [53].



Рис. 1.12. Типичное ДТП в УНВ на НУД, покрытых химическими противогололедными материалами. Фото с сайта: <https://letsGOPHOTOS.ru/> – в общем доступе

Попытка снижения аварийности в ТВС на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, и проведение достоверных судебных автотехнической экспертиз ДТП сдерживаются отсутствием знаний о влиянии последствий применения ХПГМ на дорогах общего пользования на загрязненность и силу света фар КТС, расстояние видимости пешехода, дорожной инфраструктуры, длину тормозного и остановочного пути автомобиля в случае экстренного торможения, на дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами [21, 23].

1.3. Анализ исследований в области безопасности движения КТС на зимних дорогах, обработанных ХПГМ

Исследованиями в области повышения безопасности КТС на зимних дорогах занимались ученые: Абельханова Д.Р. [1], Аржанухина С.П. [2], Афанасьев А.А., Алексеев А.П., Бабков В.Ф., Балакин В.Д. [3], Ветрова В.В. [12], Гергенов С.М. [16], Гудков В.А., Дорохин С.В. [24], Иларионов В.А. [33], Ким П.А. [35], Клишковштейн Г.И., Корчагин В.А.,

Кочетков А.В., Кравченко П.А. [40], Кустарев Г.В. [41], Масленников В.Г. [45], Молев Ю.И. [46], Нюдь А.С. [52], Порхачева С.М. [56], Пугачев И.М., Рябчинский А.И., Сарайкин А.И. [62], Седов А.В. [64], Сильянов В.В. [65], Сютова Е.А. [70], Щипан И.В. и многие другие.

К настоящему времени коллективами ученых накоплен большой объем научных результатов, направленных на решение проблемы безопасности движения КТС на зимних дорогах, в том числе и на дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами.

Анализ публикаций показывает, что исследования, выполненные отечественными учеными, направлены на выявление последствий, а также снижение негативного влияния применения на дорогах ХПГМ, на безопасность движения КТС [23]. Стоит отметить, что за рубежом подавляющее число стран отказалось от применения ХПГМ в пользу покрытия скользких дорог твердыми гранулами мраморной или гранитной крошки, нагретой до температуры 90 градусов.

Ученым Молевым Ю.И. определена зависимость аварийности от состояния дорожного покрытия с учетом наличия неровностей на проезжей части, возникших из-за смешивания реагентов со снежным покровом. В работе представлена обобщенная модель изменения геометрических и физико-механических параметров снежного покрова, образующегося на поверхности дороги, покрытой ХПГМ. Эта модель учитывает следующие параметры: интенсивность выпадения осадков, температуру и влажность окружающего воздуха, интенсивность и скорость движения транспорта по соответствующей дороге, ее состав и основные характеристики. Так же установлено, что в пределах одной полосы образуется до трех характерных зон – колейная, межколейная и межполосная (зона обочины) [46].

Автор научно обосновал, что использование химических реагентов при наличии слоя уплотненного снега толщиной более 0,03 м, приводит к значительному увеличению параметров колеи на дороге, что обусловлено разницей в скорости разрушения снега в колейной и межколейной зонах [46]. В этом случае аварийность может быть увеличена в 2–3 раза. В то же время, из-за медленного разрушения уплотненного снега

или снежного наката в межколеяной и межполосной зонах, не происходит полного восстановления параметров, характеризующих безопасность дорожного движения [46].

Благодаря своей работе автор доказал, что при удалении снежного наката на дороге толщиной более чем 0,03 м, после применения ХПГМ, в течение 10 часов необходимо удалить с дорожного полотна образовавшуюся смесь химикатов и снежно-ледяных отложений специализированной дорожной техникой. В противном случае возможно увеличение роста аварийности на рассматриваемом участке на 10–20 % [46].

Научное исследование *«Повышение эффективности применения противогололедных реагентов при эксплуатации автомобильных дорог»* посвящено последствию химических реагентов на КС колес с дорогой, обработанной реагентами. Автором исследования Абельхановой Д.Р. [1] проанализировано противоречие: *«Самый эффективный способ борьбы со снижением коэффициента сцепления в той или иной степени (в зависимости от вида реагента) сам способствует его снижению»*. В своих исследованиях Абельханова Д.Р. анализирует фактор влияния реагента и его концентрации на сцепные качества дорожного покрытия, а также влияние температуры окружающей среды [1].

Автор отмечает, что однозначно говорить о влиянии вязкости раствора состава реагента на коэффициент сцепления покрытия нельзя. Обязательно необходимо учитывать плавящую способность композиций, вид реагента, влияние реагентов на экологию. В реальных дорожных условиях постоянно происходят изменения вязкости и концентрации раствора реагента. И это также необходимо учитывать. Раствор, находящийся на покрытии, при воздействии природных и других факторов, может постоянно менять свои свойства, в том числе вязкость и концентрацию [1].

Задачей научного исследования [12] была разработка комплексной методики, которая позволяет прогнозировать влияние ХПГМ на безопасность движения КТС по результатам ограниченного количества лабораторных испытаний реагентов в реальных дорожных условиях в различных погодных условиях, в холодное время года. Полученные результаты и выводы научного

исследования показывают, что *применяемые для борьбы с зимней скользкостью реагенты снижают сцепные качества дорожных покрытий*. Степень снижения зависит от свойств применяемых реагентов, способа борьбы с зимней скользкостью, погодных условий, состояния шероховатости и сцепных качеств дорог [12].

Группой ученых ФГБОУ ВО «ВСГУТУ» и ФГБОУ ВО «ИРННТУ» разработан шинный тестер на базе легкового прицепа, позволяющий проводить исследования сцепных свойств автомобильных шин в боковом направлении на дорогах, покрытых ХПГМ [16, 84]. Приведены результаты экспериментальных исследований, показывающие снижение фрикционных свойств шин в боковом направлении на дорогах, обработанных ХПГМ.

Проведен ряд научных исследований, посвященных изучению влияния применения противогололедных материалов на параметры устойчивости, управляемости и проходимости КТС, оценке продольных сцепных характеристик автомобильных шин на дорогах, покрытых ХПГМ [16, 41, 44].

Известна работа, в которой выдвигается гипотеза о том, что усовершенствование средств информационной поддержки водителей позволит повысить безопасность пешеходов в условиях недостаточной видимости [62].

1.4. Анализ методик экспертизы ДТП на зимних дорогах, обработанных ХПГМ

Обработка дорог ХПГМ вносит ряд проблем и в экспертизу возникающих на них ДТП. Наука об автотехнической экспертизе ДТП получила развитие благодаря таким отечественным ученым, как Балакин В.Д. [3], Бекасов В.А., Дорохин С.В. [24], Евтюков С.А. [28], Иларионов В.А. [33], Ким П.А. [35], Корухов Ю.Г. [37], Кристи Н.М., Лукошавичене О.В. [43], Масленников В.Г. [45], Порхачева С.М. [56], Ротенберг Р.В., Симуль М.Г. [61], Столяров В.В. [66], Суворов Ю.Б. [67], Чавва И.И. [88] и многим другим.

Подготовленный профессором Иларионовым В.А. учебник *«Экспертиза дорожно-транспортных происшествий»* содержит

методические рекомендации в помощь экспертам, следователям и судьям при производстве АТЭ исследований обстоятельств ДТП [33].

В настоящем издании рассматриваются элементы теории движения КТС на пневматических движителях, даются предписания по методикам экспертных исследований в процессе дорожно-транспортного происшествия, при различных режимах движения КТС. Подробно рассмотрены режим торможения, потеря устойчивости и управляемости КТС, режим объезда и обгона, столкновении транспортных средств (ТС) и т. д. Приведены методические указания по объективному анализу наезда ТС на пешехода. Так же в учебнике представлены методы исследования экспертами неисправностей автомобилей и их агрегатов [33].

Ученый Корухов Ю.Г. в учебно-методическом пособии *«Транспортно-трассологическая экспертиза по делам о ДТП»* подробно разбирает основные задачи, решаемые экспертами-трассологами при транспортно-трассологической экспертизе [37]. Задачами такой экспертизы являются:

- установление обстоятельств дела, связанных с идентификацией ТС, участвующего в ДТП;
- определение механизма происшествия в целом или отдельных его фаз на основе изучения следов ТС, следов на ТС, на отделившихся частях и деталях ТС;
- установление режима движения, места и угла столкновения ТС;
- установление положения ТС до и в момент совершения ДТП;
- установление механизма повреждения протектора шины транспортного средства;
- установление соответствия расположения следов, их очертаний, форм и габаритов, оставленных на ТС;
- определение взаимного положения ТС и пешехода при наезде на него и многие другие задачи [37].

Установлено, что среди вопросов, рассматриваемых в процессе экспертиз ДТП с наездом на пешеходов в темное время суток, отсутствует оценка влияния такого важного фактора, как загрязнение фар КТС химическими противогололедными материалами на расстояние видимости

пешехода в момент наезда.

Исследования ученого Чавы И.И., направлены на изучение вопроса о возможности у водителей КТС предотвратить ДТП технической путем торможения при перекрестных ДТП. Автор изучает вопрос определения технической возможности у водителя КТС по предотвращению ДТП путем торможения при ПН, а также вопрос определения технической возможности у водителя ТС по предотвращению ДТП путем торможения при встречном движении [88]. Приведена формула для расчета расстояния, на котором водитель при экстренном торможении может остановить автотранспортное средство, обеспечив минимально безопасную дистанцию (ΔS_{OD}) до препятствия:

$$\Delta S_{OD} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a - V_{об}}{3,6} + \frac{(V_a - V_{об})^2}{26 \cdot j_a} + t_1 \cdot \frac{V_{об}}{3,6}, \text{ [м]}, \quad (1.1)$$

где: t_1 – расстояние, пройденное за время реакции водителя (ВРВ), принимаемое за 0,3 с;

t_2 – время запаздывания тормозной системы (ТС) [с];

t_3 – время нарастания замедления [с];

j – установившееся замедление КТС при торможении [м/с²];

V_a – скорость движения автомобиля [км/ч];

$V_{об}$ – скорость объекта [км/ч] [88].

1.5. Обзор методик для определения факторов, влияющих на допустимую скорость движения КТС по условиям видимости

Для проведения экспериментального исследования влияния ХПГМ на условия движения КТС на зимних дорогах в темное время необходима научно обоснованная методика. По этой причине был выполнен анализ известных методик для определения факторов, влияющих на допустимую скорость движения КТС по условиям видимости.

Существует достаточно большое число научных исследований и методик, посвященных факторам, влияющим на допустимую скорость движения КТС по условиям видимости, в том числе и в зимний период [19,

33, 34, 48, 49, 69] и др.

В частности, известна работа, в которой автор предпринял попытку установки устройства автоматического контроля степени загрязнения поверхности стекол автомобиля, а также стекол автомобильных светотехнических приборов. Это устройство является приемо-передающей системой, так как содержит фотоприемник Y и излучатель световой энергии X [34]. Устройство испытано совместно с конструкцией автомобильного катафота ФП-312 на автомобиле ВАЗ-2101 в 1980 году, но оно не нашло широкого применения у автопроизводителей.

В соответствии с требованием ГОСТ 33997-2016 «*Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки*», существует методика проверки технического состояния и регулировки внешних световых приборов (ВСП) ТС [19]. Также находит свое применение и методика для контроля и регулировки света автомобильных фар, направленности их светового потока, с целью установки и проверки силы их света, согласно предписанным нормативам [19]. Реализуется вышеуказанная методика при помощи приборов типа К-310.

Так же рекомендуется применять методику для контроля силы света фар (ССФ) в зависимости от уровня их загрязнения, которую реализует прибор для измерения параметров света фар КТС (модель ИПФ-01) [49].

Для измерения светопропускаемости стекол фар целесообразно использовать тауметры: «Свет», «Блик», «Блик+», «Тоник», которые предназначены для измерения светопропускания тонированных и затемненных стекол различного назначения, в том числе установленных на автотранспортных средствах [48].

Анализ существующих методик, позволяющих определять РВВ пешехода, в УНВ показывает, что в настоящее время известна и широко используется *методика определения видимости пешехода в условиях ограниченной видимости в ТВС по ширине проезжей части (ПЧ) дороги*. Методика позволяет с приемлемой точностью устанавливать расстояние, на котором водитель может обнаружить пешехода на неосвещенных дорогах в

ТВС [69].

На дорогах, обработанных ХПГМ, во-первых, загрязняются фары и тем самым снижается расстояние видимости водителем пешехода и участников движения в темное время. Во-вторых, ХПГМ снижают коэффициент сцепления колес с дорогой и тем самым значительно повышают тормозной путь, что значительно усложняет водителю возможность остановки КТС перед препятствием. Данное противоречие вызывает необходимость проведения исследования процесса торможения КТС на зимних дорогах, обработанных ХПГМ.

Экспериментальное исследование тормозной эффективности КТС в дорожных условиях выполняют в режиме экстренного торможения с заблокированными колесами. При этом длину остановочного пути рассчитывают по известной формуле [33]:

$$S_{\text{ост}} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot g \cdot \varphi}, \text{ [м]}, \quad (1.2)$$

где: t_1 – время реакции водителя, [с];

t_2 – время запаздывания тормозной системы (ТС) [с];

t_3 – время нарастания замедления, [с];

V_a – скорость автомобиля, [км/ч];

g – ускорение свободного падения, [м/с²];

φ – КС шин с дорогой [33].

В формуле (1.2) используется коэффициент продольного сцепления шин с дорогой φ , значения которого обычно принимают равными величине φ при торможении КТС с заблокированными колесами.

Известно, что величина этого коэффициента не стабильна по длине и ширине проезжей части дороги [13, 14, 15, 16], зависит от вида торможения КТС (*служебное, экстренное*) [25], от типа шин и рисунка протектора [13, 14, 15, 16], а также от режима торможения, определяемого величиной проскальзывания S шины относительно поверхности дороги [25].

Работа антиблокировочной системы (ABS), в процессе торможения колес КТС, значительно влияет на коэффициент сцепления φ , и величину

тормозной силы R_x . Это отчетливо иллюстрирует осциллограмма, показанная на рис. 1.13. [77].

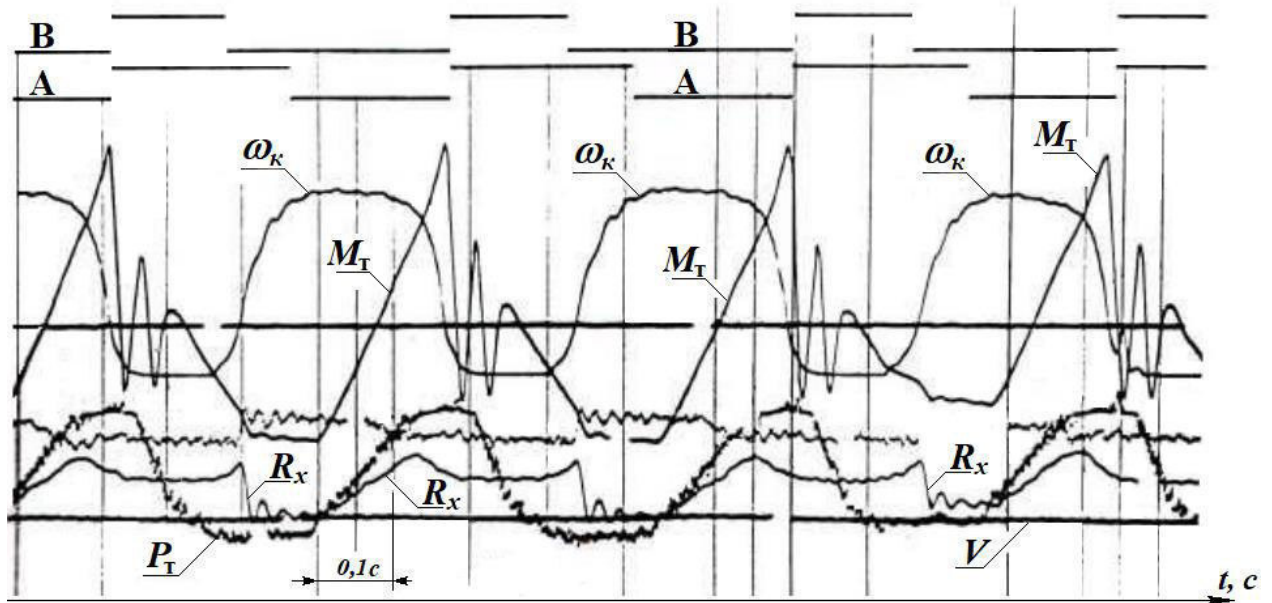


Рис. 1.13. Осциллограмма процесса торможения колеса автомобиля с ABS: **A** – сигнал на отсечку давления в тормозном приводе; **B** – сигнал на сброс давления в тормозном приводе; V – скорость КТС; M_T – тормозной момент; P_T – давление в тормозном приводе; R_x – тормозная сила (реализованная касательная реакция); ω_k – угловая скорость колеса [68, 79]

Представленный на рис. 1.13 процесс изменения тормозной силы убедительно показывает, что реализованная в процессе торможения (ПТ) в составе ABS тормозная сила R_x не равна величине тормозной силы заблокированного колеса при $\omega_k = 0$. ABS непрерывно изменяет режим торможения колеса и как следствие величину реализованного КС φ . Следовательно, применение в формуле (1.3) КС, равного по величине КС при торможении КТС с заблокированными колесами, далеко не всегда является обоснованным. Поэтому, для исследования процесса торможения КТС на зимних дорогах, обработанных ХПГМ, следует учитывать как работу ABS, так и фрикционные характеристики шин.

Еще одним важным фактором в формуле (1.3), существенно влияющим на выходные параметры исследуемых ПТ КТС на дорогах, покрытых ХПГМ,

является ВРВ t_1 .

В методических рекомендациях ВНИИ судебных экспертиз указано: «Если эксперту в его расчетах требуется оценить *правильность выбора водителем скорости по условиям дальности видимости дороги или дистанции до движущегося впереди ТС*, он должен принимать минимально возможное время реакции – 0,3 с (ч. 3 таблицы), поскольку у него нет оснований исключить возможность того, что водитель за такое время может реагировать на изменение видимости дороги и ее элементов или на торможение следовавшего впереди ТС (*лидера*), если он (*водитель*) подготовлен к этому изменению условий движения» [68].

В современной экспертной практике принято определять *безопасную скорость по условиям видимости* ($V_{вд}$) с учетом времени оценки водителем дорожных условий и обстановки, равным 0,3 с, вне зависимости от времени суток, дорожных условий и времени года [69].

$$V_{вд} = 3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left[\sqrt{\frac{2 \cdot S_{вд}}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right], \text{ [км/час]}, \quad (1.3)$$

где: $T = t_в + t_2 + 0,5 \cdot t_3$, [с];

$t_в$ – 0,3 с – ВРВ на дорожную ситуацию, [с];

t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода, [с];

t_3 – время нарастания замедления, [с];

j – установившееся замедление КТС при ПТ, [м/с²];

$S_{вд}$ – расстояние видимости дороги, [с] [69].

Следует отметить, что в основном, время реакции водителя включает в себя следующие составляющие [68]:

- 1) *время, необходимое для зрительного восприятия препятствия;*
- 2) *время, необходимое водителю для анализа возникшей дорожной ситуации в условиях движения (сигнал к действию);*
- 3) *время от начала зрительного восприятия водителем дорожной ситуации до начала его двигательной реакции;*

4) время от начала осуществления водителем двигательной реакции до момента начала срабатывания органов управления автомобиля (моторный компонент).

Из методических рекомендаций МИНЮСТa, время реакции водителя КТС в темное время суток, следует увеличивать на 0,6 секунды. То есть минимальное ВРВ должно составлять $0,6 + 0,6 = 1,2$ с, а максимальное время – $1,4 + 0,6 = 2,0$ с [68].

Поэтому в процессе исследования влияния загрязнения фар автомобиля ПО ХПГМ на РВВ пешеходов в ТВС на неосвещенных участках дорог ВРВ на дорожные условия в темное время суток необходимо определять в соответствии с научно обоснованными методическими рекомендациями МИНЮСТa [68].

Все перечисленные факторы в той или иной степени влияют на величину допустимой скорости движения КТС по условиям видимости, а также на длину тормозного и остановочного путей. Поэтому для повышения обоснованности результатов исследования процесса торможения КТС параллельно с экспериментальными целесообразно выполнять и аналитические исследования тормозного и остановочного путей на основе математического моделирования. Процесс торможения КТС на зимних дорогах, обработанных ХПГМ с низкими фрикционными свойствами, необходимо рассматривать как с работающей, так и с отключенной ABS, а также с использованием как шипованных, так и нешипованных шин.

1.6. Анализ работ в области аналитических исследований процесса торможения КТС на дорогах, обработанных ХПГМ

Аналитические исследования процесса торможения КТС выполняют, как правило, на основе математических моделей. Анализ математических моделей процесса торможения КТС показывает, что их разработано очень большое количество. Математические модели процесса торможения КТС имеют широкий спектр применения, очень большой диапазон уровней

сложности математического описания. Математические модели процесса торможения КТС разрабатывают как трехмерные, так и двухмерные.

Трехмерные математические модели, как правило, имеют высокий уровень сложности, но при этом позволяют исследовать не только параметры тормозной эффективности КТС, но и параметры их управляемости и устойчивости. При исследовании ПТ КТС на дорогах, обработанных ХПГМ, нам необходимо анализировать только параметры тормозной эффективности и нет необходимости в исследовании параметров их устойчивости и управляемости. Поэтому в данном исследовании вполне достаточно применить обычную «плоскую» математическую модель КТС с математическими описаниями сцепных характеристик эластичных шин, диссипативных тормозных механизмов, а также математическим описанием процесса работы элементов ABS.

Математические модели колесных транспортных средств довольно широко проработаны и широко известны. В разном виде и для разных целей их применяли в своих работах такие ученые, как: Бахмутов С.В., Головных И.М., Дыгало В.Г., Енаев А.А., Загородний В.В., Иванов А.М., Иларионов В.А., Потапов А.С., Пешкилев А.Г., Пчелин И.К., Ревин А.А., Соцков Д.А., Тихов-Тинников Д.А., Топалиди В.А., Федотов А.И., Фурунжиев Р.И., Хачатуров А.А., Elis J. и многие другие [78, 80, 81, 82, 83, 84].

Необходимую для проведения аналитического исследования математическую модель ПТ автомобиля следует компоновать так, чтобы она позволяла моделировать: ПТ КТС с учетом перераспределения нагрузки между осями КТС при торможении; изменение $(\varphi-s)$ -диаграмм шипованных и нешипованных шин на дороге, обработанной ХПГМ; регулирование ПТ колес при помощи ABS [79].

Математическая модель КТС должна позволять получать достоверные зависимости изменения длины тормозного и остановочного пути КТС с шипованными и нешипованными шинами от начальной скорости торможения на дороге с укатанным и неукатанным снегом, обработанной химическими противогололедными материалами.

Приведенный анализ публикаций по теме исследования дает возможность сформулировать следующие выводы.

1.7. Выводы по первой главе

1. Выполненный анализ статистики дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации за 2022 год показывает, что из общего числа ДТП с наездом на КТС в попутном направлении, произошедших в темное время суток на неосвещенных участках дорог и в сумерках, гибнет 38 % участников дорожного движения, при этом на скользких дорогах доля погибших составляет 24,6 %.

2. Большое количество погибших людей в дорожно-транспортных происшествиях, связанных с наездом на стоящих или идущих вдоль дороги пешеходов. Как показывает статистика, в подобных ДТП, произошедших на дорогах с низким коэффициентом сцепления (*гололед, снег, мокрое покрытие и пр.*), число погибших составляет 32,7 %. Особо следует отметить факт того, что при ДТП с наездом на стоящих или идущих вдоль дороги пешеходов происходящих именно в темное время суток на неосвещенных участках дорог, число погибших составляет 71 %.

3. Проведен анализ статистики ДТП нескольких сибирских регионов в зимний период. Установлено, что аварийность значительно увеличивается на дорогах, где в течение всего периода зимней скользкости применяют химические противогололедные материалы. Так, в Иркутской области (*где дороги активно обрабатывают ХПГМ*) погибших в ДТП на зимних дорогах в 3 раза больше, чем в Республике Бурятия и в 1,9 раз больше, чем в Забайкальском крае (*где дороги либо обрабатывают ХПГМ очень мало, либо не обрабатывают вообще*).

4. Анализ причин аварийности КТС на зимних дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами, показывает, что в процессе движения автомобилей по дорогам, обработанным ХПГМ:

– во-первых, загрязняются фары, и тем самым снижается расстояние видимости водителем пешехода и участников движения в темное время. При

этом водитель не имеет информации о загрязнении фар;

– во-вторых, ХПГМ снижают коэффициент сцепления колес с дорогой, и тем самым значительно повышают тормозной путь, что значительно усложняет водителю возможность остановки КТС перед препятствием. Данное противоречие вызывает необходимость проведения исследования процесса торможения КТС на зимних дорогах, обработанных ХПГМ.

5. Выполненный обзор опубликованных результатов научных исследований по данной теме показывает, что исследований, направленных на выявление закономерностей влияния загрязнения световых приборов автомобилей продуктами обработки ХПГМ на освещенность ими дороги и видимость водителем дорожной обстановки в темное время суток при движении по дорогам, обработанными ХПГМ, не проводилось.

6. Существующие методики проведения судебных автотехнических экспертиз и методики, направленные на выявление влияния обработки дорог в зимний период ХПГМ, не учитывают факт загрязнения фар автомобиля противогололедными материалами и его влияние на видимость водителем дороги, пешеходов в темное время суток на неосвещенных участках дорог. Также не учитывается и тот факт, что на дорогах, покрытых ХПГМ, загрязнение фар с одновременным снижением коэффициента сцепления не позволяет водителю объективно оценивать допустимую скорость движения КТС по условиям видимости.

7. Для аналитического исследования процесса торможения КТС на дорогах, обработанных ХПГМ, необходима «плоская» математическая модель, которая учитывает перераспределение масс при торможении автомобиля, работу антиблокировочной системы, изменение формы (φ -s)-диаграмм шипованных и нешипованных шин на дорогах, обработанных ХПГМ.

Основываясь на выводы первой главы, поставлены задачи исследования.

1.8. Задачи исследования

1. Разработать математическую модель процесса торможения автомобиля категории М1 на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, учитывающую работу ABS, перераспределение нагрузки между осями КТС при торможении, а также характеристики шипованных и нешипованных шин.

2. Выполнить экспериментальные исследования процесса загрязнения фар КТС и силы их света на дорогах, обработанных ХПГМ.

3. Выявить закономерности изменения расстояния видимости водителем пешехода в темной одежде, на проезжей части дороги в темное время суток от уровня загрязнения и силы света фар КТС на дорогах, обработанных ХПГМ.

4. Установить функциональные зависимости тормозного и остановочного путей КТС категории М1 на зимних дорогах, обработанных ХПГМ от начальной скорости торможения.

5. На основе выявленных зависимостей разработать уточненную методику экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в темной одежде в темное время суток на зимних неосвещенных дорогах, покрытых ХПГМ.

6. Выполнить производственную проверку и дать оценку результатам проведенного научного исследования.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ ОБЪЕКТИВНОСТИ АВТОТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ ДТП С НАЕЗДОМ НА ПЕШЕХОДОВ НА ДОРОГАХ, ПОКРЫТЫХ ХПГМ

В данной главе приведены теоретические предпосылки повышения объективности проведения автотехнических экспертиз ДТП с наездом на пешеходов в темное время суток на зимних дорогах.

Созданный математический аппарат допускает анализировать процесс экстренного торможения КТС на зимних дорогах, обработанных ХПГМ, и допускает проводить аналитические исследования процесса загрязнения фар КТС продуктами обработки дорог ХПГМ.

2.1. Разработка структурной схемы исследуемого процесса

Для разработки детальной структурной схемы (СС) исследуемого процесса объект исследования (ОИ) (*исследуемый процесс экстренного торможения КТС категории М1 на зимних дорогах в ТВС, в условиях недостаточной видимости*) вначале был представлен в виде обобщенной структурной схемы (см. рис. 2.1).

Здесь ОИ функционирует под влиянием внешних $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_k$ и внутренних $X_1, X_2, \dots, X_n$ факторов, и, конечно, под действием управляющих параметров $U_1, U_2, \dots, U_j$ [75]. Каждый действующий на исследуемый процесс фактор оказывает большее или меньшее влияние на его выходные параметры $Y_1, Y_2, \dots, Y_i$.

Под внешними факторами будем понимать действующие на объект исследования параметров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_k$, вызванных изменением погоды и климата (температура воздуха, осадки /дождь, снег, туман/, влажность воздуха, ветер, сцепление шин с дорогой, продольный и поперечный уклоны дороги, освещенность дороги в темное время суток и т. п.).

К внутренним факторам $X_1, X_2, \dots, X_n$ можно отнести параметры, которые действуют между элементами ОИ, обеспечивая их функциональную связь.



Рис. 2.1. Обобщенная СС исследуемого процесса [66]

В нашем случае внутренними факторами являются: *силы и реакции*, действующие в контакте шин с опорной поверхностью дороги на колеса КТС, *тормозные моменты*, *угловые скорости колес*, их *силовые радиусы*, *давление воздуха в шинах*, *проскальзывание шин* тормозящих колес S , *скорость и время срабатывания тормозной системы*, *время запаздывания и темпы изменения давления* в тормозном приводе при работе ABS и т. п.

Управляющими $U_1, U_2, \dots, U_j$ являются параметры, обеспечивающие управление процессом торможения КТС. В рассматриваемом случае это: *усилие и темп нажатия* ногой водителя на *педаль тормоза*, V_o – *скорость автомобиля* в начале процесса его торможения.

В нашем случае к *выходным параметрам исследуемого процесса* следует отнести функциональные параметры $Y_1, Y_2, \dots, Y_i$, которые наиболее информативно характеризуют тормозную эффективность КТС. Это такие параметры, как: *тормозные силы на колесах*, *ТП*, *остановочный путь (ОП)*, *установившееся замедление*, *время срабатывания ТС*, а также *освещенность дороги* световыми приборами КТС.

Далее, придерживаясь правила «от простого к сложному, от общего к

частному», перейдем от общей схемы рассматриваемого процесса к более развернутой схеме процесса торможения КТС. В нашем случае будет полезно исследуемый процесс условно разделить на две взаимосвязанные части.

1. Процесс торможения КТС на зимних дорогах.
2. Процесс изменения видимости водителем пешеходов и участников движения, вызванного загрязнением световых приборов противогололедными материалами.

На основе обобщенной схемы рассматриваемого процесса (рис. 2.1) составим более развернутую СС первой части – *процесса торможения КТС на зимних дорогах* (рис. 2.2). Эта функциональная схема исследуемого процесса, которая наглядно отображает связи между его элементами с учетом того, что процесс торможения КТС происходит на зимних дорогах, покрытых ХПГМ.

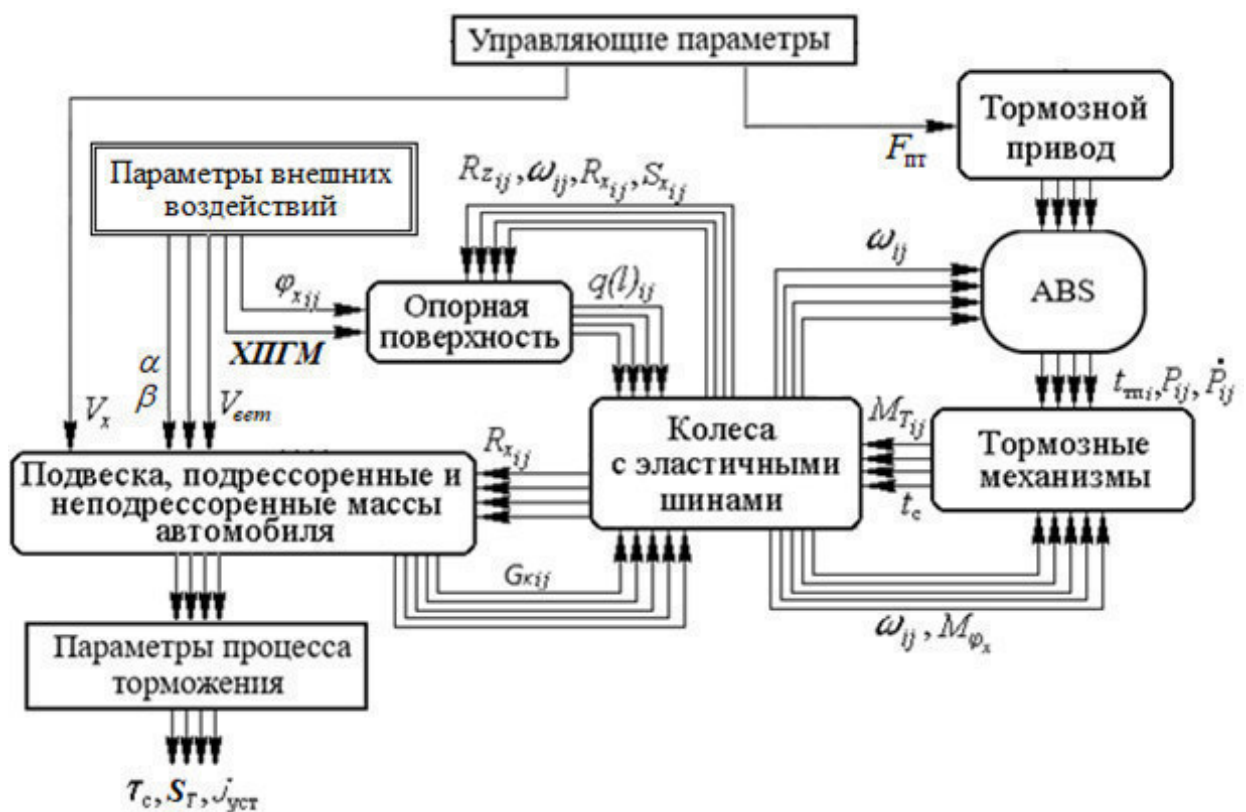


Рис. 2.2. Функциональная схема процесса торможения КТС на дорогах, покрытых ХПГМ

Представленная на рис. 2.2 структурная схема содержит такие

элементы исследуемого процесса, как кузов – (*подрессоренная масса*), подвеска, дорога, колеса КТС, а также тормозная система, которая содержит тормозной привод, тормозные механизмы, антиблокировочную систему.

Для обоснования выбора математической модели процесса торможения КТС на зимних дорогах и составления математических описаний его элементов, с использованием структурной схемы (рис. 2.2) был выполнен анализ функциональных связей между его элементами. Полученные математические описания приведены в следующих разделах главы.

2.2. Математическое описание процесса торможения автомобиля на зимних дорогах

За основу математического описания была принята математическая модель процесса торможения автомобиля, разработанная на кафедре «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «ИРНИТУ».

При помощи функциональной схемы, приведенной на рис. 2.2, процесса торможения автомобиля, выявляем функциональные связи между ее элементами и составляем схему ПТ (рис. 2.3). Данная схема дает возможность выполнить математическое описание процесса торможения КТС на горизонтальной опорной поверхности дороги.

В процессе составления математического описания были приняты следующие допущения:

- автомобиль движется вместе с подвижной системой координат $X'O'Z'$ по ровной опорной поверхности дороги без продольных и поперечных уклонов относительно неподвижной системы координат XOZ ;
- перед началом процесса торможения он имеет начальную скорость V_0 ;
- ось деферента автомобиля совпадает с его центром масс (точкой O);
- вертикальные колебания подрессоренной массы (ПМ) автомобиля происходят вдоль оси $O'Z'$ подвижной системы координат $X'O'Z'$;
- в процессе угловых колебаний подрессоренной массы M относительно оси $O'Y'$, расстояния A и B не изменяются;

– неровности дороги не влияют на процесс взаимодействия шин с ее опорной поверхностью [79].

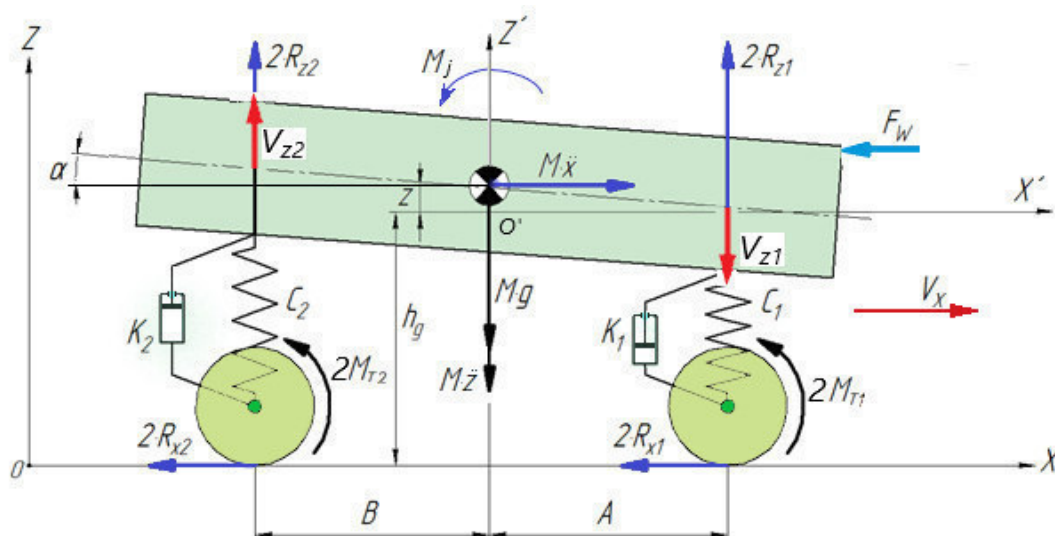


Рис. 2.3. Схема для составления математического описания процесса торможения КТС на дороге, покрытой ХПГМ: M – величина подрессоренной массы КТС; A и B – расстояния от точки O до центров осей КТС; h_g – расстояние от опорной поверхности до точки O ; Z_t – координата перемещения точки O вдоль оси OZ ; R_{x1} и R_{x2} – реализованные касательные реакции; R_{z1} и R_{z2} – вертикальные реакции на колесах КТС; C_1 и C_2 – коэффициенты жесткости подвесок и шин (каждой оси КТС); K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие демпфирование колебаний КТС амортизаторами; M_j – инерционный момент массы КТС (при деференте); M_{T1} и M_{T2} – моменты от тормозных механизмов

На основании представленной на рис. 2.3 схемы, составлены уравнения динамического равновесия (по трем степеням свободы) массы КТС, тормозящего на горизонтальной дороге, покрытой ХПГМ.

1. Уравнение динамического равновесия автомобиля в процессе его движения вдоль оси OX :

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = (2 \cdot R_{x1} + 2 \cdot R_{x2}), \text{ [H]}. \quad (2.1)$$

2. Уравнение динамического равновесия ПМ автомобиля в процессе ее продольных колебаний вдоль оси $O'Z'$:

$$M \frac{d^2 z}{dt^2} = (2 \cdot R_{Z1} + 2 \cdot R_{Z2} + G_a), [\text{Н}]. \quad (2.2)$$

3 Уравнение динамического равновесия ПМ автомобиля в процессе ее угловых колебаний относительно оси $O'Y'$ (деферент):

$$J_Y \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -2 \cdot R_{Z1} \cdot A + 2 \cdot R_{Z2} \cdot B + (2 \cdot R_{X1} + 2 \cdot R_{X2}) \cdot (h_g + Z_T), [\text{Н} \cdot \text{м}]. \quad (2.3)$$

Уравнения динамического равновесия (2.3), (2.2) и (2.1) решали численным методом [78]. Расчет скорости движения поддрессоренной массы КТС относительно оси OX выполняли как:

$$\frac{dx}{dt} = \left(\frac{dx}{dt} \right)_{-1} + \frac{d^2 x}{dt^2} \cdot \Delta t = V_x, [\text{м/с}]. \quad (2.4)$$

Расчет скорости вертикальных колебаний ПМ автомобиля выполняли также с использованием метода Эйлера [78]:

$$\frac{dz}{dt} = \left(\frac{dz}{dt} \right)_{-1} + \frac{d^2 z}{dt^2} \cdot \Delta t = V_z, [\text{м/с}]. \quad (2.5)$$

Расчет скорости угловых колебаний ПМ автомобиля относительно оси OY (деферент) выполняли аналогично:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{-1} + \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \cdot \Delta t, [\text{рад/с}]. \quad (2.6)$$

Для расчета первообразных дифференциальных уравнений (2.1), (2.2) и (2.3) повторно выполняли их численное интегрирование тем же методом [78]:

Так, продольное перемещение автомобиля вдоль оси OX находили как:

$$X = X_{-1} + \frac{dx}{dt} \cdot \Delta t, [\text{м}]. \quad (2.7)$$

Расчет вертикальных перемещений ПМ автомобиля вдоль оси OZ выполняли также методом Эйлера:

$$Z = Z_{-1} + \frac{dz}{dt} \cdot \Delta t, [\text{м}]. \quad (2.8)$$

Величину угла продольного поворота ПМ КТС (деферент) рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \alpha_{-1} + \frac{d\alpha}{dt} \cdot \Delta t, [\text{рад}]. \quad (2.9)$$

Реакции R_{Z1} , действующие на передние колеса КТС, рассчитывали по

формулам:

$$R_{Z1} = Z_1 \cdot C_1 + K_1 \cdot V_{Z1}, [\text{Н}]. \quad (2.10)$$

Реакции R_{Z2} , действующие на задние колеса КТС, рассчитывали по формулам:

$$R_{Z2} = Z_2 \cdot C_2 + K_2 \cdot V_{Z2}, [\text{Н}], \quad (2.11)$$

где: Z_1 и Z_2 – координаты перемещения массы КТС вдоль оси OZ, измеренные над его осями;

V_{Z1} и V_{Z2} – скорости перемещения массы КТС вдоль оси OZ, измеренные над его осями.

Расчет *скоростей* перемещений поддрессоренной массы M автомобиля, измеренных над его передней и задней осями, выполняли с использованием дифференциальных уравнений:

$$V_{Z1} = V_z - \frac{d\alpha}{dt} \cdot A, [\text{м/с}]; \quad (2.12)$$

$$V_{Z2} = V_z + \frac{d\alpha}{dt} \cdot B, [\text{м/с}]. \quad (2.13)$$

Расчет *перемещений* поддрессоренной массы M автомобиля, измеренных над его передней и задней осями, выполняли с использованием уравнений:

$$Z_1 = Z_{1-1} + V_{Z1} \cdot dt, [\text{м}]; \quad (2.14)$$

$$Z_2 = Z_{2-1} + V_{Z2} \cdot dt, [\text{м}]. \quad (2.15)$$

Деформацию упругих элементов передней и задней подвески автомобиля представим как линейную функцию при постоянной жесткости упругих элементов [73]:

$$\Delta Z_i = \frac{R_{Zi}}{C_i}, [\text{м}]. \quad (2.16)$$

Силу, действующую на КТС при его движении в воздушной атмосфере земли, определяли по формуле Е.А. Чудакова [73]:

$$F_w = \frac{C_x \cdot \rho_{\theta} \cdot S_x \cdot V_a^2}{2 \cdot 3,6^2}, [\text{Н}], \quad (2.17)$$

где: V_a – скорость КТС вдоль оси OX, [м/с];

C_x – коэффициент обтекаемости кузова КТС;

S_x – площадь проекции КТС на поперечную плоскость (мидель), $[м^2]$;

$\rho_в$ – коэффициент плотности воздушной среды, $\rho_в = 1,2$ $[кг/м^3]$.

Расчет начальных значений нормальных реакций, действующих на тормозящие колеса КТС от дороги, выполняли на основе уравнений:

$$R_{Z1} = \frac{M_a \cdot g \cdot B}{2 \cdot (A+B)}, \text{ [Н]}; \quad (2.18)$$

$$R_{Z2} = \frac{M_a \cdot g \cdot A}{2 \cdot (A+B)}, \text{ [Н]}, \quad (2.19)$$

где M_a – масса КТС.

2.2.1. Математическое описание динамических процессов торможения колес КТС с эластичными шинами

Составили расчетную схему (рис. 2.4) для выполнения математического описания динамических процессов торможения колес КТС с шинами [79].

На следующем этапе, для математического описания динамики ПТ колеса с эластичной шиной (ЭШ) приняты нижеперечисленные условия:

- нормальная и тангенциальная жесткости шин постоянны и равномерно распределены по всему ее периметру;
- частотные характеристики шин не учитываются;
- колеса с ЭШ отбалансированы статически и динамически;
- давление воздуха в шинах постоянно.

Используя расчетную схему (рис. 2.4) и принцип Д'Аламбера, запишем уравнение динамического равновесия тормозящего колеса с ЭШ[73]:

$$M_{jk} = M_T + M_f - M_\varphi, \text{ [Н} \cdot \text{м]}, \quad (2.20)$$

$$M_{jk} = J_k \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad [\text{Н} \cdot \text{м}], \quad (2.23)$$

где: $\frac{d\omega}{dt}$ – первая производная угловой скорости колесного узла, $[\text{рад}/\text{с}^2]$;

J_k – мера инерции колесного узла КТС, как тела вращения, $[\text{кг} \cdot \text{м}^2]$.

Перепишем уравнение (2.20) с учетом выражения (2.23) и решим его относительно старшей производной [64]:

$$\frac{d\omega_k}{dt} = \frac{M_\tau + M_f - R_x \cdot r_{ko}}{J_k}, \quad [\text{рад}/\text{с}^2], \quad (2.24)$$

где: R_x – продольная касательная реакция, $[\text{Н}]$.

Силовым плечом колеса с ЭШ, на котором силы в пятне контакта с дорогой создают действующие на колесо моменты, является свободный радиус качения колеса. Величина силового плеча зависит от величины нормальной нагрузки R_z и давления воздуха P_w . Если принять во внимание, что давление воздуха P_w в шине является величиной постоянной, то при этом зависимость радиуса r_{ko} колеса от нормальной нагрузки R_z имеет нелинейный характер в виде гиперболы [26]. Для ее описания в работе [63] предложено выражение вида:

$$r_{ko} = r_o \cdot [1 - \mu(R)], \quad [\text{м}]. \quad (2.25)$$

Частным случаем описания такой гиперболической зависимости является удобная и вполне корректная для данного вида функция вида [87]:

$$r_{ko} = r_o \cdot (1 - C_{r1} \cdot \sqrt{R_z} + C_{r2} \cdot R_z), \quad [\text{м}], \quad (2.26)$$

где: r_o – радиус свободного, ненагруженного колеса, $[\text{м}]$;

C_{r1} и C_{r2} – корректирующие коэффициенты, $[\text{м}/\text{Н}]$.

2.2.2. Математическое описание характеристик сцепления шины тормозящего колеса с поверхностью дороги

Процесс торможения КТС обеспечивают реакции, действующие между

шинами и плоскостью дорожного полотна. Реакции (как продольные, так и нормальные) передаются от шин на колеса и далее через подвеску на подрессоренную массу КТС, снижая его скорость движения. Поэтому основой математической модели процесса торможения автомобиля является математическое описание выходных характеристик шин (рис. 2.5).

Одним из таких описаний выходных характеристик шин на основе нормированной функции проскальзывания колеса при плоскопараллельном режиме его торможения является модель А.Б. Дика [25, 26, 87, 101].

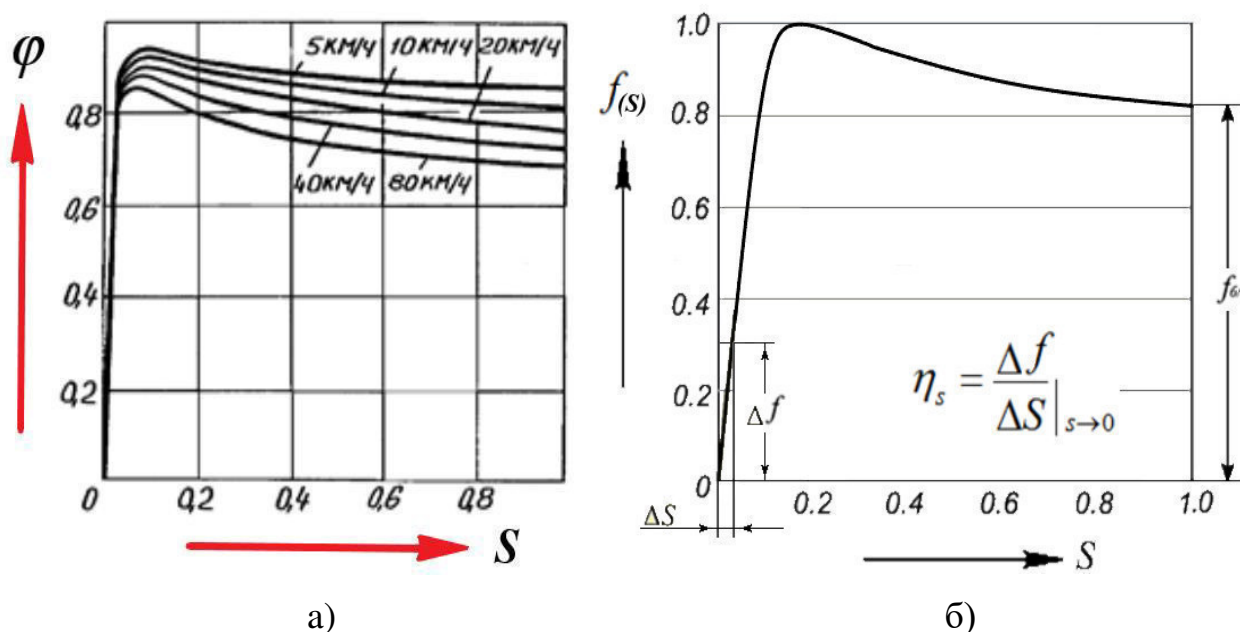


Рис. 2.5. Нормирование характеристик шин в $f(s)$ - диаграмму:
а – фрикционные характеристики продольного сцепления шины;
б – нормированная $f(s)$ -диаграмма [25]

В основе математического описания А.Б. Дика лежат экспериментально полученные фрикционные характеристики продольного сцепления шины (см. рис. 2.5, а). Каждую характеристику (см. рис. 2.5, а), или другими словами (φ - s)-диаграмму, нормировали методом деления ее ординат на максимальный КЦ $\varphi_{\max}$. В результате получали так называемые нормированные $f(s)$ -диаграммы (см. рис. 2.5, б), которые с достаточно высокой точностью описываются функцией вида [25, 26]:

$$f(S) = \sin[a_1 \cdot \arctg(b_1 \cdot S)], \quad (2.27)$$

где: a_1 и b_1 – коэффициенты, определяющие характер нормированной функции $f(s)$ проскальзывания ЭШ [25, 26]:

$$a_1 = \frac{\eta_s}{b_1}; \quad (2.28)$$

$$b_1 = \frac{(1+b_{11}^2) \cdot \arctg(b_{11}) - b_{11}}{K_z \cdot (1+b_{11}^2) - 1}; \quad (2.29)$$

$$b_{11} = \frac{\pi}{2 \cdot K_z}; \quad (2.30)$$

$$K_z = \frac{\pi - \arcsin(f_{\text{бл}})}{\eta_s}, \quad (2.31)$$

где: η_s – коэффициент «жесткости» проскальзывания шины, который определяется в начальной области проскальзывания, при $S \rightarrow 0$;

$f_{\text{бл}}$ – коэффициент снижения фрикционных свойств ЭШ в блоке ($S = 1$).

Таким образом, для того чтобы применить функцию (2.27) для описания нормированной $f(s)$ -диаграммы, достаточно *всего два коэффициента*, которые легко получить из графика нормированной функции (см. рис. 2.5, б).

Первый – это коэффициент η_s , отражающий тангенс угла наклона нормированной $f(s)$ -диаграммы к оси абсцисс (см. рис. 2.5, б). Определяем его как отношение приращения функции к приращению аргумента [25, 26] в начальной области проскальзывания, при $S \rightarrow 0$:

$$\eta_s = \frac{\Delta f}{\Delta S}. \quad (2.32)$$

Второй коэффициент – $f_{\text{бл}}$, характеризует снижение фрикционных свойств ЭШ в блоке. Его также определяют непосредственно из графика нормированной характеристики (см. рис. 2.5, б) при $S = 1$ [25, 26].

Согласно методике А.Б. Дика, определение реализованной касательной реакции R_x при известном проскальзывании S шины относительно опорной поверхности дороги сводится к решению уравнения вида [25, 26]:

$$R_x = R_z \cdot f(s) \cdot \varphi_{\text{max}}, \quad [\text{Н}], \quad (2.33)$$

где: φ_{max} – максимальное значение КС ЭШ с опорной поверхностью в области критического проскальзывания.

Важно отметить, что наличие в математической модели максимального значения коэффициента сцепления φ_{max} позволяет моделировать процесс торможения КТС на опорной поверхности зимних дорог, в том числе покрытых противогололедными химическими реагентами и материалами.

Параметр S позволяет контролировать проскальзывание тормозящего колеса, оснащенного пневматиком. Он определяется как [26, 101, 89, 73]:

$$S = 1 - \frac{\omega_k \cdot r_{ko}}{V}, \quad (2.34)$$

где: ω_k – угловая скорость вращения колес КТС, [1/с];

V – скорость продольного перемещения КТС, относительно оси OX , [м/с].

2.2.3. Математическое описание характеристик тормозного механизма

До описания математической модели особенностей тормозного механизма (ТМ), необходимо определиться с условиями, которые позволят корректно и с приемлемыми погрешностями рассчитывать его выходные *динамические* характеристики. Здесь важно отметить, что именно *динамические* характеристики тормозного механизма наиболее важны при моделировании процесса торможения КТС с функционирующей ABS.

Математическое описание должно позволять корректно моделировать динамические характеристики ТМ с учетом развиваемых им сил трения. На рисунке 2.6, а) изображены экспериментальные характеристики диссипативного ТМ дискового типа.

Предложенное С.М. Балычевым [4] математическое описание диссипативных характеристик ТМ использовали для моделирования динамических характеристик ТМ с применением метода кусочно-линейной аппроксимации (рис. 2.6, б).

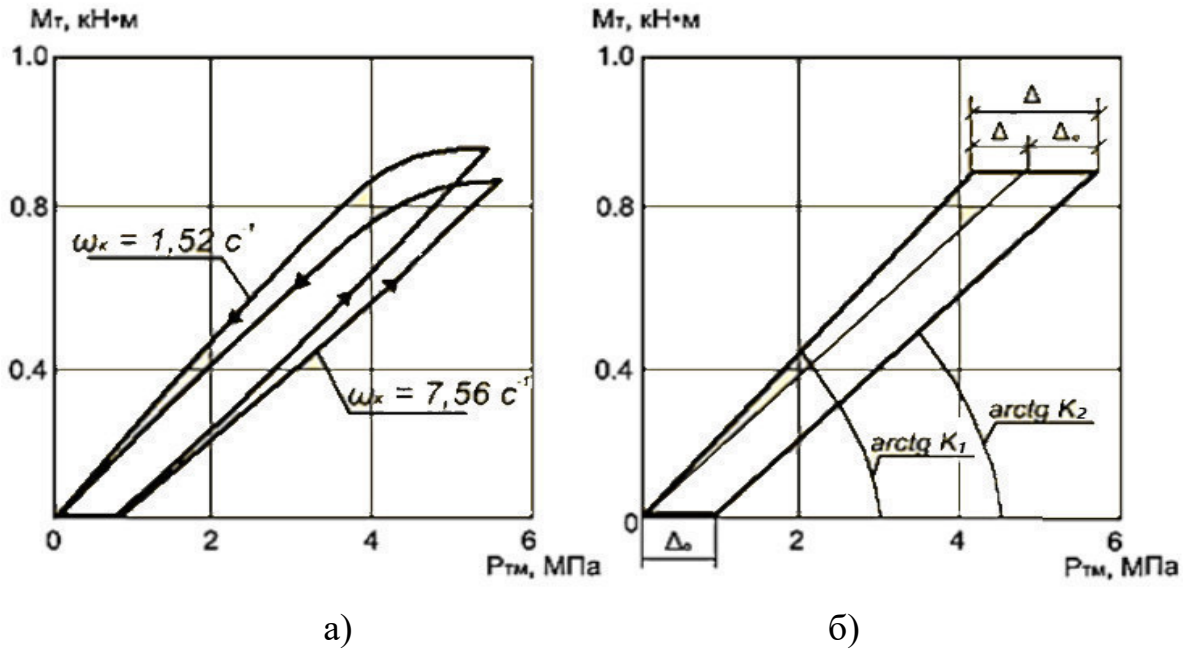


Рис. 2.6. Графики характеристики диссипативного дискового тормозного механизма автомобиля: а – эксперимент; б – расчет

Моделирование тормозного момента M_T , развиваемого дисковыми ТМ должно учитывать участок выборки зазоров в ТМ при начальном росте давления и снижение темпов нарастания и снижения тормозного момента при возрастании скорости вращения диска ТМ.

Оно должно учитывать и то, что при блокировании колеса, подведенный к нему тормозной момент M_T резко снижается. При этом величина M_T ограничивается предельным по сцеплению шины с дорогой моментом M_ϕ . Исходя из этого составлена система уравнений, позволяющая рассчитывать величину момента M_T при изменении давления в приводе P_{TM} [77, 4]:

$$M_T = \begin{cases} K_1 \cdot (P_{TM} - \Delta_o), & \text{если } \Delta P_{TM} > 0 \text{ и } K_1 \cdot (P_{TM} - \Delta_o) - M_{Tp} > 0 \\ K_2 \cdot P_{TM}, & \text{если } \Delta P_{TM} \leq 0 \text{ и } K_2 \cdot P_{TM} - M_{T3} < 0 \\ M_{Tp}, & \text{если } \Delta P_{TM} > 0 \text{ и } K_1 \cdot (P_{TM} - \Delta_o) - M_{Tp} \leq 0 \\ M_{T3}, & \text{если } \Delta P_{TM} \leq 0 \text{ и } K_2 \cdot P_{TM} - M_{T3} \geq 0 \\ 0, & \text{если } \Delta P_{TM} > 0 \text{ и } P_{TM} < \Delta_o \text{ или } P_{TM} \leq 0 \\ R_z \cdot \varphi_{max} \cdot r_{ko} & \text{если } \omega_k \leq 0, \end{cases} \quad (2.35)$$

где: K_1 и K_2 – коэффициенты скорости изменения момента, развиваемого ТМ, [$\text{Н} \cdot \text{м}/\text{МПа}$];

Δ_o – участок выборки зазоров в ТМ, [МПа];

$M_{\text{ТЗ}}$ и $M_{\text{ТР}}$ – величины моментов ТМ, когда процесс затормаживания меняется на процесс растормаживания и наоборот, [Н · м];

Рост скорости относительного движения диска, относительно тормозных колодок в ТМ приводит к уменьшению тормозного момента. Это в полной мере описывается изменением коэффициентов K_1 и K_2 . Числовые значения коэффициентов K_1 и K_2 изменяются если изменяется угловая скорость вращения колеса КТС. Величину коэффициентов K_1 и K_2 рассчитывали с использованием уравнений [77]:

$$K_1 = K_{10} - K_{\omega 1} \cdot \omega_k; \quad (2.36)$$

$$K_2 = K_{20} - K_{\omega 2} \cdot \omega_k, \quad (2.37)$$

где: K_{10} и K_{20} – коэффициенты темпа нарастания и снижения тормозного момента в зависимости от давления рабочей жидкости, при скорости вращения колеса равным нулю [Н · м/МПа];

ω_k – текущее значение угловой скорости колеса КТС, [1/с];

$K_{\omega 1}$ и $K_{\omega 2}$ – коэффициенты, изменяющие темп нарастания и снижения тормозного момента в зависимости от скорости вращения тормозного диска, [Н · м · с/МПа].

Очень важным свойством ТМ диссипативного типа является их инерционность. Инерционность ТМ проявляется в том, что при возрастании скорости $\Delta \dot{P}_{\text{ТМ}}$ изменения давления тормозной жидкости в ТМ, амплитуда изменения развиваемого им тормозного момента $M_{\text{Т}}$ уменьшается. Учет инерционности ТМ очень важен особенно тогда, когда моделируется работа ABS. Инерционные свойства ТМ в математическом описании развиваемого им момента $M_{\text{Т}}$ учитывали посредством дифференциального уравнения, вида [77]:

$$T_{\text{ТМ}} \cdot \frac{dP_{\text{ТМ}}}{dt} = P_{\text{Т}} - P_{\text{ТМ}} \quad (2.38)$$

где: $\frac{dP_{\text{ТМ}}}{dt}$ – скорость нарастания и снижения давления тормозной жидкости в ТМ, [МПа/с];

$P_{\text{Т}}$ – давление тормозной жидкости на входе в ТМ, [МПа];

$T_{\text{ТМ}}$ – временная константа ТМ, как динамического звена, [с]

P_{TM} – давление тормозной жидкости внутри ТМ, [МПа].

2.2.4. Математическое описание процессов функционирования ABS

Большая часть современных КТС оборудована антиблокировочными системами (ABS). ABS позволяет автоматизировать процесс торможения автомобиля, обеспечивая ему устойчивость управляемого движения при экстренном торможении и влияя на длину его тормозного пути. Именно последнее обстоятельство заставляет включать в математическую модель исследуемого процесса описание работы ABS.

Для этого воспользуемся описанием процессов функционирования ABS, приведенным в работе [76]. Используя диаграмму, приведенную на рис. 2.7, выполним анализ функционирования автомобильной ABS.

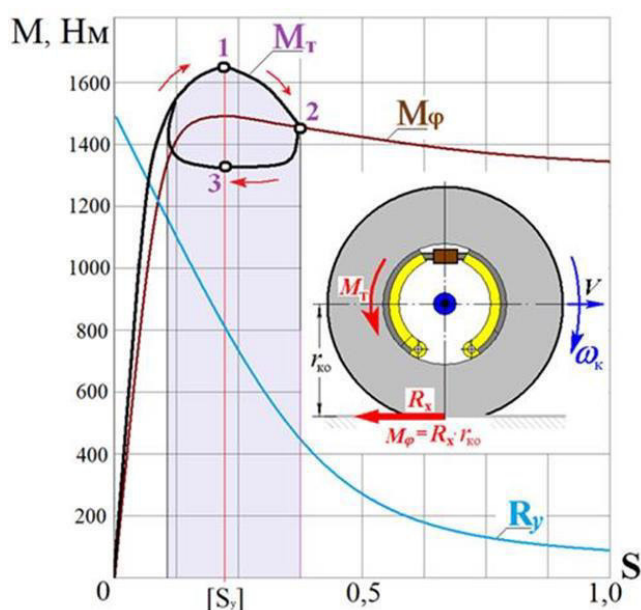


Рис. 2.7. Фазовая диаграмма регулирования процесса торможения колеса в составе автомобильной ABS [75]

Она показывает, что в процессе функционирования ABS регулирует величину подведенного к вращающемуся колесу тормозного момента M_T , изменяя ее относительно максимального момента M_ϕ по сцеплению шины с дорогой. Следует отметить, что своего максимального значения момент M_ϕ по сцеплению достигает при критическом значении проскальзывания $S_{\text{кр}}$. ABS обеспечивает режим торможения колеса в диапазоне оптимального

проскальзывания шириной ΔS .

Очевидно, что изменения тормозного момента M_T происходят за счет изменения давления тормозной жидкости в тормозном приводе. При увеличении давления колесо затормаживается. Его угловая скорость снижается. При этом выражение (2.34) наглядно показывает, что проскальзывание S колеса будет расти. При достижении проскальзыванием S колеса величины критического проскальзывания $S_{кр}$ ABS фиксирует его значение как уставку $[S_y]$ для регулирования ПТ колеса (*точка 1 на диаграмме*) и начинает снижать давление тормозной жидкости, тем самым снижая величину тормозного момента M_T . Этим заканчивается режим затормаживания и начинается режим растормаживания колеса, который длится до тех пор, пока величина тормозного момента M_T не достигнет равенства $M_T = M_\phi$.

При этом, согласно формуле (2.24), первая производная угловой скорости колеса становится равной нулю, а затем меняет знак на противоположный, т. е. $\frac{d\omega_k}{dt} \geq 0$. Это событие отмечено на диаграмме как *точка 2*. Так заканчивается режим растормаживания и начинается режим стабилизации величины тормозного момента M_T на постоянном уровне.

Процесс растормаживания колеса будет продолжаться. Проскальзывание колеса при этом будет расти. Растормаживание будет происходить при постоянном тормозном моменте M_T даже после того, когда проскальзывание колеса S станет меньше его критического значения (*значения уставки $[S_y]$*). При достижении равенства $M_T = M_\phi$ в области докритического проскальзывания (*точка 3 на диаграмме*) начнется режим затормаживания колеса. Цикл повторится.

2.2.4.1. Математическое описание процессов функционирования электронного блока управления ABS

В процессе своего функционирования электронный блок управления ЭБУ ABS 5 (рис. 2.8) управляет электромагнитными клапанами (отсечки и снижения давления) модулятора 1, 2, 3, 4 и 5 при помощи электрических

команд **A** и **B**, изменяя давление тормозной жидкости в рабочем цилиндре 9 ТМ

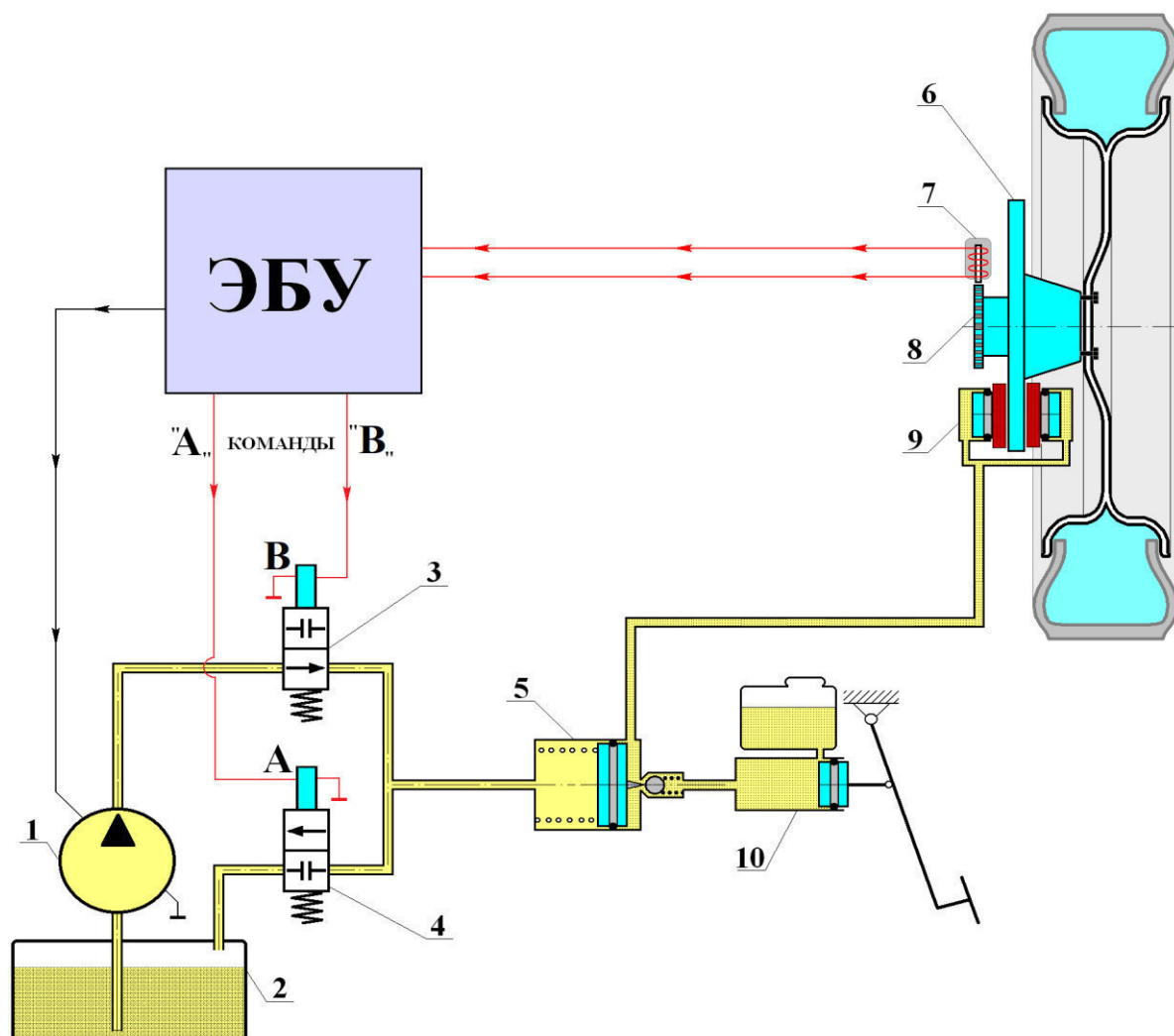


Рис. 2.8. Блок-схема одного канала торможения колеса КТС в составе ABS: 1 – гидронасос; 2 – накопительная емкость; 3 – клапан обеспечивающий «отсечку» подачи гидрожидкости; 4 – клапан обеспечивающий «слив» гидрожидкости; 5 – камера ABS, модулирующая давление гидрожидкости; 6 – дисковый ротор ТМ; 7 – статор датчика угловой скорости вращения колеса; 8 – ротор датчика, измеряющего угловую скорость вращения колеса; 9 – рабочий гидроцилиндр статора ТМ; 10 – цилиндр тормозной, главный [54]

В исходном состоянии клапан **B** - клапан отсечки открыт и обеспечивает подачу гидрожидкости от насоса в модулирующую камеру 5. Команда, подаваемая на клапан **B** в этот период времени $B = 0$. В это же

время клапан **A** (клапан снижения давления), который обеспечивает слив тормозной жидкости от модулирующей камеры 5 в емкость 4, – *нормально закрыт* (т. е. $A = 0$) [76].

Описание логики процесса функционирования ЭБУ должно позволять моделировать процесс отработки команд для модулятора давления тормозной жидкости ABS в зависимости от проскальзывания S тормозящего колеса, его углового ускорения $\dot{\omega}_k$ а также от величины уставки S_y на срабатывание ABS (рис. 2.9).

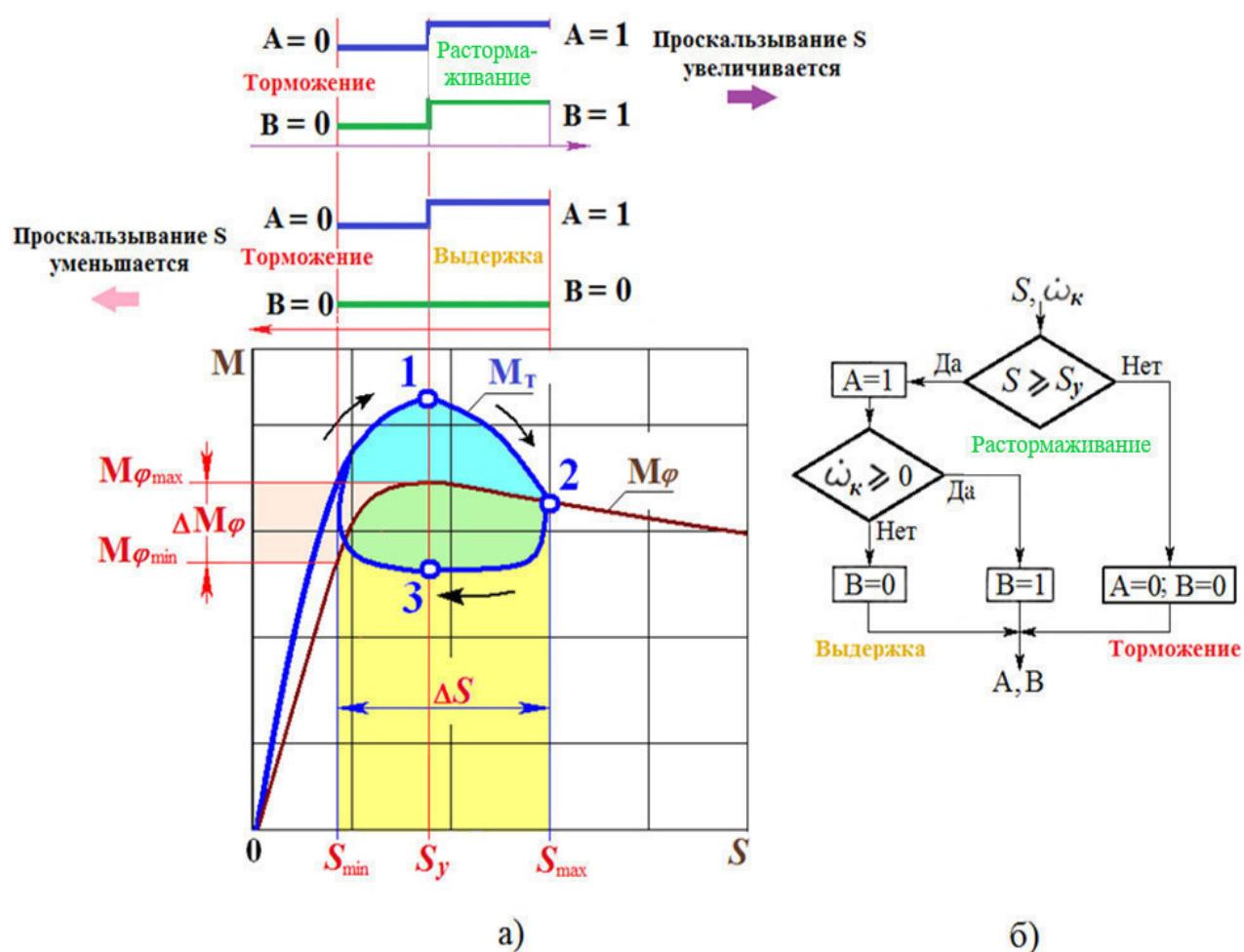


Рис. 2.9. Фазовая диаграмма моментов при торможении колеса в составе антиблокировочной системы (а) и алгоритм формирования управляющих электрических сигналов электронным блоком управления антиблокировочной системы (б)

Математическое описание работы ЭБУ ABS, реализующей трехфазовый алгоритм работы, имеет вид [76]:

Повышение давления тормозной жидкости в тормозном приводе $\frac{dP_{TM}}{dt} > 0$:

$$\text{команды ЭБУ } \begin{cases} A = 0 \\ B = 0 \end{cases}, \text{ если } S < S_y. \quad (2.39)$$

Снижение давления тормозной жидкости в тормозном приводе $\frac{dP_{TM}}{dt} < 0$:

$$\text{команды ЭБУ } \begin{cases} A = 1 \\ B = 1 \end{cases}, \text{ если } S \geq S_y \text{ и } \dot{\omega}_k < 0. \quad (2.40)$$

Выдержка давления тормозной жидкости в тормозном приводе $\frac{dP_{TM}}{dt} = 0$:

$$\text{команды ЭБУ } \begin{cases} A = 1 \\ B = 0 \end{cases}, \text{ если } S \geq S_y \text{ и } \dot{\omega}_k \geq 0. \quad (2.41)$$

где $\dot{\omega}_k$ – угловое ускорение колеса;

S_y – уставка на срабатывание ABS по проскальзыванию.

При функционировании ЭБУ ABS определяет значения проскальзывания S каждого из колес КТС, рассчитывает уставку S_y на срабатывание, измеряет угловую скорость ω каждого колеса и рассчитывает их угловые ускорения $\dot{\omega}_k$. Вполне естественно, что процесс работы ЭБУ ABS сопровождается погрешностями измерений вышеперечисленных параметров, расчетов, а также задержками во времени. Численные значения погрешностей измерений и временных задержек зависят от типа датчиков, характеристик ЭБУ ABS, момента инерции колес и т. п.

В математическом описании работы ЭБУ было сделано допущение о том, что все *временные задержки*, которые связаны с работой ЭБУ отнесены и учитывались в работе электрогидравлического модулятора ABS. При этом процесс функционирования ЭБУ ABS моделировали без задержек[79].

2.2.4.2. Математическое описание процессов функционирования электрогидравлического модулятора давления ABS

В математическом описании процесса функционирования модулятора давления тормозной жидкости ABS в первую очередь учитывали закономерности изменения давления тормозной жидкости в приводе ТМ КТС и временные задержки, вызванные инерционностью работы электромагнитных клапанов модулятора [79]. При этом было сделано допущение о том, что ЭБУ ABS не имеет задержек во времени при обработке сигналов датчика угловой скорости и выработке команд на клапаны модулятора. Эти задержки отнесены к модулятору и учитываются в процессе моделирования его рабочих процессов. Задержки на выполнение команд ЭБУ ABS модулятором оказывают значительное влияние на показатели ПТ КТС с работающей ABS.

Временные задержки начала повышения давления – τ_t , снижения давления – τ_c , а также стабилизации давления на постоянном уровне – τ_b , которые имеют место при работе модулятора и ЭБУ, моделировали при помощи следующих трех простых уравнений [77]:

$$\begin{aligned} T_{tp} &= \tau'_t + \tau''_t, [c]; \\ T_{tr} &= \tau'_c + \tau''_c, [c]; \\ T_{tb} &= \tau'_b + \tau''_b, [c], \end{aligned} \tag{2.42}$$

где: T_{tp} , T_{tr} и T_{tb} – временные задержки запаздывания срабатывания ЭБУ ABS и ее модулятора в процессе *увеличения, сброса*, а также при *стабилизации* давления тормозной жидкости в тормозной системе, соответственно, [с];

τ'_t , τ'_c и τ'_b – задержки, связанные с запаздыванием ЭБУ в процессе выработки команд на *увеличение, сброс*, а также на *стабилизацию* давления тормозной жидкости в тормозном приводе, соответственно, [с];

τ''_t , τ''_c и τ''_b – задержки, связанные с запаздыванием модулятора в

процессе *увеличения, сброса, а также стабилизации* давления тормозной жидкости, соответственно, [с].

На рис. 2.10 приведена схема, иллюстрирующая процесс функционирования электрогидравлического модулятора, регулирующего давление тормозной жидкости в приводе ТМ по командам ЭБУ ABS.

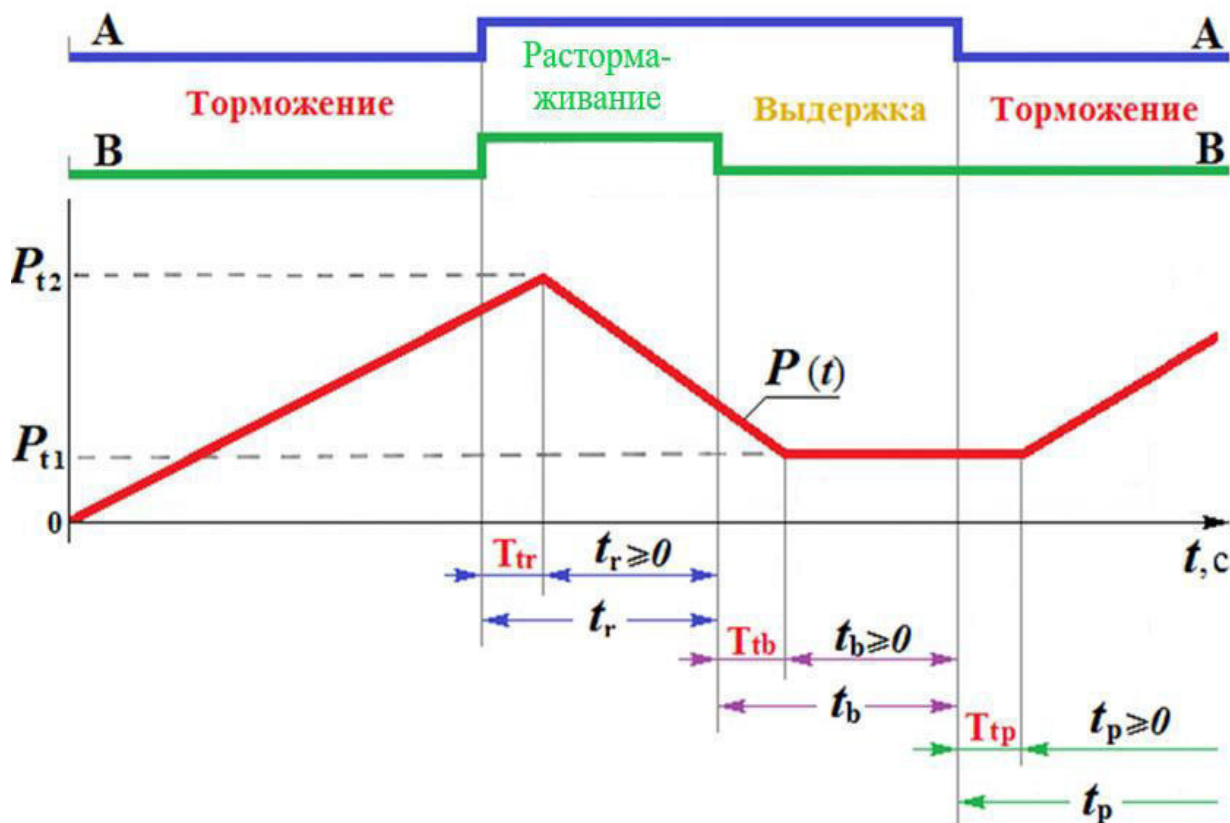


Рис. 2.10. Схема изменения давления тормозной жидкости в тормозном приводе автомобиля модулятором ABS в зависимости от команд ЭБУ

Схема иллюстрирует задержки изменения давления после подачи команд ЭБУ [77].

Еще одним важным допущением, принятым в данном математическом описании, является то, что темпы нарастания K_m и сброса K_c давления в процессе работы электрогидравлического модулятора приняты постоянными [79]. Таким образом, математическое описание ABS процесса регулирования давления тормозной жидкости в приводе ТМ КТС представлено системой:

$$P(t) = \begin{cases} P + K_t \cdot \Delta t, & \text{если } A < 1, B < 1 \text{ и } t_p \geq T_{tp} \\ P + K_t \cdot \Delta t, & \text{если } A > 0, B > 0 \text{ и } t_r < T_{tr} \\ P - K_p \cdot \Delta t, & \text{если } A > 0, B > 0 \text{ и } t_r \geq T_{tr} \\ P - K_p \cdot \Delta t, & \text{если } A > 0, B < 1 \text{ и } t_b < T_{tb} \\ P, & \text{если } A > 0, B < 1 \text{ и } t_b \geq T_{tb} \\ P, & \text{если } A < 1, B < 1 \text{ и } t_p > T_{tp} \\ P = P_{\min}, & \text{если } P < P_{\min} \\ P = P_{\max}, & \text{если } P > P_{\max} \end{cases} \quad (2.43)$$

где: K_t и K_p – темпы нарастания и снижения давления тормозной жидкости в приводе ТМ КТС, [МПа/с];

$P_{\min}$ и $P_{\max}$ – предельные по величине значения давления тормозной жидкости в приводе ТМ КТС, [МПа];

$P_{т1}$ и $P_{т2}$ – давление жидкости в приводе ТМ в момент, когда оно меняет знак своей первой производной, [МПа];

t_r , t_b и t_p – текущее время процессов сброса, стабилизации и нарастания давления в приводе ТМ КТС [с].

Для написания программы расчета процесса функционирования электрогидравлического модулятора был разработан алгоритм (рис. 2.11.) с использованием формул (2.43) [79].

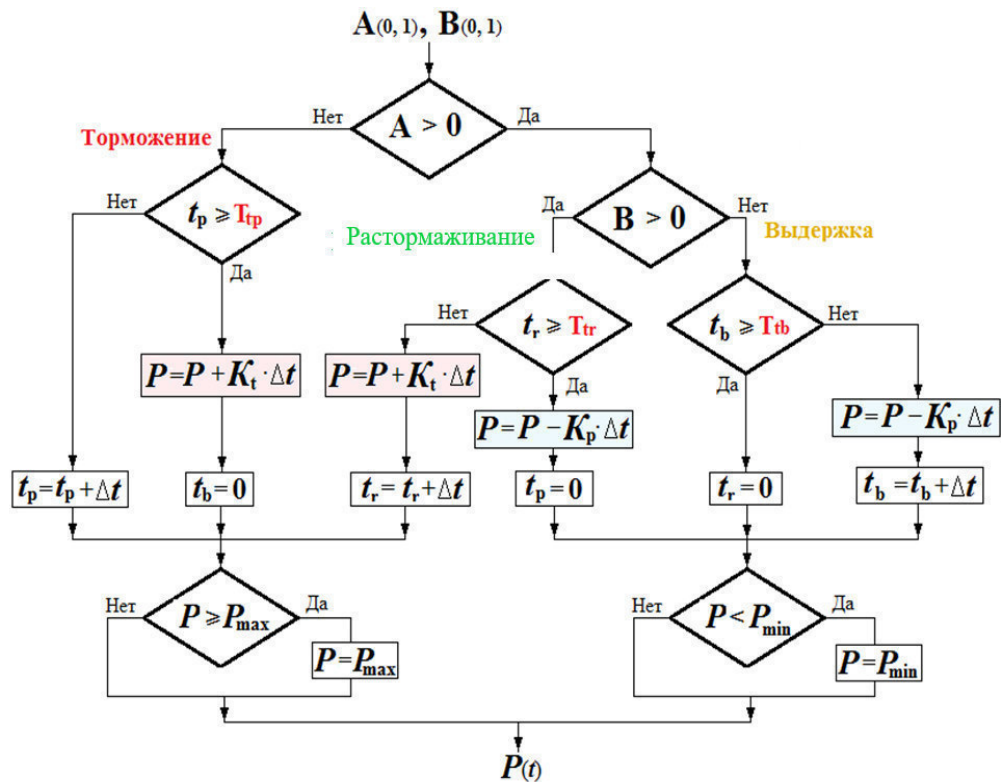


Рис. 2.11. Алгоритм расчета давления тормозной жидкости в тормозном приводе в процессе работы модулятора ABS

Большая часть уравнений математической модели исследуемого ПТ автомобиля с ABS является нелинейными дифференциальными уравнениями. В данной работе для интегрирования дифференциальных уравнений был использован численный метод Эйлера.

2.3. Алгоритм расчета параметров процесса торможения автомобиля с работающей и отключенной ABS

Аналитические исследования ПТ КТС с ABS в дорожных условиях (в том числе и на дорогах, покрытых ХПГМ), выполняли на основе алгоритма расчета, представленного на рис. 2.12.

Для расчета параметров ПТ КТС на дорогах, покрытых ХПГМ был разработан алгоритм программы, состоящий из нескольких этапов:

1 Этап – «Ввод параметров для расчета процесса».

На этом этапе в программу вводят следующие константы: V – начальную скорость торможения КТС, $r_{св}$ – радиус свободного (не нагруженного) колеса, константы для вычисления радиуса качения колеса в ведомом режиме; основные геометрические параметры КТС, масса КТС; уставка на срабатывание ABS; жесткости подвесок и шин; минимальное и максимальное давление в приводе ТМ; константы для расчета параметров ТМ; константы для математического описания стационарных характеристик шин; коэффициентов сцепления и сопротивления качению шин.

2 Этап – «Расчет начальных значений исследуемого процесса».

На этом этапе программа выполняет расчеты следующих исходных данных: $r_{ко}$ – радиусов качения колес в ведомом режиме; константы a_1 и b_1 для расчета нормированной функции проскальзывания ЭШ; R_z нормальных реакций на колесах КТС в статике, прогибов элементов передней и задней подвески КТС, ω_k – угловых скоростей вращения колес.

3 Этап – «Выполнение расчетов процесса функционирования ABS».

На третьем этапе расчетов программа позволяет определять параметры,

характеризующие работу ABS, а также её элементов, таких как – электронный блок управления – ЭБУ и электрогидравлический модулятор давления жидкости в тормозных механизмах [формулы (2.39)–(2.43)].

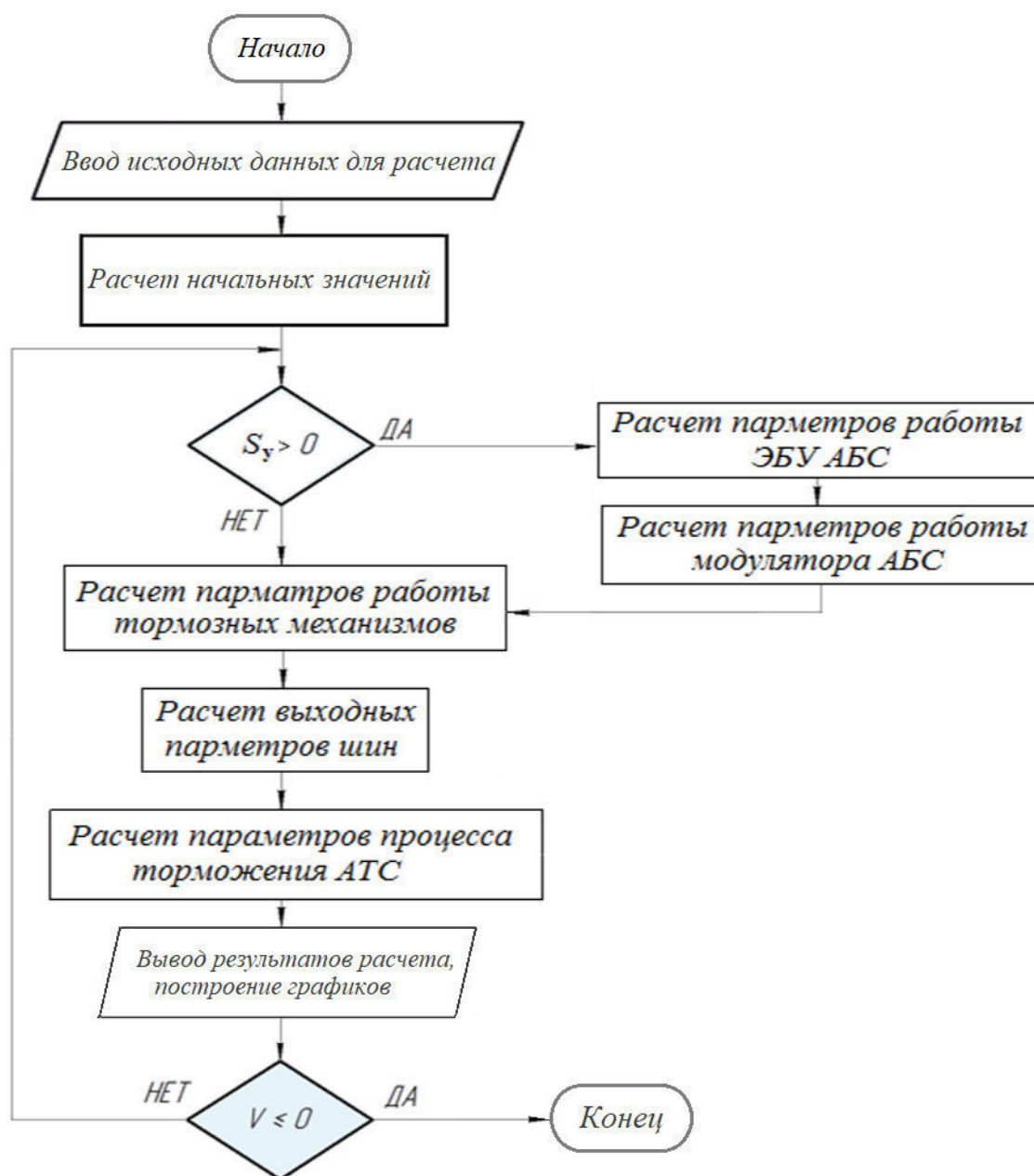


Рис. 2.12. Алгоритм расчета параметров процесса торможения автомобиля с ABS и без ABS на дорогах, покрытых ХПГМ

Третий этап рассчитывается тогда, когда задана уставка на срабатывание ABS, т. е. $S_y > 0$. Если же величина уставки не задана, то по умолчанию $S_y = 0$, и в этом случае расчеты с использованием третьего этапа алгоритма программы не выполняются и после выполнения второго этапа,

программа переходит на расчеты процесса с использованием программного контента четвертого этапа алгоритма.

4 Этап – «Выполнение расчетов параметров торможения КТС».

На этом этапе программа выполняет расчет параметров процесса движения поддрессоренной массы КТС вдоль осей OX и OZ . Основу расчетов составляют уравнения (2.1)–(2.19). Рассчитываются угловые перемещения поддрессоренной массы КТС относительно оси OY .

Чтобы рассчитать перемещения поддрессоренных масс КТС необходимо найти продольные нормальные R_z и касательные R_x реакции на колесах. Для этих расчетов используются математические описания процессов функционирования тормозных механизмов [формулы (2.35)–(2.38)], а также выходных параметров процесса взаимодействия ЭШ с опорной поверхностью дороги [формулы (2.20)–(2.34)].

5 Этап – «Построение графиков исследуемых процессов».

На данном этапе программа выполняет построение графиков: S_T – тормозного пути автотранспортного средства, R_x – тормозных сил; R_z – нормальных реакций на колесах задней и передней осей. Как опция могут быть выведены графики: ω_k – угловых скоростей колес и M_T – тормозных моментов.

Если в процессе расчетов скорость V продольного перемещения КТС достигнет нулевого значения, то расчеты будут окончены.

2.4. Теоретические предпосылки процесса загрязнения световых приборов автомобилей от колес, впереди идущих КТС

В первой главе описано, что загрязнение световых приборов ХПГМ значительно ограничивает видимость водителем пешеходов и участников движения в ТВС на НУД и улиц. Поэтому в данном разделе представлены результаты разработки математического описания процесса загрязнения фар автомобиля от впереди идущего транспортного средства с целью выявления основных, влияющих на этот процесс, факторов [99].

Основой для разработки теоретических предпосылок процесса загрязнения световых приборов автомобилей от колес впереди идущих КТС было предположение о том, что в его основе лежат три одновременно действующих процесса:

- отрыв капель от колеса движущегося автомобиля;
- пролет капель от колеса впереди идущего автомобиля до фары автомобиля, идущего за ним следом;
- накопление капель на фаре сзади идущего автомобиля и образование на ней жидкой загрязняющей пленки.

2.4.1. Математическое описание процесса движения капли от колеса впереди идущего автомобиля

Условием отрыва капель от колеса движущегося КТС является превышение центробежной силы, действующей на капли центростремительной силы, притягивающей каплю к колесу вследствие действия молекулярных сил смачивания. В случае если силы притягивающие молекулы жидкости к *поверхности шины* больше, чем силы, действующие между молекулами жидких фракций ХПГМ, то происходит смачивание [99].

При очень малых скоростях движения автомобиля ($\approx$ до 1 м/с) центростремительная сила на беговой дорожке шин больше центробежной силы. По этой причине отрыва капель нет, а толщина смачивающей грязе-водяной пленки довольно толстая.

С ростом скорости КТС, возрастает и центробежная сила F_j , действующая на грязе-водяную пленку. Это приводит к отрыву капель от грязе-водяной пленки в случае, если они преодолевают силу притяжения между молекулами жидкости. Таким образом, рост скорости вращения колес приводит к росту как центробежной силы, так и центростремительной. В этом случае доминируют силы притяжения между молекулами жидкости и поверхностью беговой дорожки шины [99].

Данный анализ позволяет утверждать о том, что *количество капель*,

которые отрываются от поверхности шины колеса, движущегося по мокрой дороге автомобиля, с увеличением его скорости растет.

Теперь рассмотрим процесс полета каплей от колеса впереди идущего автомобиля до фары автомобиля, идущего сзади.

Запишем формулу динамического равновесия капли, летящей от колеса впереди идущего автомобиля:

$$m \frac{d^2 \vec{S}}{dt^2} = \vec{F}_g + \vec{F}_{mp} + \vec{F}_{conp}. \quad (2.44)$$

Исходными условиями для формулы (2.44) будут:

$$\vec{S}(0) = \vec{0}, \quad \frac{d\vec{S}}{dt}(0) = \vec{V}_0. \quad (2.45)$$

Скорость $\vec{V}_0$ капли в момент отрыва от колеса можно рассчитать из формул (2.44) и (2.45). Если известны масса капли m , то ее координаты $\vec{S} = (x, y, z)$. Очевидно, что движение капли зависит от действующих на нее сил. Так, действующая на каплю сила тяжести $\vec{F}_g = -m(0, 0, g)$.

Для описания второго слагаемого формулы (2.44), представляющего собой силу вязкого трения, воспользуемся формулой Стокса:

$$\vec{F}_{mp} = -6 \pi \eta r \cdot \left(\frac{d\vec{S}}{dt} - \vec{V}_e \right), \quad [\text{Н}], \quad (2.46)$$

где $\vec{V}_e$ – скорость движения воздуха за впереди идущим автомобилем;

r – радиус летящей капли;

$\eta = 1,8 \cdot 10^{-1} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-1} \text{с}^{-1}$ – коэффициент, учитывающий вязкость воздушной среды за движущимся КТС (при температуре 20 °C).

Третье слагаемое в уравнении (2.44) является силой аэродинамического сопротивления движению капли. Она вполне удовлетворительно описывается формулой Ньютона

$$\vec{F}_{conp} = -\frac{1}{4} \pi \rho r^2 \cdot \left(\frac{d\vec{S}}{dt} - \vec{V}_e \right)^2, \quad [\text{Н}], \quad (2.47)$$

В формуле (2.47) плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ (при $t=20$ °C).

Выполним анализ дифференциальных уравнений (2.44) и (2.45).

Во-первых, при $\rho = \eta = 0$ уравнения (2.44) и (2.45) имеют точное решение. При этом:

$$z(t) = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} - \frac{g}{2} \left(t - \frac{V_0 \sin \alpha}{g} \right)^2, \quad x(t) = V_0 \cos \alpha \cdot t, \quad t \in \left[0, \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} \right]. \quad (2.48)$$

В выражении (2.48) координатами капли, измененными вдоль и перпендикулярно поверхности Земли, являются координаты $x(t)$ и $z(t)$. При этом α – это угол между вектором скорости капли и горизонтальной плоскостью дороги в момент отрыва капли от шины, V_0 – модуль скорости капли который, по величине равен модулю скорости автомобиля.

Решение, представленное формулами (2.48), показывает, что движение капли осуществляется по параболической траектории, в плоскости XOZ .

Пренебрегая силами аэродинамического сопротивления, выполним анализ параметров, характеризующих траекторию полета капли. В качестве примера примем скорость движения КТС равной 72 км/час (20 м/с), а угол отрыва капли от шины – равным 30° .

При этих условиях капля улетит в горизонтальном направлении на 35 метров, максимальная высота подъема составит 5,1 метра, ее полет будет продолжаться 2 секунды. За время, равное 2 секунды, автомобиль переместится от места вылета капли на 40 метров. Если дистанция между автомобилями при этом составит 75 метров, то фары сзади идущего автомобиля могли бы загрязняться от шин автомобиля, идущего впереди. Отметим, что это заключение получено при допущении об отсутствии действия на каплю аэродинамического сопротивления.

Во-вторых, результаты анализа движения капли в воздушной среде значительно зависят от числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{2 r \rho V}{\eta}. \quad (2.49)$$

В случае если число Рейнольдса достигает больших значений $Re \geq 500$,

то это позволяет пренебречь силами вязкого трения.

Например, при радиусе капли $r = 10^{-3}$ м скорости ее движения, равной $V_0 = 20$ м/с, число Рейнольдса равно $R_e = 2600$, сила вязкого трения (аэродинамического сопротивления) капли в воздушной среде крайне мала.

Если не учитывать силы аэродинамического сопротивления и силу тяжести (*в силу ее малой величины*), то при $\vec{V}_B = 0$ уравнения (2.44) и (2.45) имеют очень простое решение:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{V_0}{1 + aV_0t}, \quad S(t) = \frac{1}{a} \ln(1 + aV_0t). \quad (2.50)$$

Учитывая, что капля имеет шарообразную форму и плотность 10^3 кг · м⁻³

$$a = \frac{\pi \rho r^2}{4m} = 0.225 \text{ м}^{-1}. \quad (2.51)$$

Результаты решения показывают, что скорость капли за время $t = 2$ с снизится с 20 до 2 м/с. При этом капля пролетит путь 10 метров, а расстояние между ней и колесом, из-под которого она вылетела, будет 50 метров. Следовательно, если дистанция между двумя движущимися автомобилями будет

50 метров, то фары сзади идущего автомобиля будут загрязняться каплями, из-под колес впереди идущего автомобиля [99].

В случае если радиус вылетевшей капли будет 0,002 м, а ее плотность будет в 2 раза выше плотности воды, то при скорости ее движения, равной 20 м/с, за время $t = 2$ с капля пролетит 21 метр, а расстояние между каплей и колесом, из-под которого она вылетела, составит 61 метр.

Для точного определения параметров движения капли необходимо знать скорость и направление воздушных потоков $V_e(x, y, z, t)$, рассчитать которые крайне сложно. Известно, что скорость воздушных потоков определяется в том числе геометрией, формами и скоростью движения впереди идущего автомобиля. На них влияют воздушные потоки от встречных автомобилей, попутный и боковой ветер, ландшафт дороги.

2.4.2. Математическое описание процесса образования грязевой пленки на фарах сзади идущего автомобиля

Как уже было отмечено ранее, жидкая грязе-водяная пленка приводит к уменьшению светопропускания фар, что снижает видимость водителем дороги в темное время суток.

Рассмотрим процесс образования грязе-водяной пленки на автомобильной фаре сзади идущего автомобиля. Для этого воспользуемся результатами поискового эксперимента, суть которого заключалась в контроле загрязнения прозрачных экранов, которые устанавливали на фары. Через определенные промежутки пробега автомобиля по дорогам, покрытым ХПГМ, выполняли измерение светопропускания фар в лабораторных условиях. Во время движения между двумя автомобилями поддерживали дистанцию ≈ 50 метров. Автомобили двигались с одинаковой скоростью на расстоянии 5 километров по дороге, покрытой ХПГМ, после чего экраны на фарах заменяли на чистые. Выполняли от 4 до 6 измерений при каждой скорости КТС: 10, 20, 40 60 и 80 км/час. Измеренные параметры можно видеть на рис. 2.13.

Таким образом, величина загрязнения фар и толщина g грязе-водяной пленки связаны прямо пропорциональной зависимостью вида:

$$Y = N(1 - K_{\text{проз}})g. \quad (2.52)$$

В формуле (2.52) параметр $K_{\text{проз}}$ – это коэффициент прозрачности грязе-водяной пленки, зависящий от ее химического и фракционного состава, а N – нормировочный множитель с размерностью обратной длине. Известно, что для чистой воды величина коэффициента прозрачности $K_{\text{проз}}$ близка к единице.

Как уже было показано в разделе 2.4.1, с ростом скорости количество капель, летящих от колес впереди идущего автомобиля, растет. При этом чем больше скорость, тем больше толщина грязе-водяной пленки. Сама грязе-водяная пленка образуется под действием сил смачивания, которые зависят

от взаимного притяжения молекул жидкости к молекулам стекла фары. При увеличении толщины грязе-водяной пленки наружный слой ее молекул все слабее притягивается к стеклу. При большой толщине грязе-водяной пленки капли начинают соскальзывать с фары под действием сил тяжести и давлением набегающего воздуха. Для математического описания этого процесса применимо дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{dg}{dV} = Q_{загр} - \frac{2}{V_{загр}} g. \quad (2.53)$$

Решение уравнения (2.53) позволяет построить зависимость толщины грязе-водяной пленки, образующейся на фаре автомобиля при пробеге на расстояние одного километра от скорости движения автомобиля:

$$g(V) = 0.5Q_{загр}V_{загр}\left(1 - e^{-\frac{2V}{V_{загр}}}\right), \quad (2.54)$$

где $Q_{загр}$ – условное время образования смачивающей пленки;

$V_{загр}$ – скорость автомобиля, при которой толщина грязе-водяной пленки достигает 87 % от предельной, равной $0,5 \cdot Q_{загр} \cdot V_{загр}$.

Теоретическую формулу загрязнения фары на пробеге 5 км от скорости пробега получим, объединив все три уравнения (2.52) – (2.54):

$$Y_{сф} = Y_0 \left(1 - e^{-\frac{2V}{V_{загр}}}\right), \quad V_{загр} = 80 \text{ км/час}. \quad (2.55)$$

Параметры, входящие в формулу (2.55), определены в процессе сопоставления экспериментальных данных (рис. 2.13), полученных при условии скоростного режима автомобиля 60 км/час и более.

Они нанесены на рис. 2.13 в виде кривой функции загрязнения фары. Предельная степень загрязнения фары, установленная расчетным методом, равна $Y_0 = 22,8 \%$.

Экспериментальное значение коэффициента прозрачности жидкости, образующей грязевую пленку на фаре, оказалось равным $K_{проз} = 0,772$.

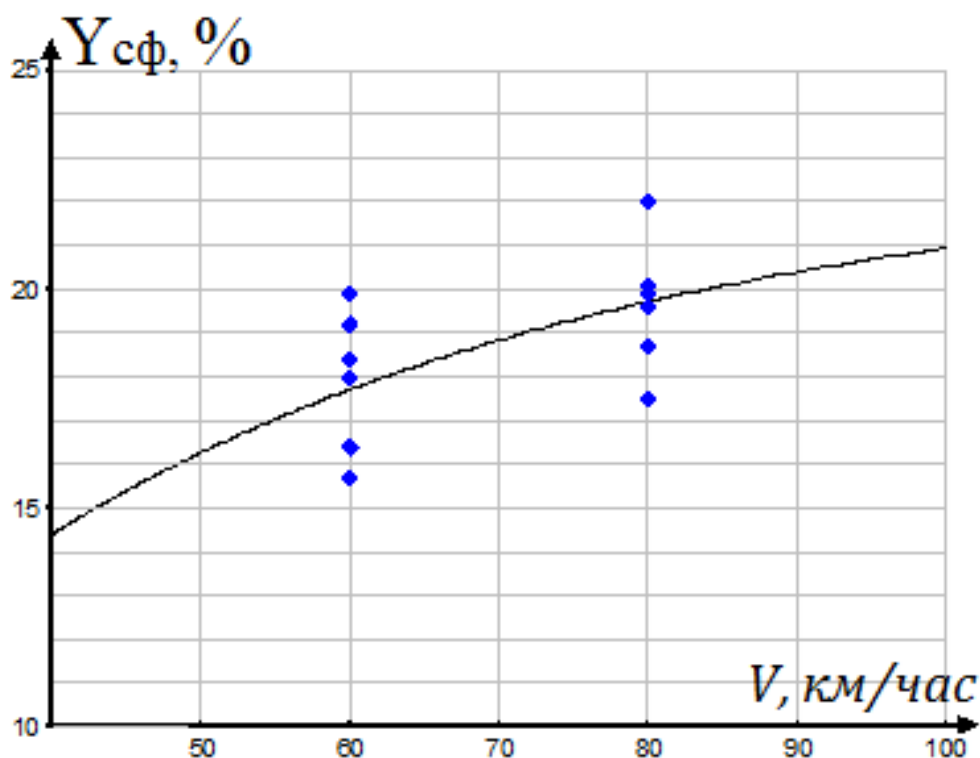


Рис. 2.13. График загрязнения $Y_{сф}$, % фары автомобиля Nissan Qashqai от скорости его движения на дистанции 50 метров от впереди идущего автомобиля на дороге, покрытой ХПГМ, при температуре $-(20-25)^\circ\text{C}$

Сравнение экспериментального и теоретического графиков показывает, что они вполне сопоставимы при скоростях 60–80 км/час и имеют значительные количественные отличия (*малая загрязненность фар*) при скоростях автомобилей в 10 и 20 км/час. Чтобы выяснить причину этого, выполним анализ формулы (2.48).

Она показывает, что дистанция между шиной впереди идущего автомобиля и оторвавшейся от него грязе-водяной каплей определяется формулой:

$$X = \frac{2V_0^2}{g} \sin\alpha(1 + \cos\alpha). \quad (2.56)$$

Таким образом, максимальная дистанция, достигаемая каплей, если она отрывается от шины под углом к плоскости дороги, равна 60 градусов. Она определяется по формуле:

$$X_{max} = \frac{3\sqrt{3}V_0^2}{2g} [м/с] = 0.02V_0^2 [км/час]. \quad (2.57)$$

Следовательно, при условии скоростного режима автомобиля 60 км/час, максимальная дистанция, при которой грязе-водяные капли из-под колес впереди идущего автомобиля будут загрязнять фары сзади идущего автомобиля равна 72 метра. С уменьшением скорости дистанция между автомобилями, при которой возможно загрязнение фар грязе-водяными каплями жидких фракций ХПГМ, квадратично уменьшается. При скорости 20 км/час она уменьшается до 8 метров.

Вспомним, что в процессе поискового эксперимента дистанция между автомобилями была равной ≈ 50 метров. При этих условиях фары автомобиля, движущегося за впереди идущим при скоростях ниже 50 км/час, должны были оставаться чистыми. Незначительная загрязненность фар при скоростях 10 и 20 км/час, скорее всего, возникла от капель, отлетающих от шин обгоняющих и встречных автомобилей или от турбулентности воздуха между автомобилями.

2.5. Выводы по главе

1. Разработанные теоретические предпосылки повышения объективности проведения автотехнических экспертиз ДТП с наездом КТС на пешеходов в темное время на зимних дорогах содержат математический аппарат дифференциальных, алгебраических уравнений и неравенств, описывающих процессы торможения автомобиля и загрязнения его фар продуктами обработки дороги ХПГМ. Они допускают исследовать процесс экстренного торможения КТС на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, а также рассчитывать допустимую скорость их движения по условиям видимости в темное время суток.

2. Разработанная структурная схема позволяет выполнять аналитические взаимосвязи элементов исследуемого процесса торможения КТС категории М1 как с функционирующей, так и с отключенной ABS на дорогах, обработанных ХПГМ, с учетом фрикционных характеристик как

шипованных, так и нешипованных шин.

3. Разработанное математическое описание процесса совместной работы ЭБУ - блока управления и электро-гидравлического модулятора давления ABS позволяет моделировать изменение давления тормозной жидкости в приводе тормозных механизмов КТС, учитывает суммарные задержки срабатывания ЭБУ и модулятора ABS, позволяет адаптировать величину уставки на срабатывание ЭБУ к изменению условий сцепления шин с опорной поверхностью дороги.

4. Математическое описание тормозного механизма дискового типа позволяет выполнять расчеты процесса экстренного торможения КТС с учетом гистерезисных потерь в паре трения, инерционности тормозного механизма и зависимости его эффективности работы от скорости вращения колес.

5. Математическое описание характеристик эластичных шин учитывает силовые и скоростные потери в шинах колес автомобиля. Оно базируется на нормированной функции проскальзывания, учитывает нелинейность силового радиуса колес и их инерционные свойства.

6. Математическое описание процесса торможения автомобиля учитывает жесткостные, кинематические и демпфирующие характеристики подвески КТС, перераспределение нормальной нагрузки между его осями при торможении, учитывает аэродинамические характеристики кузова.

7. Разработанный алгоритм программы расчета позволяет выполнять расчеты тормозной эффективности как КТС, так и эффективности торможения отдельного колеса, в том числе и в составе ABS, на дорогах с разными фрикционными свойствами.

8. Разработанное математическое описание процесса загрязнения фар грязе-водяными каплями жидких фракций ХПГМ позволяет прогнозировать уровень загрязнения фар автомобиля от шин вращающихся колес впереди идущего автомобиля при его движении по дорогам, покрытым химическими противогололедными реагентами. Установлено, что уровень загрязнения фар продуктами ХПГМ зависит от скорости движения автомобилей и дистанции между ними.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Достоверность выполняемых в данной работе исследований определяется на основе использования двух методов – экспериментального и аналитического. Представленные во второй главе математические модели исследуемых процессов верифицировали на основании полученных результатов экспериментальных исследований (ЭИ).

Для проведения ЭИ были использованы следующие общеизвестные методики:

- методика планирования эксперимента;
- статистическая методика проверки адекватности математической модели;
- методика контроля силы света фар автомобиля;
- методика определения видимости пешехода по ширине проезжей части в условиях ограниченной видимости;
- методика контроля тормозной эффективности КТС с помощью прибора «ЭФФЕКТ» при дорожных испытаниях.

Кроме того, дополнительно автором были разработаны следующие экспериментальные методики:

- методика измерения светопропускания автомобильных фар;
- методика экспериментальных исследований процесса загрязнения фар автомобиля ПО ХПГМ;
- методика ЭИ эффективности торможения колеса в составе ABS на стенде с беговым барабаном (СББ).

Для реализации данных методик при проведении ЭИ было использовано как существующее, так и разработанное при участии автора оборудование. Описание технических и метрологических характеристик экспериментального оборудования представлено в этой главе.

3.1. Методика планирования эксперимента

Достоверность и повторяемость результатов научного исследования большей частью зависят от климатических условий региона и погоды. На процесс загрязнения фар КТС продуктами обработки дороги противогололедными материалами влияет целый ряд внешних факторов, таких как: объемы и пропорции применения на дорогах химических противогололедных материалов; наличие атмосферных осадков (*снег, дождь*); температура и влажность воздуха; скорость и направление ветра; толщина слоя сэндвича и т. п.

Для выявления исследуемых закономерностей необходимо обеспечивать высокую стабильность условий и большое число проводимых экспериментов. Чтобы оптимизировать число проводимых весьма трудоемких и затратных экспериментов, необходимо определиться с количеством опытов, необходимых и достаточных для достоверности результатов. Также вычисляли среднеарифметическое значение таких параметров, как *светопропускание стекла экрана фары, силы света фар, величины расстояния видимости водителем пешехода и величины тормозного пути автомобиля*. Для этого, используя табличную зависимость В.И. Романовским, задавались значением надежности N_n и относительной ошибки $\Delta_{ош}$ эксперимента. [58, 59].

Согласно методике [58], принимали значение надежности результатов экспериментов равное 0,9, которое необходимо для определения значений величин и закономерностей.

Приняли, что предельная ошибка итоговых показателей ЭИ приближенно равна наибольшей возможной статической величине в диапазоне отклонения 6σ [58]:

$$\Delta_{II}(\bar{z}) \approx \pm 3\sigma. \quad (3.1)$$

Руководствуясь методикой [58], выполняли не менее четырех измерений исследуемого в процессе эксперимента контролируемого

параметра. По результатам измерений рассчитывали среднеквадратичное отклонение σ .

Для этого вычисляли величину дисперсии σ^2 контролируемых в процессе экспериментальных исследований параметров по известной в математической статистике формуле [47, 9, 22]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (\bar{z} - z_k)^2}{n-1}, \quad (3.2)$$

где $\bar{z}$ – математическое ожидание контролируемого в процессе экспериментальных исследований параметра [47, 9, 22]:

$$\bar{z} = \frac{\sum_{k=1}^n z_k}{n}, \quad (3.3)$$

где z_k – значение контролируемого в процессе экспериментальных исследований параметра;

n – количество последовательно выполненных в процессе исследования экспериментов.

В итоге определяли необходимое число экспериментов (*необходимых в процессе проведения экспериментальных исследований*) с использованием таблицы В.И. Романовского [58, 59].

3.2. Методика измерения светопропускания автомобильных фар

В данном разделе приведены материалы, процедуры мониторинга светопропускания автомобильных фар при загрязнении их поверхности продуктами ХПГМ. Измерение выполняли по оригинальной, разработанной автором, методике с помощью съемных прозрачных экранов. Методика позволяет установить степень влияния продуктов ХПГМ на уровень загрязнения поверхностей световых приборов автомобиля и учитывать это негативное явление при процедуре проведения экспертиз ДТП с наездом на пешеходов в темное время суток.

Для проведения ЭИ влияния применения ХПГМ на уровень загрязнения автомобильных фар в зимний период были подготовлены и

установлены на фары прозрачные съемные экраны для трех испытуемых автомобилей. Прозрачный экран для фары показан на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Прозрачный легкий экран автомобильной фары

Изготовленные из высокопрочного акрилового стекла прозрачные экраны, представляют собой съемные щитки, в точности повторяющие контуры фары.

Для реализации методики был изготовлен шаблон, позволяющий оперативно позиционировать места контроля светопропускания на поверхности экрана в девяти равноудаленных точках (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Накладной шаблон для оперативного позиционирования мест контроля светопропускания на поверхности экрана

Благодаря тому, что экраны съемные, обеспечивается возможность дискретного и оперативного измерения светопропускания в девяти контрольных точках поверхности экрана фары по мере их накопительного загрязнения ПО ХПГМ. Подобные измерения технически очень сложно

выполнить на фарах автомобиля.

В процессе реализации методики, автомобиль с установленными на фары прозрачными экранами в зимнее время года использовали для заездов по улицам г. Иркутска, а также на автодороге Р-258 «Байкал», которые были обработаны ХПГМ. После каждого заезда с фар автомобиля снимали загрязненные ПО ХПГМ экраны, определяли их загрязненность и уровень светопропускания в каждой контрольной точке.

Для этого к внутренней стороне экрана прикладывали шаблон для позиционирования мест контроля светопропускания в девяти равноудаленных точках.

У каждого экрана (*левой и правой фар*), загрязненного ПО дороги противогололедными материалами, в каждой контрольной точке при помощи прибора «ТОНИК» измеряли светопропускание [48]. Методика измерения светопропускания подробно изложена в п. 3.2.3 настоящей главы.

По итогам измерения в каждой контрольной точке экрана определяли средние значения величины светопропускания.

Результаты измерений светопропусканий экранов фар заносили в табл. 3.1.

После завершения процедуры контроля светопропускания снова устанавливали экраны на фары автомобиля и выполняли следующий заезд.

Такой подход позволяет получать зависимость величины светопропускания экранов от их загрязнения.

3.2.1. Экспериментальное оборудование

для измерения светопропускания загрязненных экранов фар

Согласно требованиям Межгосударственного ГОСТ 32565-2013 «Стекло безопасное для наземного транспорта» и Технического регламента таможенного союза ТР ТС 018/ 2011 [17, 72], водители автотранспортных средств должны придерживаться установленных норм светопропускной способности автомобильных окон, контроль за которыми осуществляется с использованием специального электронного прибора, называемого *тауметром*.

Таблица 3.1. Таблица для внесения результатов измерения светопропускания экранов в каждой из девяти контрольных точек

№ Цикла заезда	Показания прибора «ТОНИК»					
	Правая фара (ПФ)			Левая фара (ЛФ)		
	Контрольная точка		среднее	Контрольная точка		среднее
	№	%		№	%	
1 (чистый экран)	1			1		
	2			2		
	3			3		
	4			4		
	5			5		
	6			6		
	7			7		
	8			8		
	9			9		
2 (после первого цикла заездов)	1			1		
	2			2		
	3			3		
	4			4		
	5			5		
	6			6		
	7			7		
	8			8		
	9			9		

Тауметр – это портативный измерительный прибор, предназначенный для измерения коэффициента светопропускной способности стекол, в том числе и с наклеенной тонировочной пленкой.

Для реализации вышеизложенной методики контроля светопропускания стекла экранов автомобильных фар при их загрязнении ХПГМ был использован именно этот электронный прибор.

Самые распространенные в России измерители светопропускной способности стекол – это приборы: «Блик-Н», «Свет» и «ТОНИК». Для проведения экспериментальных исследований процесса загрязнения продуктами ХПГМ автомобильных фар и их влияния на показатели освещения дороги, в данной работе был применен прибор – измеритель светопропускания стекол «ТОНИК» НПФ «МЕТА» (г. Жигулевск, Самарская область) [48]. «ТОНИК» позволяет определять светопропускание стекла

различного назначения. Его применяют для контроля светопропускания ветрового и боковых стекол, установленных в кабине водителя КТС.

Условия эксплуатации тауметра «ТОНИК» [48]:

- относительная влажность воздуха при температуре +30 °С: до 95 %;
- атмосферное давление: от 84 до 106,7 кПа;
- температура воздуха: от –10 до +40 °С.

Технические характеристики тауметра «ТОНИК» [48]:

- диапазон измерения светопропускания: $4 \div 100$, %;
- дискретность показаний: 0,1, %;
- пределы допускаемой основной абсолютной погрешности: $\pm 2,0$, %;
- толщина тестируемого стекла: до 20, мм;
- время подготовки к измерению: не более 20, с;
- напряжение питания: $\pm 3,6$ В;
- потребляемый ток: не более 160 мА;
- время непрерывной работы без подзарядки: не менее 10 ч.

3.2.2. Устройство и принцип работы прибора «ТОНИК»

Принцип определения величины светопропускания стекол тауметром «ТОНИК» основан на измерении величины светового потока, пропускаемого стеклом, относительно общего падающего светового потока (в относительных единицах). Чувствительность фотоприемника тауметра «ТОНИК» представляет собой зависимость в виде кривой чувствительности человеческого глаза в диапазоне 400÷750 Нм. При этом он обеспечивает максимальное пропускание света волны длиной, равной $\lambda_{\max} = 560 \pm 10$ Нм.

Чувствительная поверхность фотоприемника принимает от осветителя прибора световой поток, который проходит сквозь анализируемое стекло или без него. Фотоприемник под действием светового потока формирует электрический ток и передает его через усилитель на вход микроконтроллера «ТОНИКА». Микроконтроллер обрабатывает сигналы фотоприемника и обеспечивает управление работой тауметра согласно программе в ПЗУ

прибора. Осветитель тауметра подключен к узлу управления прибора, который работает от микроконтроллера «ТОНИКА».

При положительных результатах измерения их результаты отображаются на цифровом дисплее прибора. В случаях, когда измеренные значения светопропускания ниже требуемого порога, результаты измерений сопровождаются звуковой сигнализацией. Электрическое питание прибора производится от аккумулятора, уровень заряда которого всегда отображается на дисплее прибора. Внешний вид тауметра «ТОНИК» показан на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Портативный измерительный прибор для измерения коэффициента светопропускной способности стекол. Тауметр «ТОНИК-Н»

Алгоритм определения светопропускания стекла тауметром «ТОНИК» включает две процедуры: «Калибровка» и «Измерение».

1. Процедура «Калибровка» предусматривает установку освещенности от светового потока Φ_0 прибора, равного уровню 100 %, в режиме просвечивания чистого воздуха.

2. Процедура «Измерение» выполняется в случае выполнения измерения величины светового потока Φ_x , проходящего через проверяемое стекло, находящееся между фотоприемником и осветителем прибора. Процедура «Измерение» сопровождается определением светопропускания τ проверяемого стекла в процентах, проходящего через него светового потока. При этом микроконтроллер прибора использует формулу вида:

$$\tau, \% = \Phi_x / \Phi_0 \cdot 100. \quad (3.4)$$

3.2.3. Последовательность измерения светопропускания стекла с использованием тауметра «ТОНИК»

В данном разделе представлена методика завода-изготовителя тауметра «ТОНИК» [48], которая позволяет измерять светопропускание экранов фар. Последовательность выполнения действий следующая.

1. Совместив поверхности фотоприемника и осветителя, произвести калибровку уровня светопропускания.

2. Нажать сенсор $>100<$ / «ОТМЕНА», а затем, при появлении на дисплее прибора надписи «CAL», отпустить ее. Проверить величину светопропускания. Она должна быть на уровне $100 \pm 0,2$ %.

3. Чтобы включить прибор, необходимо нажать на сенсор «ВКЛ». Сигнал прибора должен прозвучать два раза, т.к. выполняется тест дисплея (появляется символ «%», цифры «8.8.8.8.»).

4. При этом «ТОНИК» на несколько секунд перейдет в режим прогрева.

5. Измерить светопропускание стекла. Для этого приложить к стеклу осветитель и фотоприемник прибора с противоположных сторон и с небольшим усилием прижать.

6. Для получения максимально возможной точности измерения обеспечить позиционирование осветителя и фотоприемника прибора на поверхности стекла так, чтобы по возможности более точно совместить их центры. Результатом измерения считается максимальное показание прибора, которое получено в процессе взаимного позиционирования.

7. На дисплее прибора считать результаты измерения величины светопропускания стекла, выраженные в процентах.

3.3. Методика экспериментальных исследований процесса загрязнения фар автомобиля ПО ХПГМ

При движении автомобиля по дорогам, покрытым ХПГМ в зимнее время года, загрязняются его ветровые стекла и световые приборы. И если

загрязнение ветрового стекла устраняют стеклоочистители, то загрязнение фар в процессе движения КТС должны удалять оmyватели (*очистители*) фар. Как уже было отмечено, в условиях низких температур Сибири оmyватели (*очистители*) фар примерзают и не работают даже при использовании низкотемпературных оmyвающих жидкостей. При этом водитель, как правило, информации о загрязнении фар не имеет.

В данном разделе приводится методика ЭИ процесса загрязнения фар КТС противогололедными материалами от колес впереди идущих автомобилей.

ЭИ процесса загрязнения фар автотранспортного средства продуктами обработки дороги ХПГМ проводили в зимнее время года на проезжей части улиц г. Иркутска, а также на автодороге Р-258 «Байкал» в темное время суток при следующих дорожно-климатических условиях:

- средняя температура воздуха от -23 до $+1$ °C (*т. к. образование скользкости на дорогах происходит в этом температурном диапазоне*);
- наличие на поверхности дороги осадков в виде снега;
- наличие на поверхности дороги ХПГМ.

Для проведения дорожных экспериментов использовали три автомобиля: Toyota Fun Cargo, Nissan Qashqai, Mercedes Benz E 320 (рис. 3.4).

Для подготовки испытуемых автомобилей к эксперименту были выполнены следующие виды работ.

1. На автомобили были установлены комплекты новых фар, соответствующих требованиям европейского стандарта.

2. Была выполнена регулировка фар ближнего и дальнего света в соответствии с требованиями Технического регламента таможенного союза ТР ТС018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» [72].

3. Перед ЭИ на каждую фару испытуемого автомобиля устанавливали чистые и прозрачные экраны [21].



а)



б)



в)

Рис. 3.4. Испытуемые автомобили: а – Toyota Fun Cargo; б – Nissan Qashqai; в – Mercedes Benz E 320

3.3.1. Последовательность проведения экспериментального исследования процесса загрязнения фар автомобиля ХПГМ

Как уже было отмечено, экспериментальные исследования процесса загрязнения автомобильных фар ХПГМ проводили в зимнее время года при температуре воздуха от -23 до $+1$ °С, атмосферном давлении от 84 до 106,7 кПа, относительной влажности воздуха не более 95 %. Циклы заездов автомобилей выполняли на расстояние 10 км (*по проезжей части улиц г. Иркутска, покрытых ХПГМ*), а также на расстояние 100 км (*по автомобильной дороге Р-258 «Байкал», обработанной химическими противогололедными реагентами*).

После каждого цикла заездов снимали загрязненные экраны с фар автомобиля.

Выполняли измерения светопропускания каждого экрана в девяти контрольных точках (*согласно методике измерения светопропускания экранов фар*).

Рассчитывали средние арифметические значения результатов измерений светопропускания в девяти контрольных точках экрана. Результаты расчетов и измеренных значений вносили в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Таблица для внесения результатов измерения светопропускания экрана правой и левой фар

Пробег автомобиля, (км)	Показания, прибора «ТОНИК», %			
	ПФ		ЛФ	
	измеренный	средний	измеренный	средний
0				
100				
200				
300				
400				
500				

Число циклов заездов автомобиля в процессе эксперимента, необходимое и достаточное для анализа процесса загрязнения внешних световых приборов (ВСП) автомобиля ХПГМ в зимнее время, определяли в соответствии с методикой планирования эксперимента, представленной в разделе 3.1.

3.3.2. Методика контроля силы света фар автомобиля

После каждого заезда, помимо измерения светопропускания загрязненных ХПГМ экранов фар, выполняли контроль силы их света (*согласно методике, представленной в п. 3.3.5*) как в режиме ближнего, так и в режиме дальнего света.

Измерение силы света выполняли при помощи специального прибора модели ИПФ-01 научно-производственной фирмы «МЕТА» [49]. Измеритель

параметров света фар ИПФ-01 можно увидеть на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Вид измерителя параметров света фар ИПФ-01

Для измерения параметров ССФ автомобиль устанавливали на заранее подготовленную специальную ровную горизонтальную площадку, а затем:

- измеряли (*доводили до нормы*) давление в шинах колес автомобилей, согласно табл. 3.3;
- фары ближнего и дальнего света автомобиля регулировали в соответствии с пунктом 3.8.4 Технического регламента таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» [72];
- перед каждым циклом заезда на фары автомобиля устанавливали съемные прозрачные экраны.

Таблица 3.3. Давление воздуха в шинах испытуемых автомобилей

Модель автомобиля	Размер шин	Давление в передних шинах (МПа/Бар)	Давление в задних шинах (МПа/Бар)
Toyota Fun Cargo	185/65/R14	0,20/2,0	0,22/2,2
Nissan Qashqai	215/65R16	0,21/2,1	0,23/2,3
Mercedes Benz E 320	235/45R17	0,20/2,0	0,23/2,3

- поочередно выполняли измерение силы света K_0 правой и левой фар, в режиме *ближнего света* в направлении оптической оси фары согласно

методике завода-изготовителя, представленной в п. 3.3.5;

- результаты измерений силы света правой и левой фар в режиме *ближнего света* заносили в табл. 3.6;

- поочередно выполняли измерение силы света (правой/левой) фар в режиме *дальнего света*;

- результаты измерений силы света правой и левой фары в режиме *дальнего света* заносили в табл. 3.6.

Количество проводимых экспериментов контроля силы света фар соответствовало количеству проведенных экспериментальных циклов заездов каждого автомобиля в процессе исследования загрязнения его внешних световых приборов ХПГМ.

В программе Microsoft Excel выполняли обработку полученного экспериментального материала и строили графики.

3.3.3. Оборудование для измерения силы света фар, прибор ИПФ-01

Измерение ССФ выполняли при помощи прибора ИПФ-01 – измерителя силы света и корректности направления света фар автомобилей (рис. 3.6) [49]. Описание устройства и работы прибора представлено ниже.

Измеритель параметров света фар ИПФ-01 позволяет выполнять проверку технического состояния и регулировку ВСП АТС. Он в полной мере соответствует требованиям ГОСТ 33997-2016 Межгосударственный стандарт. «Колесные транспортные средства». Действует с 01.02.2018 [19].

Прибор позволяет проводить следующие измерения:

- измерение углов наклона светового пучка фар автомобилей;
- измерение силы света ВСП;
- измерение частоты следования проблесков указателей поворота.

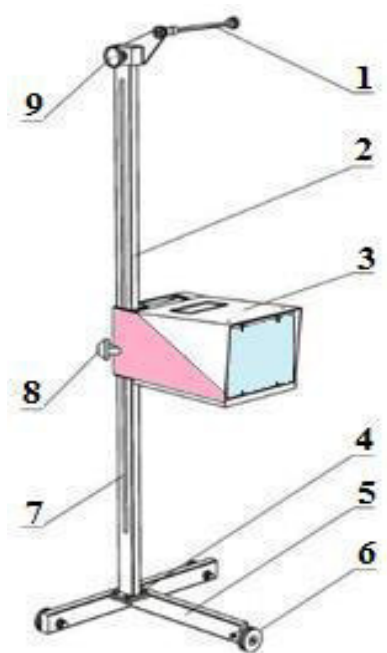


Рис. 3.6. Внешний вид прибора ИПФ-01 для измерения параметров силы света фар (ССФ): 1 – оптический визир системы ориентации; 2 – стойка; 3 – измерительный блок; 4 – болт крепления стойки; 5 – тележка; 6 – болт фиксации уровня колеса; 7 – измерительная линейка для определения высоты установки проверяемой фары; 8 – маховик для фиксации измерительного блока; 9 – винт крепления визира

Условия эксплуатации прибора:

Данный прибор при выполнении работ по определению и регулировке направления светового потока и измерению ССФ, допускается эксплуатировать при t окружающей среды: от -10 до $+40$ °С; относительной влажности до 100 %; атмосферном давлении в диапазоне $73 \div 106$ кПа ($550 \div 800$ мм рт. ст.).

Технические характеристики прибора:

Основным измерительным параметром прибора является угол наклона светотеневой границы светового пучка фары. Диапазон измерения углов наклона светотеневой границы светового пучка фары в вертикальной плоскости составляет от 2° до $20'$. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений не превышает $\pm 0,1$ %. Максимально допустимая

абсолютная погрешность установки оптической камеры измерителя в горизонтальной плоскости $\pm 30'$.

Следующим важным параметром измерения данного прибора является ССФ. Диапазон измерений ССФ составляет от 200 до 125 000 Кд с допускаемой относительной погрешностью $\pm 15\%$. Размеры измерительного объектива 233x170 мм.

3.3.4. Устройство и принцип работы прибора ИПФ-01

Рассмотрим работу прибора ИПФ-01 с использованием его блок-схемы на рис. 3.7. Световой поток от фары автомобиля через стекло линзы Френеля 8 и светофильтр 7 освещает светочувствительную поверхность фотодиода 6.

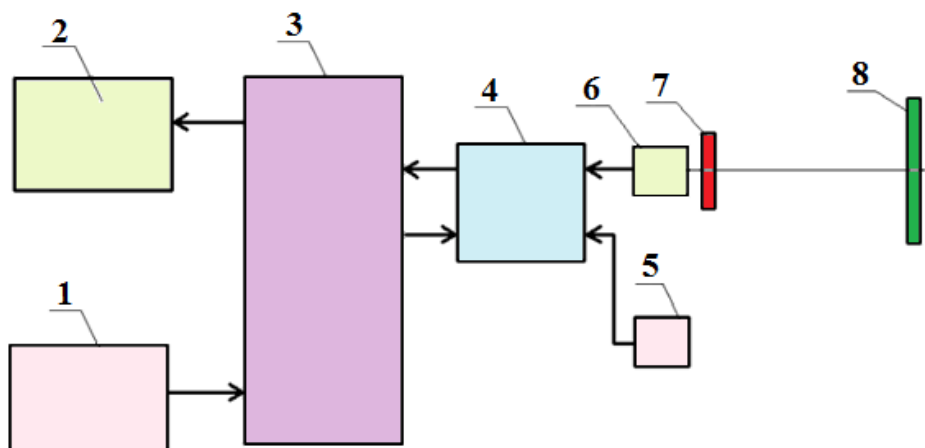


Рис. 3.7. Блок-схема прибора ИПФ-01: 1 – сенсоры управления; 2 – дисплей; 3 – система индикации и управления; 4 – усилитель тока от фотодиода; 5 – фотоприемник; 6 – фотодиод; 7 – светофильтр; 8 – линза Френеля

Сигнал от фотодиода 6, величина которого пропорциональна силе света, подается на усилитель 4. Усиленный сигнал поступает в микропроцессор 3, расположенный совместно с платой управления и индикации. Микропроцессор 3 обеспечивает вычисление силы света от фары, а результаты вычисления выводит на дисплей 2. Активация сенсора 1 обеспечивает возможность управлять работой ИПФ-01.

3.3.5. Порядок измерения силы света фар автомобилей

Для измерения ССФ автомобилей использовали методику завода-изготовителя [49], согласно которой при измерении необходимо выполнить следующие требования.

1. Установить автомобиль на горизонтально расположенной площадке прямолинейно, без продольных и боковых наклонов.
2. Проверить давление в автомобильных шинах, при необходимости довести его до значений, соответствующих нормативу (*см. инструкцию по эксплуатации*).
3. Обеспечить нагрузку на оси автомобиля согласно его инструкции по эксплуатации (табл. 3.4).
4. Проверить четкость включения автомобильных фар. При необходимости устранить неисправности.
5. Подготовить прибор ИПФ-01 к работе.

Таблица 3.4. Нагрузка на оси автомобилей в процессе регулировки фар

Нагрузка на переднюю и заднюю оси автомобилей в процессе регулировки фар (Н)	
Марка автомобиля	Значение передняя ось/задняя ось
Toyota Fun Cargo	5600 Н/4200 Н
Nissan Qashqai	6490 Н/6230 Н
Mercedes Benz E 320	8270 Н/7330 Н

6. В соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.3.2., произвести регулировку фар ближнего света

7. Для того, чтобы измерить ССФ ближнего света (БС) в направлении оптической оси фары, необходимо:

- кнопкой «ВЫБОР» выбрать режим 1 – для правой фары (ПФ) или режим 4 – для левой фары (ЛФ) (рис. 3.8);
- на дисплее прибора будет следующая информация:

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 4 ЛВ. БЛ. 34 В	РЕЖ. = 1 ПР. БЛ. 34 В

– перед фарой автомобиля ставили ИПФ-01 и выполняли его позиционирование;

– на шкале лимба перемещения экрана, с помощью вращения маховика перемещения экрана устанавливали значение 10 (В);

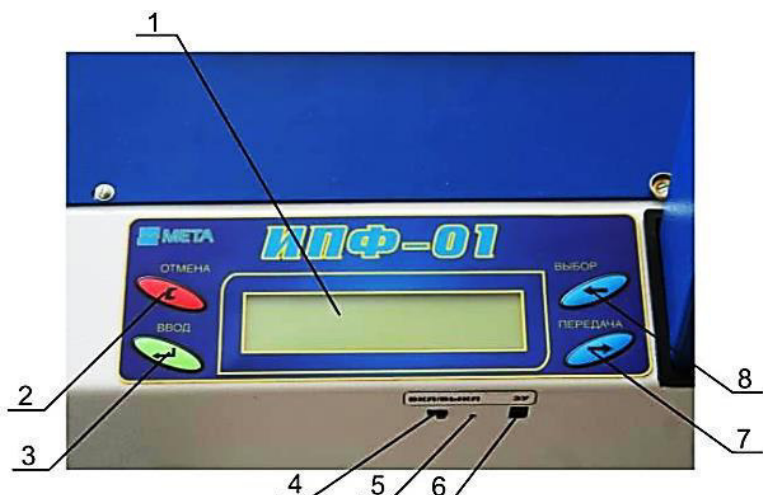


Рис. 3.8. Панель прибора ИПФ-01: 1 – дисплей; 2 – сенсор «ОТМЕНА»; 3 – сенсор «ВВОД»; 4 – тумблер включения питания; 5 – индикаторный светодиод, информирующий о зарядке; 6 – штекер для зарядного устройства; 7 – сенсор «ПЕРЕДАЧА»; 8 – сенсор «ВЫБОР»

– на автомобиле включить фары в режим *БС*;

– на панели прибора ИПФ-01 нажать сенсор 3 – «ВВОД» (см. рис. 3.8), на дисплее прибора отобразится измеренное значение ССФ

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 4 ЛВ. БЛ. 34В	РЕЖ. = 1 ПР. БЛ. 34В
xx...x Кд	xx...x Кд

где xx...x – измеренное значение ССФ (левой/правой) в режиме БС в темной зоне, в канделах (Кд);

– после того, как показания прибора стабилизируются, можно выйти из этого режима, нажав сенсор «ОТМЕНА». На дисплее отобразится информация вида:

—

РЕЖ. = 4 ЛВ. БЛ. 34В	РЕЖ. = 1 ПР. БЛ. 34В
xx...x Кд	xx...x Кд

8. Измерить параметр ССФ в режиме *БС* на 52 минуты ниже левой горизонтальной части светотеневой границы. Величина ССФ DCR; НС; DC; HCR, по требованиям (ГОСТ 33997-2016), должна быть на уровне – 2200 Кд (не менее) [19]:

– найти 5 режим – «Измерение силы света ЛФ» или 2 режим – «Измерение силы света ПФ», нажимая кнопку 8 «ВЫБОР» (см. рис. 3.8). На дисплее прибора отобразится информация вида:

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 5 ЛВ. БЛ. 52Н	РЕЖ. = 2 ПР. БЛ. 52Н

Установить на шкале лимба 11 необходимое значение высоты проверяемой фары при помощи маховика 12 (см. рис. 3.6). Переместить экран в соответствии с параметрами в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Параметры настройки фар при помощи прибора ИПФ-01

Марка автомобиля	Высота проверяемой фары, (м)	Номинальный угол наклона светового пучка фары		Цифры на шкале перемещения экрана
		угол. min	%	
Toyota Fun Cargo	0,70÷0,80	52	1,50	15 (Н)
Nissan Qashqai	0,80÷0,90	60	1,76	17 (Н)
Mercedes Benz E 320	0,70÷0,80	52	1,50	15 (Н)

– включить фары автомобиля в режиме *БС*, при этом совместить левую горизонтальную часть светотеневой границы пучка ближнего света с левой частью линии «52V» на дисплее ИПФ-01 (рис. 3.9);

– нажать сенсор «ВВОД» в нижней строке дисплея прибора считать величину ССФ;

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 5 ЛВ. БЛ. 52Н	РЕЖ. = 2 ПР. БЛ. 52Н
xx...x Кд	xx...x Кд

где $xx...x$ – сила света фар, измеренная в канделах в режиме БС в светлой зоне (52 минуты ниже светотеневой границы),;

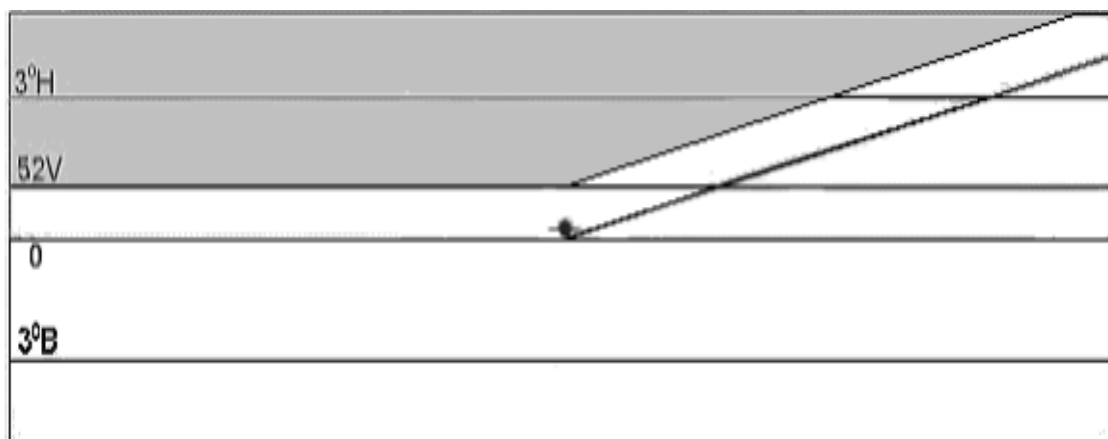


Рис. 3.9. Положение границы пучка света, режим ближнего света

– после того, как показания на дисплее прибора стабилизируются, необходимо выйти из данного режима нажав сенсор «ОТМЕНА». На дисплее прибора отобразится информация вида:

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 5 ЛВ. БЛ. 52Н	РЕЖ. = 2 ПР. БЛ. 52Н
$xx.x$ Кд	$xx.x$ Кд

9. Аналогично выполняли измерение световых параметров автомобильных фар в режиме ДС. Регулировку фар проводили согласно инструкции эксплуатации прибора..

10. Согласно ГОСТ 33997-2016, измеренные величины ССФ (типа DCR, R, CR, HR, DR, HCR) в режиме ДС не должны быть меньше, чем 10 000 кандел, а суммарная величина ССФ (типа DCR, R, CR, HR, DR, HCR) не должна превышать 225 000 кандел. Нажатием сенсора «ВЫБОР» на дисплее установим режим 6 – «Измерение силы света ЛФ» или режим 3 – «Измерение силы света ПФ» (см. рис. 3.8). На дисплее электронного блока отобразится информация вида:

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 6 ЛВ. ДАЛЬН.	РЕЖ. = 3 ПР. ДАЛЬН.

– установить прибор напротив фары КТС, выполнить его позиционирование согласно рекомендациям, изложенным в п. 3.3.2;

– вращая маховик на шкале лимба перемещения экрана установить значение 10 (В);

– включить фары в режиме ДС. На дисплее прибора отверстие приемника должно находиться по центру оптического пятна (рис. 3.10);

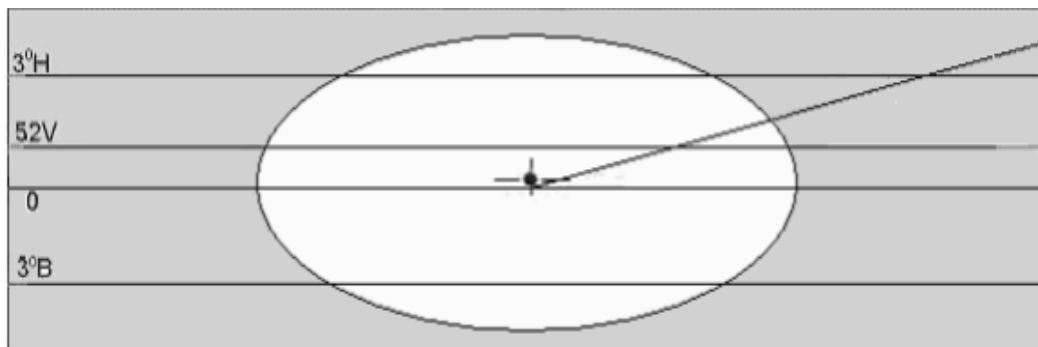


Рис. 3.10. Положение светотеневой границы пучка фары в режиме ДС

– нажать сенсор «ВВОД» (см. рис. 3.8), на дисплее прибора отобразится информация вида:

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 6 ЛВ. ДАЛЬН.	РЕЖ. = 3 ПР. ДАЛЬН.
xx.x Кд	xx.x Кд

где xx.x – измеренная в канделах (Кд) ССФ ДС;

– после стабилизации показаний на дисплее прибора выйти из данного режима при помощи кнопки «ОТМЕНА»;

– на дисплее прибора отобразится информация вида:

ЛФ	ПФ
РЕЖ. = 6 ЛВ. ДАЛЬН.	РЕЖ. = 3 ПР. ДАЛЬН.
xx.x Кд	xx.x Кд

Результаты измерений ССФ (незагрязненных и загрязненных) после каждого цикла заездов занести в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Таблица для внесения результатов измерения ССФ (правой /левой) в режимах БС/ДС

Пробег автомобиля, (км)	Высота установки фары, (мм)	Номинальный угол наклона светового пучка, угл. мин.	Тип фары	ССФ в направлении оптической оси фары, (Кд)			
				ЛФ		ПФ	
				БС	ДС	БС	ДС
0				Верхняя граница-		Верхняя граница-	
				Нижняя граница-		Нижняя граница-	
100				Верхняя граница-		Верхняя граница-	
				Нижняя граница-		Нижняя граница-	
...				Верхняя граница-		Верхняя граница-	
				Нижняя граница-		Нижняя граница-	

3.4. Методика определения видимости пешехода

по ширине проезжей части в условиях ограниченной видимости

Очевидно, что загрязнение фар автомобилей на дорогах, покрытых ХПГМ, снижает их способность полноценно освещать дорогу в темное время суток. В свою очередь, снижение силы света фар снижает видимость водителем участников дорожного движения, пешеходов и придорожной инфраструктуры в темное время суток. Это является серьезным фактом, который не учитывается при проведении автотехнических экспертиз ДТП с наездом на пешеходов в темное время суток.

В данном разделе описана известная, высокоэффективная методика определения видимости пешехода в УНВ (*туман, снег, дождь и др.*) в ТВС по ширине проезжей части дороги. Методика позволяет с приемлемой для практики точностью устанавливать расстояние, на котором водитель может обнаружить пешехода в ТВС на зимних дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами [69].

1. Для проведения ЭИ был выбран безопасный, изолированный от движения участок проезжей части (ПЧ) (рис. 3.11). Выбор такого участка обоснован еще и тем, чтобы свет фар проезжающих и стоящих автомобилей не мог влиять на результаты ЭИ. Необходимое количество заездов определяли по ранее изложенной методике планирования эксперимента, представленной в разделе 3.1.



Рис. 3.11. Участок проезжей части дороги для проведения эксперимента

2. В ТВС удаляли ТС с установленными на фары экранами на расстояние около 200 метров от места размещения на дороге пешехода.

3. На неосвещенном участке выставляли пешехода-статиста в темной одежде на правый край ПЧ.

4. После этого автомобиль с БС или ДС фар начинал движение со скоростью 5 км/ч в направлении стоящего на дороге статиста-пешехода.

5. При появлении в зоне видимости водителя пешехода-статиста в темной одежде, водитель-испытатель сбрасывал на дорогу мешочек с песком.

6. При помощи измерительного лазерного дальномера RGK D100 измеряли расстояние видимости – как расстояние от мешочка с песком до пешехода-статиста (диапазон измерения RGK D100 – до $100\text{ м} \pm 2\text{ мм}$).

7. Последовательно выставляли пешехода-статиста в темной одежде на середину дороги, затем на левый край ПЧ.

8. Повторяли все вышеперечисленные действия.

9. Результаты каждого заезда заносили в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Таблица для внесения результатов измерения расстояния видимости водителем пешехода-статиста при его выставлении по ширине ПЧ в условиях недостаточной видимости

Пробег автомобиля, (км)	Измеренное расстояние видимости водителем пешехода, (м)			
	БС		ДС	
	измеренный	средний	измеренный	средний
1 цикл заездов				
2 цикл заездов				

На втором этапе эксперимента выполняли цикл заездов автомобилей по дорогам г. Иркутска, покрытым ХППМ. После каждого цикла проводили определение видимости пешехода-статиста в темной одежде водителем (в соответствии с п.п. 1–9 данного раздела) с загрязненными экранами фар. Перед этим измеряли светопропускание загрязненных экранов (*по методике, изложенной в разделе 3.2*), а также силы света фар с загрязненными экранами (*по методике, изложенной в разделе 3.3.5*).

3.4.1. Оборудование для измерения расстояния видимости пешехода по ширине проезжей части. Лазерный дальномер RGK D100

Измерение расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темное время суток по ширине ПЧ выполняли при помощи самого функционального прибора из линейки лазерных рулеток – RGK D100, который предназначен для измерения расстояний, расчета площади и объема. (рис. 3.12). Дальность его измерений составляет 100 м, погрешность – ± 2 мм. Прибор RGK D100 имеет такую функцию, как непрерывное измерение, которая помогает отслеживать расстояние до движущегося

объекта или измерять необходимое расстояние от какого-либо предмета. Также, лазерный дальномер RGK D100 имеет функцию динамического определения максимального и минимального измеренного значения в режимах MIN/MAX.



Рис. 3.12. Лазерный дальномер RGK D100

Технические характеристики лазерного дальномера RGK D100:

- диапазон измерения: 0,05–100 м;
- точность измерений: ± 2 мм;
- количество измерений на комплект батарей: до 8000 измерений;
- дисплей: 4-строчный;
- лазер: Класс 2;
- память: 99 измерений;
- диапазон рабочих температур: от 0 до $+40$ °C;
- питание: 3 батарейки AAA 1,5 В;
- функции прибора: измерения по Пифагору; измерение максимальных и минимальных параметров; динамическое измерение; измерение расстояния; арифметические операции; нахождение площади и объема.
- единицы измерения: метр/дюйм/фут;
- максимальное время измерений: до 4 сек;
- длина волны: 635 нм;
- мощность: < 1 мВт [106].

3.5. Экспериментальное исследование эффективности торможения колеса в составе ABS на стенде с беговым барабаном

Чтобы получить экспериментальный материал для верификации математических описаний элементов ABS, а также колеса с ЭШ и ТМ, были проведены ЭИ процесса торможения колеса в составе ABS на шинном тестере ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» (рис. 3.13).

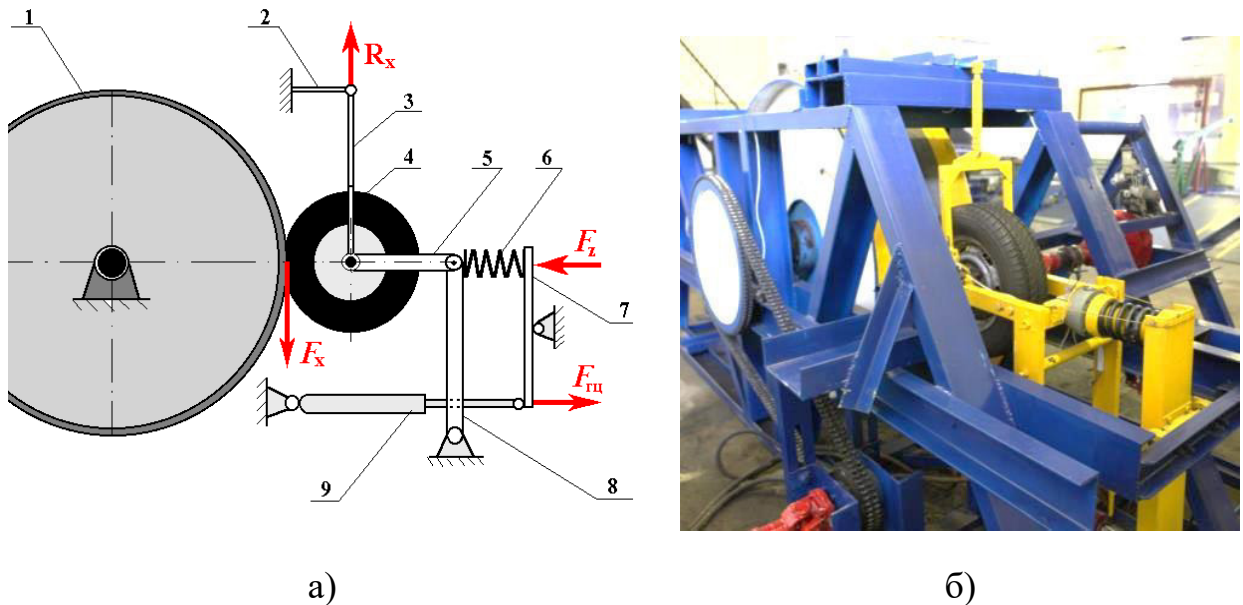


Рис. 3.13. Шинный тестер ИРНИТУ для исследования процессов торможения колеса в составе ABS: а – кинематическая схема; б – внешний вид стенда: 1 – беговой барабан; 2 – тензометрическая силоизмерительная балка; 3 – рамка подвеса колеса; 4 – колесо с эластичной шиной; 5 – рамка для нагружения колеса нормальной нагрузкой; 6 – упругий элемент; 7 – нагружающая балка; 8 – опорная стойка; 9 – нагружающий гидроцилиндр

Методика ЭИ ПТ колеса в составе ABS на СББ включала следующую последовательность действий:

- устанавливали на стенд колесо с шиной от испытуемого автомобиля, измеряли давление воздуха и доводили до нормативных значений;
- выполняли тарировку систем измерения силовых и кинематических параметров стенда;
- прогревали стенд и шину. Для этого включали привод стенда, нагружали колесо нормальной нагрузкой 3000 Н и выполняли обкатку шины в течение 15 минут;

- одновременно прогревали и измерительную аппаратуру стенда посредством включения электрического питания и компьютера;
- выполняли торможение колеса в составе ABS. В процессе торможения измеряли параметры, указанные в табл. 3.8;
- результаты измерения ПТ колеса в составе ABS сохраняли на жестком диске компьютера измерительного комплекса стенда.

Измерительный комплекс стенда

Измерительный комплекс СББ представляет собой совокупность измерительных систем, выполняющих измерение, преобразование, доставку к компьютеру сигналов физических параметров, характеризующих ПТ колеса в составе ABS.

Таблица 3.8. Параметры, измеряемые системами измерительного комплекса стенда

№	Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Погрешность измерения
1	R_z – нормальная нагрузка на колесо, [Н]	0–3600	$\pm 3 \%$
2	R_x – продольную реакцию на колесе, [Н]	0–3600	$\pm 3 \%$
3	$P_{тп}$ – давление в тормозном приводе, [МПа]	0–16	$\pm 1,5 \%$
4	ω_k – угловая скорость колеса, [1/с]	1,2–100	$\pm 3,2 \%$
5	ω_6 – угловая скорость барабана, [1/с]	1,2–100	$\pm 3,2 \%$
6	M_t – тормозной момент, [Н · м]	0–2000	$\pm 4 \%$
7	A и B – электрические сигналы подаваемые ЭБУ ABS, [В]	0–12	$\pm 5 \%$

На рис. 3.14 можно увидеть блок-схему систем, измеряющих параметры процесса торможения колеса в составе ABS на шинном тестере ИРНТУ.

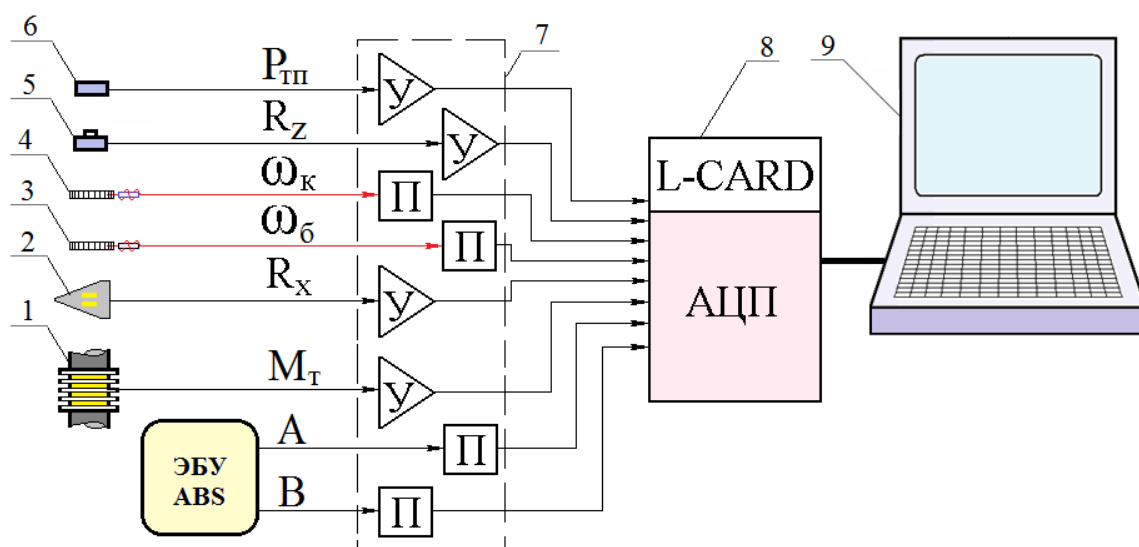


Рис. 3.14. Блок-схема систем измерения шинного тестера: 1 – тензовал, измеряющий тормозной момент M_T ; 2 – тензодатчик, измеряющий продольную реакцию на колесе R_X ; 3 – датчик, измеряющий угловую скорость СББ $\omega_б$ индуктивного типа; 4 – датчик, измеряющий угловую скорость колеса $\omega_к$ индуктивного типа; 5 – тензодатчик, измеряющий нормальную реакцию на колесе R_Z ; 6 – датчик давления в тормозном приводе $P_{ТП}$; 7 – плата усилителей и преобразователей; 8 – аналого-цифровой преобразователь L-Card; 9 – компьютер

Измерение силовых параметров обеспечивается, как правило, тензометрическими датчиками. Так, тормозной момент M_T измеряется тензовалом 1, соединяющим тормозной механизм с колесом. Измерение продольной реакции на колесе R_X выполняет тензобалка 2. Измерение угловой скорости бегового барабана $\omega_б$ выполняет индуктивный датчик 3. Индуктивный датчик 4 обеспечивает измерение угловой скорости колеса $\omega_к$. Измерение нормальной реакции на колесе R_Z выполняет тензодатчик 5 типа ДСТ. Измерение давления в тормозном приводе $P_{ТП}$ выполняет датчик 6.

Преобразователи блока 7 обеспечивают измерение электрических сигналов А и В, которые ЭБУ подает для управления работой электромагнитных клапанов модулятора давления ABS. Обработку и усиление сигналов датчиков выполняет блок усилителей и преобразователей 7 комплекса.

После обработки и усиления в блоке 7 сигналы поступают в аналого-цифровой преобразователь 8 фирмы L-Card, где преобразуются в цифровые коды и передаются в компьютер 9.

Обработку сигналов, полученных в ходе ЭИ ПТ колеса в составе ABS, выполняли на программном уровне в компьютере 9 стенда (см. рис. 3.14).

3.6. Методика контроля тормозной эффективности КТС с помощью прибора «ЭФФЕКТ» при дорожных испытаниях

Методика, представленная в данном разделе, позволяет исследовать ТП автомобилей на зимних дорогах, покрытых ХПГМ. Методика позволяет выявлять величины тормозного и остановочного пути (ОП) автомобиля. ЭИ тормозной эффективности КТС проводили на зимних дорогах с низким коэффициентом сцепления как с включенной, так и с отключенной ABS на автомобиле, с полными комплектами зимних шипованных и нешипованных шин, модели: TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14.

Исследования проводили при помощи прибора «ЭФФЕКТ» на дорожном покрытии двух типов: на укатанном и неукатанном снегу, обработанном ХПГМ при температуре от +1 до –23 °С, с начальной скоростью 10, 20, 40, 60 км/ч [74, 79]. Для проведения экспериментальных исследований процесса торможения КТС с работающей и отключенной ABS в реальных дорожных условиях был проведен ряд подготовительных действий, указанных ниже в пунктах а–г:

а) подготовлен дорожный участок для экспериментальных исследований (рис. 3.15);

б) подготовлено оборудование для измерения и обработки результатов ЭИ;

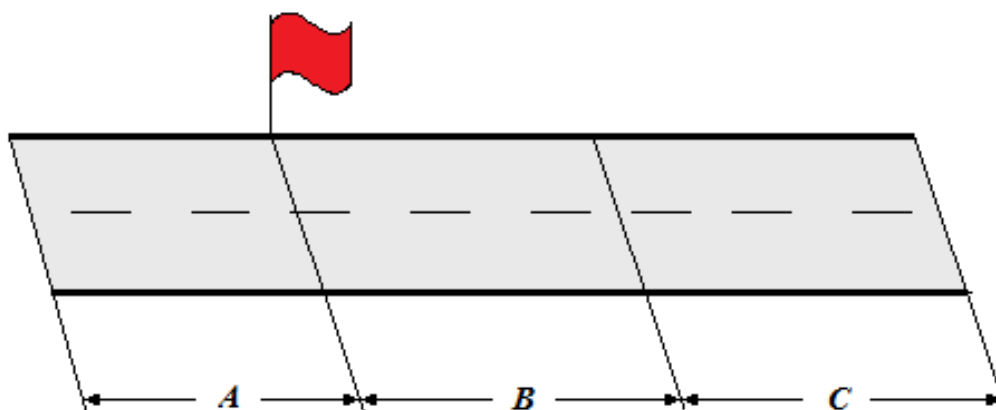


Рис. 3.15. Схема участка дороги для проведения ЭИ тормозных свойств колесных транспортных средств: *A* – участок разгона АТС; *B* – мерный участок; *C* – участок безопасности

- в) подготовлено несколько комплектов автомобильных (*шипованных и нешипованных*) шин для проведения эксперимента;
- г) подготовлен персонал для проведения экспериментальных исследований.

3.6.1. Последовательность экспериментального исследования тормозной эффективности КТС при дорожных испытаниях

Выполняли подготовку автомобиля с ABS к проведению ЭИ:

- на автомобиль устанавливали заданный комплект шин;
- на боковое стекло КТС устанавливали электронный блок прибора «ЭФФЕКТ» [32] для контроля параметров процесса торможения;
- датчик усилия устанавливали на педаль тормоза;
- двигатель, трансмиссию и ходовую часть автомобиля прогревали до рабочих температур посредством движения КТС в течение 30 минут;
- выполнялся цикл из четырех заездов КТС (*согласно методике, изложенной в разделе 3.1*) на мерном участке подготовленной дороги с торможением и измерением параметров процесса торможения в режиме *холодных тормозов*;
- автомобиль с ABS разгоняли на участке «А» до начальной скорости немногим более 40 км/час (см. рис. 3.15) и выключали передачу;

– при достижении автомобилем визира на границе участков «А» и «В» при скорости 40 км/час нажимали на педаль тормоза с усилием, не более 486 Н (*время нажатия на педаль тормоза, не более 0,2 сек*);

– выполняли ПТ автомобиля с «закрепленным рулем» до его полной остановки.

Прибор «ЭФФЕКТ» в процессе эксперимента измерял следующие параметры тормозной диаграммы колесного транспортного средства (рис. 3.16) [32]:

- усилие на педали тормоза – $F_{\text{ПТ}}$;
- начальную скорость торможения – V_0 ;
- тормозной путь – $S_{\text{т}}$;
- время срабатывания ТС – *сумма времени $\tau_0 + \tau_{\text{н}}$* ;
- установившееся замедление $j_{\text{уст}}$.

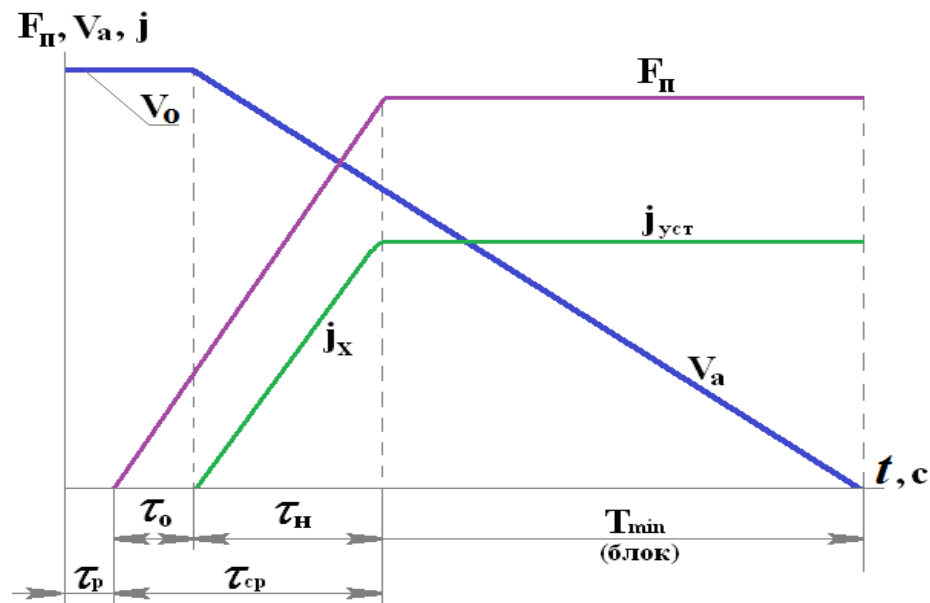


Рис. 3.16. Тормозная диаграмма автомобиля: V_0 – начальная скорость автомобиля перед торможением; V_a – текущая скорость автомобиля; $\tau_{\text{ср}}$ – время срабатывания ТС; $\tau_{\text{р}}$ – ВРВ; τ_0 – время запаздывания ТС; $\tau_{\text{н}}$ – время нарастания замедления; $j_{\text{уст}}$ – установившееся замедление; T_{min} – время торможения с установившимся замедлением (колесо в блоке)

Подробно методика измерения параметров ПТ автомобиля с помощью прибора «ЭФФЕКТ» описана в разделе 3.6.3.

По итогам измерений, результаты проведенного эксперимента заносили в таблицу.

Чтобы не допустить перегрева тормозных механизмов, в процессе эксперимента контролировали температуру их поверхности и не допускали превышения уровня 100 °С. С этой целью делали паузу в экспериментальных исследованиях.

Эксперимент выполняли при начальной скорости КТС - 40 км/час.

Далее отключали ABS посредством удаления предохранителя в блоке предохранителей автомобиля.

Выполняли четырехкратный цикл испытаний данного автомобиля на данном участке дороги (*согласно методике, изложенной в разделе 3.1*).

3.6.2. Оборудование для контроля эффективности тормозных систем Прибор «ЭФФЕКТ»

Наиболее распространенным оборудованием для контроля эффективности тормозных систем КТС является прибор «ЭФФЕКТ» (рис. 3.17) [32], который позволяет выполнять контроль тормозных качеств автомобилей дорожным методом согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза 018/2011 [72].

Прибор «ЭФФЕКТ» применяют при контроле тормозных систем КТС при проведении их технического осмотра (ТО), выполнении АТЭ, а также в процессе их эксплуатации, в том числе на СТО, АТП и авторемонтных заводах при оперативном контроле ТС автомобилей.

С прибором «ЭФФЕКТ» должен работать оператор, имеющий специальную аттестацию, позволяющую проведение измерений параметров тормозной эффективности автомобиля. Для начала работы прибора нажимают сенсор «ВКЛ». Далее прогревают прибор в течение 5 минут. Как только прибор прогреется, на дисплее появляется информация вида «НОМЕР ТС». Необходимо ввести номер государственного регистрационного знака КТС и/или нажав сенсор «ВВОД» продолжить работу.

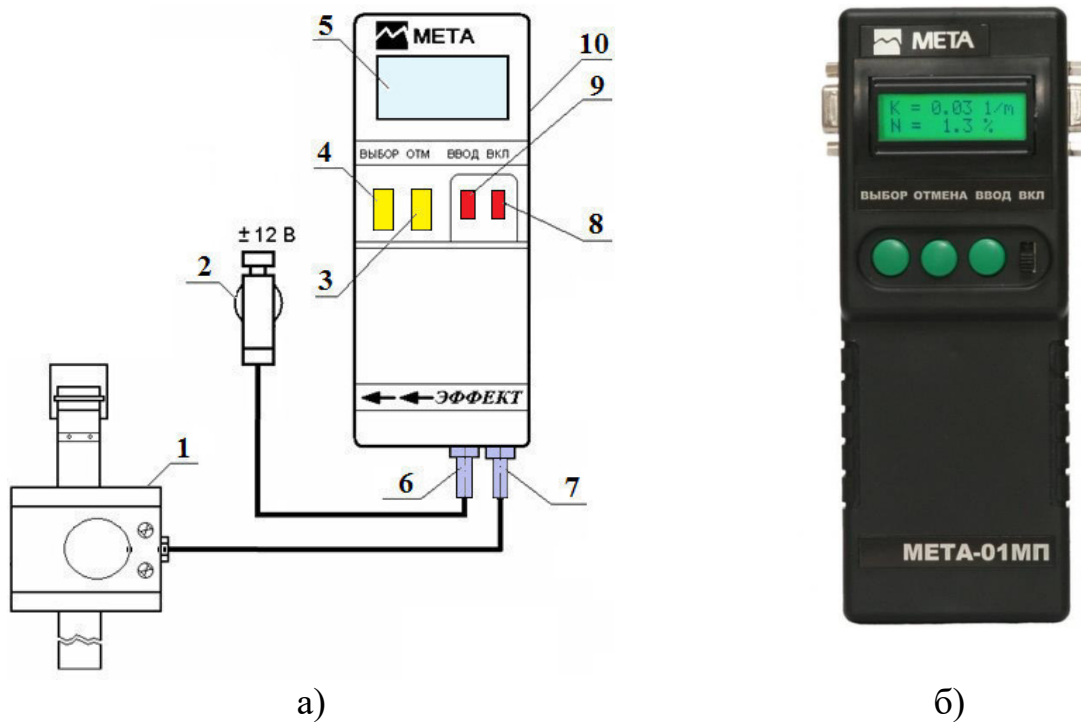


Рис. 3.17. Прибор «ЭФФЕКТ»: а – функциональная схема; б – микропроцессорный блок: 1 – датчик усилия на педали тормоза, 2 – штекер соединения с розеткой прикуривателя, 3 – сенсор «ОТМЕНА», 4 – сенсор «ВЫБОР», 5 – дисплей, 6 – штекер для подсоединения электропитающего устройства, 7 – штекер для соединения с датчиком усилия на педали, 8 – сенсор активации прибора «ВКЛ», 9 – сенсор «ВВОД», 10 – микропроцессорный блок

Для измерения параметров ПТ автомобиля, необходима функционирование датчиков ускорения и датчика усилия на педали тормоза. После выполнения измерений прибор выполняет расчет начальной скорости торможения КТС, тормозной путь, линейное отклонение КТС из коридора движения, а также время, в течение которого срабатывает ТС.

Метрологические характеристики систем измерения прибора «ЭФФЕКТ» подробно описаны в п. 3.6.2. Прибор выполняет измерение, а затем рассчитывает следующие параметры, характеризующие эффективность торможения КТС:

- величину начальной скорости автомобиля V_0 , [м/с];
- длину ТП автомобиля S_T , [м];
- величину времени срабатывания ТС t_{cp} , [с];

– величину установившегося замедления автомобиля $J_{уст}$, [м/с²].

В разделе 3.6.3. подробно представлены параметры эффективности торможения автомобиля.

Программное обеспечение прибора позволяет измерять и записывать в память бортового компьютера текущие параметры процесса торможения КТС в виде графиков и таблиц.

Условия эксплуатации прибора:

- относительная влажность воздуха до 80 %, при 25 °С;
- температура среды от –10 до +45 °С;
- атмосферное давление от 500 до 800 мм рт. ст.

Технические характеристики прибора «ЭФФЕКТ»:

- диапазон установившегося замедления $J_{уст}$: от 0 до 9,81, [м/с²];
- диапазон усилия нажатия на педаль: F_n от 98 до 980, [Н];
- диапазон ТП S_T : от 0 до 50, [м];
- диапазон начальной скорости торможения V_0 : от 20 до 50, [км/час];
- диапазон пересчитанной нормы ТП S_T : от 0 до 50 м;
- диапазон времени срабатывания ТС: $t_{ср}$ от 0 до 3, [с];
- электропитание от сети бортовой сети автомобиля: ± 12 В;
- диапазон рабочих температур: от –10 до +45 °С;
- средний срок службы: не менее 6 лет.

Требования к эффективности ТС автомобилей основано на требованиях стандарта России [20]. Прибор «ЭФФЕКТ» измеряет продольное и поперечное замедления подрессоренной массы КТС при его торможении, а также усилие нажатия на педаль тормоза.

Для контроля эффективности ТС, необходимо разогнать автомобиль до скорости чуть более 40 км/час. После чего водитель начинает процесс торможения. Для этого он нажимает на педаль тормоза через установленный на ней датчик усилия. Этот момент микропроцессор прибора определяет как начало торможения.

Усиленные и преобразованные в цифровые коды сигналы от датчиков *продольного и бокового* ускорения и тензометрического датчика усилия поступают в микропроцессор, а далее в блок памяти. Измерение сигналов

выполняется до остановки КТС. На основании данных, полученных с этих датчиков, электронный блок управления вычисляет параметры эффективности функционирования ТС автомобиля. Результаты выводятся на экран и сохраняются в блоке памяти прибора.

3.6.3. Порядок работы с прибором «ЭФФЕКТ» в процессе проведения дорожных испытаний автомобилей

Перед проведением дорожных испытаний проводили *проверку работоспособности прибора* в следующем порядке.

1. Подключить к прибору кабель питания и кабель датчика силы на педали тормоза.

2. Клавишей «Вкл» включить прибор, показано на рис. 3.17. В подрежимах « J_1 », « J_2 », « F » режима «РАБОТА». Производят проверку работоспособности прибора.

3. Кнопкой «Выбор» (см. рис. 3.17) обозначить режим для проверки

4. Для тестирования исправности канала измерения в подрежиме « J_1 » необходимо расположить прибор в руке таким образом, чтобы *дисплей находился в горизонтальном положении*, при этом значение скорости на дисплее должно быть близкое к $0,00 \text{ (м/с}^2\text{)}$. Руководствуясь *направлением указывающей стрелки на приборе*, начать медленно поворачивать прибор в вертикальной плоскости. При этом контролируемые показания на дисплее прибора должны увеличиваться до значений $9,81 \pm 0,39 \text{ (м/с}^2\text{)}$, что свидетельствует об его исправности.

5. В подрежиме « J_2 » так же расположить прибор вертикально (как в подрежиме « J_1 »), (на дисплее прибора должны быть показания, близкие к $0,00 \text{ (м/с}^2\text{)}$). Расположить прибор на любой горизонтальной поверхности и контролировать показания на дисплее прибора, которые должны увеличиться до значения $9,81 \pm 0,39 \text{ (м/с}^2\text{)}$.

6. В подрежиме « F » на индикации должно быть значение 0 (Н). Установить датчик усилия на горизонтальную опору и нажать на датчик

усилия (*лучшие это делать ногой*). В процессе роста усилия наблюдать за цифрами на дисплее прибора. Они должны тоже расти. ***Усилие нажатия не превышало 1177 Н.***

После проверки работоспособности прибора «ЭФФЕКТ» приступают к ***проведению дорожных испытаний*** в следующей последовательности.

1. Закрепить прибор «ЭФФЕКТ» на боковом стекле КТС в строго вертикальной позиции.

2. При установке датчика усилия на педаль тормоза необходимо надежно его закрепить.

3. Установить КТС на горизонтальный сухой участок дороги с асфальтобетонным покрытием в начало нормативного коридора движения.

4. Клавишей «ВКЛ» включить прибор (см. рис. 3.17). На дисплее отобразится: «НАГРЕВ».

5. Перед началом работы прибор следует прогреть не менее 5 мин. После чего прибор запросит введение «НОМЕР ТС».

6. Ввести государственный номер автотранспортного средства или продолжить работу, нажав сенсор «ВВОД» (см. рис. 3.17).

7. На мониторе отобразится текст: «ХАРАКТЕРИСТИКА ТС М₁».

8. Активируя сенсор «ВЫБОР», ввести категорию автотранспортного средства.

9. После активации сенсора «ВВОД» категория автотранспортного средства будет сохранена в памяти прибора. На дисплее прибора отобразится текст «ОД», т. е. одиночное автотранспортное средство.

10. Выбрать сенсором «ВЫБОР» тип ТС, соответствующий проверяемому ТС. При нажатии сенсора «ВВОД» данная информация будет сохранена в памяти прибора. На дисплее прибора отобразится текст «СН», т. е. снаряженное состояние. Сенсором «ВЫБОР» можно установить полную массу «ПМ».

11. Сенсором «ВЫБОР» установить характеристику ТС. Подтвердить информацию, нажав сенсор «ВВОД». На экране прибора высвечивается:

«>81».

12. Сенсором «ВЫБОР» выбрать год выпуска АТС. На дисплее отобразится текст «>81» (АТС изготовлено после 1.01.81 г.) или «<81» (АТС изготовлено до 1.01.81 г.).

13. Нажав на сенсор «ВВОД», информация будет сохранена.

14. На дисплее отобразится текст «РАБОТА». При этом активируются: режим контроля параметров, характеризующих тормозную эффективность автотранспортного средства; режим контроля работы датчика замедления, датчика линейного отклонения, датчика усилия на педали тормоза.

15. Нажатием сенсора «ВЫБОР» активируется проверка датчиков. Начинается вывод на дисплей сигналов датчиков: линейного отклонения в коридоре движения, усилия ноги водителя на педали тормоза, а также продольного замедления автомобиля.

16. При помощи сенсора «ОТМЕНА» можно отменить проверку датчиков.

17. Работа прибора активируется посредством сенсора «ВВОД». На мониторе отобразится текст «РАБОТА». Далее, на мониторе прибора отобразится сообщение «НАКЛОН ВПЕРЕД», «НАКЛОН НАЗАД» или «НАКЛОН В НОРМЕ». Необходимо добиться такого положения приборного блока на стекле двери КТС, при котором на мониторе отобразится текст «НАКЛОН В НОРМЕ» и будет дан звуковой сигнал.

18. Нажать сенсор «ВВОД». На дисплее прибора отобразится информация вида «ПРОВЕРКА ТС».

19. Выполнить разгон автомобиля до 40 км/час, и, выключив в КПП передачу, однократным нажатием на педаль тормоза произвести экстренное торможение.

В процессе торможения КТС траекторию его движения не корректировали.

20. Как скорость КТС станет равна нулю, убрать ногу с педали тормоза.

На мониторе прибора отобразится текст «РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ТС».

21. Нажать сенсор «ВВОД». На мониторе отобразится текст «ХАРАКТЕРИСТИКА ТС». На мониторе будут выведены данные, проверяемого автотранспортного средства, которые были введены ранее.

22. Нажать сенсор «ВВОД». На мониторе прибора отобразится текст: «Номер ТС XXX», где «XXX» – номер ТС.

23. На экране дисплея высветятся значения: S_n – пересчитанная норма ТП, S_t – измеренное значение длины ТА.

24. Нажав на сенсор «ВВОД», на мониторе появятся следующие значения: $j_{уст}$ – установившееся замедление. V_o – начальная скорость торможения.

24. а) Снова выбрать «ВВОД». На мониторе прибора появятся измеренные параметры: $\tau_{ср}$ – время, в течение которого сработала тормозная система; F_n – усилие на педальном датчике.

25. Активировать сенсор «ВВОД». На мониторе прибора отобразится S_y – боковое линейное отклонение, характеризующее устойчивость АТС.

26. Чтобы вывести протокол испытаний, необходимо активировать сенсор «ВВОД». На мониторе прибора отобразится вопрос: «ВЫВЕСТИ ПРОТОКОЛ?».

27. Нажать сенсор «ВВОД» при положительном ответе, сенсор «ОТМЕНА» если ответ будет отрицательный. На мониторе прибора отобразится текст «РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ТС».

28. Нажать сенсора «ВВОД» для повтора просмотра результатов. Если нажать сенсор «ОТМЕНА» включится режим «РАБОТА».

29. На мониторе будут выведены параметры ПТ КТС, зарегистрированные прибором «ЭФФЕКТ» (тормозной путь S_t ; установившееся замедление автомобиля $j_{уст}$; время $\tau_{ср}$ срабатывания тормозной системы автомобиля; величина S_y его линейного бокового отклонения в коридоре движения). Измеренные в процессе контроля тормозной системы КТС параметры сравнить с нормативами, приведенными

3.7. Выводы по третьей главе

1. Методика *планирования экспериментальных исследований* основана на методе проверки статистических гипотез, подразумевающим определение минимального числа испытаний – n , обеспечивающем необходимую точность выполненных измерений.

2. *Разработанная оригинальная методика измерения светопропускания автомобильных фар* и реализующее ее оборудование с помощью съемных прозрачных экранов позволяют проводить исследование уровней светопропускания световых приборов при их загрязнении продуктами обработки дороги ХПГМ.

3. *Разработанная методика проведения экспериментальных исследований процесса загрязнения фар автомобиля ПО ХПГМ* позволяет проводить экспериментальные исследования процесса загрязнения фар автомобилей ПО ХПГМ в реальных дорожных условиях.

4. *Методика контроля силы света фар* позволяет проводить экспериментальные исследования контроля силы света фар автомобиля при их загрязнении продуктами обработки дороги ХПГМ. Метрологические характеристики подобранного оборудования, при практической реализации методики контроля силы света фар, соответствуют требованиям, обеспечивающим высокую надежность проведения экспериментальных исследований.

5. *Методика определения видимости пешехода в темной одежде по ширине проезжей части в условиях ограниченной видимости* позволяет выявлять закономерности влияния загрязнения фар автомобиля на расстояние видимости водителем пешехода по ширине проезжей части в условиях недостаточной видимости, вызванными снижением силы света фар от их загрязнения продуктами ХПГМ. Метрологические характеристики используемого при измерениях расстояния лазерного дальномера RGK D100

составляют диапазон измерения до $100 \text{ м} \pm 2 \text{ мм}$.

6. *Методика стендовых испытаний ABS на шинном тестере ИРНИТУ* позволяет получать экспериментальный материал для валидации математических описаний фрикционных характеристик шин, тормозного механизма, электронного блока управления и гидравлического модулятора ABS. Приборное обеспечение экспериментального исследования имеет следующие метрологические характеристики:

- нормальная нагрузка на колесо $0 \div 3600 \pm 3 \text{ \%}$, [Н];
- продольная реакция на колесе $0 \div 3600 \pm 3 \text{ \%}$, [Н];
- давление в тормозном приводе $0 \div 16 \pm 1,5 \text{ \%}$, [МПа];
- угловая скорость колеса $1,2 \div 100 \pm 3,2 \text{ \%}$, [1/с];
- угловая скорость барабана $0,1 \div 30 \pm 3,2 \text{ \%}$, [1/с];
- тормозной момент $0 \div 2000 \pm 4 \text{ \%}$, [Н · м].

7. *Методика контроля тормозной эффективности КТС с помощью прибора «ЭФФЕКТ» при дорожных испытаниях* позволяет выполнять измерение параметров процесса торможения КТС как с работающей ABS, так и с отключенной ABS, выполнять измерения его тормозного и остановочного пути на зимних дорогах, покрытых продуктами обработки ХПГМ. Приборное обеспечение этого экспериментального исследования имеет следующие метрологические характеристики:

- тормозной путь $0 \div 50$, [м];
- установившееся замедление $0 \div 9,81 \pm 3 \text{ \%}$, [м/с²];
- время срабатывания тормозной системы $0 \div 3 \pm 0,1$, [с];
- начальная скорость торможения 20–100, [км/час];
- усилие на педали тормоза $98 \div 980 \pm 5 \text{ \%}$, [Н].

Методика позволяет устанавливать допустимую скорость движения КТС по условиям сцепных свойств шин на дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе описаны результаты ЭИ процесса загрязнения фар автомобиля продуктами обработки дорог ХПГМ и процесса экстренного торможения КТС на дорогах, покрытых ХПГМ с низким коэффициентом сцепления ($0,3 \div 0,4$).

Установлены закономерности, отражающие изменения *силы света* автомобильных фар от *уровня их загрязнения* продуктами обработки ХПГМ.

Установлены закономерности изменения *расстояния видимости* водителем пешехода в темной одежде в темное время суток от *уровня загрязнения* фар КТС категории М1, а также от *силы света* фар.

Представлены результаты исследования влияния ХПГМ на возможность остановки КТС в случае экстренного торможения на зимних дорогах, а также на длину его остановочного и тормозного путей. Установлены зависимости тормозного и остановочного путей автомобиля от начальной скорости КТС при его экстренном торможении на дорогах, покрытых ПО ХПГМ с низким коэффициентом сцепления ($0,3 \div 0,4$).

На основе математической модели процесса торможения КТС с функционирующей и отключенной ABS выявлены закономерности, связывающие начальную скорость торможения КТС категории М1 с *длиной его остановочного пути*, обеспечивающие его остановку в пределах расстояния видимости водителем пешехода.

На основании выявленных зависимостей разработана уточненная методика, которая позволяет рассчитывать *расстояние видимости водителем пешеходов* в темной одежде в темное время, *допустимую скорость КТС по условиям видимости* на зимних дорогах, покрытых противогололедными материалами, в зависимости *от уровня загрязнения фар* ХПГМ и *силы их света* и остановочный путь КТС категории М1 с учетом коэффициента сцепления колес с дорогой.

Применение научно обоснованной уточненной методики позволяет значительно повысить достоверность проведения автотехнических экспертиз ДТП с наездом на пешеходов в темное время года в условиях недостаточной

видимости, вызванной загрязнением световых приборов КТС продуктами ХПГМ.

4.1. Результаты экспериментальных исследований процесса загрязнения автомобильных фар на дорогах, покрытых ХПГМ

Согласно методике, описанной в разделе 3.3, выполнены ЭИ процесса загрязнения фар автомобиля продуктами обработки дорог ХПГМ на дорогах и проезжих частях улиц г. Иркутска, а также на автомобильной трассе Р-258 «Байкал». В период зимней скользкости эти автомобильные артерии обрабатываются химическими противогололедными материалами на постоянной основе.

Для ЭИ процесса загрязнения фар автомобиля продуктами обработки дорог ХПГМ были определены количество и время испытаний, согласно методике, изложенной в разделе 3.1.

Натурные эксперименты проводились на трех автомобилях категории М1 Toyota Fun Cargo, Nissan Qashqai и Mercedes Benz E 320. Для контроля уровня загрязнения фар были разработаны и изготовлены съемные прозрачные экраны для каждой автомобильной фары (рис. 4.1).



а)



б)



в)

Рис. 4.1. Прозрачные экраны фар автомобилей: а – Toyota Fun Cargo; б – Nissan Qashqai; в – Mercedes Benz E 320

Выполнять измерения уровня загрязнения фар продуктами ХПГМ экспериментально весьма проблематично. Для этого необходимо было бы постоянно снимать стекла фар. Поэтому уровень загрязнения фар оценивали как величину, обратную светопропусканию экранов, установленных на фарах. Величину светопропускания экранов фар измеряли при помощи тауметра «Тоник» (методика измерения светопропускания фар, представлена в разделе 3.2). Экспериментальные исследования процесса загрязнения автомобильных фар на дорогах, покрытых ХПГМ, начинали с абсолютно чистыми фарами, а заканчивали, когда уровень загрязнения фар достигал предельного в данных дорожных условиях значения.

Первые исследования проводили на автомобиле Toyota Fun Cargo в зимнее время на дорогах, покрытых ХПГМ. Затем дважды экспериментальные исследования проводили на автомобиле Nissan Qashqai. На заключительном этапе эксперимент проводили на автомобиле Mercedes Benz E 320 [21, 97]. В третьей главе подробно изложена методика реализации эксперимента (п. 3.3.1).

После каждого цикла заезда испытуемого автомобиля по дорогам, покрытым ХПГМ, снимали загрязненные экраны ПФ и ЛФ и измеряли их светопропускание. В табл. 4.1. представлены результаты.

Таблица 4.1. Результаты изменения величины светопропускания фар автомобиля Toyota Fun Cargo на дорогах, покрытых ХПГМ

№ Цикла	Светопропускание T_{cf} фар, (%)					
	ПФ			ЛФ		
	Контрольная точка		среднее	Контрольная точка		среднее
	№	%		№	%	
1 (чистый экран)	1	99	98,3	1	96,6	96,6
	2	97,1		2	95,6	
	3	97,4		3	98,7	
	4	99,7		4	97,6	
	5	97,7		5	95,4	
	6	100		6	98,5	
	7	100		7	93,8	
	8	95,6		8	93,8	
	9	98,5		9	99,2	
2 (после первого цикла заездов)	1	83,4	84,8	1	84,3	84,2
	2	85,7		2	84,8	
	3	85,1		3	84,5	

	4	86,9		4	87,9	
	5	90,2		5	84,8	
	6	87,9		6	84,8	
	7	86,8		7	75,5	
	8	70		8	89,5	
	9	87,6		9	82,1	
3(после второго цикла заездов)	1	43,4	54,8	1	41,2	55
	2	59		2	46,3	
	3	61		3	54,7	
	4	54,1		4	44,1	
	5	44,6		5	52,4	
	6	57,5		6	65,5	
	7	56,1		7	53,7	
	8	42,8		8	59,2	
	9	74,8		9	78,1	
4(после третьего цикла заездов)	1	9,7	21,8	1	8,5	11,5
	2	12,5		2	7,8	
	3	12,7		3	6,4	
	4	8,9		4	9,4	
	5	11,3		5	7,4	
	6	18,6		6	8,4	
	7	48		7	19	
	8	36		8	28	
	9	39		9	8,8	

Светопропускание фары является величиной, обратной уровню загрязнения экрана фары. Результаты перерасчета показаны в табл. 4.2.

Пересчет величины светопропускания в уровень загрязнения фары производился по формуле:

$$Y_{\text{сф}} = 100 - T_{\text{сф}}, \%. \quad (4.1)$$

Таблица 4.2. Результаты перерасчета величины светопропускания в уровень загрязнения фар автомобиля Toyota Fun Cargo

№ эксперимента	Светопропускание $T_{\text{сф}}$ фар, (%)			Уровень загрязнения $Y_{\text{сф}}$ фар, (%)		
	левой фары	правой фары	среднее значение	левой фары	правой фары	среднее значение
1 (чистые экраны)	96,6	98,3	97,45	3,4	1,7	2,55
2	84,2	84,8	84,5	15,8	15,2	15,5
3	55	54,8	54,9	45	45,2	45,1
4	11,5	21,8	16,65	88,5	78,2	83,35

На следующем этапе ЭИ выполняли обработку приведенного в табл. 4.1 экспериментального материала в среде Microsoft Excel и строили графики процесса загрязнения фар (рис. 4.2).

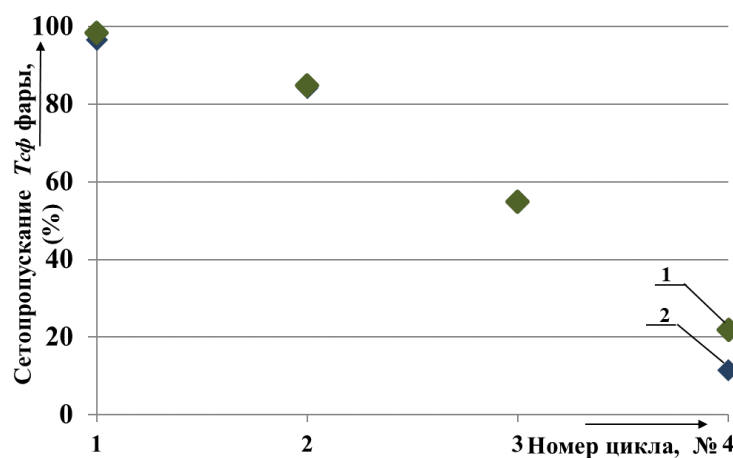


Рис. 4.2. График изменения светопропускания фар автомобиля Toyota Fun Cargo при их загрязнении на дорогах, покрытых ПО ХПГМ: 1 – светопропускание правой фары; 2 – светопропускание левой фары

Получен график (рис. 4.3) зависимости среднего светопропускания фар автомобиля от уровня их загрязнения.

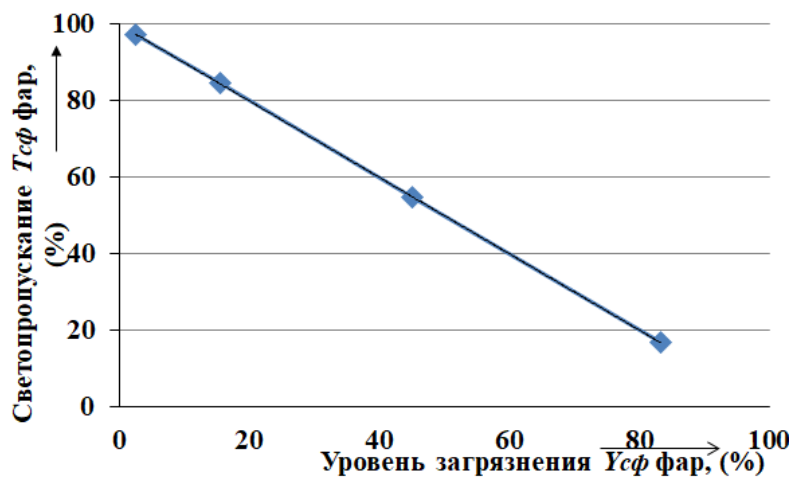


Рис. 4.3. График зависимости среднего светопропускания T_{cf} фар автомобиля Toyota Fun Cargo от уровня их загрязнения Y_{cf} : — расчет, ◆ — эксперимент

По итогам ЭИ получена функциональная зависимость среднего светопропускания фар T_{cf} от уровня их загрязнения Y_{cf} :

$$T_{cf} = -Y_{cf} + 100, \quad (4.2)$$

где: T_{cf} – среднее значение светопропускания фар, [%]; Y_{cf} – уровень загрязнения фар, [%].

По аналогичной методике были проведены исследования процесса загрязнения ХПГМ автомобильных фар автомобиля Nissan Qashqai.

Перед исследованиями на автомобиль Nissan Qashqai был установлен комплект новых фар, соответствующих требованиям европейского стандарта и выполнена регулировка фар в режиме ближнего и дальнего света. На каждую фару были установлены прозрачные экраны. Результаты проведенных экспериментальных измерений светопропускания экранов правой и левой фар автомобиля Nissan Qashqai представлены в табл. 4.3.

Далее выполняли обработку приведенного в табл. 4.3 материала в программной среде Microsoft Excel и строили графики изменения светопропускания стекла экрана фары автомобиля Nissan Qashqai от номера цикла исследования (рис. 4.4).

Таблица 4.3. Результаты изменения величины светопропускания фар автомобиля Nissan Qashqai на дорогах, покрытых ХПГМ

№ Цикла	Светопропускание T_{cf} фар, (%)					
	ПФ			ЛФ		
	Контрольная точка		среднее	Контрольная точка		среднее
	№	%		№	%	
1 (чистый экран)	1	99	98,4	1	96,6	98,2
	2	97,1		2	96,6	
	3	97,4		3	98,7	
	4	99,7		4	97,6	
	5	97,7		5	96,4	
	6	100		6	98,5	
	7	100		7	100	
	8	96,6		8	100	
	9	98,5		9	99,2	
2(после первого цикла заездов)	1	82,6	76,9	1	66,7	76,01
	2	80,9		2	75,6	
	3	82,8		3	70,3	
	4	81,5		4	70	
	5	77,8		5	83	
	6	77,2		6	74,6	
	7	71,4		7	83	
	8	73,3		8	80,5	

	9	64,9		9	80,4	
3 (после второго цикла заездов)	1	22,8	40,7	1	19	37,6
	2	17,7		2	29,1	
	3	34,8		3	28,3	
	4	40,4		4	21,3	
	5	36,1		5	39	
	6	28,4		6	51,1	
	7	52,5		7	52,5	
	8	54,5		8	64,7	
	9	78,7		9	33,3	
4 (после третьего цикла заездов)	1	37	37,1	1	23,4	33,8
	2	30,8		2	37,9	
	3	39		3	22,9	
	4	36,4		4	41	
	5	32,9		5	24	
	6	35,8		6	42	
	7	42,3		7	22,1	
	8	48,4		8	44,9	
	9	31,8		9	46,8	
5 (после четвертого цикла заездов)	1	44	35,4	1	30	29,3
	2	36		2	32	
	3	29		3	23,6	
	4	33		4	31,8	
	5	34,2		5	25,7	
	6	43		6	25,2	
	7	42		7	43	
	8	28		8	31,3	
	9	30		9	21	

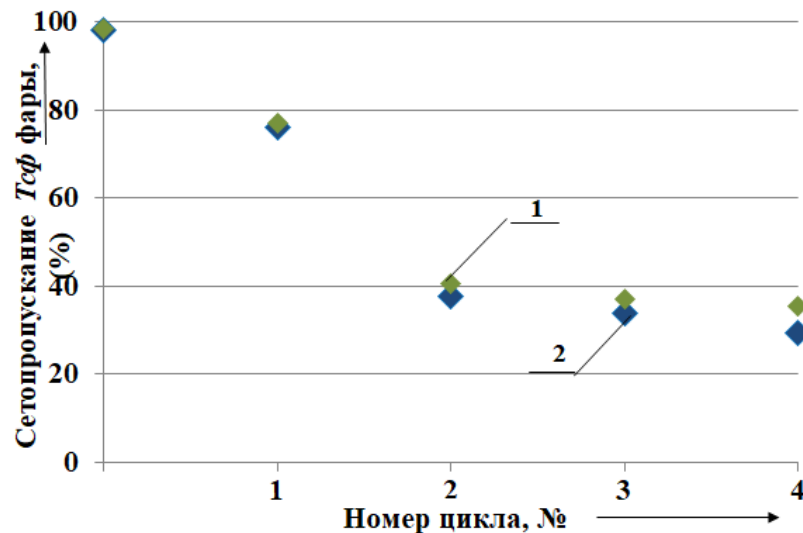


Рис. 4.4. График изменения светопропускания фар автомобиля Nissan Qashqai на дорогах, покрытых ХПГМ: 1 – светопропускание ПФ; 2 – светопропускание ЛФ

Результаты пересчета величины светопропускания в уровень загрязнения стекла экрана автомобиля Nissan Qashqai представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Результаты пересчета светопропускания фар в уровень загрязнения ЛФ и ПФ автомобиля Nissan Qashqai

№ эксперимента	Светопропускание $T_{сф}$ фар, (%)			Уровень загрязнения $Y_{сф}$ фар, (%)		
	левой фары	правой фары	среднее	левой фары	правой фары	средний
1 (чистый экран)	98,2	98,4	98,3	1,8	1,6	1,7
2	76,01	76,9	76,45	23,9	23,1	23,54
3	37,6	40,7	39,15	62,4	59,3	60,85
4	33,8	37,1	35,45	66,2	62,9	64,55
5	29,3	35,4	32,35	70,7	64,6	67,65

По результатам перерасчета был получен график зависимости среднего светопропускания фар автомобиля от уровня загрязнения экрана фар автомобиля Nissan Qashqai (рис. 4.5).

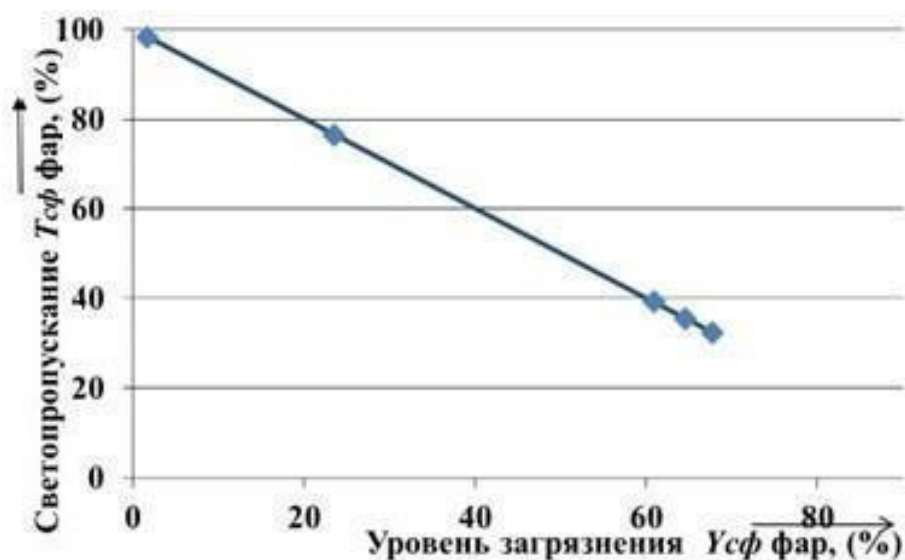


Рис. 4.5. График зависимости среднего светопропускания фар $T_{сф}$ от уровня $Y_{сф}$ загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai: ———— — расчет, ◆ — эксперимент

По итогам ЭИ получена функциональная зависимость средней величины $T_{сф}$ светопропускания фар автомобиля Nissan Qashqai от уровня их загрязнения:

$$T_{сф} = -1E - 16 \cdot Y_{сф}^2 - 1 \cdot Y_{сф} + 100, \quad (4.3)$$

где $T_{сф}$ – среднее значение светопропускания фар, [%]; $Y_{сф}$ – уровень их загрязнения, [%].

Далее, было проведено дополнительное ЭИ процесса загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai продуктами ХПГМ. Выполнили три контрольных заезда в зимнее время по дорогам г. Иркутска. После каждого заезда снимали загрязненные экраны с фар автомобиля и выполняли измерения светопропускания каждого экрана в девяти контрольных точках (согласно методике измерения светопропускания фар, п. 3.2.3), используя тауметр «ТОНИК».

Результаты ЭИ вносили в табл. 4.5. Затем была выполнена обработка приведенного в табл. 4.5 экспериментального материала в среде Microsoft Excel и построены графики изменения светопропускания фар автомобиля Nissan Qashqai в каждом цикле заездов. Изменения светопропускания фар поясняют графики (рис. 4.6).

Таблица 4.5. Результаты измерения светопропускания правой и левой фар во время экспериментальных заездов автомобиля Nissan Qashqai

№ Цикла	Светопропускание $T_{сф}$ фар, (%)					
	ПФ			ЛФ		
	Контрольная точка		среднее	Контрольная точка		среднее
	№	%		№	%	
1 (чистый экран)	1	99	98,4	1	96,6	98,2
	2	97,1		2	95,6	
	3	97,4		3	98,7	
	4	99,7		4	97,6	
	5	97,7		5	95,4	
	6	100		6	98,5	
	7	100		7	93,8	
	8	96,6		8	93,8	
	9	98,5		9	99,2	

2 (после первого цикла заезда)	1	76,3	60,5	1	84,3	55,6
	2	72,8		2	84,8	
	3	81,2		3	84,5	
	4	63,5		4	87,9	
	5	64		5	84,8	
	6	50,2		6	84,8	
	7	43,1		7	75,5	
	8	51,1		8	89,5	
	9	42,6		9	82,1	
3 (после второго цикла заезда)	1	24	35,5	1	41,2	30,5
	2	32,5		2	46,3	
	3	31,5		3	54,7	
	4	31,9		4	44,1	
	5	42		5	52,4	
	6	39,7		6	65,5	
	7	34,9		7	53,7	
	8	42,3		8	59,2	
	9	40,9		9	78,1	
4 (после третьего цикла заезда)	1	7,2	13,7	1	8,5	9,5
	2	10,2		2	7,8	
	3	21		3	6,4	
	4	16,4		4	9,4	
	5	11,9		5	7,4	
	6	25,6		6	8,4	
	7	12,1		7	19	
	8	8,4		8	28	
	9	10,8		9	8,8	

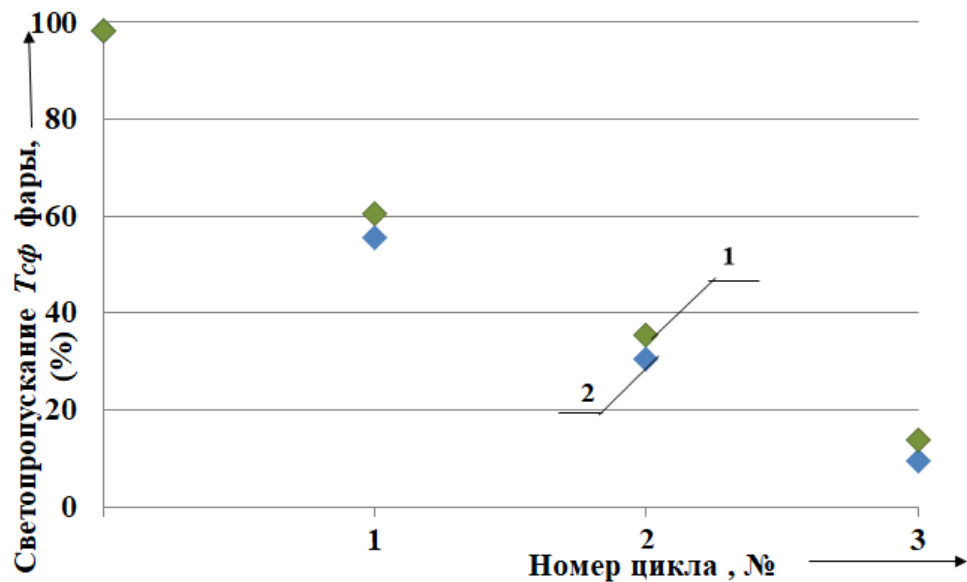


Рис. 4.6. Графики изменения светопропускания фар автомобиля Nissan Qashqai на дорогах, покрытых ХПГМ: 1 – светопропускание ПФ; 2 – светопропускание ЛФ

Результаты перерасчета величины светопропускания в уровень загрязнения фар представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6. Результаты перерасчета величины светопропускания в уровень загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai

№ эксперимента	Светопропускание T_{cf} фары, (%)			Уровень загрязнения Y_{cf} фары, (%)		
	левой фары	правой фары	среднее	левой фары	правой фары	средний
1 (чистый экран)	98,2	98,4	98,3	1,8	1,6	1,7
2	55,6	60,5	58,05	4,4	39,5	41,95
3	30,5	35,5	33	69,5	64,5	67
4	9,5	13,7	11,6	90,5	86,3	88,4

Далее был получен график зависимости среднего светопропускания фар автомобиля Nissan Qashqai от уровня загрязнения фар (рис. 4.7).

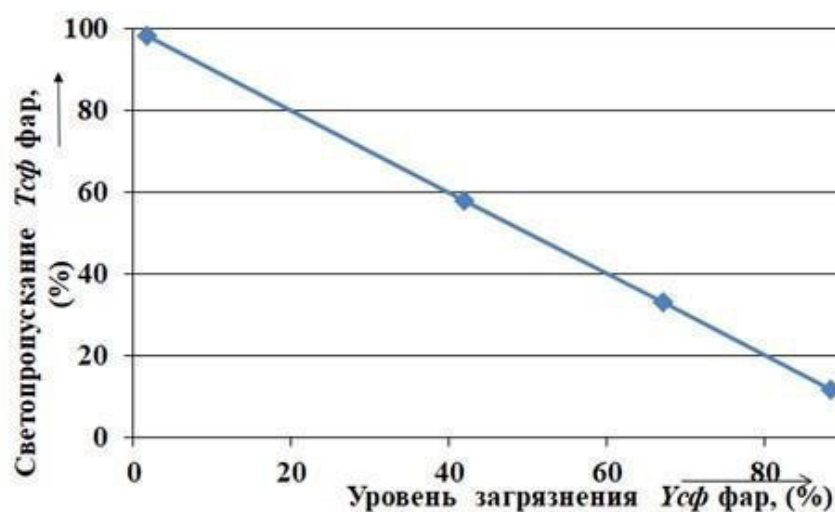


Рис. 4.7. График зависимости среднего светопропускания T_{cf} фар автомобиля Nissan Qashqai от уровня их загрязнения Y_{cf} : ———— — расчет, ◆ — эксперимент

По итогам этого экспериментального исследования была получена функциональная зависимость средней величины светопропускания T_{cf} фар автомобиля Nissan Qashqai от уровня их загрязнения Y_{cf} :

$$T_{cf} = 1E - 17 \cdot Y_{cf}^2 - Y_{cf} + 100, \quad (4.4)$$

где: T_{cf} – среднее значение светопропускания фар, [%]; Y_{cf} – уровень загрязнения фар, [%].

Заключительным, четвертым в ряду проводимых исследований, был эксперимент, проведенный на автомобиле Mercedes Benz E 320. Его также проводили согласно методике, изложенной в п. 3.3.1, в количестве пяти контрольных заездов по дорогам, покрытым ХПГМ, которые выполняли согласно методике, представленной в п. 3.1. Результаты значений светопропускания загрязненных фар отображены в табл. 4.7.

Выполнив обработку приведенного в табл. 4.7 экспериментального материала при помощи программного продукта Microsoft Excel, строили графики изменения светопропускания стекла экрана фары автомобиля Mercedes Benz E 320 от номера цикла исследования (рис. 4.8).

Таблица 4.7. Результаты измерения светопропускания правой и левой фар автомобиля Mercedes Benz E 320

№ Цикла	Светопропускание T_{cf} фар, (%)					
	ПФ			ЛФ		
	Контрольная точка		среднее	Контрольная точка		среднее
	№	%		№	%	
1 (чистый экран)	1	96	96,6	1	93	96
	2	97,1		2	95,6	
	3	97,4		3	95,3	
	4	92,5		4	95,6	
	5	96,4		5	94,4	
	6	98		6	97,5	
	7	98,2		7	97,1	
	8	96,6		8	98,6	
	9	97,5		9	97	
2 (после первого цикла заездов)	1	78,8	80,42	1	92,3	89,2
	2	82,1		2	85,6	
	3	77,1		3	95,3	
	4	86,9		4	94,6	
	5	86,1		5	74,5	
	6	83,2		6	93,9	
	7	78,8		7	91,1	
	8	69,6		8	88,5	
	9	81,2		9	86,7	

3 (после второго цикла заездов)	1	80,2	78,6	1	59,4	77,7
	2	77,7		2	69,9	
	3	83,4		3	75,5	
	4	87,7		4	82	
	5	79,3		5	82,2	
	6	75,1		6	84,2	
	7	65,7		7	82,1	
	8	68,1		8	79,1	
	9	90,5		9	84,6	
4 (после третьего цикла заездов)	1	61,6	71,35	1	66	65,04
	2	80,9		2	67,3	
	3	72,8		3	55,9	
	4	80,3		4	73,3	
	5	67,8		5	79,2	
	6	68,2		6	61	
	7	71,4		7	77,2	
	8	85,3		8	59,4	
	9	53,9		9	46,1	
5 (после четвертого цикла заездов)	1	42	50,63	1	38,2	46,7
	2	47,5		2	36,7	
	3	35,6		3	41,5	
	4	40,4		4	45,3	
	5	36,1		5	54,3	
	6	46,4		6	31,1	
	7	74,5		7	52,7	
	8	64,5		8	63,1	
	9	68,7		9	57,5	
6 (после пятого цикла заездов)	1	28,5	30,37	1	26	27,35
	2	30,1		2	31,9	
	3	26,8		3	38	
	4	26,4		4	24,2	
	5	26,9		5	12,2	
	6	35,5		6	14,2	
	7	37,3		7	28,1	
	8	30		8	38	
	9	31,8		9	33,6	

Результаты пересчета величины светопропускания в величину их загрязнения для автомобиля Mercedes Benz E 320 на дорогах, покрытых ХПГМ, представлены в табл. 4.8.

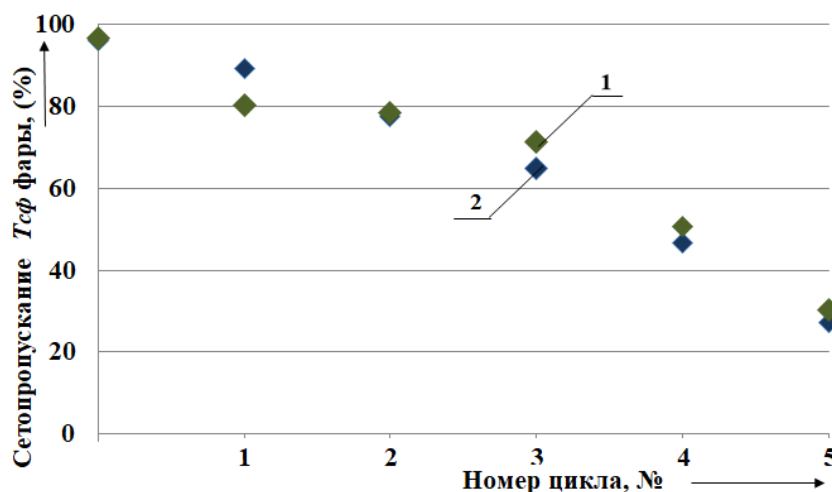


Рис. 4.8. График изменения светопропускания фар автомобиля Mercedes Benz E 320 на дорогах, покрытых ХПГМ: 1 – светопропускание правой фары, 2 – светопропускание левой фары

Получен график зависимости среднего светопропускания фар автомобиля Mercedes Benz E 320 от уровня загрязнения его фар на дорогах, покрытых ХПГМ, представленный на рис. 4.9.

Таблица 4.8. Результаты пересчета величины светопропускания в уровень загрязнения левой и правой фары автомобиля Mercedes Benz E 320

№ эксперимента	Светопропускание $T_{сф}$ фары, (%)			Уровень загрязнения $Y_{сф}$ фары, (%)		
	левой фары	правой фары	среднее	левой фары	правой фары	средний
1	96	96,6	96,3	4	3,4	3,7
2	89,2	80,42	84,81	10,8	19,58	15,19
3	77,7	78,6	78,15	22,3	21,4	21,85
4	65,04	71,35	68,2	34,96	28,65	31,805
5	46,7	50,63	48,67	53,3	49,37	51,335
6	27,35	30,37	28,86	72,65	69,63	71,14

По итогам проведенных ЭИ процесса загрязнения фар автомобилей продуктами обработки ХПГМ установлено, что предельные значения светопропускания $T_{сф}$ фар в условиях их загрязнения ХПГМ изменяются от 88,4 % при чистых фарах до 1,7 % при загрязненных фарах (табл. 4.2, 4.4, 4.6, 4.8).

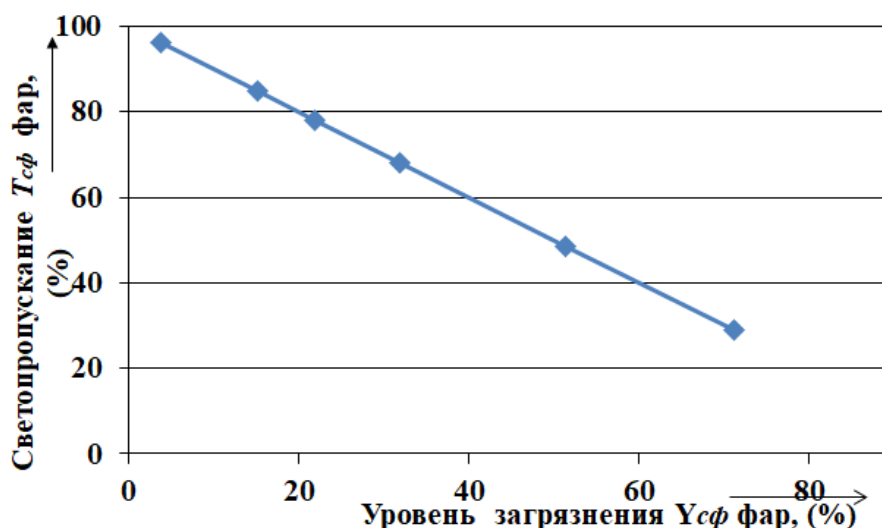


Рис. 4.9. График зависимости среднего светопропускания T_{cf} фар автомобиля Mercedes Benz E 320 от уровня их загрязнения Y_{cf} :
 ———— – расчет, ◆ – эксперимент

По методикам, представленным в разделе 3.3, были проведены экспериментальные исследования интенсивности загрязнения фар ХПГМ в зимнее время года. Исследования проводили на автомобильной дороге Р-258 «Байкал», покрытой ХПГМ. Эксперимент заключался в контроле загрязнения прозрачных экранов, установленных на фары автомобиля Nissan Qashqai, который следовал за впереди идущим автомобилем. Два автомобиля, сохраняя заданную дистанцию 50 м, двигались с заданной скоростью по дороге, покрытой ХПГМ на расстояние 5 км. После этого загрязненные экраны на фарах заменяли на чистые. И вновь продолжали движение со следующей скоростью. Скорость движения автомобилей задавали в диапазоне от 60 до 80 км/час. При каждом значении скорости движения эксперимент повторяли от 4 до 6 раз.

После окончания эксперимента в лабораторных условиях определяли уровень загрязнения фар. Полученные результаты в процессе эксперимента показаны в табл. 4.9. Они позволяют прогнозировать интенсивность загрязнения фар автомобиля от колес впереди идущего автомобиля при его движении по дорогам, покрытым ХПГМ в зависимости от скорости.

Таблица 4.9. Результаты измерения загрязнения экрана фар автомобиля Nissan Qashqai на трассе Р-258 «Байкал»

Скорость, (км/час)	Уровень загрязнения фары $Y_{сф.}$ (%)	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
60	18	17,93
60	16,4	
60	19,2	
60	15,7	
60	19,9	
60	18,4	
80	20,1	19,63
80	18,7	
80	19,6	
80	17,5	
80	19,9	
80	22	

С использованием математического описания процесса загрязнения фар продуктами обработки ХПГМ, представленного в п. 2.4.1, получен график (рис. 4.10).

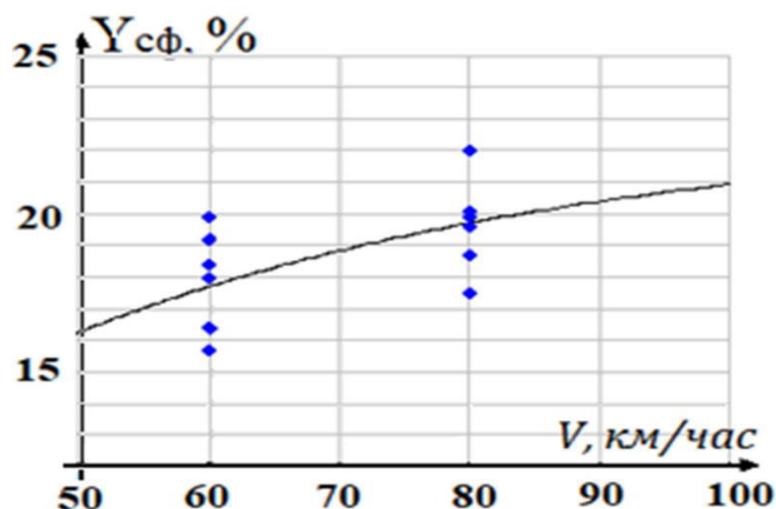


Рис. 4.10. Зависимость загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai от скорости его движения на расстоянии 50 м от впереди идущего автомобиля на дороге, покрытой ХПГМ: — расчет, ◆ — эксперимент

Представленный на рис. 4.10 график убедительно показывает, что с увеличением скорости движения автомобилей интенсивность загрязнения фар сзади идущего автомобиля растет.

4.2. Результаты исследования силы света фар автомобиля при их загрязнении ПО ХПГМ

Согласно методике, представленной в п. 3.3.2, после каждого экспериментального заезда испытуемых колесных транспортных средств, помимо измерения светопропускания загрязненных продуктами обработки дороги химическими противогололедными материалами фар, проводили измерение силы света фар в режиме ближнего и дальнего света. Измерение силы света выполняли специальным прибором ИПФ-01 научно-производственной фирмы «МЕТА» [49].

Руководствуясь методикой, указанной в п. 3.3.5, были проведены экспериментальные исследования силы света фар автомобиля Toyota Fun Cargo в условиях их загрязнения на дорогах, обработанных химическими противогололедными материалами. Полученные показатели эксперимента представлены в табл. 4.10 [21, 23, 98].

Анализ результатов табл. 4.10 показывает, что по мере загрязнения фар автомобиля Toyota Fun Cargo продуктами обработки дороги химическими противогололедными материалами, сила их света в режиме дальнего света снижается в 15 раз, а в режиме ближнего света – более чем в 18 раз.

Затем по результатам табл. 4.10 были получены графики изменения силы света фар автомобиля Toyota Fun Cargo в режиме ближнего света фар и дальнего света фар в зависимости от цикла проведенных исследований.

Таблица 4.10. Результаты эксперимента по измерению силы света загрязненных ХПГМ фар Toyota Fun Cargo при ближнем и дальнем свете

№ Цикла	Высота установки фары, (мм)	Номинальный угол наклона светового пучка.	Тип фары	ССФ в направлении оптической оси фары, (Кд)			
				ЛФ		ПФ	
				БС	ДС	БС	ДС
1 (чистый экран)	0,70÷0,80	52	Класс Н дальнего НР - света, ближнего НС - света	Верхняя граница – 470	13 400	Верхняя граница – 460	28 500
				Нижняя граница – 7750		Нижняя граница – 7950	
2 (после первого цикла заездов)				Верхняя граница – 360	9200	Верхняя граница – 520	17 700
				Нижняя граница – 6500		Нижняя граница – 6531	
3 (после второго цикла заездов)				Верхняя граница – 878	5033	Верхняя граница – 548	8132
				Нижняя граница – 4718		Нижняя граница – 4771	
4 (после третьего цикла заездов)				Верхняя граница – 200	465	Верхняя граница – 356	1800
				Нижняя граница – 334		Нижняя граница – 700	

Графики на рис. 4.11 и 4.12. имеют вид линейных зависимостей. При этом следует отметить, что циклы ЭИ процесса загрязнения фар не регламентировались временем или пробегом КТС. Особенность загрязнения фар КТС в том, что тщательно отмытый в автомойке автомобиль при одном состоянии дороги (*и погоды*) может уже через 5–10 минут иметь сильно загрязненные фары, а при другом состоянии – несколько дней и десятков километров пробега иметь чистый вид и чистые фары.

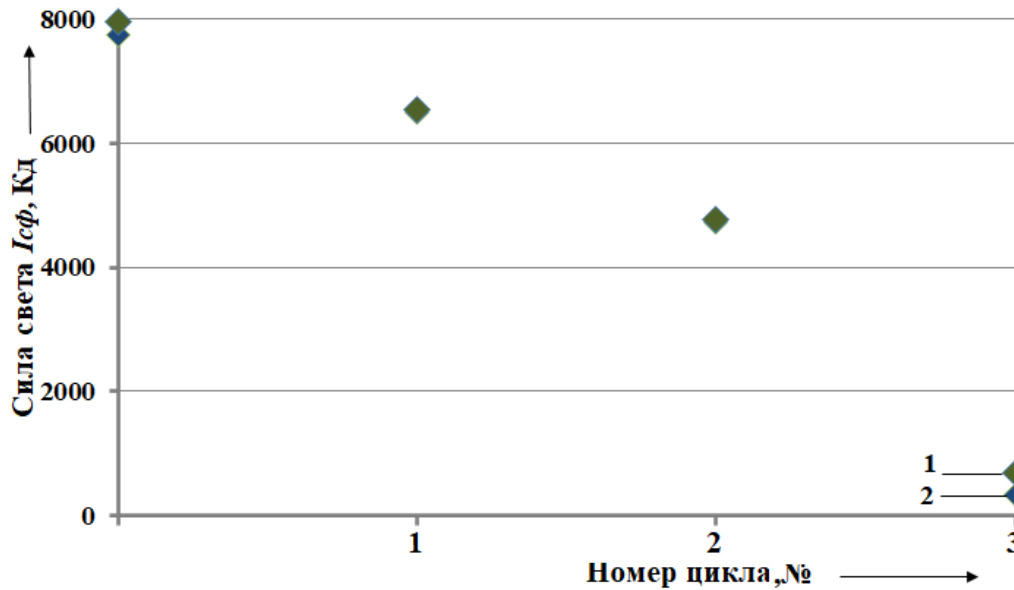


Рис. 4.11. График изменения силы света фар автомобиля Toyota Fun Cargo в режиме *ближнего света* при их загрязнении продуктами обработки дороги ХПГМ: 1 – ПФ; 2 – ЛФ

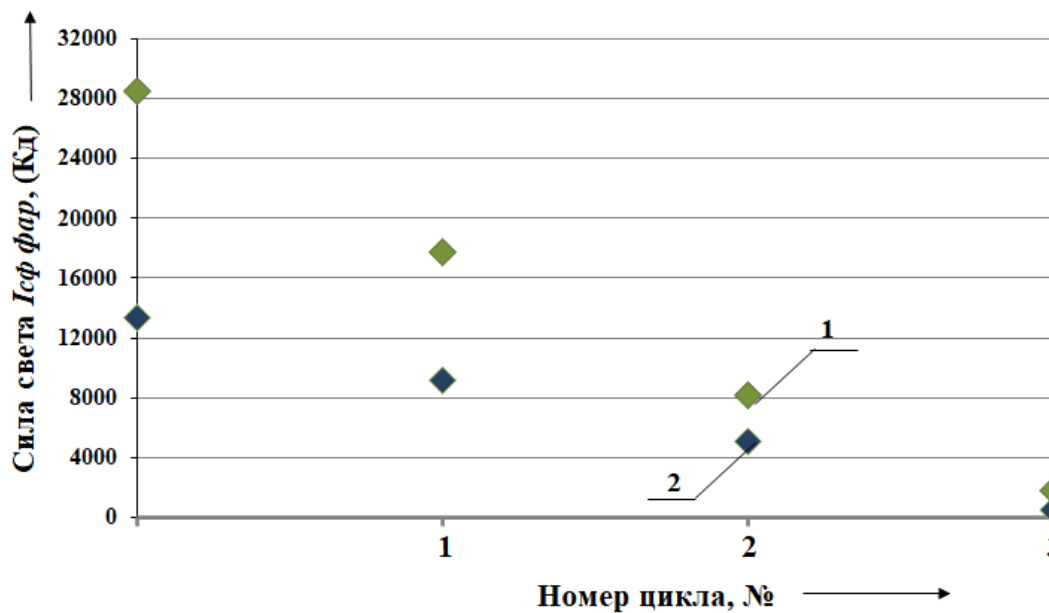


Рис. 4.12. График изменения силы света фар автомобиля Toyota Fun Cargo в режиме *дальнего света* при их загрязнении продуктами обработки дороги ХПГМ: 1 – ПФ; 2 – ЛФ

Результаты повторного эксперимента измерения силы света фар автомобиля Nissan Qashqai при их загрязнении продуктами обработки дороги ХПГМ приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11. Результаты эксперимента по измерению силы света загрязненных ХПГМ фар Nissan Qashqai при ближнем и дальнем свете

№ Цикла	Высота установки фары, (мм)	Номинальный угол наклона светового пучка.	Тип фары	ССФ в направлении оптической оси фары, (Кд)			
				ЛФ		ПФ	
				БС	ДС	БС	ДС
1 (чистый экран)	0,80±0,90	60	Дальний свет – Н7	Верхняя граница – 402	33 900	Верхняя граница – 410	28 500
				Нижняя граница – 10 400		Нижняя граница – 7500	
2 (после первого цикла заездов)				Верхняя граница – 507	25 000	Верхняя граница – 490	17 300
				Нижняя граница – 7163		Нижняя граница – 5960	
3 (после второго цикла заездов)				Верхняя граница – 642	13 154	Верхняя граница – 715	5627
				Нижняя граница – 4684		Нижняя граница – 5706	
4 (после третьего цикла заездов)				Верхняя граница – 540	12 300	Верхняя граница – 605	5200
				Нижняя граница – 4400		Нижняя граница – 3270	
5 (после четвертого цикла заездов)				Верхняя граница – 400	8906	Верхняя граница – 540	5600
				Нижняя граница – 3140		Нижняя граница – 2868	

Анализ результатов, представленных в табл. 4.11, показывает, что по мере загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai продуктами обработки дороги ХПГМ сила их света в режиме дальнего света снижается более чем в 5 раз, а в режиме ближнего света – более чем в 3 раза.

По результатам измерений получены графики зависимости ССФ автомобиля Nissan Qashqai в *режиме ближнего и дальнего света* на дорогах, покрытых ХПГМ (рис. 4.13, 4.14).

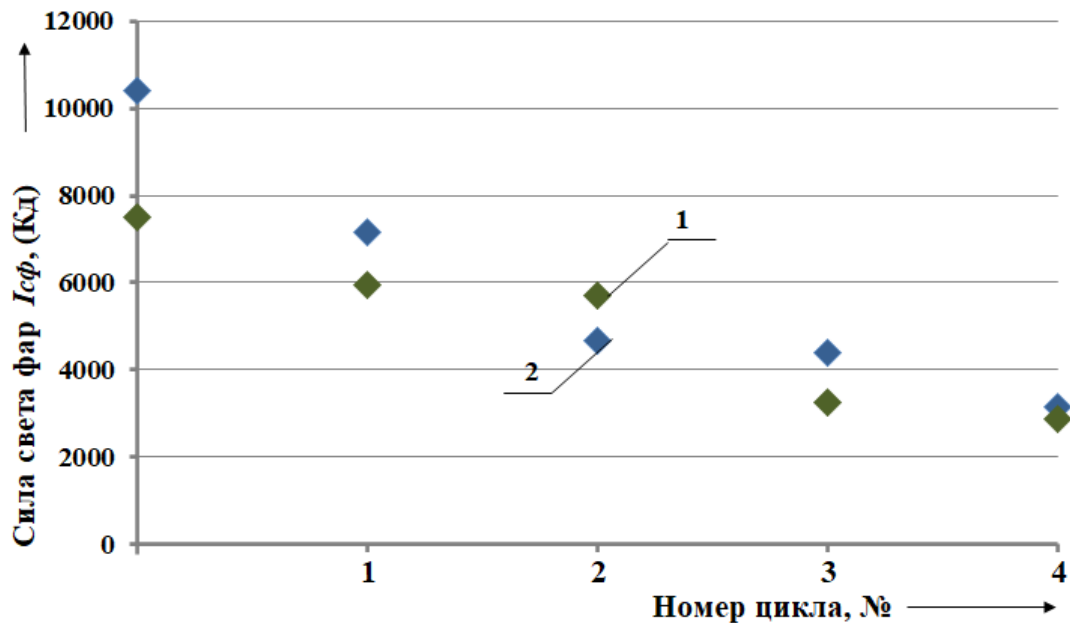


Рис. 4.13. График изменения ССФ автомобиля Nissan Qashqai в *режиме БС* на дорогах, покрытых ХПГМ: 1 – ПФ; 2 – ЛФ; ♦♦ – эксперимент

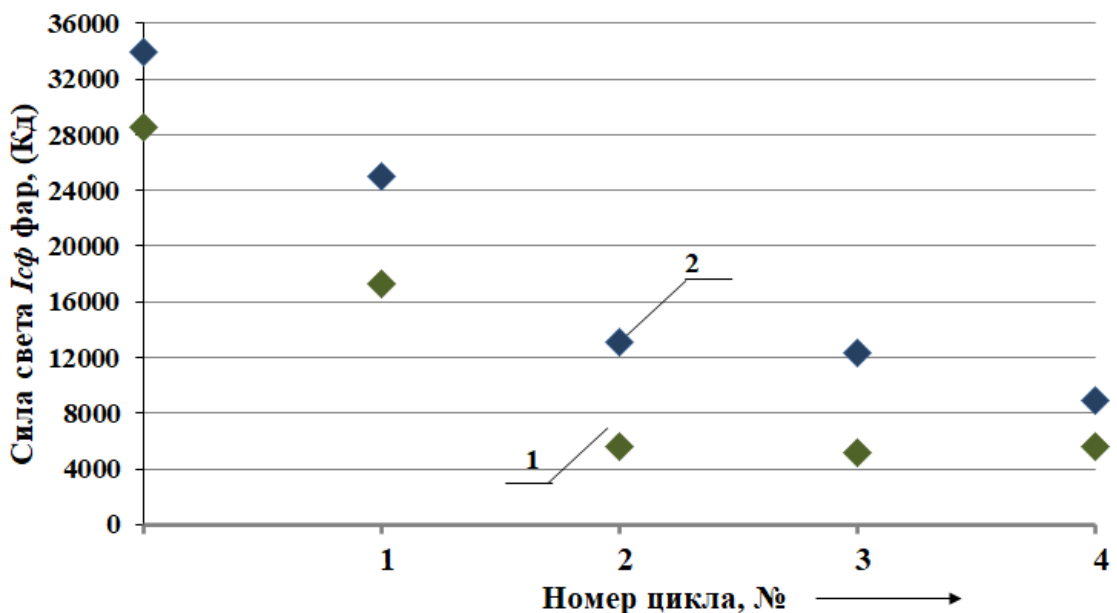


Рис. 4.14. График изменения ССФ автомобиля Nissan Qashqai на дорогах, покрытых ХПГМ в *режиме ДС*: 1 – ПФ; 2 – ЛФ; ♦♦ – эксперимент

Третий цикл экспериментов был проведен на том же автомобиле Nissan Qashqai. Результаты экспериментов заносили в табл. 4.12.

Таблица 4.12. Результаты измерений ССФ автомобиля Nissan Qashqai в режимах ближний / дальний свет при их загрязнении ХПГМ

№ Цикла заезда	Высота установки фары, (мм)	Номинальный угол наклона светового пучка, угл. мин.	Тип фары	ССФ в направлении оптической оси фары, (Кд)			
				ЛФ		ПФ	
				БС	ДС	БС	ДС
1 (чистый экран)	0,80÷0,90	60	Дальний свет – Н7, ближний свет – Н7	Верхняя граница – 470	35 000	Верхняя граница – 470	31 000
				Нижняя граница – 12 000		Нижняя граница – 12 000	
2 (после первого цикла заездов)	0,80÷0,90	60	Дальний свет – Н7, ближний свет – Н7	Верхняя граница – 560	19 000	Верхняя граница – 470	14 500
				Нижняя граница – 8000		Нижняя граница – 7500	
3 (после второго цикла заездов)	0,80÷0,90	60	Дальний свет – Н7, ближний свет – Н7	Верхняя граница – 610	8439	Верхняя граница – 488	4957
				Нижняя граница – 4473		Нижняя граница – 3914	
4 (после третьего цикла заездов)	0,80÷0,90	60	Дальний свет – Н7, ближний свет – Н7	Верхняя граница – 200	6565	Верхняя граница – 280	2800
				Нижняя граница – 2334		Нижняя граница – 1800	

Анализ результатов, представленных в табл. 4.12, показывает, что по мере загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai продуктами обработки дороги ХПГМ сила их света в режиме дальнего света снижается более чем в 7 раз, а в режиме ближнего света – более чем в 6 раз.

Получены графики изменения ССФ в режиме БС и ДС на дорогах, покрытых ХПГМ, на автомобиле Nissan Qashqai (рис. 4.15, 4.16).

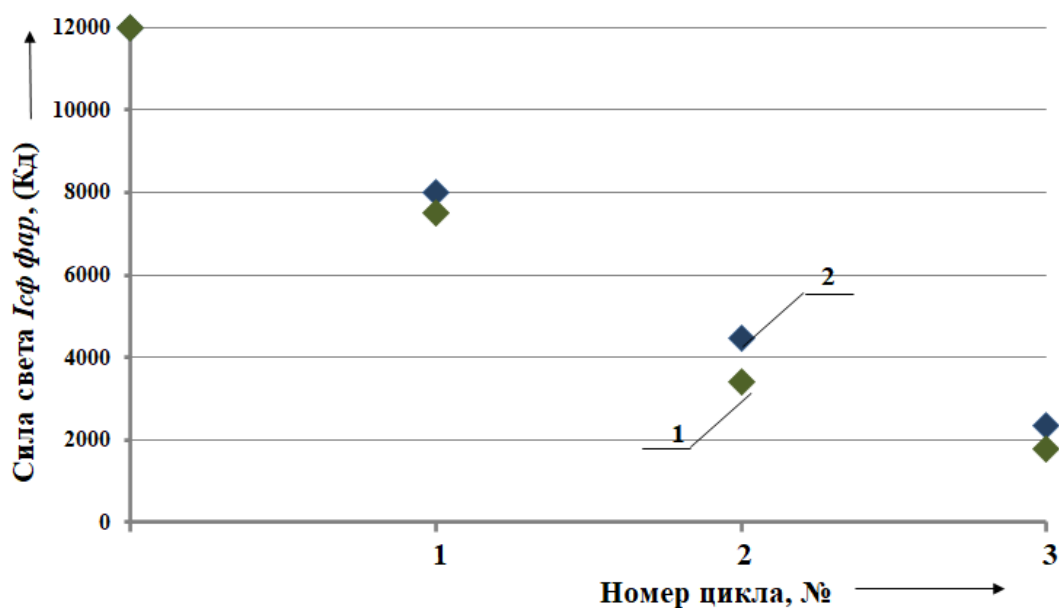


Рис. 4.15. График изменения силы света *ближнего* света фар на дорогах, покрытых ХПГМ, на автомобиле Nissan Qashqai: 1 – ПФ; 2 – ЛФ

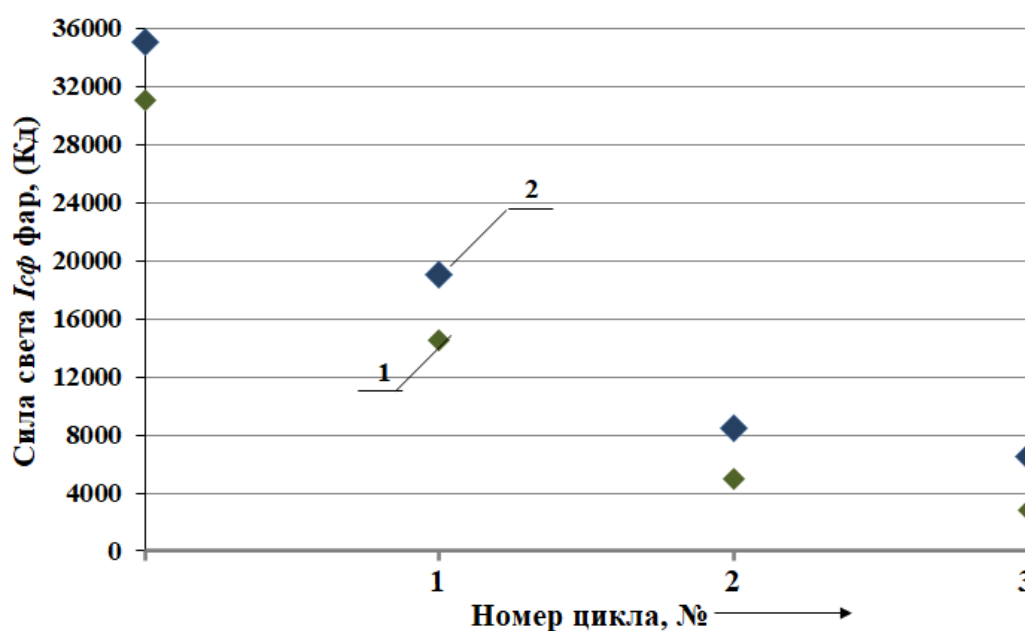


Рис. 4.16. График изменения силы света *дальнего* света фар на дорогах, покрытых ХПГМ, на автомобиле Nissan Qashqai: 1 – ПФ; 2 – ЛФ

Заключительный эксперимент по определению изменения силы света фар автомобилей в условиях их загрязнения продуктами обработки дорог ХПГМ проведен на автомобиле Mercedes Benz E 320. Результаты эксперимента представлены в табл. 4.13.

Таблица 4.13. Результаты измерений силы света фар автомобиля Mercedes Benz E 320 в режимах ближний/дальний свет при их загрязнении ХПГМ

№ Цикла	Высота установки проверяемой фары, (мм)	Номинальный угол наклона светового пучка	Тип фары	ССФ в направлении оптической оси фары, (Кд)			
				ЛФ		ПФ	
				БС	ДС	БС	ДС
1 (чистый экран)	0,70±0,80	52	Дальний свет – Н7, ближний свет – Н7	Верхняя граница – 670	13 879	Верхняя граница – 560	25 170
				Нижняя граница – 8200		Нижняя граница – 6580	
2 (после первого цикла заездов)				Верхняя граница – 510	12 890	Верхняя граница – 520	21 140
				Нижняя граница – 6050		Нижняя граница – 6301	
3 (после второго цикла заездов)				Верхняя граница – 510	10 800	Верхняя граница – 428	19 233
				Нижняя граница – 6434		Нижняя граница – 5703	
4 (после третьего цикла заездов)				Верхняя граница – 430	9160	Верхняя граница – 356	18 000
				Нижняя граница – 5880		Нижняя граница – 5130	
5 (после четвертого цикла заездов)				Верхняя граница – 390	6334	Верхняя граница – 360	12 260
				Нижняя граница – 4778		Нижняя граница – 4050	
6 (после пятого цикла заездов)				Верхняя граница – 230	4655	Верхняя граница – 280	8805
				Нижняя граница – 3130		Нижняя граница – 3100	

Анализ результатов, представленных в табл. 4.13, показывает, что по

мере загрязнения фар автомобиля Mercedes Benz E 320 продуктами обработки дороги ХПГМ сила их света в режиме дальнего света снижается более чем в 2,5 раза, а в режиме ближнего света – более чем в 2,4 раза.

Получены графики изменения ССФ в условиях их загрязнения ПО ХПГМ (рис. 4.17, 4.18).

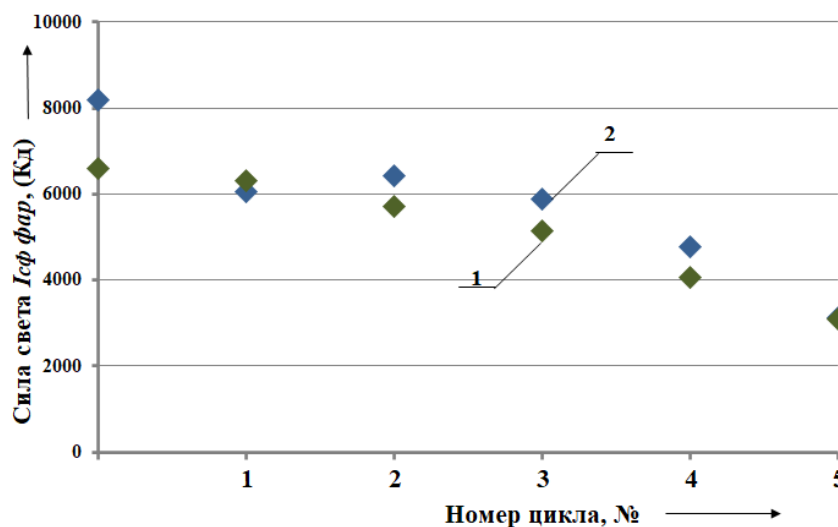


Рис. 4.17. График изменения ССФ автомобиля Mercedes Benz E 320 на дорогах с ХПГМ (*ближний свет*): 1 – ПФ; 2 – ЛФ

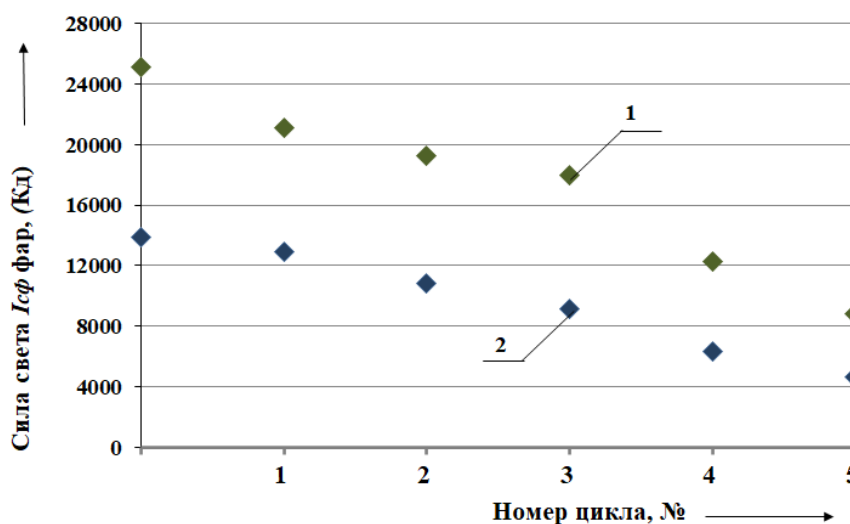
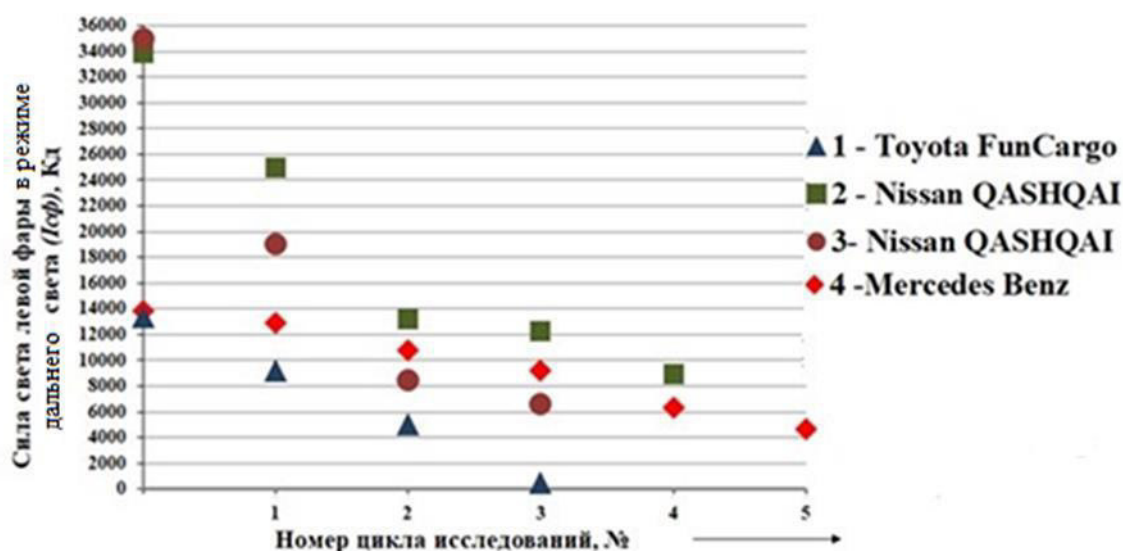
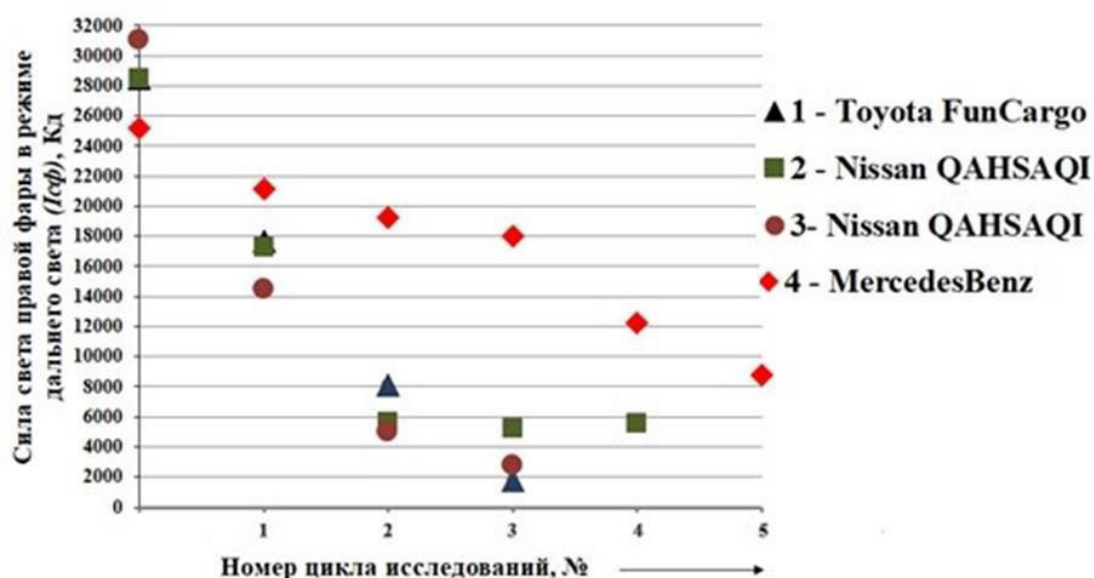


Рис. 4.18. График изменения ССФ (*дальний свет*) на дорогах, с ХПГМ автомобиля Mercedes Benz E 320: 1 – ПФ; 2 – ЛФ

Наиболее информативно результаты исследования представлены на общих графиках (рис. 4.19, 4.20) всех автомобилей, использованных в экспериментах.



а)



б)

Рис. 4.19. Общие графики изменения ССФ исследованных автомобилей в режиме ДС на дорогах, покрытых ХПГМ: а – правая фара; б – левая фара

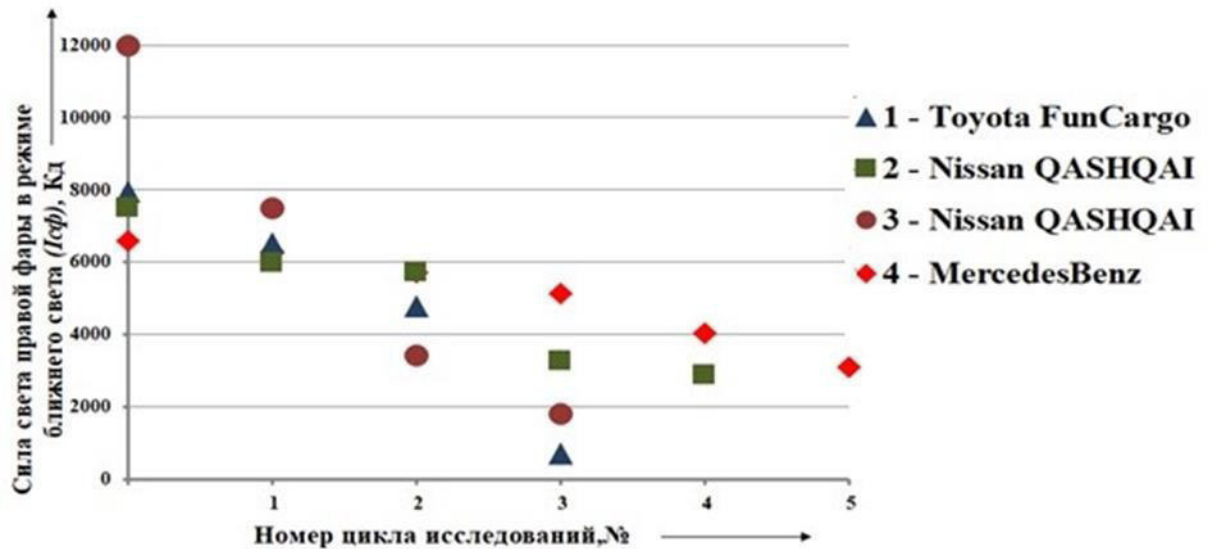
По результатам исследования силы света фар автомобилей при их загрязнении ПО ХПГМ установлено, что:

– в результате загрязнения фар автомобилей сила их света *в режиме дальнего света* может снижаться от 2,5 (автомобиль Mercedes Benz E 320) до 15 раз (автомобиль Toyota Fun Cargo);

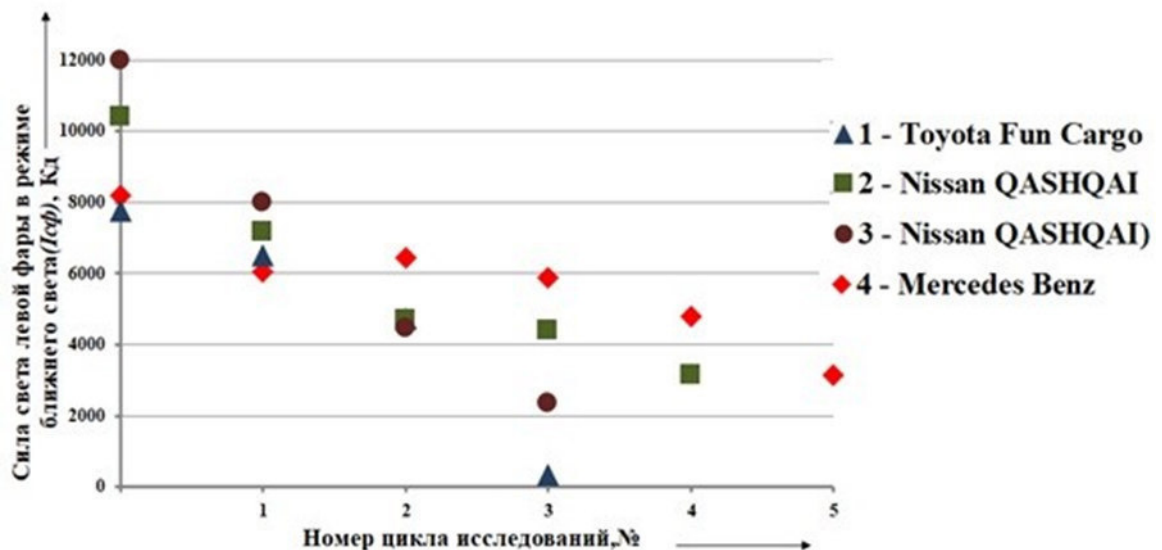
– в результате загрязнения фар автомобилей сила их света *в режиме ближнего света* может снижаться от 2,4 (автомобиль Mercedes Benz E 320)

до 18 раз (автомобиль Toyota Fun Cargo).

Такие большие различия в силе света загрязненных фар автомобилей Toyota Fun Cargo и Mercedes Benz Е 320 объясняются лучшими аэродинамическими свойствами последнего.



а)



б)

Рис. 4.20. Общие графики изменения ССФ в режиме *БС* на дорогах, покрытых ХПГМ: а – правая фара; б – левая фара

Результаты экспериментального исследования были обработаны с целью выявления зависимостей силы света фар КТС от уровня их загрязнения, и построены графики зависимостей, показанные на рис. 4.21.

Графики зависимостей ССФ КТС от уровня их загрязнения в процессе движения по дорогам, обработанным ХПГМ, позволяют прогнозировать величину ССФ КТС и исследовать расстояние видимости участников движения на дорогах в ТВС.

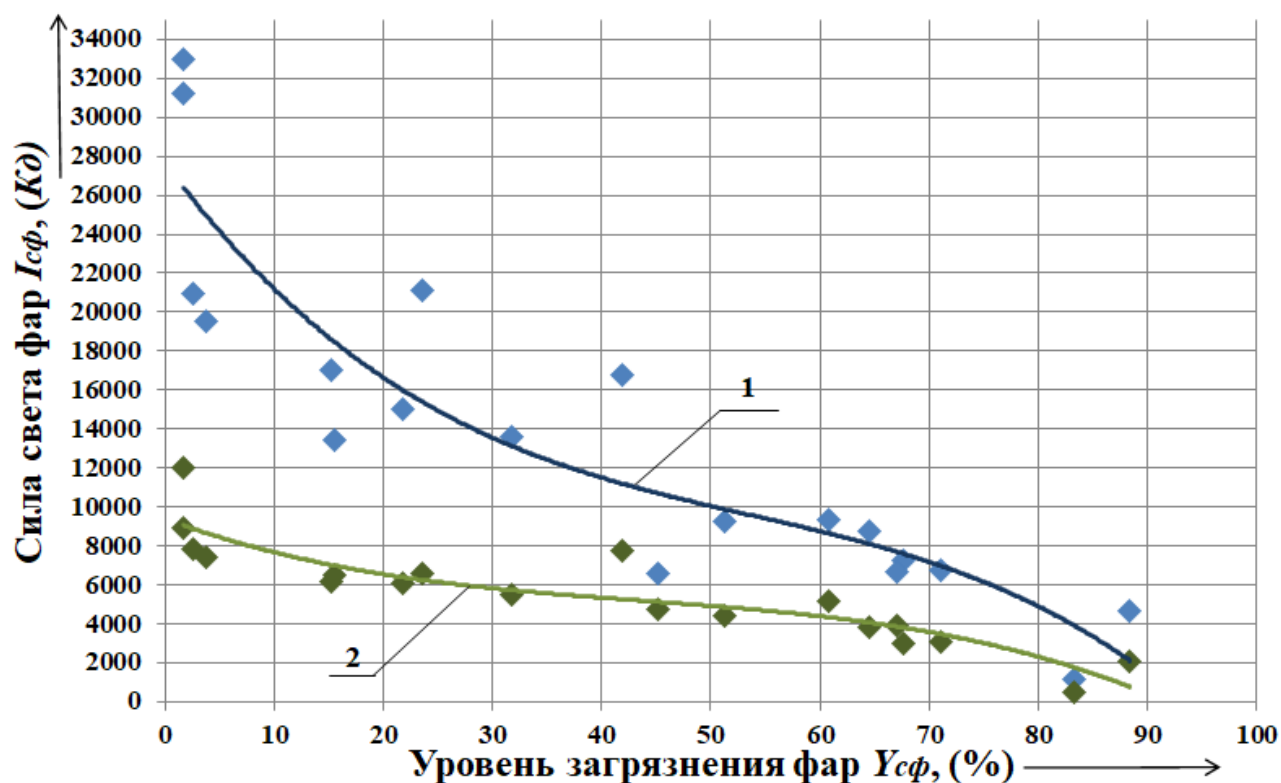


Рис. 4.21. Зависимости ССФ КТС от уровня их загрязнения при движении по дорогам, обработанным ХПГМ: 1 – в режиме ДС; 2 – в режиме БС: — расчет, ◆ — эксперимент

В процессе обработки результатов ЭИ (см. рис. 4.21) была получена функциональная зависимость силы света фар $I_{сф}$ от уровня их загрязнения $Y_{сф}$ в режиме дальнего света:

$$I_{сф} = -0,0727 \cdot Y_{сф}^3 + 11,707 \cdot Y_{сф}^2 - 755,44 \cdot Y_{сф} + 27\,654, \quad (4.5)$$

где $I_{сф}$ — сила света фар, [Кд]; $Y_{сф}$ — уровень загрязнения фар, [%].

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,81$.

Также была получена функциональная зависимость силы света фар $I_{сф}$

от уровня их загрязнения Y_{cf} в режиме ближнего света:

$$I_{cf} = -0,0288 \cdot Y_{cf}^3 + 3,7734 \cdot Y_{cf}^2 - 205,92 \cdot Y_{cf} + 9399,4, \quad (4.6)$$

где I_{cf} – сила света фар, [Кд]; Y_{cf} – уровень загрязнения фар, [%].

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,81$.

4.3. Результаты исследования расстояния видимости водителем препятствия в темное время на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ

Данное ЭИ проводили в ТВС с целью анализа расстояния видимости водителем автомобиля с фарами загрязненными ХПГМ, пешехода-статиста в темной одежде на проезжей части дороги, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.4.

На рис. 4.22 показан статист в темной одежде, не имеющей светоотражающих элементов, стоящий на проезжей части неосвещенной зимней дороги, покрытой ХПГМ, во время проведения эксперимента.

Исследование видимости водителем пешехода в темной одежде по ширине проезжей части зимней неосвещенной дороги в темное время суток выполняли после каждого проведенного цикла экспериментальных исследований процесса загрязнения автомобильных фар (см. раздел 4.1) и измерения силы их света (см. раздел 4.2).

Согласно статистической методике планирования эксперимента (см. раздел 3.1), предварительно было определено количество опытов, необходимое для корректного анализа процесса.

Результаты экспериментальных исследований расстояния видимости водителем пешехода с использованием трех испытуемых автомобилей представлены ниже.



Рис. 4.22. Статист-пешеход в темной одежде на проезжей части неосвещенной зимней дороги в ТВС

Вначале выполняли эксперимент с участием автомобиля Toyota Fun Cargo. Подробная методика проведения эксперимента приведена в третьей главе диссертации (см. раздел 3.4). Итоги эксперимента представлены в табл. 4.14.

Результаты приведенных в табл. 4.14 экспериментов показывают, что в режиме *ближнего света* загрязненные ХПГМ фары автомобиля Toyota Fun Cargo снижают РВВ пешехода в темной одежде с 39,5 до 29 м, т. е. на 26,6 %. При этом в режиме *дальнего света* загрязненные ХПГМ фары снижают РВВ пешехода в темной одежде с 69,5 до 50,5 м, т. е. на 27,3 %.

Таблица 4.14. Видимость водителем пешехода-статиста в темной одежде при его выставлении по ширине проезжей части в свете фар автомобиля Toyota Fun Cargo, загрязненных ХПГМ

№ цикла	Измеренное расстояние видимости водителем пешехода, (м)			
	БС		ДС	
	измеренный	средний	измеренный	средний
1 (чистый экран)	слева – 29,2	39,5	слева – 59	69,5
	середина – 45,2		середина – 71,2	
	справа – 44		справа – 78,4	
2 (после первого цикла заездов)	слева – 36	38	слева – 64	65
	середина – 40		середина – 66,5	
	справа – 38,4		справа – 64,5	
3 (после второго цикла заездов)	слева – 29,9	35,8	слева – 56,9	57,8
	середина – 37,6		середина – 50,6	
	справа – 39,9		справа – 65,9	
4 (после третьего цикла заездов)	слева – 29	29	слева – 45,2	50,5
	середина – 28		середина – 56,1	
	справа – 30		справа – 50,3	

Результаты обработанных экспериментов (табл. 4.14) представлены в виде графиков, построенных в программе Microsoft Excel (рис. 4.23).

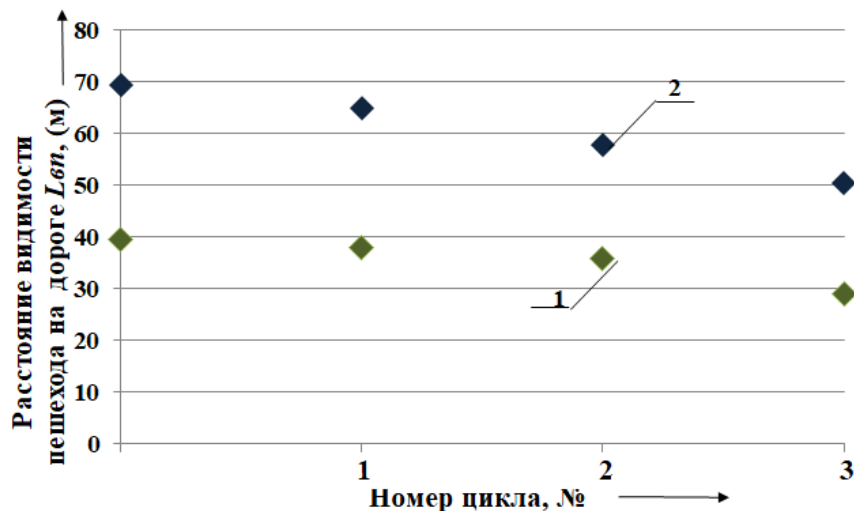


Рис. 4.23. Графики изменения РВВ пешехода-статиста в темной одежде на дороге в свете фар, загрязненных ХПГМ, при движении на автомобиле Toyota Fun Cargo: 1 – в режиме БС; 2 – в режиме ДС

График позволяет определить расстояние видимости водителем пешехода в темной одежде в ТВС на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ, в свете фар, загрязненных ХПГМ.

Второй эксперимент, состоящий из 4 циклов заездов, был проведен на автомобиле Nissan Qashqai. Результаты измерений расстояний видимости приведены в табл. 4.15.

Таблица 4.15. Видимость водителем пешехода-статиста в темной одежде при его выставлении по ширине проезжей части в свете фар автомобиля Nissan Qashqai, загрязненных ХПГМ (первый эксперимент)

№ цикла	Измеренное расстояние видимости водителем пешехода, (м)			
	Ближний свет		Дальний свет	
	измеренный	средний	измеренный	средний
1 (чистый экран)	слева – 57,2	52,6	слева – 85	95,8
	середина – 47,2		середина – 100,7	
	справа – 53,4		справа – 101,7	
2 (после первого цикла)	слева – 41,1	42,1	слева – 81	78
	середина – 41,1		середина – 64	
	справа – 44,3		справа – 89,2	
3 (после второго цикла)	слева – 33	41,5	слева – 59	65
	середина – 39,2		середина – 66,8	
	справа – 52,2		справа – 69	
4 (после третьего цикла)	слева – 29	36,3	слева – 58	63
	середина – 38		середина – 62	
	справа – 42		справа – 69,1	
5 (после четвертого цикла)	слева – 27,8	35,6	слева – 48,2	57,5
	середина – 41,1		середина – 62,9	
	справа – 38		справа – 61,5	

Результаты приведенных в табл. 4.15 экспериментов показывают, что в режиме *ближнего света* загрязненные ХПГМ фары автомобиля Nissan Qashqai снижают расстояние видимости водителем пешехода в темной одежде с 52,6 до 35,6 м, т. е. на 32,3 %. При этом в режиме *дальнего света* загрязненные ХПГМ фары снижают расстояние видимости водителем пешехода в темной одежде с 95,8 до 57,5 м, т. е. почти на 40 %.

В программной среде Microsoft Excel по результатам, представленным

в табл. 4.15, построены графики изменения расстояния видимости водителем, находящегося в кабине автомобиля Nissan Qashqai пешехода, по ширине ПЧ при проведении ЭИ в ТВС (рис. 4.24).

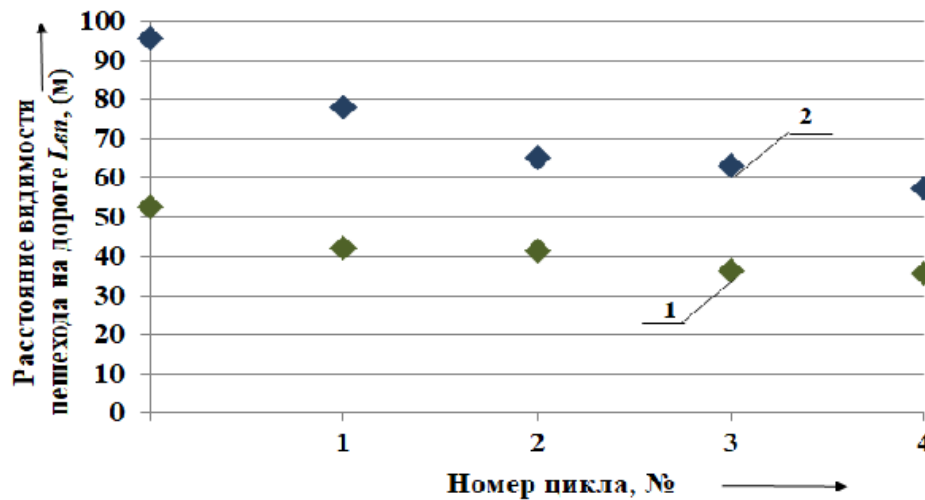


Рис. 4.24. Графики изменения РВВ пешехода на дороге в свете фар, загрязненных ХПГМ, при движении на автомобиле Nissan Qashqai: 1 – график в режиме БС; 2 – в режиме ДС

Повторный эксперимент был проведен на том же автомобиле Nissan Qashqai. Полученные результаты экспериментов приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16. Видимость водителем пешехода-статиста в темной одежде при его выставлении по ширине проезжей части в свете фар автомобиля Nissan Qashqai, загрязненных ХПГМ (повторный эксперимент)

№ цикла	Измеренное расстояние видимости водителем пешехода, (м)			
	БС		ДС	
	измеренный	средний	измеренный	средний
1 (чистый экран)	слева – 55,2	60,3	слева – 92,5	96,8
	середина – 57,2		середина – 92	
	справа – 68,4		справа – 105,8	
2 (после первого цикла)	слева – 23,8	41,8	слева – 65	72,2
	середина – 53		середина – 74	
	справа – 48,4		справа – 77,6	
3 (второй цикл)	слева – 28,6	30,4	слева – 57,3	57,9

	середина – 29		середина – 59	
	справа – 33,5		справа – 57,5	
	слева – 23		слева – 46,2	
	середина – 19		середина – 39,2	
	справа – 18,2		справа – 51	

По аналогии с предыдущими результатами ЭИ полученные результаты были обработаны в графики, которые представлены на рис. 4.25.

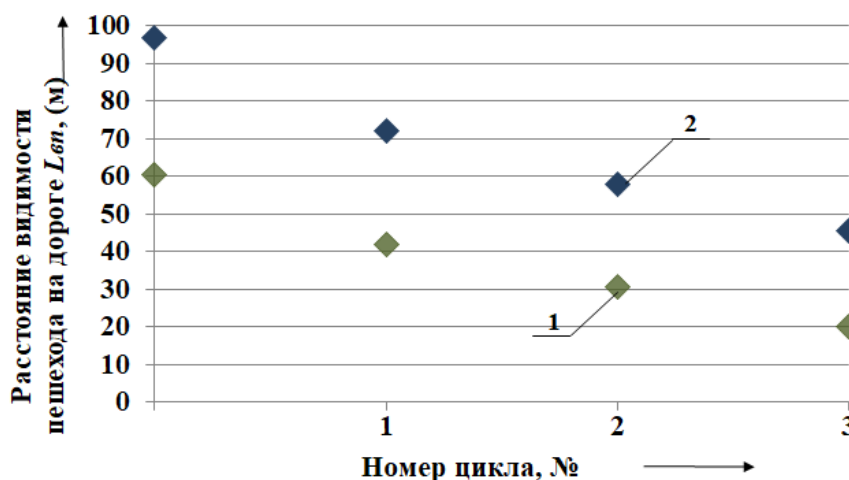


Рис. 4.25. Графики изменения РВВ пешехода-статиста на дороге при движении на автомобиле Nissan Qashqai: 1 – график в режиме БС; 2 – в режиме ДС

Результаты приведенных в табл. 4.16 повторных экспериментов показывают, что в режиме *ближнего света* загрязненные ХПГМ фары автомобиля Nissan Qashqai снижают РВВ пешехода в темной одежде с 60,3 до 20 м, т. е. почти на 66,8 %. При этом в режиме *дальнего света* загрязненные ХПГМ фары снижают РВВ пешехода в темной одежде с 96,8 до 45,5 м, т. е. почти на 53 %.

Четвертый, заключительный, эксперимент по исследованию видимости водителем автомобиля препятствия в темное время на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ, был проведен на автомобиле Mercedes Benz E 320. Результаты выполненных экспериментальных исследований приведены в табл. 4.17.

Таблица 4.17. Видимость водителем пешехода-статиста по ширине проезжей части в свете фар автомобиля Mercedes Benz 320, загрязненных ХПГМ

№ цикла	Измеренное расстояние видимости водителем пешехода, (м)			
	БС		ДС	
	измеренный	средний	измеренный	средний
1 (чистый экран)	слева – 48	52,5	слева – 70	72,2
	середина – 50		середина – 74	
	справа – 59,5		справа – 72,5	
2(после первого)	слева – 45	45,6	слева – 61	68,5
	середина – 41,9		середина – 77,5	
	справа – 49,8		справа – 67	
3(после второго)	слева – 40	43,3	слева – 64,5	67,2
	середина – 41		середина – 69	
	справа – 49		справа – 68	
4(после третьего)	слева – 35	40,7	слева – 36	63,2
	середина – 40		середина – 64	
	справа – 47		справа – 62,5	
5 (после четвертого)	слева – 32	38,3	слева – 59	61
	середина – 68,5		середина – 62	
	справа – 44,5		справа – 62	
6 (после пятого)	слева – 29	33,3	слева – 39	55
	середина – 34		середина – 59	
	справа – 37		справа – 66,7	

Результаты приведенных в табл. 4.17 повторных экспериментов показывают, что в режиме *ближнего света* загрязненные ХПГМ фары автомобиля Mercedes Benz 320 снижают расстояние видимости водителем пешехода в темной одежде с 52,5 до 33,3 м, т. е. почти на 36,6 %. При этом в режиме *дальнего света* загрязненные ХПГМ фары снижают расстояние видимости водителем пешехода в темной одежде с 72,2 до 55 м, т. е. почти на 23,8 %.

Построены графики изменения расстояния видимости пешехода-статиста в темной одежде водителем в каждом цикле заездов автомобиля Mercedes Benz 320 (рис. 4.26).

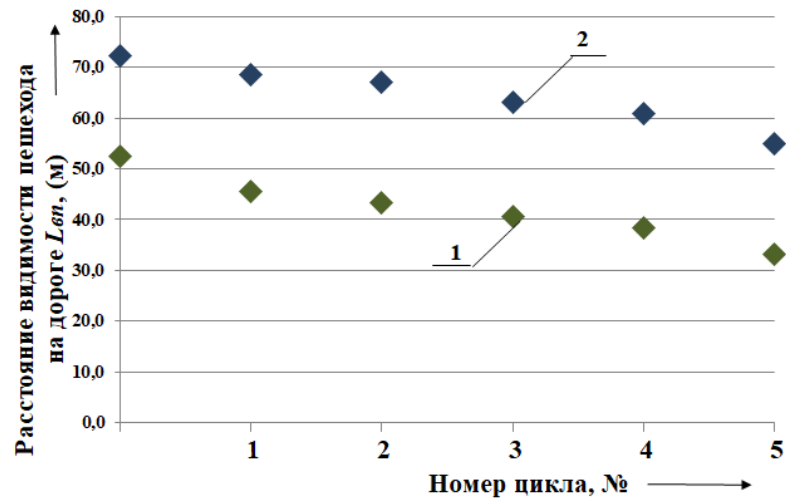


Рис. 4.26. Графики изменения расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде на дороге в свете фар, загрязненных ХПГМ, при движении на автомобиле Mercedes Benz E 320: 1 – режим БС; 2 – режим ДС

По результатам проведенных исследований видимости водителем препятствия в темное время на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ, установлено, что расстояние видимости водителем $L_{вп}$, м пешехода в темной одежде в свете фар, загрязняемых ХПГМ, снижается:

- у автомобиля Toyota Fun Cargo с 39,5 до 29 м, т. е. на 26,6 % в режиме *ближнего света* и с 69,5 до 50,5 м, т. е. на 27,3 %;
- у автомобиля Nissan Qashqai с 60,3 до 20 м, т. е. почти на 66,8 % в режиме *ближнего света* и с 96,8 до 45,5 м, т. е. почти на 53 %;
- у автомобиля Mercedes Benz 320 с 52,5 до 33,3 м, т. е. почти на 36,6 % в режиме *ближнего света* и с 72,2 до 55 м, т. е. почти на 23,8 %.

По результатам проведенных экспериментальных исследований процесса загрязнения автомобильных фар на дорогах, покрытых ПО ХПГМ, были получены графики, позволяющие определять *расстояние видимости* водителем пешехода-статиста в темной одежде *от уровня загрязнения фар* в условиях их загрязнения ПО ХПГМ. На рис. 4.27 представлены графики зависимостей, выявленных в ходе ЭИ, проведенного с автомобилем Toyota Fun Cargo.

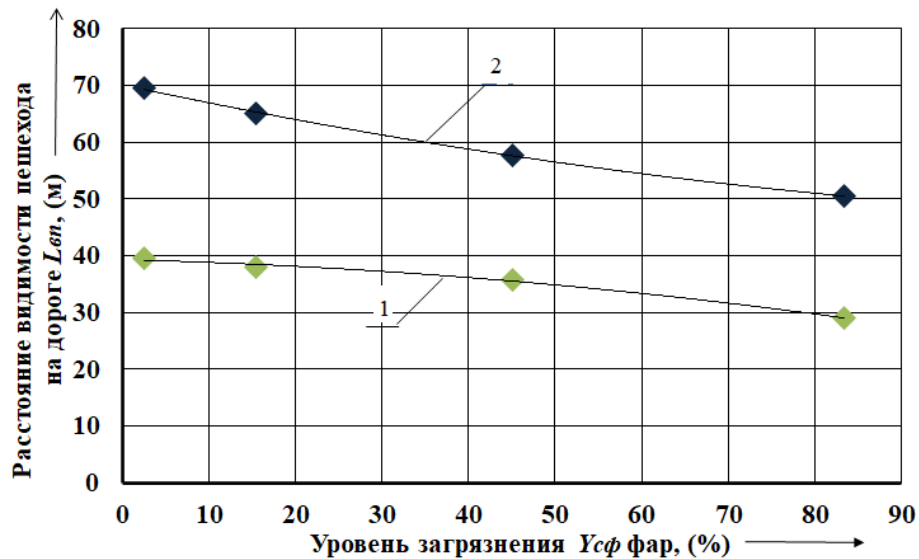


Рис. 4.27. График зависимости РВВ пешехода-статиста в темной одежде от уровня загрязнения фар автомобиля Toyota Fun Cargo: 1 – в режиме ДС; 2 – в режиме БС: — расчет, ◆ – эксперимент

По итогам экспериментальных исследований получена функциональная зависимость расстояния видимости водителем автомобиля Toyota Fun Cargo пешехода в темной одежде на проезжей части дороги от уровня загрязнения фар при ближнем свете:

$$L_{вп} = 0,001 \cdot Y_{сф}^2 - 0,0376 \cdot Y_{сф} + 39,317, \quad (4.7)$$

где: $L_{вп}$ – расстояние видимости пешехода на проезжей части дороги, [м];

$Y_{сф}$ – среднее значение уровня загрязнения фар, [%].

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9939$.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде водителем автомобиля Toyota Fun Cargo на проезжей части дороги от уровня загрязнения фар при дальнем свете:

$$L_{вп} = 0,0011 \cdot Y_{сф}^2 - 0,3274 \cdot Y_{сф} + 70,136, \quad (4.8)$$

где: $L_{вп}$ – расстояние видимости пешехода на проезжей части дороги, [м];

$Y_{сф}$ – уровень загрязнения фар, [%].

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9992$.

По результатам проведенных ЭИ процесса изменения ССФ автомобиля

Toyota Fun Cargo на дорогах, покрытых ХПГМ, были получены графики, позволяющие определить зависимость *расстояния видимости* водителем пешехода-статиста в темной одежде от *средней ССФ* в условиях их загрязнения ПО ХПГМ, которые представлены на рис. 4.28.

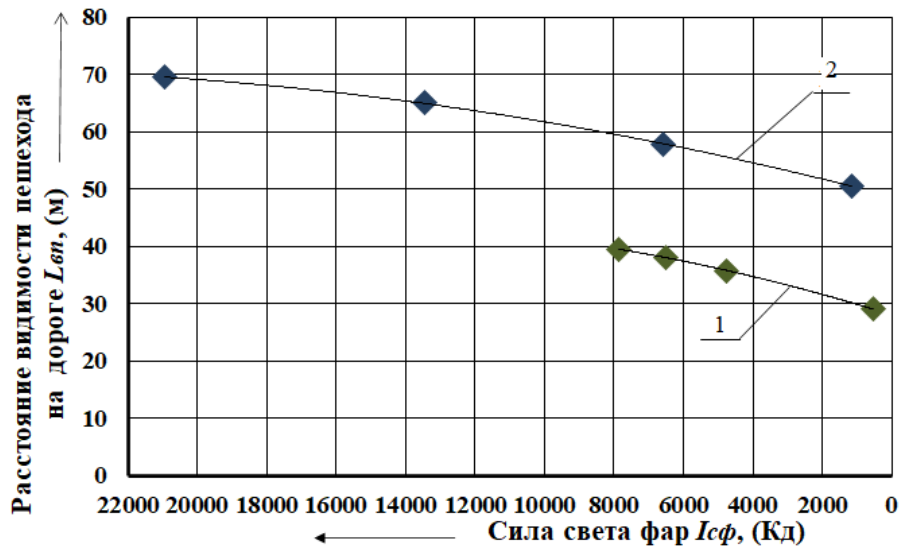


Рис. 4.28. График зависимости расстояния видимости водителем пешехода в темной одежде от ССФ автомобиля Toyota Fun Cargo: 1 – БС; 2 – ДС: — — — — — расчет, ◆ — эксперимент

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода на проезжей части дороги от среднего значения ССФ в режиме БС:

$$L_{вп} = -6E - 0,8 \cdot I_{сф}^2 + 0,0019 \cdot I_{сф} + 28,035, \quad (4.9)$$

где: $L_{вп}$ – расстояние видимости пешехода на проезжей части дороги, [м];

$I_{сф}$ – средняя сила света фар, [Кд].

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,98$.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода на проезжей части дороги от ССФ в режиме ДС:

$$L_{вп} = -3E - 0,8 \cdot I_{сф}^2 + 0,0016 \cdot I_{сф} + 48,7, \quad (4.10)$$

где: $L_{вп}$ – расстояние видимости пешехода на проезжей части дороги, [м];

$I_{сф}$ – средняя ССФ, [Кд].

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9999$.

В результате проведенного эксперимента были получены аналогичные графики зависимостей с участием автомобилей Nissan Qashqai и Mercedes Benz E 320. Графики этих зависимостей приведены ниже (рис. 4.29–4.34).

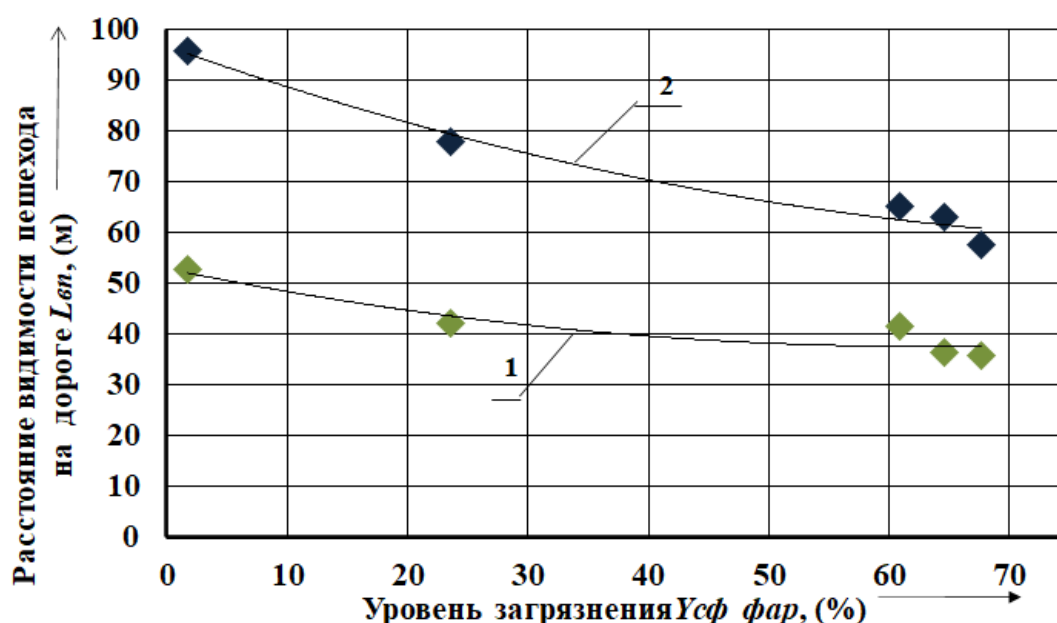


Рис. 4.29. График зависимости расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде от уровня загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai: 1 – БС; 2 – ДС: ———— – расчет, ◆◆ – эксперимент

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на проезжей части дороги от уровня загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai в режиме БС:

$$L_{вп} = 0,0038 Y_{сф}^2 - 0,4851 \cdot Y_{сф} + 52,817. \quad (4.11)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,8727$.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на проезжей части дороги от уровня загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai в режиме ДС:

$$L_{вп} = 0,0046 Y_{сф}^2 - 0,8422 \cdot Y_{сф} + 96,638. \quad (4.12)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9771$.

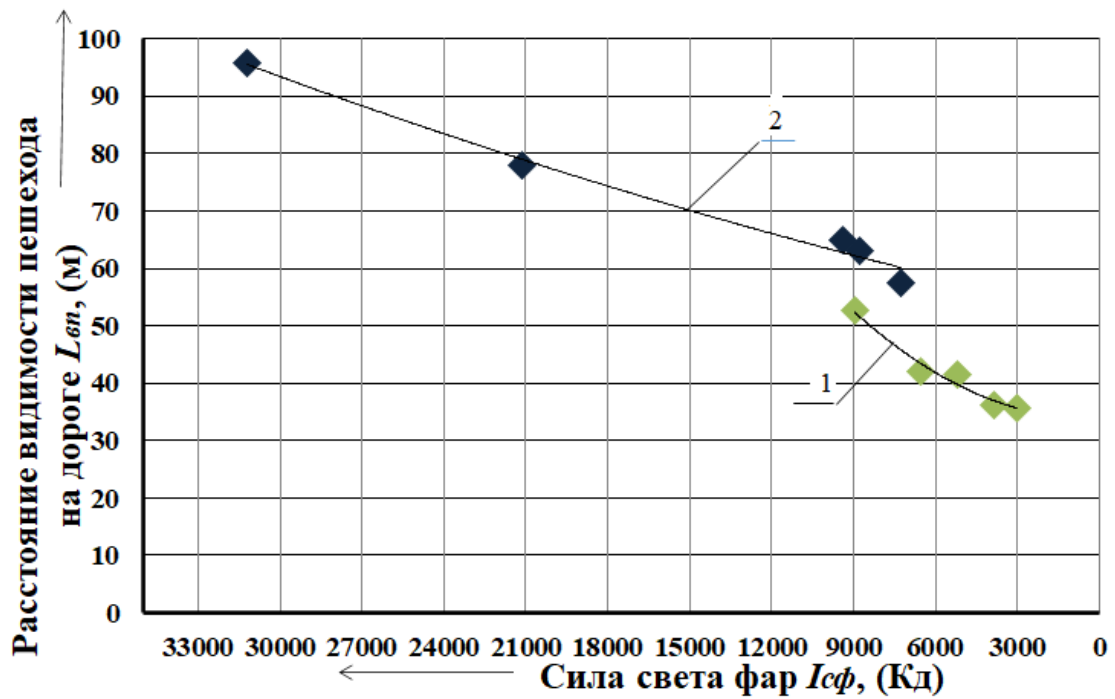


Рис. 4.30. График зависимости расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде от ССФ автомобиля Nissan Qashqai: 1 – БС; 2 – ДС: — расчет, ◆ — эксперимент

Также получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на проезжей части дороги от средней ССФ автомобиля Nissan Qashqai в режиме БС:

$$L_{вп} = -2E - 0,7 \cdot I_{сф}^2 + 0,0002 \cdot I_{сф} + 33,878. \quad (4.13)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9702$.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на проезжей части дороги от средней величины ССФ автомобиля Nissan Qashqai в режиме ДС:

$$L_{вп} = -1E - 0,8 \cdot I_{сф}^2 + 0,001 \cdot I_{сф} + 52,068. \quad (4.14)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9849$.

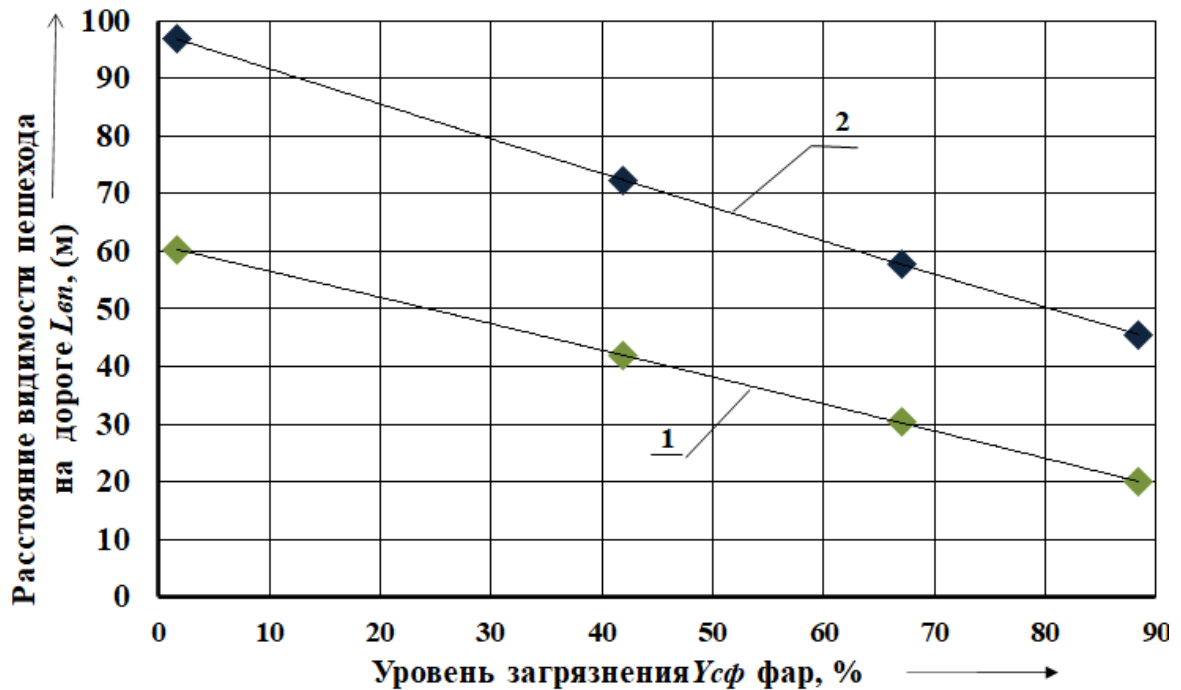


Рис. 4.31. График зависимости расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде от уровня загрязнения фар автомобиля Nissan Qashqai: 1 – БС; 2 – ДС: — расчет, ◆ — эксперимент

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на проезжей части дороги от уровня загрязнения фар в режиме ближнего света фар автомобиля Nissan Qashqai:

$$L_{вп} = -0,0002 Y_{сф}^2 - 0,4484 \cdot Y_{сф} + 61,037, \quad (4.15)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,99$.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на проезжей части дороги от уровня загрязнения фар в режиме дальнего света фар автомобиля Nissan Qashqai:

$$L_{вп} = 0,0004 Y_{сф}^2 - 0,6226 \cdot Y_{сф} + 97,829. \quad (4.16)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,99$.

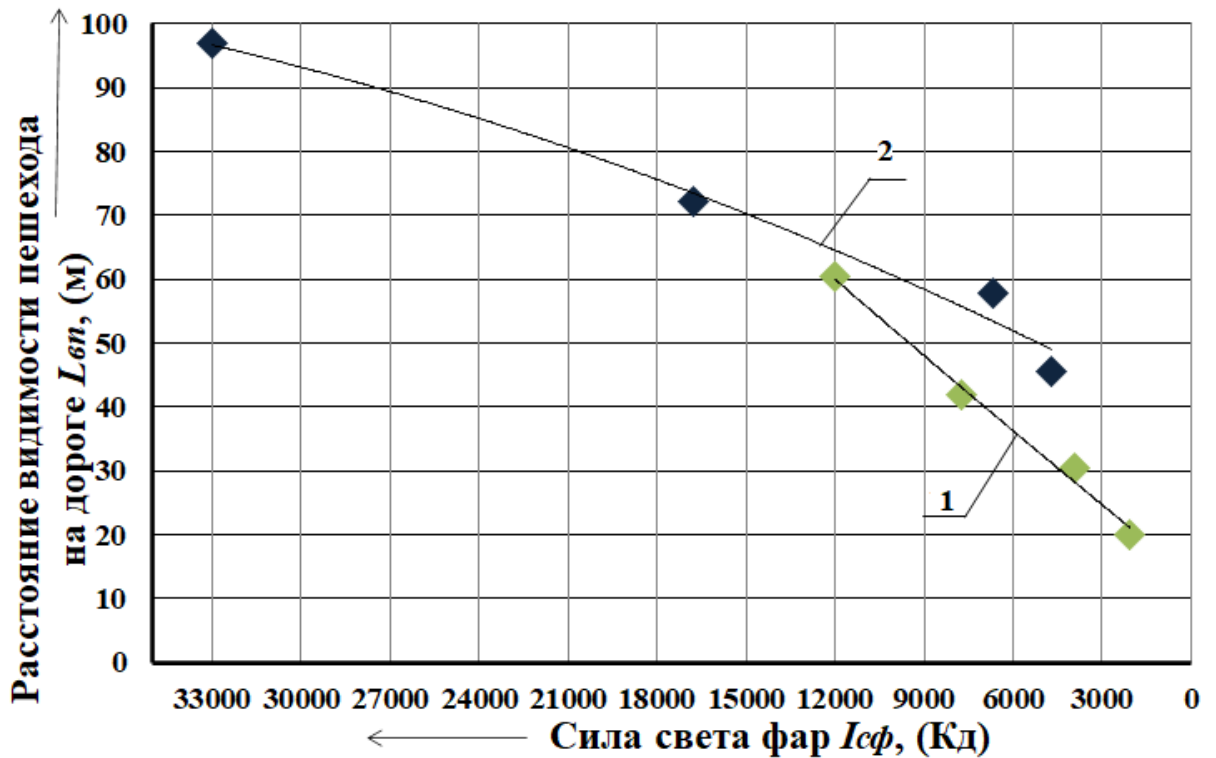


Рис. 4.32. График зависимости расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде от средней величины $СС\Phi$ автомобиля Nissan Qashqai: 1 – БС; 2 – ДС; — расчет, $\blacklozenge$ $\blacklozenge$ – эксперимент.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на проезжей части дороги $L_{вп}$ от средней силы света $I_{сф}$ при *ближнем свете* фар:

$$L_{вп} = -1E - 0,8 \cdot I_{сф}^2 + 0,0038 \cdot I_{сф} + 13,292. \quad (4.17)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9917$.

Получена функциональная зависимость *при дальнем свете* фар:

$$L_{вп} = -2E - 0,8 \cdot I_{сф}^2 + 0,0025 \cdot I_{сф} + 37,788. \quad (4.18)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9773$.

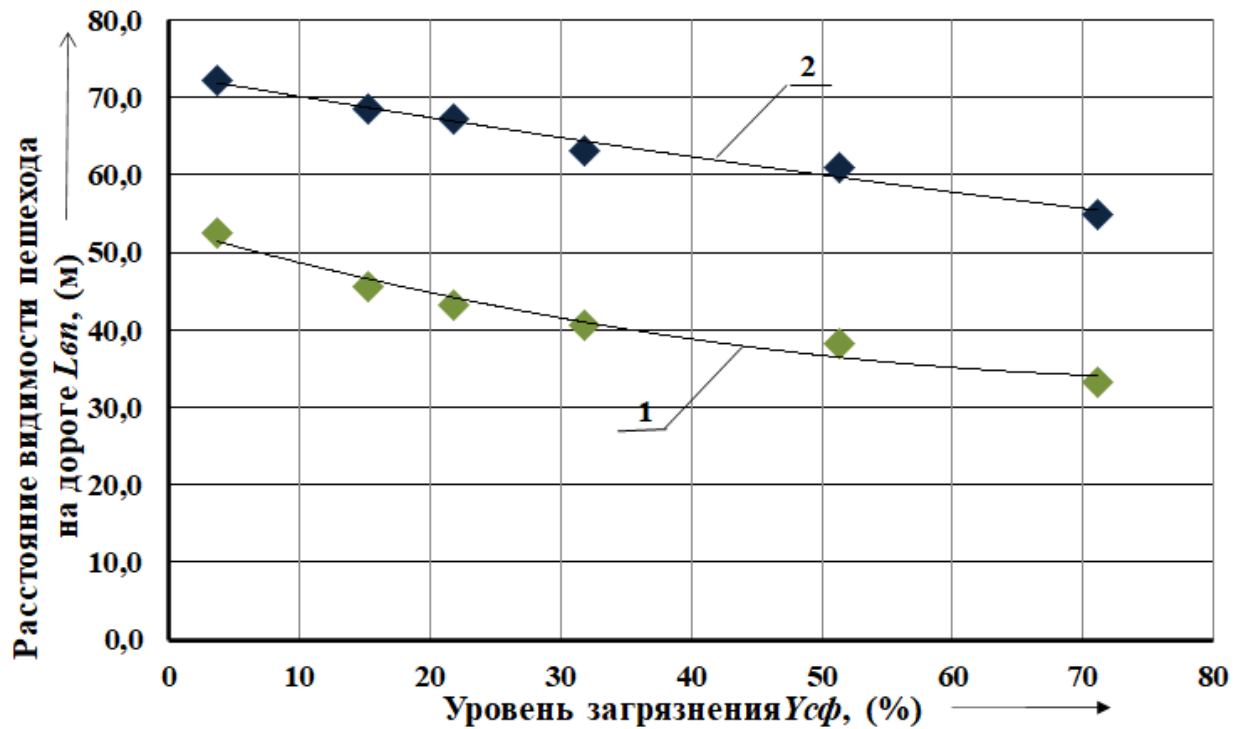


Рис. 4.33. График зависимости расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде *от уровня загрязнения фар* автомобиля Mercedes Benz E 320: 1 – БС; 2 – ДС: ———— – расчет, ◆ – эксперимент

Получена функциональная зависимость расстояния видимости водителем автомобиля Mercedes Benz E 320 пешехода в темной одежде *при ближнем свете фар*:

$$L_{вп} = -0,0029 Y_{сф}^2 - 0,4727 \cdot Y_{сф} + 53,117. \quad (4.19)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9672$.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости водителем автомобиля Mercedes Benz E 320 пешехода в темной одежде *при дальнем свете фар*:

$$L_{вп} = 0,0006 Y_{сф}^2 - 0,2887 \cdot Y_{сф} + 72,961. \quad (4.20)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9815$.

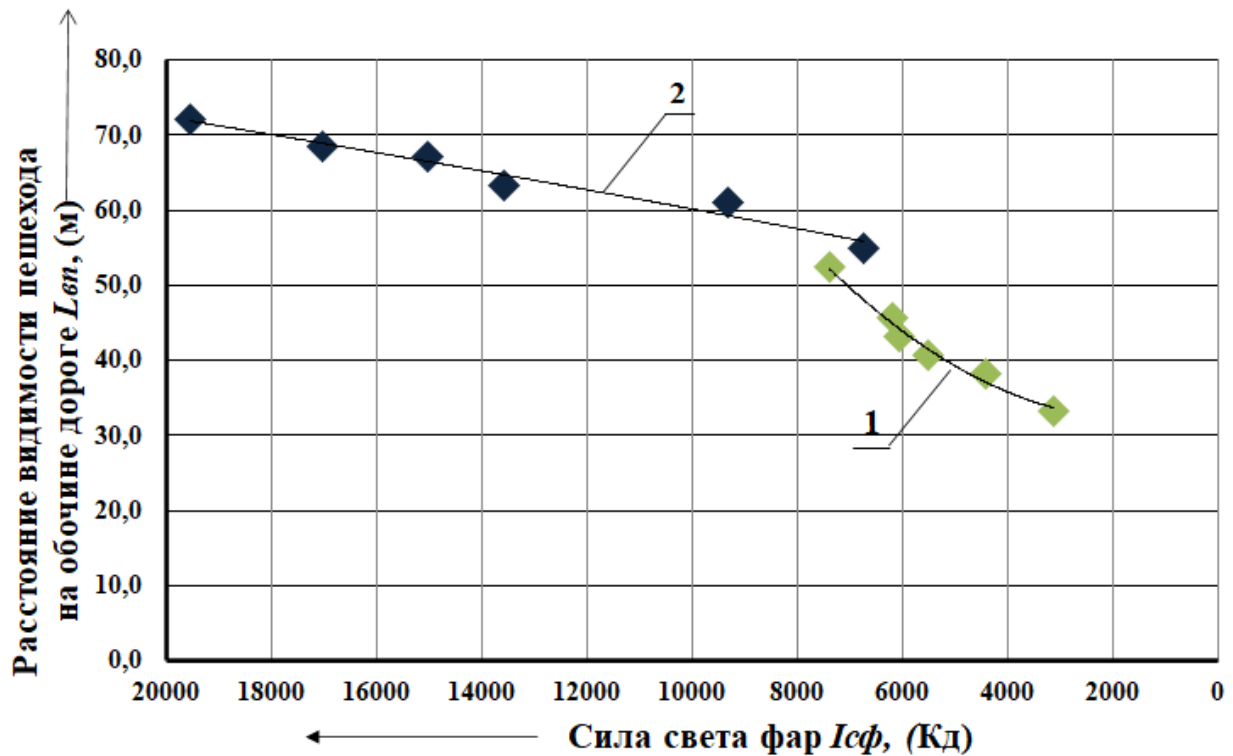


Рис. 4.34. График зависимости расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде от средней величины ССФ автомобиля Mercedes Benz E 320: 1 – БС; 2 – ДС: — — расчет, ◆ — эксперимент

Получена функциональная зависимость расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде от средней величины силы ближнего света фар автомобиля Mercedes Benz E 320:

$$L_{вп} = 6E - 0,7 \cdot I_{сф}^2 - 0,0017 \cdot I_{сф} + 33,415. \quad (4.21)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9826$.

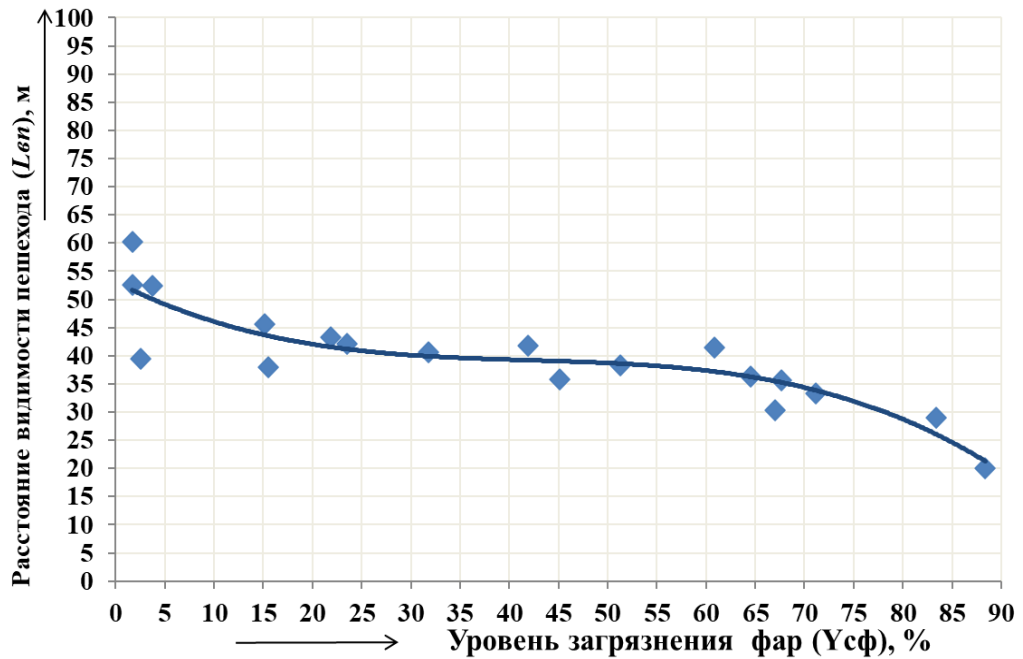
Получена функциональная зависимость расстояния видимости водителем пешехода-статиста в темной одежде от средней величины силы дальнего света фар автомобиля Mercedes Benz E 320:

$$L_{вп} = -7E - 0,9 \cdot I_{сф}^2 + 0,0014 \cdot I_{сф} + 46,517. \quad (4.22)$$

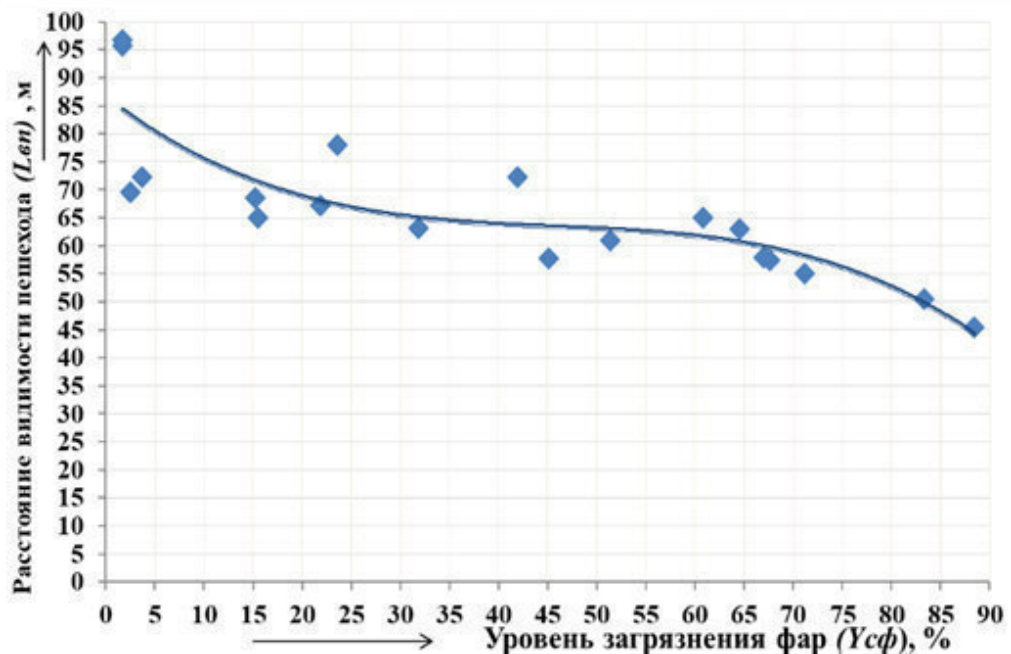
Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,9633$.

На основе полученных результатов экспериментальных исследований, подробно описанных в данной главе, получены графики зависимости

расстояния видимости пешехода $L_{вп}$, м в темной одежде на проезжей части в темное время суток от уровня загрязнения $Y_{сф}$ автомобильных фар КТС в режиме как ближнего (рис. 4.35, а), так и дальнего света (рис. 4.35, б) по всей группе автомобилей.



а)



б)

Рис. 4.35. Зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на ПЧ в ТВС от уровня загрязнения автомобильных фар КТС: а – в режиме БС; б – в режиме ДС: — расчет, ◆ – эксперимент

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на ПЧ в темное время суток от уровня загрязнения автомобильных фар КТС в режиме *ближнего света*:

$$L_{\text{вп}} = -0,0002 \cdot Y_{\text{сф}}^3 + 0,0198 \cdot Y_{\text{сф}}^2 - 0,886 \cdot Y_{\text{сф}} + 53,106. \quad (4.23)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,783$.

Получена функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на ПЧ в ТВС от уровня загрязнения автомобильных фар КТС в режиме *дальнего света*:

$$L_{\text{вп}} = -0,0002 \cdot Y_{\text{сф}}^3 + 0,0282 \cdot Y_{\text{сф}}^2 - 1,3663 \cdot Y_{\text{сф}} + 86,562. \quad (4.24)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,715$.

Также были получены графики зависимости *расстояния видимости пешехода* $L_{\text{вп}}$, м в темной одежде на ПЧ в ТВС *от силы света* $I_{\text{сф}}$ автомобильных фар (ССФ) КТС как в режиме ближнего (рис. 4.36, а), так и в режиме дальнего света (рис. 4.36, б).

Полученная функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на ПЧ в ТВС от ССФ в режиме *БС*:

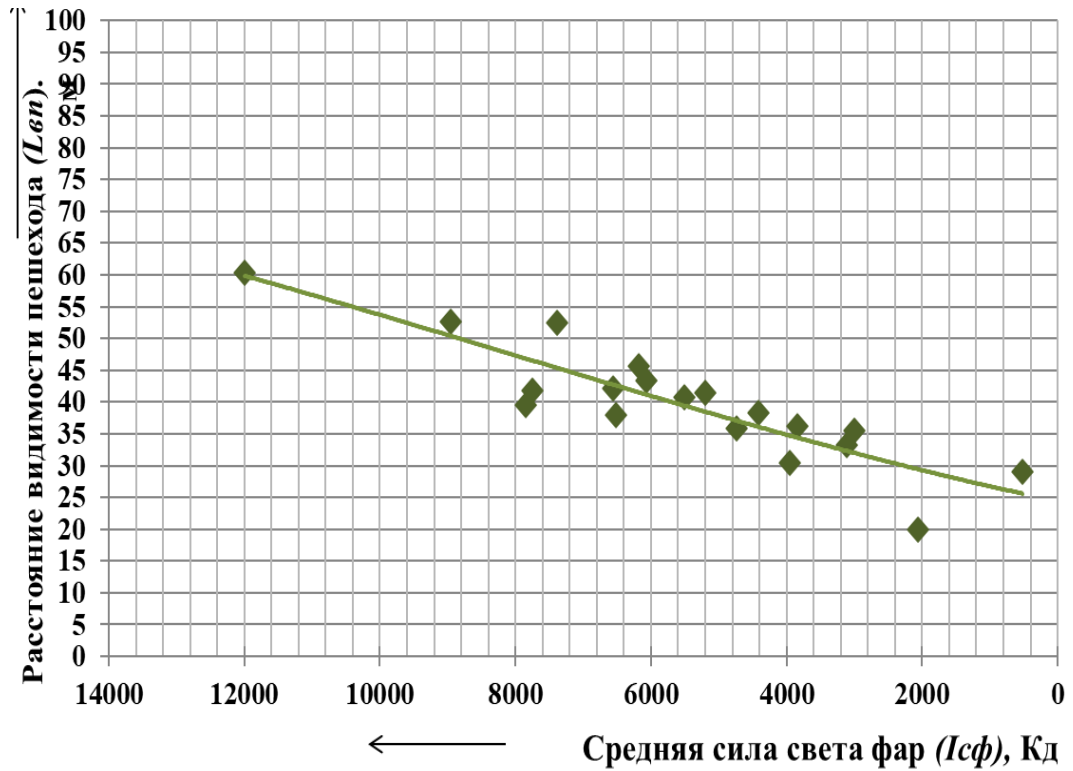
$$L_{\text{вп}} = -5E - 12 \cdot I_{\text{сф}}^3 + 1E - 07 \cdot I_{\text{сф}}^2 + 0,0022 \cdot I_{\text{сф}} + 24,443. \quad (4.25)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,78$.

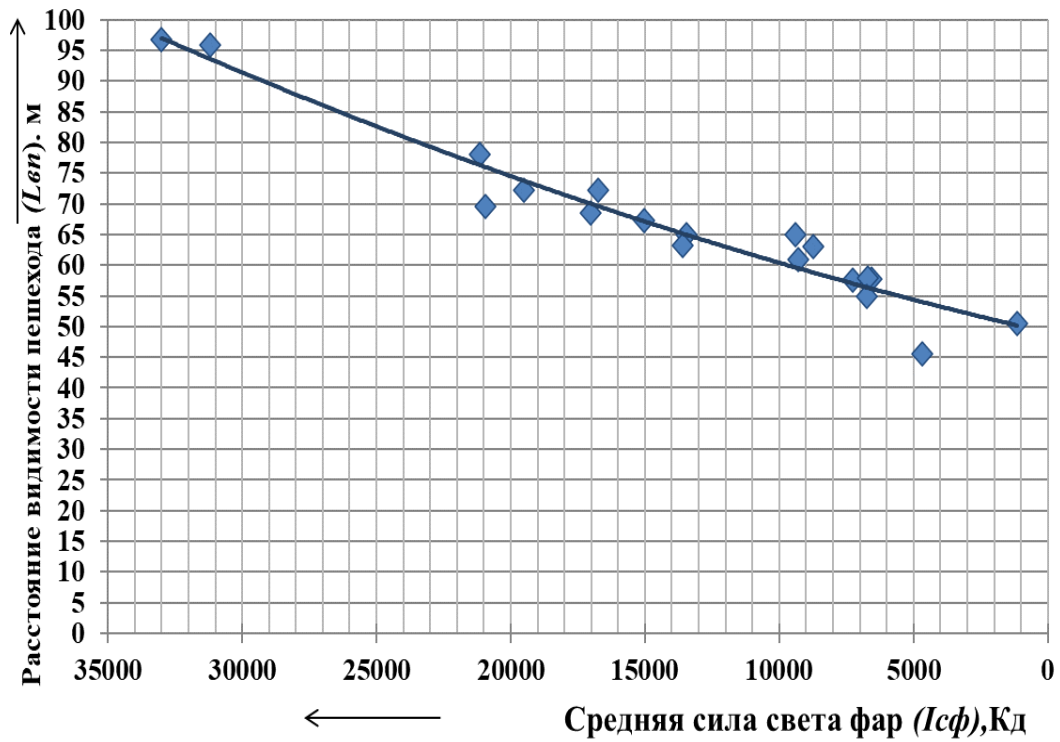
Полученная функциональная зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на ПЧ в ТВС от ССФ в режиме *ДС*:

$$L_{\text{вп}} = 1E - 08 \cdot I_{\text{сф}}^2 + 0,001 \cdot I_{\text{сф}} + 49,036. \quad (4.26)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,94$.



а)



б)

Рис. 4.36. Зависимость расстояния видимости пешехода в темной одежде на ПЧ в ТВС от силы света автомобильных фар КТС: а – ближний свет; б – дальний свет: — — расчет, ◆ — эксперимент

4.4. Результаты исследования процесса торможения КТС на зимних дорогах, покрытых ХПГМ

Экспериментальное исследование (ЭИ) процесса торможения (ПТ) автомобиля с работающей и отключенной ABS в реальных дорожных условиях осуществляли согласно теоретическим предпосылкам, представленным во второй главе, и методикам, подробно описанных в третьей главе диссертации.

Цель проведения ЭИ ПТ автомобилей с работающей и отключенной ABS в реальных дорожных условиях состояла в изучении причин снижения тормозной эффективности КТС на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ, и выявлении величины ТП и ОП автомобиля на таких дорогах.

Экспериментальные исследования проводили согласно методике, изложенной в разделах 3.6 и 3.6.1. Необходимое количество опытов было определено по статистической методике, изложенной разделе 3.1.

4.4.1. Результаты экспериментального исследования процесса торможения автомобиля на нешипованных шинах на зимних дорогах, покрытых ПО ХПГМ

Была предпринята попытка экспериментального изучения тормозной эффективности КТС на зимних дорогах сибирского региона и, в частности, Иркутской области в условиях низких коэффициентов сцепления.

На первом этапе исследования процесса торможения были проведены стендовые испытания шин модели TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14 для автомобиля Toyota Fun Cargo с целью получения параметров, необходимых для расчетов на математической модели. Стендовые испытания проводили в лаборатории кафедры автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» на шинном тестере по методике, изложенной в разделе 3.5.

Показатели стендовых испытаний – фрикционные характеристики шин приведены в Приложении 1.

На втором этапе было выполнено ЭИ тормозной эффективности автомобиля с *нешипованными шинами на зимних дорогах* с нанесенными ХПГМ с низким коэффициентом сцепления. Эксперименты выполняли как с включенной, так и с отключенной ABS. Исследования проводили на дорожном покрытии двух типов: на укатанном и неукатанном снегу, покрытом ХПГМ при температуре $-(20-25)^\circ\text{C}$, согласно методике, описанной в п. 3.6.1.

Испытания выполняли на Toyota Fun Cargo с зимними нешипованными шинами (модель TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14). Внешний вид протектора шины приведен на рис. 4.37.



Рис. 4.37. Внешний вид протектора зимних шин TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14

Торможение автомобиля осуществляли с работающей ABS на дороге, покрытой неукатанным снегом и ХПГМ, при начальной скорости торможения: 10, 20, 40 и 60 км/ч. Результаты экспериментов приведены в табл. 4.18. Методика проведенного экспериментального исследования *тормозной эффективности КТС* подробным образом изложена в п. 3.6.1.

Таблица 4.18. Результаты измерений ТП автомобиля Toyota Fun Cargo с включенной ABS на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ

Начальная скорость, (км/час)	Тормозной путь КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
10	1,3	1,95
10	2	
10	2	
10	2,5	
20	4,8	5,6
20	5,8	
20	5,8	
20	6	
40	14,1	15,23
40	15,6	
40	14,9	
40	16,3	

Затем отключали ABS и повторяли весь цикл экспериментальных исследований при тех же значениях начальной скорости торможения, согласно методике, изложенной в разделе 3.6.1. При этом при экстренном торможении КТС колеса доводили до полного блока. Результаты приведены в табл. 4.19.

Таблица 4.19. Результаты измерений тормозного пути Toyota Fun Cargo с отключенной ABS на неукатанном снегу, обработанном ХПГМ

Начальная скорость, (км/час)	ТП КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
10	1,45	1,48
10	1,5	
10	1,45	
10	1,5	
20	6	6,33
20	7,1	
20	6	
20	6,1	

40	14,4	17,43
40	16,7	
40	19,6	
40	19	

Для сравнительного анализа тормозного пути *автомобиля с нешинованными шинами на неукатанном снегу* выполняли расчет контролируемых параметров процесса торможения в среде Microsoft Excel. Результаты заносили в табл. 4.18 и 4.19.

На следующем этапе исследования в среде Microsoft Excel строили точечный график, устанавливали функциональную зависимость тормозного пути от начальной скорости торможения. Для каждой полученной функциональной зависимости определяли значение статистического коэффициента достоверности аппроксимации R^2 (рис. 4.38).

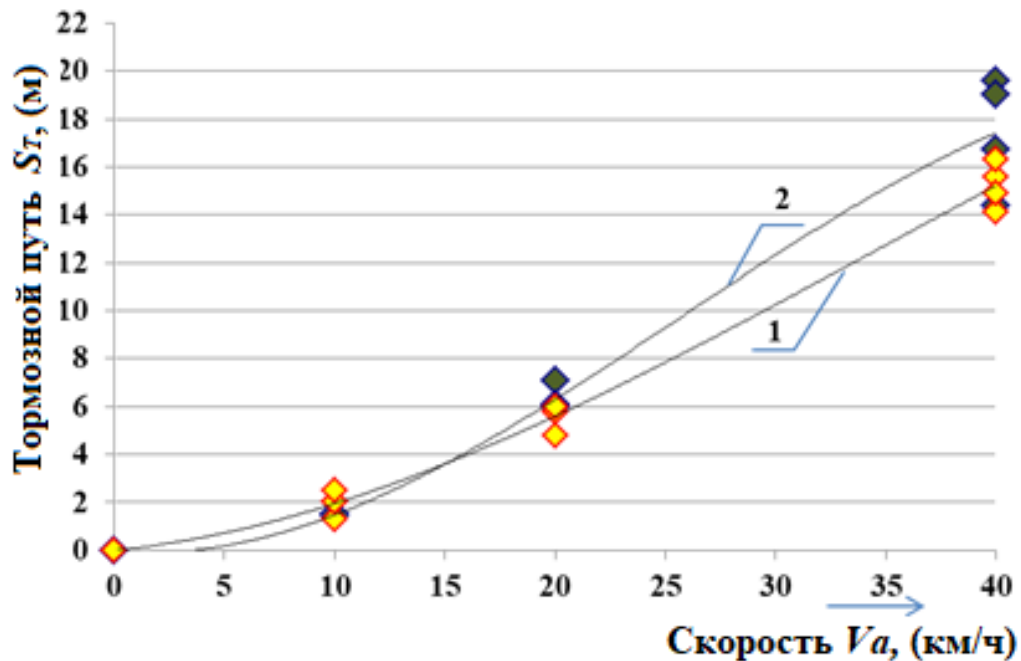


Рис. 4.38. Графики зависимости тормозного пути Toyota Fun Cargo с зимними шинами 185/65 R14 на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ при температуре $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1 – с работающей ABS; 2 – с отключенной ABS; — — — расчет, $\diamond$ $\blacklozenge$ – эксперимент

По результатам ЭИ получена математическая зависимость ТП автомобиля Toyota Fun Cargo с *функционирующей ABS на неукатанном снегу* с нанесенными ХПГМ:

$$S_{T\text{ABC}} = -0,0001 \cdot V_0^3 + 0,012 \cdot V_0^2 + 0,0869 \cdot V_0 - 2E - 12, \quad (4.27)$$

где: $S_{T\text{ABC}}$ – длина тормозного пути автомобиля с АБС, [м];

V_0 – начальная скорость торможения автомобиля, [км/ч].

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$.

Результаты исследований ПТ Toyota Fun Cargo *на неукатанном снегу* с нанесенными ХПГМ при $t -22^\circ\text{C}$ показывают, что при начальных скоростях торможения ($10 \div 15$ км/час) работающая ABS немного повышает длину ТП КТС в отличии от его торможения с заблокированными колесами.

С повышением начальной скорости торможения (более 15 км/час) работа ABS заметно сокращает длину тормозного пути автомобиля по сравнению с его торможением с заблокированными колесами. Причем, чем выше начальная скорость КТС, тем более явной становится эта разница. Например, длина ТП КТС в режиме работы ABS при торможении с начальной скоростью 40 км/час сокращается в среднем на 13 %. Это объясняется тем, что с повышением начальной скорости КТС снижаются фрикционные свойства шины в блоке.

Получена математическая зависимость тормозного пути автомобиля с отключенной ABS (*при торможении с заблокированными колесами*) на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ:

$$S_T = -0,0004 \cdot V_0^3 + 0,275 \cdot V_0^2 + 0,0915 \cdot V_0 - 2E - 12. \quad (4.28)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,97$.

Так же, по итогам экспериментальных исследований процесса торможения автомобиля на неукатанном снегу стоит отметить, что наблюдается значительное улучшение его управляемости и устойчивости с работающей антиблокировочной системой. При торможении с отключенной

ABS происходит полная блокировка колес КТС и некоторый боковой занос.

Следующий эксперимент процесса торможения автомобиля выполняли на укатанном снегу с нанесенными на него ХПГМ, и проводили также, как с включенной, так и с отключенной ABS. В процессе ЭИ на автомобиль устанавливали полный комплект как шипованных, так и нешипованных зимних шин.

Результаты ЭИ ТП автомобиля с включенной и отключенной антиблокировочной системой на дороге с укатанным снегом и нанесенными ХПГМ приведены в табл. 4.20 и 4.21.

В процессе экспериментального исследования было отмечено, что шипованные шины на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, малоэффективны. Результаты измерений тормозного пути имеют значительный разброс, вызванный нестабильностью пятен контактов ЭШ с опорной поверхностью дороги по причине неспособности шипов обеспечить стабильный контакт с опорной поверхностью дороги из-за толстой прослойки снега, представляющего третье тело между шиной и дорогой, которое скользит в солевом рассоле.

Таблица 4.20. Результаты ЭИ тормозного пути автомобиля Toyota Fun Cargo с включенной ABS на укатанном снегу с нанесенными ХПГМ

Начальная скорость, (км/час)	ТП КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
10	2	2,03
10	1,9	
10	2	
10	2,2	
20	9,3	7.4
20	6,5	
20	5,8	
20	8	
40	21,1	22,2
40	22,1	
40	24,5	
40	21,1	
60	46,7	45

60	45,3	
60	43	
60	45	

Таблица 4.21. Результаты ЭИ тормозного пути автомобиля с отключенной ABS на укатанном снегу с нанесенными ХПГМ

Начальная скорость, (км/час)	Тормозной путь КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
10	2	2,01
10	1,95	
10	1,85	
10	2,25	
20	4,4	5,25
20	5,77	
20	6	
20	4,82	
40	16	18,54
40	18,15	
40	20,8	
40	19,2	
60	36,2	36,98
60	37	
60	37,5	
60	37,2	

Расчеты приведенные в таблице показывают, что средний тормозной путь автомобиля как с функционирующей ABS, так и без нее при торможении на укатанном снегу с нанесенными ХПГМ при начальной скорости 10 км/ч одинаков и составляет 2 м. Стоит отметить, что в обоих случаях курсовая устойчивость автомобиля сохранялась. С увеличением начальной скорости торможения работающая ABS на этом покрытии увеличивает тормозной путь КТС по сравнению с его торможением с заблокированными колесами. Эта разница становится больше при повышении начальной скорости торможения. Например, при торможении с начальной скоростью 40 км/час, работа ABS увеличивает длину тормозного пути в среднем на 15 %. А при скорости 60 км/час – уже на 18 %.

По данным таблиц 4.20 и 4.21 были построены точечные графики с маркерами. Были определены функциональные зависимости и уровень их достоверности аппроксимации R^2 (рис. 4.39).

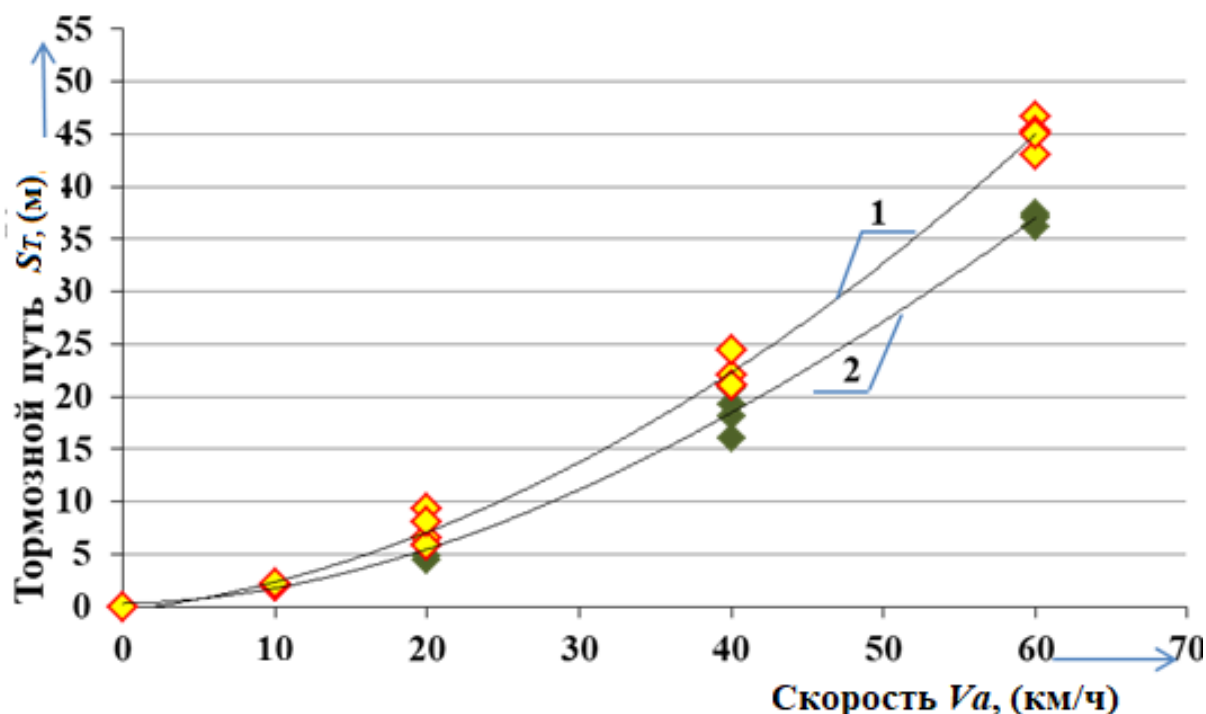


Рис. 4.39. Графики тормозного пути Toyota Fun Cargo с зимними шинами 185/65 R14 на укатанном снегу с нанесенными ХПГМ при $t = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1 – с включенной ABS; 2 – с отключенной ABS: — — расчет, $\diamond$ — эксперимент

По результатам экспериментальных исследований получена аппроксимирующая зависимость тормозного пути автомобиля с функционирующей ABS на укатанном снегу с нанесенными ХПГМ:

$$S_{\text{ТАБС}} = -5\text{E} - 06 \cdot V_0^3 + 0,1 \cdot V_0^2 + 0,1782 \cdot V_0 - 0,4152, \quad (4.29)$$

где: $S_{\text{ТАБС}}$ — длина тормозного пути автомобиля с ABS, [м];

V_0 — начальная скорость торможения автомобиля, [км/ч].

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$.

При торможении автомобиля с отключенной ABS, длина его тормозного пути на укатанном снегу с нанесенными ХПГМ описывается выражением вида:

$$S_T = -5E - 05 \cdot V_0^3 + 0,0126 \cdot V_0^2 + 0,0253 \cdot V_0 + 0,3031. \quad (4.30)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$.

Установлено, что ABS на зимних дорогах Сибири не всегда выполняет возложенные на нее функции, которые были упомянуты выше. Это было подтверждено результатами проведенных экспериментальных исследований. Во всех четырех экспериментах, когда автомобиль тормозил с начальными скоростями 10, 20, 40 и 60 км/час тормозной путь с функционирующей ABS был больше, чем у автомобиля с отключенной ABS (см. рис. 4.39).

Проведенные на данном этапе экспериментальные исследования позволили установить следующее:

- при торможении на неукатанном снегу с нанесенными ХППМ, тормозной путь автомобиля на зимних нешипованных шинах с работающей ABS сокращается до 13 % и более. Причем, с увеличением начальной скорости торможения этот показатель увеличивается;
- при торможении на покрытии с низким коэффициентом сцепления (*укатанный снег с нанесенными ХППМ*) тормозной путь автомобиля на зимних нешипованных шинах, и *с работающей ABS* увеличивается на 15–18 % и более;
- при торможении автомобиля с отключенной ABS происходит блокировка тормозящих колес, нарушение устойчивости и управляемости автомобиля. Усугубляет эти негативные тенденции отсутствие регуляторов тормозных сил на автомобилях с ABS.

4.4.2. Результаты экспериментального исследования процесса торможения автомобиля с шипованными шинами на зимних дорогах

На следующем этапе было выполнено ЭИ тормозной эффективности автомобиля *с шипованными шинами на зимних дорогах* с нанесенными ХППМ с низким коэффициентом сцепления как с включенной, так и с отключенной ABS. Исследования проводили на зимних дорогах двух типов

покрытия: *на укатанном* с нанесенными ХПГМ и *неукатанном снегу* с нанесенными ХПГМ при температуре $-(20-25)^{\circ}\text{C}$.

Эксперимент проводили на автомобиле Toyota Fun Cargo с комплектом *зимних шипованных шин* (модель NORD MASTER ST 310 размером 175/70 R14). Внешний вид протектора шипованной шины приведен на рис. 4.40.



Рис. 4.40. Внешний вид протектора зимних шипованных шин NORD MASTER ST 310 размером 175/70 R14

Согласно методике, изложенной в разделе 3.6, вначале торможение автомобиля осуществляли с работающей ABS на дороге, покрытой *неукатанным снегом* с нанесенными ХПГМ при начальной скорости: 20, 40 и 60 км/ч. Измерение параметров тормозной эффективности КТС выполняли при помощи прибора «Эффект». Подробная методика с работой измерительного прибора представлена в п. 3.6.3.

В табл. 4.22 представлены результаты эксперимента торможения автомобиля с включенной ABS и с шипованными шинами.

Таблица 4.22. Результаты ЭИ ТП автомобиля Toyota Fun Cargo с включенной ABS на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ

Начальная скорость, (км/час)	ТП КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)

20	7	7,4
20	6,5	
20	8	
20	8,1	
40	19	19,65
40	19,2	
40	20,4	
40	20	
60	45,9	45,6
60	45,8	
60	48	
60	40	

На следующем этапе исследования отключали ABS и повторяли весь цикл экспериментальных исследований при тех же значениях начальной скорости торможения. Но при этом, торможение КТС уже проходило с заблокированными колесами.

Результаты эксперимента по торможению автомобиля с шипованными шинами с отключенной ABS на дороге, покрытой неукатанным снегом с нанесенными ХПГМ, представлены в табл. 4.23.

Результаты исследований, приведенные в табл. 4.22 и 4.23 показывают, что при всех начальных скоростях торможения (20, 40 и 60 км/ч) *на неукатанном снегу* с нанесенными ХПГМ, ABS несколько увеличивает длину тормозного пути автомобиля по сравнению с торможением колес в блоковом режиме.

Таблица 4.23. Результаты ЭИ тормозного пути Toyota Fun Cargo с отключенной ABS на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ

Скорость, (км/час)	ТП КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
20	2,2	3,33
20	3,5	
20	3,8	

20	3,8	
40	12,3	13,18
40	12,9	
40	14	
40	13,5	
60	27,2	28,9
60	31,6	
60	31,8	
60	25	

Результаты ЭИ процесса торможения автомобиля Toyota Fun Cargo на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ при температуре $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлены на рис. 4.41.

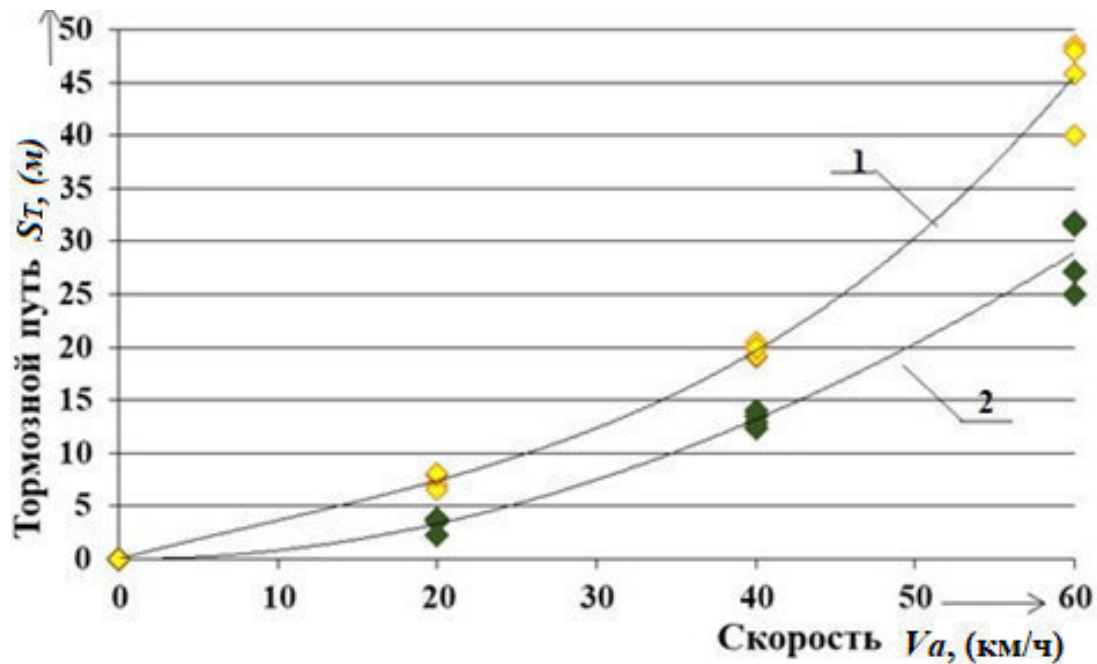


Рис. 4.41. Графики тормозного пути автомобиля Toyota Fun Cargo с зимними шипованными шинами модели NORD MASTER ST 310 размером 175/70 R14 на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ при температуре $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1 – с функционирующей ABS; 2 – с отключенной ABS: — — расчет, $\blacklozenge$ $\blacklozenge$ – эксперимент

Обработка результатов ЭИ (см. рис. 4.41) позволила получить математическую зависимость тормозного пути автомобиля с функционирующей ABS на неукатанном снегу с нанесенными ХПГМ от

начальной скорости торможения:

$$S_{T\text{ABC}} = -0,0002 \cdot V_0^3 + 0,0005 \cdot V_0^2 + 0,3962 \cdot V + 4E - 12, \quad (4.31)$$

где: $S_{T\text{ABC}}$ – длина тормозного пути автомобиля с АБС, [м];

V_0 – начальная скорость торможения автомобиля, [км/ч].

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9866$.

Получена аппроксимирующая зависимость тормозного пути автомобиля с отключенной ABS (с заблокированными колесами) *на неукатанном снегу* с нанесенными ХПГМ:

$$S_T = -1E - 05 \cdot V_0^3 + 0,0009 \cdot V_0^2 + 0,0077 \cdot V + 3E - 12. \quad (4.32)$$

Данная зависимость получена при коэффициенте достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9765$.

По результатам экспериментальных исследований процесса торможения автомобиля *на неукатанном снегу* с нанесенными ХПГМ стоит подчеркнуть, что с работающей антиблокировочной системой наблюдается полное сохранение управляемости и устойчивости автомобиля. Торможение с отключенной ABS сопровождалось полной блокировкой колес КТС и некоторым его заносом.

На следующем этапе эксперимента торможение автомобиля выполняли *на укатанном снегу* с нанесенными ХПГМ.

Испытания эффективности торможения автомобиля также проводили как с работающей, так и с отключенной ABS, а результаты расчетов занесены в табл. 4.24 и 4.25.

Анализ табл. 4.24 и 4.25 показывает, что при торможении автомобиля *на укатанном снегу* с нанесенными ХПГМ с начальной скорости 20 км/ч функционирование ABS увеличивает тормозной путь на 2,5 м.

При этом курсовая устойчивость и управляемость автомобиля сохраняются.

Таблица 4.24. Результаты измерений ТП автомобиля *с включенной ABS на укатанном снегу* с нанесенными ХПГМ

Начальная скорость, (км/час)	ТП КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
20	7,2	7,03
20	6	
20	6,7	
20	8,2	
40	18,6	19,38
40	19,7	
40	19,7	
40	19,5	
60	38,9	41,1
60	42,5	
60	42,5	
60	40,5	

Таблица 4.25. Результаты измерений ТП автомобиля *с отключенной ABS на укатанном снегу* с нанесенными ХПГМ

Начальная скорость, (км/час)	ТП КТС	
	Измеренный, (м)	Средний, (м)
20	3,2	4,50
20	4,14	
20	4,84	
20	5,8	
40	17,9	18,68
40	18,9	
40	19,5	
40	18,4	
60	45,3	46,0
60	46,2	
60	46,5	
60	46	

С увеличением начальной скорости торможения автомобиля (40 км/ч), тормозной путь как с функционирующей ABS, так и без нее на данном покрытии с нанесенными ХППМ почти одинаков. При этом чем больше начальная скорость торможения, тем разность становится больше.

При торможении с начальной скоростью 60 км/час, ABS *сокращает длину тормозного пути* в среднем на 5 м.

Результаты ЭИ построены в виде графиков и приведены на рис. 4.42.

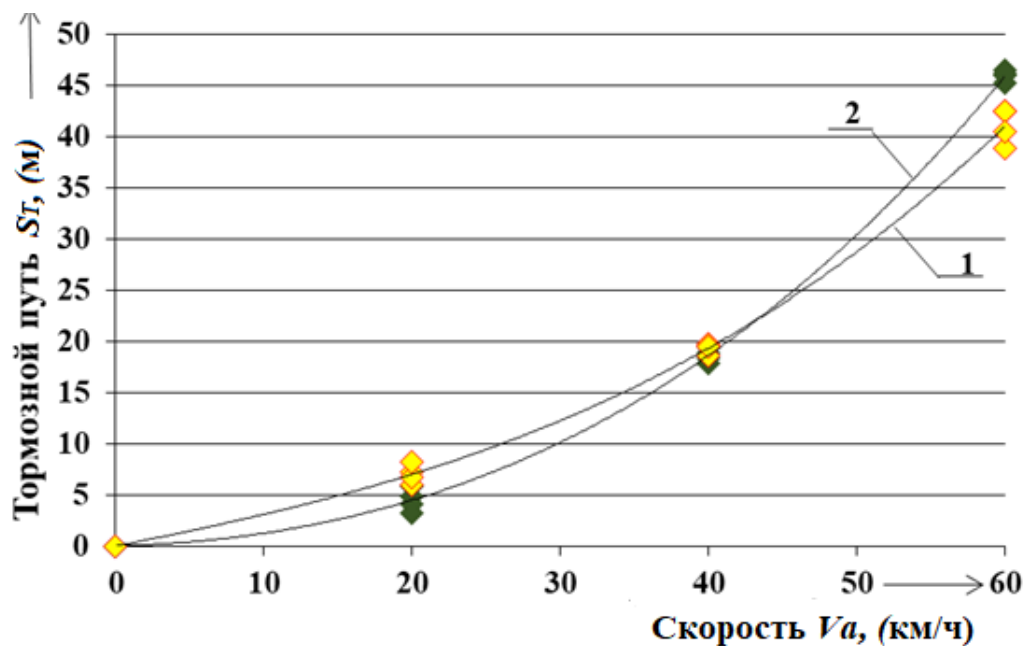


Рис. 4.42. Графики ТП автомобиля Toyota Fun Cargo с зимними шипованными шинами NORD MASTER ST 310 размером 175/70 R14 на укатанном снегу с нанесенными ХППМ при температуре $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1 – с функционирующей ABS; 2 – с отключенной ABS: — — расчет, $\blacklozenge$ $\blacklozenge$ – эксперимент

Обработав ЭИ (рис. 4.42) получили аппроксимирующую зависимость тормозного пути автомобиля с функционирующей ABS на укатанном снегу с нанесенными ХППМ от начальной скорости торможения:

$$S_{\text{т ABS}} = -8\text{E} - 05 \cdot V_0^3 + 0,0016 \cdot V_0^2 + 0,2856 \cdot V + 4\text{E} - 12, \quad (4.33)$$

где: $S_{\text{т ABS}}$ – тормозной путь автомобиля с ABS, [м];

V_0 – начальная скорость торможения автомобиля, [км/ч].

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9956$.

При торможении автомобиля с *отключенной* ABS, его тормозной путь на *укатанном снегу* с нанесенными ХПГМ описывается выражением вида:

$$S_T = -7E - 05 \cdot V_0^3 + 0,0078 \cdot V_0^2 + 0,0403 \cdot V + 4E - 12. \quad (4.34)$$

Аппроксимирующая зависимость (4.34) получена при коэффициенте достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9986$.

Результаты проведенного исследования показывают, что работа ABS на зимних дорогах, покрытых *неукатанным снегом* с нанесенными ХПГМ, не всегда обеспечивает тормозную эффективность эквивалентную торможению автомобиля с заблокированными колесами. Во всех 3 случаях (см. рис. 4.41) торможения автомобиля с начальными скоростями 20, 40 и 60 км/ч тормозной путь с функционирующей ABS был существенно больше, чем у автомобиля с отключенной ABS.

Совершенно противоположный результат получен в процессе торможения автомобиля с *зимними шипованными шинами* на дорогах, *покрытых укатанным снегом* с нанесенными ХПГМ (рис. 4.42), когда работа ABS **сокращала тормозной путь** до 9 % и более (по сравнению с величиной тормозного пути автомобиля, тормозящего с заблокированными колесами). Причем эта цифра увеличивается с увеличением начальной скорости торможения КТС.

Следует особо отметить, что во всех случаях экспериментальных исследований прекращение работы ABS приводило к полной блокировке всех тормозящих колес автомобиля, а также к некоторому или полному нарушению его устойчивости и управляемости.

Итоги натурных экспериментов сопоставляли с итогами расчетов на математической модели, которая позволяет рассчитывать остановочный путь автомобиля категории М1, учитывая работу ABS и установленные на автомобиль виды зимних шин.

4.4.3. Результаты моделирования процесса торможения автомобиля категории М1 на зимних дорогах

На основе математической модели, описание которой представлено в разделе 2.2, а также алгоритма, представленного в разделе 2.3, были проведены расчеты процесса торможения КТС на зимних дорогах с низким КС φ - 0,3 и 0,4. Результаты расчетов показаны на рис. 4.43. и 4.44.

Расчеты выполнены при следующих исходных данных автомобиля: масса автомобиля – 1450 кг; расстояния от осей до плоскости, в которой расположен центр масс $A = 1,188$ м, $B = 1,236$ м; высота центра масс $h_g = 0,47$ м; жесткость упругих элементов передней подвески $C_1 = 2 \cdot 21000$ Н/м и задней подвески $C_2 = 2 \cdot 18000$ Н/м; коэффициенты демпфирующих свойств передних амортизаторов – на сжатие $K_{1c} = 2 \cdot 558$ Н·с/м, на отбой $K_{1o} = 2240$ Н·с/м; коэффициенты демпфирующих свойств задних амортизаторов – на сжатие $K_{2c} = 2 \cdot 576$ Н·с/м, на отбой $K_{2o} = 2260$ Н·с/м; момент инерции кузова относительно оси ОУ $J_y = 2600$ кг · м²; коэффициент аэродинамического сопротивления $C_x = 0,34$; площадь миделя $S_x = 1,62$ м².

В процессе расчетов приняты следующие исходные данные колес и шин: радиус свободного (*ненагруженного*) колеса $r_0 = 0,285$ м; момент инерции колеса с эластичной шиной $J_k = 0,76$ кг · м²; коэффициенты, корректирующие радиус качения колеса в ведомом режиме при действии нормальной нагрузки $C_{r1} = 3E-08$ м/Н и $C_{r2} = 0,0000012$ м/Н; коэффициент «жесткости» проскальзывания ЭШ $\eta_s = 22,3$; коэффициент снижения фрикционных свойств ЭШ в блоке при $S = 1 - f_{6л} = 0,87$.

Также были приняты следующие исходные данные для расчетов процесса функционирования ТС: диапазон нечувствительности ТМ $\Delta_o = 0,21$ МПа; постоянная времени ТМ $T_{tm} = 0,015$ с; темп нарастания $K_t = 28$ МПа/с и темп снижения $K_r = 28$ МПа/с давления в тормозном приводе; коэффициенты, корректирующие величину тормозного момента, $K_{1o} = 181$ Н · м/МПа, $K_{2o} = 229$ Н · м/МПа и $K_{o1} = 0,186$ Н · м · с/МПа, $K_{o2} = 0,222$ Н · м · с/МПа.

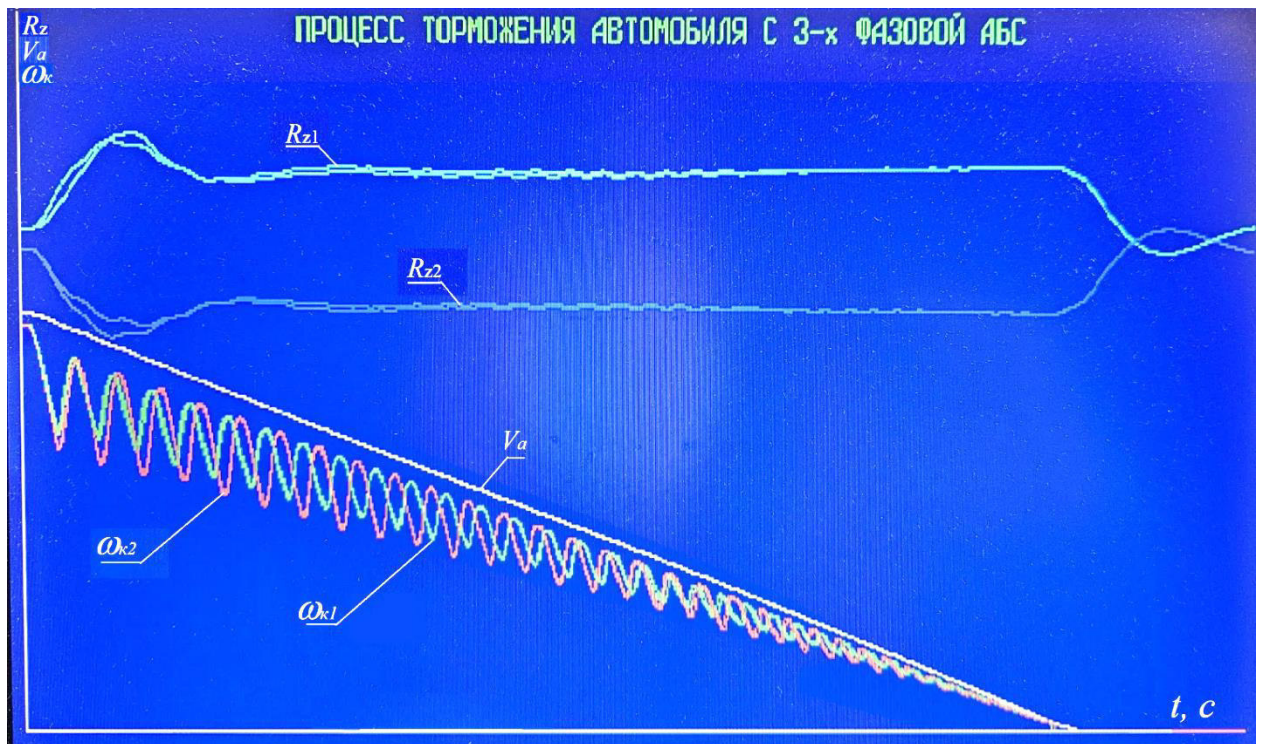


Рис. 4.43. Диаграмма ПТ КТС с функционирующей ABS на зимней дороге с КС $\varphi = 0,3$

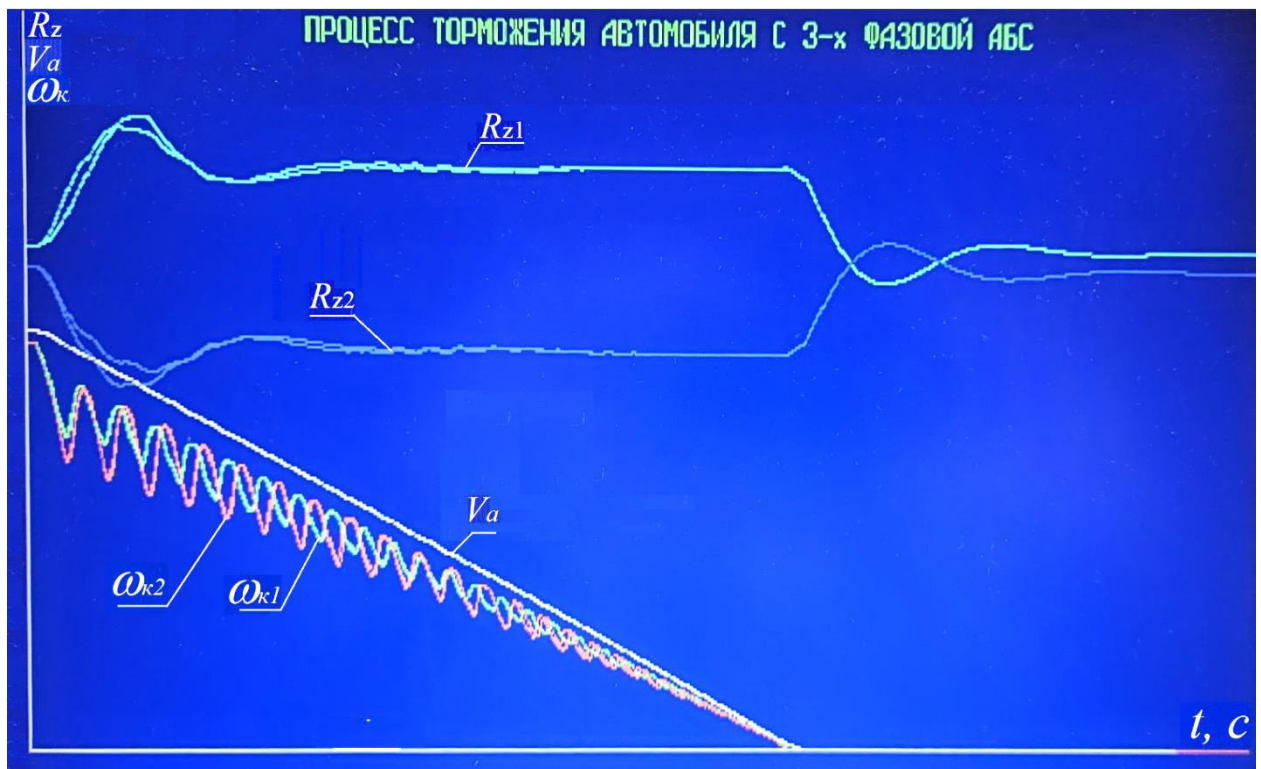


Рис. 4.44. Диаграмма ПТ КТС с функционирующей ABS на зимней дороге с КС $\varphi = 0,4$

Приняты следующие исходные данные для расчетов процесса функционирования антиблокировочной системы и гидравлического модулятора давления: максимальное давление в тормозном приводе $P_{\text{тм}} = 18$ МПа; временные задержки запаздывания срабатывания ЭБУ ABS и ее модулятора при подаче команды на снижение давления $T_{\text{ф}} = 0,009$ с, на нарастание давления $T_{\text{н}} = 0,004$ с и на стабилизацию давления (*отсечку*) $T_{\text{б}} = 0,002$ с; уставка на срабатывание ABS по проскальзыванию $S_y = 0,12$.

Результаты валидации расчетов с результатами эксперимента показывают приемлемое качество математической модели для исследуемых процессов (рис. 4.45).

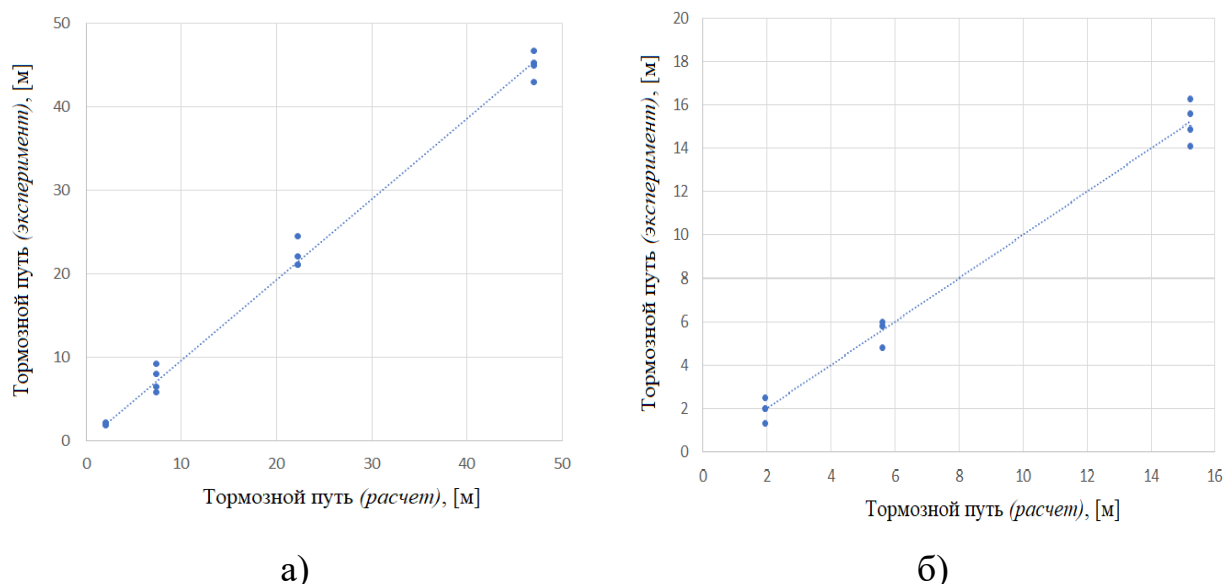


Рис. 4.45. Результаты валидации используемой математической модели для расчетов ТП КТС категории М1 с функционирующей ABS на зимних дорогах с низким КС: а – на укатанном снегу с ХПГМ при начальной скорости 10, 20, 40 и 60 км/час; б – на неукатанном снегу с ХПГМ при начальной скорости 10, 20 и 40 км/час

Результаты валидации с погрешностью, не превышающей 7,3 %, позволяют использовать математическую модель для расчетов ТП КТС категории М1 с функционирующей ABS на зимних дорогах с низким КС, покрытых ХПГМ.

4.4.4. Результаты исследования остановочного пути КТС категории М1 на зимних дорогах, покрытых ХПГМ

На втором этапе ЭИ результаты исследования *тормозного пути* легли в основу определения *остановочного пути (ОП)* автомобиля при экстренном торможении на дорогах, покрытых ХПГМ.

Длина остановочного пути рассчитывается согласно известной формуле [3]:

$$S_{\text{ост}} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot g \cdot \varphi}, \quad (4.35)$$

где: t_1 – ВРВ, [с];

t_2 – время запаздывания ТС [с];

t_3 – время нарастания замедления, [с];

V_a – скорость автомобиля, [км/ч];

g – ускорение свободного падения, [м/с²];

φ – коэффициент продольного сцепления шин с дорогой.

Общеизвестно, что тормозной путь S_T является большей частью остановочного пути $S_{\text{ост}}$ и отличается от него длиной пути, пройденного КТС за время реакции водителя S_p [3]:

$$S_{\text{ост}} = S_p + S_T, [\text{м}]. \quad (4.36)$$

Выделим в уравнении (4.35) путь S_p , пройденный КТС за время реакции водителя, как первую составляющую остановочного пути (*слагаемое в квадратных скобках*):

$$S_{\text{ост}} = \left[t_1 \cdot \frac{V_a}{3,6} \right] + (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot g \cdot \varphi}, [\text{м}]. \quad (4.37)$$

С учетом выражения (4.36) уравнение для определения остановочного пути (4.37) переписывается в виде:

$$S_{\text{ост}} = \left[t_1 \cdot \frac{V_a}{3,6} \right] + S_T, [\text{м}]. \quad (4.38)$$

Таким образом, выражение (4.38) позволяет выполнить расчет остановочного пути $S_{\text{ост}}$ КТС категории М1 с использованием результатов экспериментальных исследований *тормозного пути* автомобиля, представленных в табл. 4.26. В отличие от формулы (4.35) эти результаты позволяют определять *остановочный путь* КТС с учетом:

- режима работы ABS (функционирующая/отключенная);
- типа покрытия дороги (укатанный/неукатанный снег) с ХППМ;
- типа шин, установленных на КТС (шипованные/нешипованные).

Поскольку тормозной путь КТС, его установившееся замедление, начальную скорость и другие параметры измеряли при помощи прибора «Эффект» (п. 3.6.3), то каждая экспериментальная точка тормозного пути является средним значением, полученным в процессе троекратных испытаний КТС при заданной начальной скорости торможения (табл. 4.18–4.25).

Аналогично рассчитывали и средние значения начальной скорости торможения КТС, которые несколько отличались от заданной начальной скорости, указанной в первом столбце табл. 4.26.

Таблица 4.26. Остановочный путь КТС категории М1 на зимних дорогах, обработанных ХППМ при $KC \varphi = 0,3$ и $\varphi = 0,4$ (BPB 1,2–2 с)

Скорость КТС, км/ч / (м/с)	Остановочный путь КТС $S_{ост}$, (м)							
	С отключенной ABS				С функционирующей ABS			
	с нешипованными шинами		с шипованными шинами		с нешипованными шинами		с шипованными шинами	
	Тормозной путь, (м)	$S_{ост}$, (м)	Тормозной путь, (м)	$S_{ост}$, (м)	Тормозной путь, (м)	$S_{ост}$, (м)	Тормозной путь, (м)	$S_{ост}$, (м)
Укатанный снег, обработанный ХППМ (<i>коэффициент сцепления ~0,3</i>)								
10/(2,77)	2,01	7,6			2,03	7,6		
20/(5,55)	5,25	16,4	4,5	15,6	7,4	18,5	7	18,1
40/(11,11)	18,5	40,9	18,7	40,9	22,2	40,7	19,4	41,6
60/(16,67)	37	70,3	46	79,3	45	78,3	41,1	74,4
Неукатанный снег, обработанный ХППМ (<i>коэффициент сцепления ~0,4</i>)								
10/(2,77)	1,48	7			1,95	7,5		
20/(5,55)	6,33	17,1	3,32	14,4	5,6	16,7	7,4	18,5
40/(11,11)	17,4	39,8	13,2	35,4	15,2	37,4	19,7	41,9
60/(16,67)			28,9	62,2			45,6	78,9

В процессе расчетов учитывали, что BPB в ТВС составляет от 1,2 до 2,0 секунд [68]. Поэтому в процессе определения остановочного пути КТС

были рассмотрены две диаметрально противоположные ситуации.

1. Наиболее благоприятная (коэффициент сцепления $\varphi = 0,4$ и минимальное время реакции водителя $t_1 = 1,2$ с).
2. Менее благоприятная (коэффициент сцепления $\varphi = 0,3$ и максимальное время реакции водителя $t_1 = 2,0$ с).

Для этих двух ситуаций были выполнены расчеты остановочного пути $S_{ост}$ КТС категории М1 на зимних дорогах, обработанных ХПГМ, с коэффициентом сцепления от 0,3 до 0,4. Были построены графики зависимости остановочного пути $S_{ост}$ КТС категории М1 от начальной скорости его движения (рис. 4.46).

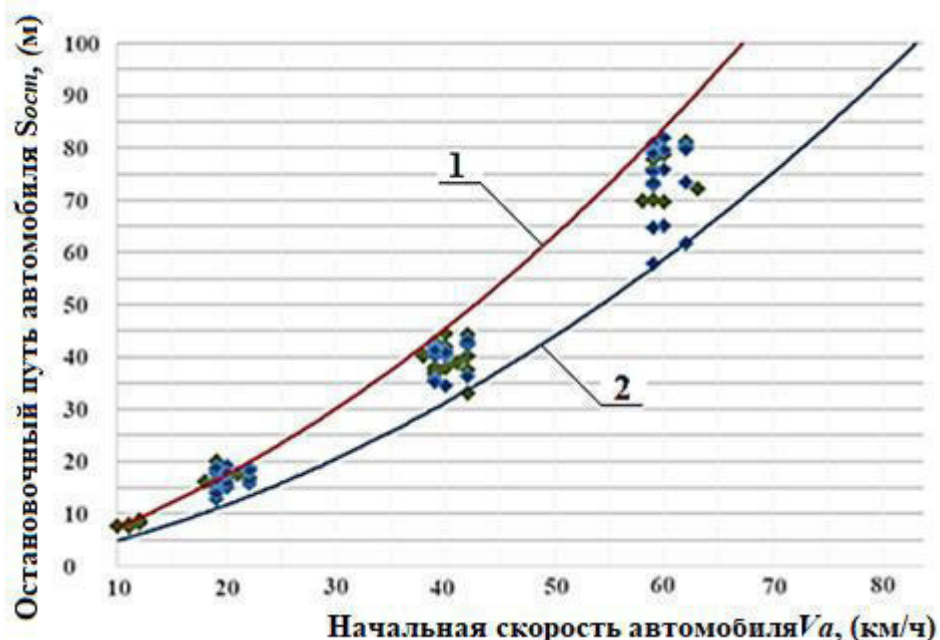


Рис. 4.46. Графики зависимости остановочного пути автомобиля $S_{ост}$ от начальной скорости движения КТС: 1 – при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,3$ и времени реакции водителя – 2 сек.; 2 – при коэффициенте сцепления – $\varphi = 0,4$ и времени реакции водителя – 1,2 сек: ———— – расчет, $\blacklozenge \blacklozenge$ – эксперимент

В процессе анализа результатов исследования, представленных на рис. 4.46, получена функциональная зависимость остановочного пути КТС категории М1 на дороге, покрытой ХПГМ, с коэффициентом сцепления $\varphi = 0,3$ от начальной скорости его движения (время реакции водителя $t_1 = 2,0$ с):

$$S_{\text{ост}} = 0,0131 \cdot V_a^2 + 0,6111 \cdot V_a + 4E - 13, [\text{м}], \quad (4.39)$$

где: $S_{\text{ост}}$ – ОП автомобиля, [м];

V_a – начальная скорость движения автомобиля, [км/ч].

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,98$.

Таким же образом была получена функциональная зависимость ОП КТС категории М1 на дороге, покрытой ХПГМ, с КС $\varphi = 0,4$ (*время реакции водителя $t_1 = 1,2$ с*) от начальной скорости его движения:

$$S_{\text{ост}} = 0,0098 \cdot V_a^2 + 0,3889 \cdot V_a + 4E - 13, [\text{м}]. \quad (4.40)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации составил $R^2 = 0,97$.

4.5. Уточненная методика экспертизы ДТП с наездом автомобиля на пешехода в темное время суток на дорогах, покрытых ХПГМ

По результатам проведенных экспериментов, описанных в п.п. 4.1–4.4, получены математические зависимости, характеризующие два исследуемых процесса: *процесса загрязнения автомобильных фар на дороге, покрытой ХПГМ, и процесса экстренного торможения КТС на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, с низким КС ($\varphi = 0,3 \div 0,4$).*

Полученные функциональные зависимости этих двух процессов легли в основу уточненной методики экспертизы ДТП, которая позволяет:

- рассчитывать расстояние видимости водителем пешеходов в темной одежде в темное время суток в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов ПО ХПГМ на дорогах, покрытых ХПГМ;
- рассчитывать допустимую скорость движения КТС категории М1 по условиям видимости и остановочный путь на зимних дорогах с низким КС, покрытых ХПГМ, в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов ПО ХПГМ.

При производстве экспертиз ДТП допустимую скорость автомобиля по условиям видимости рассчитывают по известной формуле [69]:

$$V_{\text{вд}} = 3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left[\sqrt{\frac{2 \cdot S_{\text{в}}}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right], [\text{м}], \quad (4.41)$$

где, $T = t_6 + t_2 + 0,5 \cdot t_3$;

t_6 – ВРВ на дорожную ситуацию, [с];

t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода, [с];

t_3 – время нарастания замедления, [с];

j – установившееся замедление автомобиля при торможении, [$\text{м}/\text{с}^2$];

$S_{\text{в}}$ – РВВ дороги, [м].

Как уже было отмечено ранее в первой главе, методические рекомендации МИНЮСТа предписывают в темное время суток принимать в расчетах по формуле (4.41) время реакции водителя $t_{\text{в}}$ больше на 0,6 секунды. То есть минимальное время реакции водителя $t_{\text{в мин}}$ должно составлять $0,6 + 0,6 = 1,2$ с, а максимальное время реакции – $t_{\text{в max}}$ должно составлять $1,4 + 0,6 = 2,0$ с [68].

В процессе расчетов допустимой по условиям видимости скорости движения КТС категории М1 на зимних дорогах с темное время суток с загрязненными ПО ХПГМ фарами, необходимо учитывать расстояние видимости $S_{\text{в}}$, силу света загрязненных фар, работу ABS, тип шин, установленных на КТС, а также КС колес с поверхностью дороги. Эти факторы существующие методики не учитывают.

Совмещение графиков двух исследуемых процессов позволило выполнить их совместный анализ, а также определить допустимые по условиям видимости скорости движения КТС категории М1 с дальним и ближним светом фар в холодное время года в темное время суток при загрязнении фар ПО ХПГМ (рис. 4.47 и 4.48).

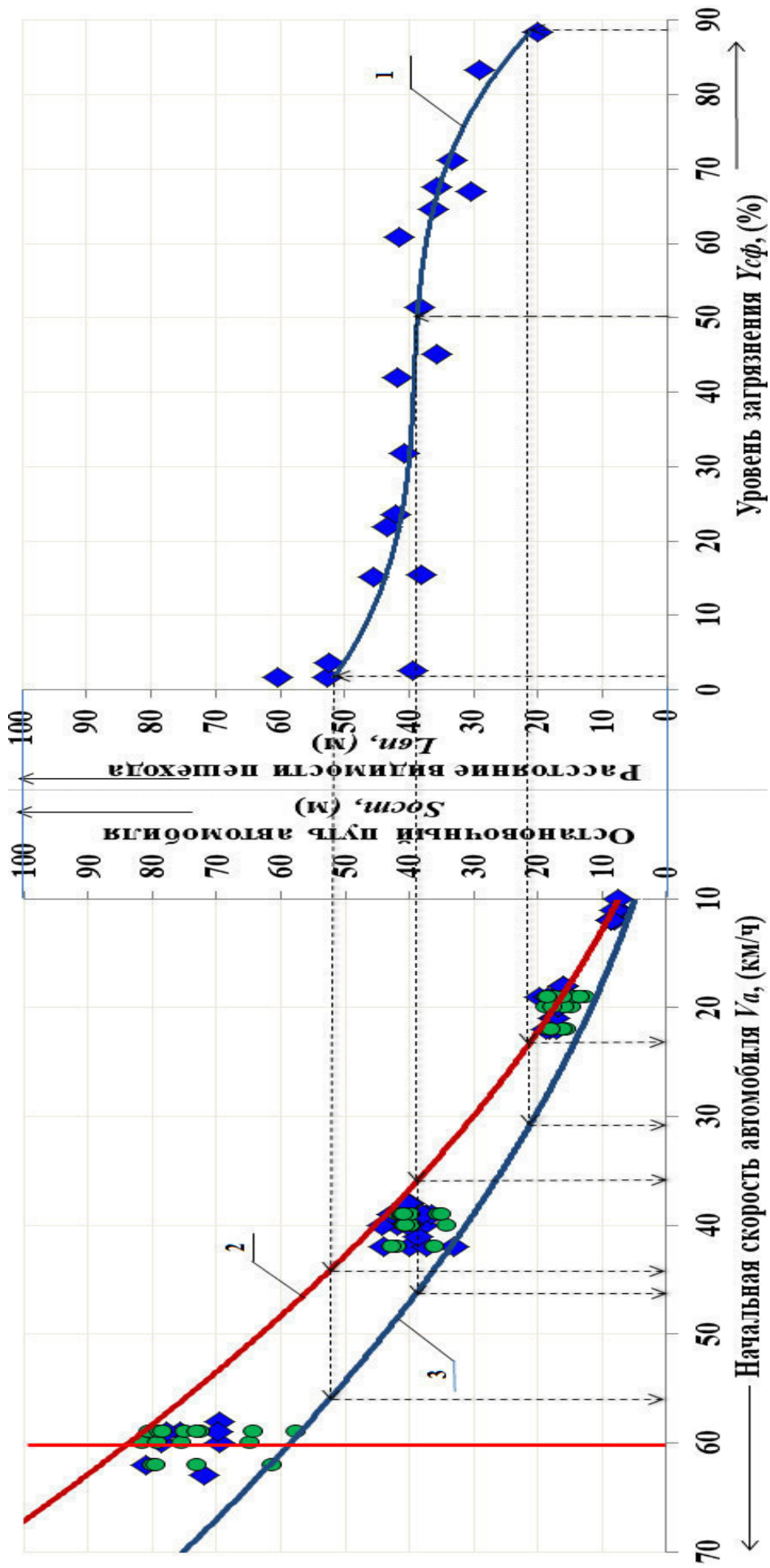


Рис. 4.47. Диаграмма допустимой скорости движения КТС категории М1 по условиям видимости водителем пешеходов при известном **уровне загрязнения фар** (ближний свет): 1 – расстояние видимости пешехода в темной одежде при загрязнении фар; 2 – остановочный путь при коэффициенте сцепления $\phi = 0,3$; 3 – остановочный путь КТС при коэффициенте сцепления $\phi = 0,4$; — — — — — расчет, ◆ — эксперимент

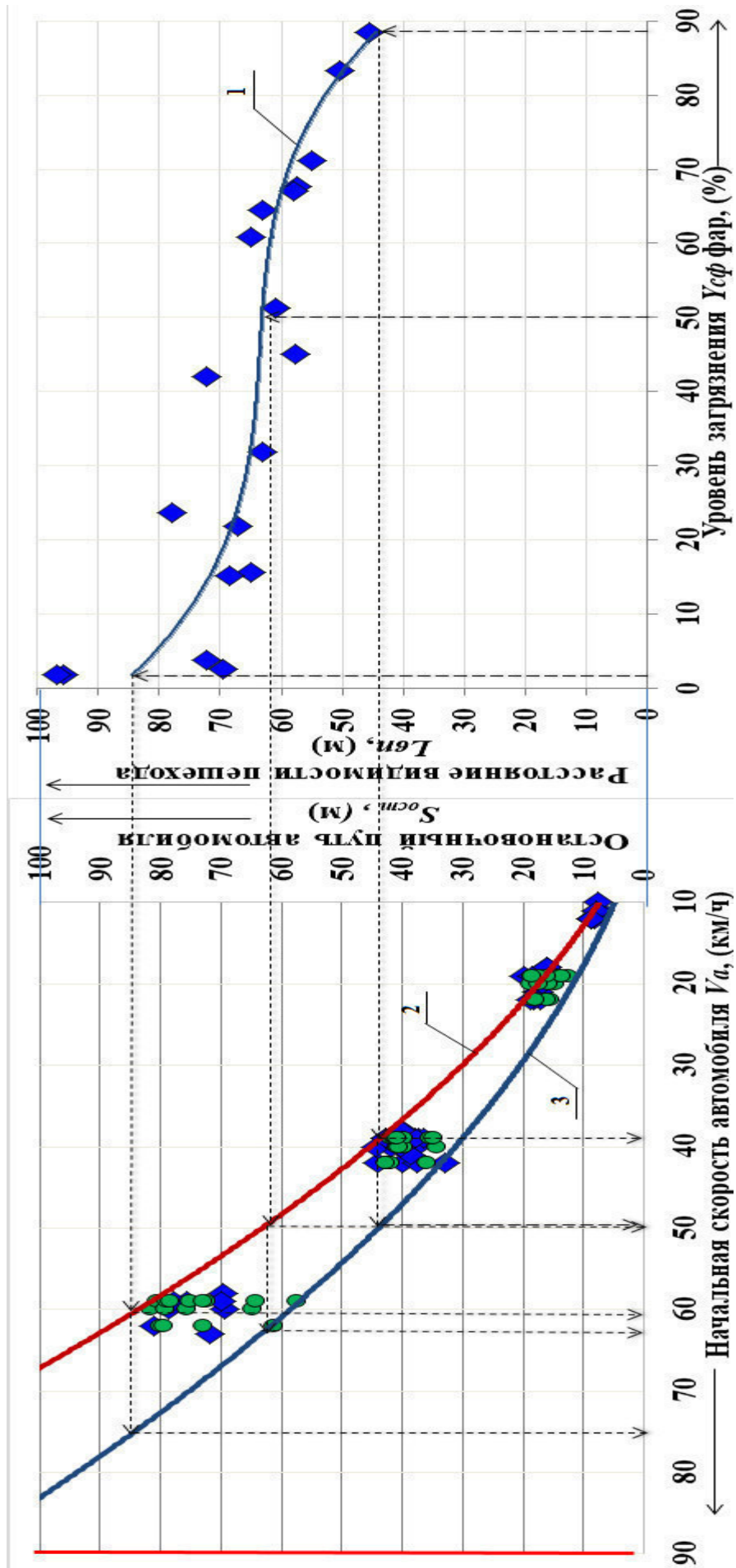


Рис. 4.48 . Диаграмма допустимой скорости движения КТС категории М1 по условиям видимости водителем пешеходов при известном **уровне загрязнения фар** (дальний свет): 1 – расстояние видимости пешехода в темной одежде при загрязнении фар; 2 – остановочный путь при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,3$; 3 – остановочный путь КТС при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$: — — — — — расчет, ◆ — эксперимент

При разработке уточненной методики необходим совместный анализ пяти факторов, значительно влияющих на результаты экспертизы.

1. Начальной скорости V движения автомобиля, [км/ч].
2. Остановочного пути $S_{ост}$ автомобиля категории М1, [м].
3. Расстояния видимости водителям пешехода $L_{вп}$ в темной одежде на НУД в ТВС, [м].
4. Уровня Y_{cf} загрязнения фар автомобиля ПО дороги ХПГМ, [%].
5. Силы света фар I_{cf} автомобиля, загрязненных ПО дороги ХПГМ, [Кд].

Для этого графики зависимостей *остановочного пути от начальной скорости движения КТС категории М1* на зимних дорогах, обработанных ХПГМ, с коэффициентом сцепления от 0,3 до 0,4 (см. рис. 4.46) были совмещены с графиками зависимости *расстояния видимости пешехода в темной одежде ТВС от уровня загрязнения автомобильных фар* в режиме БС и ДС фар (рис. 4.35, а, б).

При этом два исследуемых процесса – процесс изменения расстояния видимости водителем пешехода на неосвещенных участках дорог при загрязнении автомобильных фар ХПГМ и процесс экстренного торможения КТС на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, рассматривали совместно.

4.5.1. Экспертиза ДТП с наездом КТС категории М1 на пешехода на зимних дорогах в темное время суток при известном уровне загрязнения фар

При известном уровне загрязнения фар КТС продуктами обработки дорог ХПГМ или другими загрязнителями процедура определения допустимой по условиям видимости скорости движения КТС категории М1 и его остановочного пути на зимних дорогах сводится к выполнению следующих действий.

1. Предоставление эксперту автотехнику исходных данных о ДТП: тип покрытия и его состояние; продольный профиль проезжей части;

экспериментально определенный КС шин с дорожным покрытием; тип фар КТС и уровень их загрязнения (*фото фар автомобиля с измерительным инструментом*), тип автомобильных шин.

2. Определение расстояния видимости пешехода (РВВ) в темной одежде, используя уровень загрязненности фар по диаграмме (рис. 4.47) и зависимости (4.23) для ближнего света или по диаграмме (рис. 4.48) и зависимости (4.24) для дальнего света фар.

3. Определение допустимой по условиям видимости дороги скорости движения КТС категории М1 по диаграмме на рис. 4.47 (для ближнего света фар) или диаграмме на рис. 4.48 (для дальнего света фар) и ее сравнение с фактической скоростью движения КТС (*определяется по стандартной методике*).

4. Определение остановочного пути автомобиля с допустимой по условиям видимости дороги скорости по диаграмме (рис. 4.47 или 4.48), учитывая коэффициент сцепления шин и условие, что $S_{ост} < L_{ВП}$;

5. Определение остановочного пути автомобиля с фактической скоростью движения (*определяется по стандартной методике*) и его сравнение с расстоянием видимости пешехода в темной одежде, определенного по пункту 2.

6. Выводы по действиям водителя автомобиля на соответствие требованиям ПДД РФ и наличия причинной связи с ДТП в зависимости от проведенного исследования.

4.5.2. Экспертиза ДТП с наездом КТС категории М1 на пешехода на зимних дорогах в темное время суток при известной силе света фар

Для проведения экспертизы ДТП с наездом КТС категории М1 на пешехода на зимних дорогах в темное время суток при известной силе света фар было выполнено совмещение графика зависимостей *остановочного пути от начальной скорости движения КТС категории М1* на зимних дорогах, обработанных ХПГМ, с коэффициентом сцепления в диапазоне от 0,3 до 0,4

(рис. 4.46), с графиком зависимости *расстояния видимости пешехода в темной одежде в темное время суток от силы света* автомобильных фар при *ближнем* и *дальнем* свете (рис. 4.36, а, б). При этом были получены диаграммы, представленные на рис. 4.49 и 4.50.

Такое совмещение графиков позволяет определять допустимые по условиям видимости водителем пешеходов в темной одежде скорости движения КТС категории М1 при *ближнем* и *дальнем* свете фар, а также величину его остановочного пути (см. рис. 4.49 и 4.50).

Диаграммы (см. рис. 4.49 и 4.50), а также выявленные зависимости (4.25) и (4.26) легли в основу уточненной методики проведения экспертизы дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в темной одежде в темное время суток на зимних неосвещенных дорогах, покрытых ХПГМ, при известной силе света фар. При известной силе света фар КТС продуктами обработки дорог ХПГМ или другими загрязнителями, процедура определения допустимой по условиям видимости скорости движения КТС категории М1 и его остановочного пути на зимних дорогах, сводится к выполнению следующих действий.

1. Предоставление эксперту автотехнику исходных данных о ДТП: тип покрытия и его состояние; продольный профиль проезжей части; экспериментально определенный КС шин с дорожным покрытием; тип фар КТС, установленную величину силы света фар (определенного прибором ИПФ-1), тип автомобильных шин.

2. Определение расстояния видимости пешехода в темной одежде, используя величину силы света фар *по диаграмме* (см. рис. 4.49) *и зависимостям* (4.25) в режиме ближнего света *или по диаграмме* (см. рис. 4.50) *и зависимостям* (4.26) в режиме дальнего света.

3. Определение допустимой по условиям видимости дороги скорости движения КТС категории М1 в данных дорожных условиях по диаграмме (см. рис. 4.49 или 4.50) и ее сравнение с фактической скоростью (*определяется по стандартной методике*).

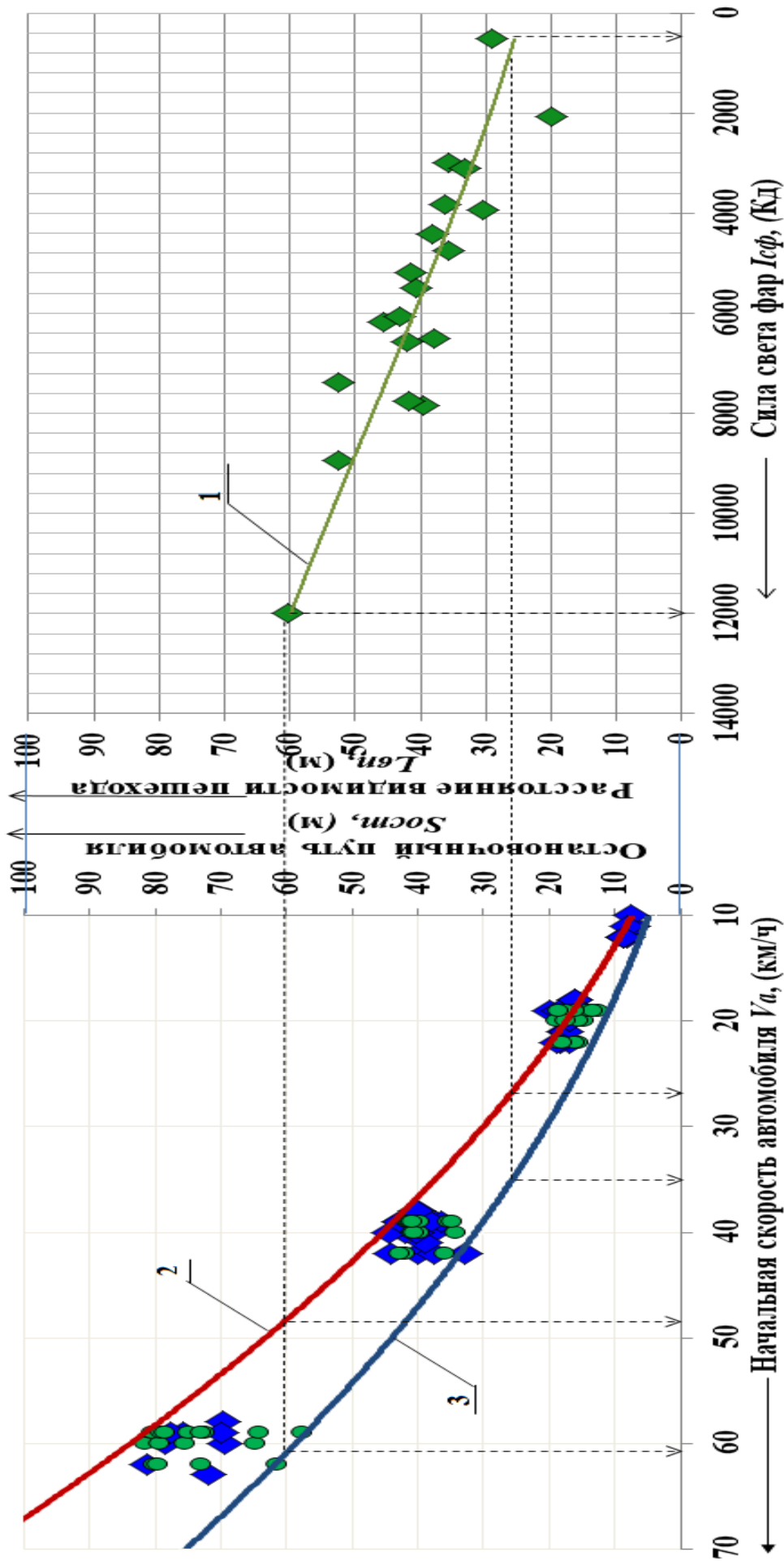


Рис. 4.49. Диаграмма допустимой скорости движения КТС категории М1 по условиям видимости водителем пешеходов при известной силе света фар (ближний свет): 1 — расстояние видимости пешехода в темной одежде при изменении силы света фар; 2 — остановочный путь при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,3$; 3 — остановочный путь КТС при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$; — — — — — расчет, $\blacklozenge$ — эксперимент

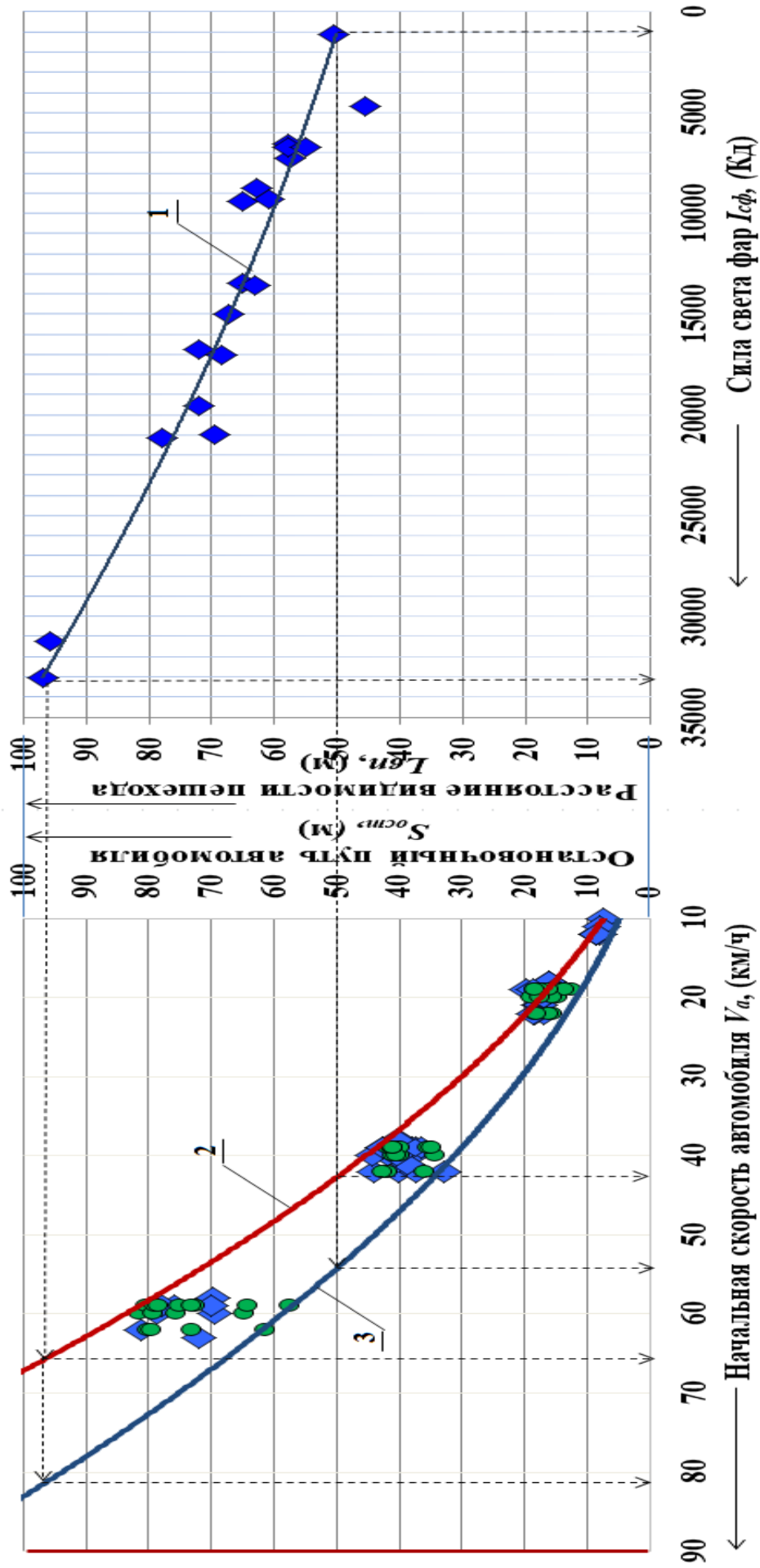


Рис. 4.50. Диаграмма допустимой скорости движения КТС категории М1 по условиям видимости водителем пешеходов при известной силе света **фар** (дальний свет): 1 – расстояние видимости пешехода в темной одежде при изменении силы света фар; 2 – остановочный путь при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,3$; 3 – остановочный путь КТС при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$: — расчет, ◆ — эксперимент

4. Определение остановочного пути автомобиля с допустимой по условиям видимости дороги скоростью (*по диаграмме на рис. 4.49 или 4.50*), учитывая величину коэффициента сцепления, а также условие, что $S_{ост} < L_{вп}$.

5. Определение остановочного пути автомобиля с фактической скоростью движения (*определяется по стандартной методике*) и его сравнение с расстоянием видимости пешехода, определенного по п.2.

6. Выводы по действиям водителя автомобиля на соответствие требованиям ПДД РФ и наличия причинной связи с ДТП в зависимости от проведенного исследования.

4.6. Выводы по четвертой главе

По результатам проведенных исследований процесса загрязнения фар автомобиля ПО ХПГМ в реальных дорожных условиях установлены закономерности, позволяющие рассчитывать расстояние видимости водителем пешеходов в темной одежде, допустимую скорость движения КТС категории М1 по условиям видимости, а также остановочный путь автомобиля на зимних дорогах, покрытых ХПГМ. Это позволит более достоверно проводить экспертизу ДТП при анализе возможности водителя предотвратить наезд на пешехода в темное время суток в условиях недостаточной видимости, вызванной загрязнением световых приборов продуктами обработки дороги ХПГМ.

Выявлены закономерности, характеризующие *изменение светопропускания фар* КТС при их загрязнении продуктами ХПГМ.

Установлено, что предельные значения *светопропускания* $T_{сф}$ фар в условиях их загрязнения ХПГМ изменяется от 88,4 до 1,7 %.

В результате исследования силы света фар автомобилей при их загрязнении продуктами обработки дорог ХПГМ установлено, что:

– в результате загрязнения фар автомобилей сила их света *в режиме дальнего света* может снижаться от 2,5 (автомобиль Mercedes Benz E 320) до 15 раз (автомобиль Toyota Fun Cargo);

– в результате загрязнения фар автомобилей сила их света *в режиме ближнего света* может снижаться от 2,4 (автомобиль Mercedes Benz E 320) до 18 раз (автомобиль Toyota Fun Cargo).

– получены математические зависимости *силы света фар* КТС от *уровня их загрязнения* ХПГМ в режиме дальнего света фар:

$$I_{\text{сф}} = -0,0727 \cdot Y_{\text{сф}}^3 + 11,707 \cdot Y_{\text{сф}}^2 - 755,44 \cdot Y_{\text{сф}} + 27654$$

и в режиме ближнего света фар:

$$I_{\text{сф}} = -0,0288 \cdot Y_{\text{сф}}^3 + 3,7734 \cdot Y_{\text{сф}}^2 - 205,92 \cdot Y_{\text{сф}} + 9399,4.$$

Расстояние видимости водителем пешехода в темной одежде на проезжей части дороги в свете фар, загрязненных ХПГМ значительно снижается:

– у автомобиля Toyota Fun Cargo с 39,5 до 29 м, т. е. на 26,6 % в режиме *ближнего света*, в режиме *дальнего света* с 69,5 до 50,5 м, т. е. на 27,3 %;

– у автомобиля Nissan Qashqai с 60,3 до 20 м, т. е. почти на 66,8 % в режиме *ближнего света*, в режиме *дальнего света* с 96,8 до 45,5 м, т. е. почти на 53 %;

– у автомобиля Mercedes Benz 320 с 52,5 до 33,3 м, т. е. почти на 36,6 % в режиме *ближнего света*, в режиме *дальнего света* с 72,2 до 55 м, т. е. почти на 23,8 %.

Выявлены закономерности, показывающие влияние значимых факторов на изменение видимости водителем пешеходов и дорожной обстановки в условиях загрязнения фар автомобиля.

Выявлены зависимости *расстояния видимости* пешехода в темной одежде на проезжей части в темное время суток *от уровня загрязнения* автомобильных фар КТС в режиме ближнего света фар:

$$L_{\text{вп}} = -0,0002 \cdot Y_{\text{сф}}^3 + 0,0198 \cdot Y_{\text{сф}}^2 - 0,886 \cdot Y_{\text{сф}} + 53,106,$$

а также в режиме дальнего света фар:

$$L_{\text{вп}} = -0,0002 \cdot Y_{\text{сф}}^3 + 0,0282 \cdot Y_{\text{сф}}^2 - 1,3663 \cdot Y_{\text{сф}} + 86,562.$$

Выявлены зависимости *расстояния видимости* пешехода в темной одежде на проезжей части в темное время суток *от силы света* автомобильных фар КТС в режиме ближнего света:

$$L_{\text{вп}} = -5E - 12 \cdot I_{\text{сф}}^3 + 1E - 07 \cdot I_{\text{сф}}^2 + 0,0022 \cdot I_{\text{сф}} + 24,443,$$

а также в режиме дальнего света:

$$L_{\text{вп}} = 1E - 08 \cdot I_{\text{сф}}^2 + 0,001 \cdot I_{\text{сф}} + 49,036.$$

Проведенные экспериментальные исследования процесса торможения КТС с функционирующей и отключенной ABS на шипованных и нешипованных шинах на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, имеющих низкий коэффициент сцепления ($0,3 \div 0,4$), позволили получить зависимости *тормозного пути* автомобиля от начальной скорости торможения при движении по дорогам, покрытым ХПГМ.

Установлено, что в процессе экстренного торможения автомобилей с *нешипованными шинами* работа ABS в зимнюю пору не всегда выполняет свои функции. Во всех экспериментах, когда автомобиль тормозил с начальными скоростями 10, 20, 40 и 60 км/час с функционирующей ABS, тормозной путь оказался больше, чем у автомобиля с отключенной ABS. При торможении на покрытии с низким коэффициентом сцепления (*укатанный снег с ХПГМ*) тормозной путь автомобиля *с работающей ABS* увеличивается на 15–18 % и более; Прекращение работы ABS приводит к блокировке тормозящих колес, нарушению устойчивости и управляемости автомобиля. Усугубляет эти негативные тенденции отсутствие регуляторов тормозных сил на автомобилях с ABS.

Результаты исследования процесса торможения автомобиля с зимними *шипованными шинами* показывают, что работа ABS на зимних дорогах, покрытых *неукатанным снегом с ХПГМ*, не всегда обеспечивает тормозную эффективность, эквивалентную торможению автомобиля с заблокированными колесами. Тормозной путь автомобиля с функционирующей ABS во всех случаях торможения (20, 40 и 60 км/ч), был существенно больше, чем у автомобиля с отключенной ABS.

Совершенно противоположный результат получен в процессе торможения автомобиля с зимними шипованными шинами на дорогах, покрытых укатанным снегом с ХПГМ, когда работа ABS **сокращает тормозной путь** до 9 % и более (по сравнению с длиной тормозного пути автомобиля, тормозящего с заблокированными колесами). Причем с увеличением начальной скорости торможения эта цифра растет.

На основе полученных результатов исследования тормозного пути была определена величина остановочного пути автомобилей категории М1. Получены зависимости остановочного пути от начальной скорости экстренного торможения на зимних дорогах в темное время суток, с низким коэффициентом сцепления (0,3÷0,4).

Выявлены зависимости остановочного пути и допустимой по условиям видимости скорости движения КТС категории М1 от расстояния видимости водителем пешеходов в темной одежде в темное время в свете фар автомобиля, загрязненных ХПГМ.

Установлено, что при движении КТС категории М1 с **дальним светом фар** на неосвещенных участках дорог, обработанных ХПГМ с **коэффициентом сцепления 0,3 (время реакции водителя – 2,0 с):**

- при Y_{cf} – не более 1,7 %, L_{gn} – 85 м, V_a – не более 61 км/час;
- при Y_{cf} на уровне 50 %, L_{gn} – не более 63 м, V_a – не более 50 км/час;
- при Y_{cf} на уровне 88,4 %, L_{gn} – не более 44 м, V_a – не более 39 км/час.

С ближним светом фар с коэффициентом сцепления 0,3 (время реакции водителя – 2,0 с):

- при Y_{cf} – не более 1,7 %, L_{gn} – 53 м, V_a – не более 44 км/час;
- при Y_{cf} – на уровне 50 %, L_{gn} – 38 м, V_a – не более 36 км/час;
- при Y_{cf} – на уровне 88,4 %, L_{gn} – 22 м, V_a – не более 23 км/час.

Установлено, что при движении КТС категории М1 с **дальним светом фар** на неосвещенных участках дорог, обработанных ХПГМ, с **коэффициентом сцепления 0,4 (время реакции водителя – 1,2 с):**

- при Y_{cf} – не более 1,7 %, L_{gn} – 85 м, V_a – не более 75 км/час;

- при $Y_{сф}$ – на уровне 50 %, $L_{ен}$ – не более 63 м, V_a – не более 62 км/час;
- при $Y_{сф}$ на уровне 88,4 %, $L_{ен}$ – не более 44 м, V_a – не более 49 км/час.

С ближним светом фар с коэффициентом сцепления 0,4 (время реакции водителя – 1,2 с):

- при $Y_{сф}$ – не более 1,7 %, $L_{ен}$ – 53 м, V_a – не более 56 км/час;
- при $Y_{сф}$ – на уровне 50 %, $L_{ен}$ – 40 м, V_a – не более 46 км/час;
- при $Y_{сф}$ – на уровне 88,4 %, $L_{ен}$ – 20 м, V_a – не более 31 км/час.

Выявлены зависимости *остановочного пути и допустимой по условиям видимости скорости движения* КТС категории М1 от расстояния видимости водителем пешеходов в темной одежде и придорожной инфраструктуры, учитывая *силу света фар автомобиля* в условиях загрязнения их ПО ХПГМ. Установлено, что при движении КТС категории М1 с **дальним светом фар** на неосвещенных участках дорог, обработанных ХПГМ с **коэффициентом сцепления 0,3** (время реакции водителя – 2,0 с):

- при $I_{сф}$ – 33 000 Кд, $L_{ен}$ – 97 м, V_a – не более 66 км/час;
- при $I_{сф}$ – 1132 Кд, $L_{ен}$ – не более 50 м, V_a – не более 43 км/час.

С ближним светом фар, с коэффициентом сцепления 0,3 (время реакции водителя – 2,0 с):

- при $I_{сф}$ – 12 000 Кд, $L_{ен}$ – 60 м, V_a – не более 48 км/час;
- при $I_{сф}$ – 517 Кд, $L_{ен}$ – 26 м, V_a – не более 27 км/час.

Установлено, что при движении КТС категории М1 с **дальним светом фар** на неосвещенных участках дорог, обработанных ХПГМ, с **коэффициентом сцепления 0,4** (время реакции водителя – 1,2 с):

- при $I_{сф}$ – 33 000 Кд, $L_{ен}$ – 97 м, V_a – не более 81 км/час;
- при $I_{сф}$ – 1132 Кд, $L_{ен}$ – не более 50 м, V_a – не более 55 км/час.

С ближним светом фар с коэффициентом сцепления 0,4 (время реакции водителя – 1,2 с):

- при $I_{сф}$ – 33 000 Кд, $L_{ен}$ – 60 м, V_a – не более 61 км/час;
- при $I_{сф}$ – 1132 Кд, $L_{ен}$ – 26 м, V_a – не более 35 км/час.

На основании выявленных зависимостей разработана уточненная

методика, которая позволяет рассчитывать расстояние видимости водителем пешеходов в темной одежде, *допустимую скорость по условиям видимости* автомобилей категории М1 на зимних дорогах, покрытых противогололедными материалами, в темное время суток в зависимости *от уровня загрязнения фар ХПГМ*, а также *силы их света* и остановочный путь с учетом коэффициента сцепления колес с дорогой.

Результаты научного исследования успешно прошли проверку и были внедрены в производственный процесс ООО «Забайкальский центр судебной экспертизы» (г. Чита), в «Бюро судебной экспертизы» (ИП Родак В.Ю., г. Иркутск), в учебный процесс кафедры «Автомобильный транспорт» ИАМиТ ФГБОУ ВО ИРНИТУ (Приложение 2).

Выполненные проверки показывают, что погрешность определения расстояния видимости водителем автомобиля с загрязненными фарами пешехода в темной одежде в темное время суток на неосвещенном участке дороги, покрытой ХПГМ, в процентном выражении может быть снижена в два раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований, изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, направленные на повышение объективности экспертизы дорожно-транспортных происшествий АТС категории М1 в зимнее время, имеющие существенное значение для повышения дорожной безопасности автотранспортного комплекса страны.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Математическая модель процесса торможения автомобиля категории М1 на зимних дорогах, покрытых ХПГМ, учитывает изменения, вносимые в процесс торможения работой ABS, перераспределение нагрузки между осями АТС при торможении, а также изменение формы (φ-s)-диаграмм шипованных и нешипованных шин на дороге, обработанной ХПГМ. Она позволяет выявлять закономерности изменения длины остановочного пути КТС категории М1 и допустимые скорости их движения по зимним дорогам, покрытыми ПО ХПГМ, по условиям видимости;

2. В ходе экспериментальных исследований, проведенных с 2017 по 2023 годы, установлено, что на зимних дорогах Сибири и Иркутской области в результате их обработки ХПГМ уровень загрязнения фар КТС изменяется от 1,7 до 88,4 %. При предельном уровне загрязнения фар их светопропускание снижается с 98,2 до 11,6 %. Сила света фар ближнего света снижается на 95,7 %, а дальнего света – на 79,6 %. Время загрязнения фар может составлять от нескольких минут до нескольких дней в зависимости от пробега и скорости КТС, количества на дороге снега и ХПГМ, а также от температуры воздуха. Установлено, что в условиях низких температур Сибири устройства очистки фар, как правило, не работают, а водители КТС во время движения не имеют информации об уровне загрязнения фар.

3. Установлены функциональные зависимости расстояния видимости водителем КТС пешехода в темной одежде в темное время суток на неосвещенных участках дорог, обработанных ХПГМ, от уровня загрязнения и силы света фар. Доказано, что в зависимости от уровня загрязнения фар расстояние видимости водителем КТС пешехода в темной одежде на проезжей части дороги значительно снижается:

- в режиме ближнего света в среднем на 66,8 %;
- в режиме дальнего света в среднем на 53 %.

4. Установлены функциональные зависимости тормозного и остановочного путей КТС категории М1 на зимних дорогах, обработанных ХПГМ, от начальной скорости торможения. Установлено, что дороги, обработанные ХПГМ, как правило, имеют низкий коэффициент сцепления от $\varphi = 0,3$ до $\varphi = 0,4$, при этом работа ABS может как увеличивать тормозной и остановочный путь на 15–18 %, так и снижать его на 9 %, и с увеличением начальной скорости торможения эта цифра увеличивается. Результаты исследования процесса торможения автомобиля с зимними шипованными шинами и с работающей ABS показывают, что на зимних дорогах, покрытых неукатанным снегом с ХПГМ, они не всегда обеспечивает тормозную эффективность эквивалентную торможению КТС с заблокированными колесами, но при этом обеспечивает устойчивость его движения.

5. На основе выявленных зависимостей разработана уточненная методика экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в темной одежде, в темное время на зимних неосвещенных дорогах, покрытых ХПГМ, с коэффициентом сцепления от 0,3 до 0,4 при известном уровне загрязнения фар или при известной силе света фар, позволяющая определять допустимые скорости движения КТС категории М1 по условиям видимости. В основе методики заложено условие о том, что скорость движения и остановочный путь КТС на дорогах, обработанных ХПГМ, должны гарантированно обеспечивать его остановку в пределах расстояния видимости водителем пешехода.

Экспериментальная проверка методики показывает, что при движении КТС в темное время на дорогах, обработанных ХПГМ, с дальним светом фар, при уровне их загрязнения не более 1,7 %, расстояние видимости пешехода в темной одежде, составляет 85 м, а допустимая скорость движения КТС при времени реакции водителя 2,0 с может быть не более 61 км/час. При уровне загрязнения фар 88,4 % расстояние видимости снижается до 44 м, а допустимая скорость движения КТС по условиям видимости может быть не более 39 км/час. При движении КТС с ближним светом фар и уровне их загрязнения не более 1,7 % расстояние видимости составляет 53 м, а допустимая скорость движения КТС по условиям видимости может быть не более 44 км/час. При уровне загрязнения фар на уровне 88,4 % расстояние видимости снижается до 22 м, а допустимая скорость движения КТС по условиям видимости может быть не более 23 км/час.

6. Выполненные производственные проверки результатов проведенного научного исследования в ООО «Забайкальский центр судебной экспертизы» (г. Чита), в «Бюро судебной экспертизы» (ИП Родак В.Ю., г. Иркутск) и в учебный процесс кафедры «Автомобильный транспорт» ИАМиТ ФГБОУ ВО ИРНИТУ показывают, что погрешность определения расстояния видимости водителем автомобиля с загрязненными фарами пешехода в темной одежде в темное время суток на неосвещенном участке дороги, покрытой ХПГМ, в процентном выражении может быть снижена в два раза. Выполненный анализ исходных данных для определения расстояния видимости водителем КТС пешехода в темное время на зимней неосвещенной проезжей части дороги, обработанной ХПГМ, показывает их несоответствие фактическим данным для конкретных дорожных условий. В частности, снижение расстояния видимости водителем КТС пешехода на дороге, обработанной ХПГМ, при ближнем свете фар может достигать 30 м, а при дальнем свете – 40 м. Это значительно повышает объективность проведения экспертизы ДТП и дает значительный социальный эффект.

Уточненная методика экспертиз дорожно-транспортных происшествий,

с наездом автомобиля на пешехода в темное время суток на дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами, была внедрена в работу ООО «Забайкальский центр судебной экспертизы» (г. Чита), в «Бюро судебной экспертизы» (ИП Родак В.Ю., г. Иркутск), в учебный процесс кафедры «Автомобильный транспорт» ИАМиТ ФГБОУ ВО ИРНИТУ.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволяют сформулировать перспективы дальнейшей разработки темы диссертации:

- разработка высокоэффективных методов мониторинга процесса загрязнения фар колесных транспортных средств;
- разработка высокоэффективных и морозоустойчивых систем очистки автомобильных фар от загрязнений при низких температурах окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абельханова, Д.Р. Повышение эффективности применения противогололедных реагентов при эксплуатации автомобильных дорог: дис. канд. тех. наук: 05.23.11 / Абельханова Дана Равильевна. – М., 2011.- 169 с.
2. Аржанухина, С.П. Совершенствование технологии применения противогололедных материалов при зимнем содержании автомобильных дорог: дисс. канд. техн. наук: 05.23.11 / Аржанухина Софья Петровна. - Саратов, 2009.- 164 с.
3. Балакин, В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие, 2-е изд., перераб. и доп./ В.Д. Балакин. - Омск: СибАДИ, 2015. - 136 с.
4. Балычев, С.М. Исследование рабочего процесса и расчет автомобильной антиблокировочной системы: дисс. канд. техн. наук: 05.05.03 / Балычев Сергей Матвеевич. - М., 1981. - 186 с.
5. Белкин, А.Е. Расчет деформаций автомобильной шины при стационарном качении / А.Е. Белкин, Н.Л. Нарская, О.А. Одинцов // Проблемы шин и резинокордных композитов: труды XVI международной конференции. Т. 1. М. 2005.- С. 52-59.
6. Белкин, А.Е. Численный анализ деформаций автомобильной шины при стационарном качении / А.Е. Белкин, Н.Л. Нарская, О.А. Одинцов // Математическое моделирование в механике сплошных сред. Методы граничных и конечных элементов: труды XXI междунар. конф. СПб, 2005.- С. 68-73.
7. Блянкинштейн, И.М. Теоретические основы экспертного анализа на автомобильном транспорте / И.М. Блянкинштейн, В.А. Ковалев, Д.А. Морозов Красноярск, 2020. - 352 с.
8. Бойко, А.В. Математическая модель для расчета нормальных и касательных напряжений в пятне контакта эластичной шины с дорогой и беговым барабаном диагностического стенда/ А.В. Бойко // Вестник ИрГТУ, 2012. N 11 (70)- С. 128-132.
9. Бродский, В.В. Введение в факторное планирование эксперимента/

В.В. Бродский [Текст] -М., Наука, 1976.- 224 с.

10. Брянский, Ю.А. Взаимодействие пневматических колес с деформируемыми опорными поверхностями / Ю.А. Брянский, Е.Д. Каран / Обзор. М., ЦНИИТЭ Строймаш, 1971г.

11. Васильев, В.И. Обеспечение безопасности автотранспортных средств на режимах торможения: дисс. докт. техн. наук: 05.22.10 / Васильев Валерий Иванович. – Курган, 2006. – 432 с.

12. Ветрова, В.В. Влияние антигололедных реагентов на дорожные условия и безопасность движения на автомагистрали: дисс. канд. тех. наук: 05.23.11 / Ветрова Вера Викторовна. - МАДИ, М., 2006.- 137 с.

13. Взаимодействие колеса с опорной поверхностью. Труды НАМИ / ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», сб. 4. М.: 1970.

14. Взаимодействие колеса с опорной поверхностью: Труды НАМИ / ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». сб. 59. М. 1959.

15. Взаимодействие колеса с опорной поверхностью: труды НАМИ / ГНЦРФФГУП «НАМИ», сб. 54. М. 1962.

16. Гергенов, С.М. Исследование сцепных свойств автомобильных шин / С.М. Гергенов, В.А. Корчагин, Ж.В. Дарханов // Ползуновский альманах, 2015 - № 2, - С. 91-95.

17. ГОСТ 32565-2013 Стекло безопасное для наземного транспорта. Издание. - М.: Стандартинформ, 2016.- 53 с.

18. ГОСТ Р 50597-93 Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. - М.: Издание. 1994.- 67 с.

19. ГОСТ 33997-2016 Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки. Дата введения 2018-02-01. - М.: Изд-во стандартов. - 2018. - 89 с.

20. ГОСТ Р 51709-2001 Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. Введение 01.01.2002. - М.: Изд-во стандартов. - 2002.- 28 с.

21. Громалова В.О., Федотов А.И. / Экспериментальное исследование процесса загрязнения фар автотранспортного средства противогололедными материалами // Материалы VII международной конференции 25-30 июня 2018 г. Проблемы механики современных машин. г. Улан-Удэ, С. 174-185.

22. Громалова В.О., Федотов А.И., // Анализ влияния работы ABS на эффективность торможения автомобиля на летних дорогах // Вестник ИрГТУ. Выпуск №3.- Иркутск: ИрГТУ, 2014 – С. 124-127с.

23. Громалова, В.О. К вопросу о влиянии загрязнения внешних световых приборов химическими противогололедными материалами на безопасность движения автотранспортных средств / В.О. Громалова, А.И. Федотов, В.Г. Зедгенизов, С.М. Гергенов // Омск, Вестник СибАДИ. - 2018. - №1. Т. 15. - С. 55-60.

24. Дорохин, С.В., Общие вопросы экспертизы дорожно-транспортных происшествий / А.В. Сараев, Е.А. Новописный, С.В. Дорохин, И.А. Новиков.- Белгород: 2015. - 102 с.

25. Дик, А.Б. Описание характеристик проскальзывания тормозящего колеса / А.Б. Дик // Надежность и активная безопасность автомобиля: сб. науч. тр. МАМИ. - 1985.- С. 205-216.

26. Дик, А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом: - дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / Дик Александр Борисович. - М., 1988. – 228 с.

27. Дума города Иркутска. Решение о правилах благоустройства территории города Иркутска от 25. 12. 2008 г. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://admirk.ru/authority/documents/element/106579/>

28. Евтюков, С.А., Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. - С-Пб.: 2004. - 280 с.

29. Ечеистов, Ю.А. Исследование некоторых эксплуатационных качеств автомобиля с учетом преобразующих свойств его шин: автореферат дис. д-ра техн. наук: 05.05.03 / Ечеистов Юрий Александрович. - М., 1973. - 44 с.

30. Запрос от «СУ СК России по Республике Бурятия, следственный от-

дел по Прибайкальскому району» о проведении автотехнической экспертизы.

31. Зильбербанд, А.М. Скользкость дорожных покрытий одна из основных причин ДТП / А.М. Зильбербанд // Труды СоюздорНИИ. - М., 1974. - №72. - С. 32-36.

32. Измеритель эффективности тормозных систем автомобилей "Эффект". Руководство по эксплуатации. М 016.000.00 РЭ., г. Жигулёвск, 2002. – 38 с.

33. Иларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов по спец. "Орг. дор. движения"/ В.А. Иларионов. - М.: Транспорт, 1989. – 254 с.

34. Исследование и разработка нефелометрической системы для измерения дальности видимости на автомобильных дорогах: отчет о НИР / М., МАДИ, 1980.

35. Ким, П.А. Повышение безопасности пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах: дисс. канд. тех. наук: 05.22.10 / Ким Павел Анатольевич. - ИрГТУ, Иркутск, – 2014. - 150 с.

36. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: [федер. закон: принят Гос. Думой 30 дек. 2001 г.: по состоянию на 17 февр. 2023 г.]. - М.: 2023. - 94 с.

37. Корухов, Ю.Г. Транспортно - трасологическая экспертиза по делам о ДТП: методическое пособие для экспертов, следователей, судей / Ю.Г. Корухов. - ВНИИ судебных экспертиз: - М., 1988. - 119 с.

38. Корухов, Ю.Г. Возможности трасологической экспертизы при расследовании автодорожных происшествий / Ю.Г. Корухов Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. 1965. - С. 170-174.

39. Корухов, Ю.Г. Энциклопедия судебной экспертизы / Т.В. Аверьянова, Р.С. Белкин, Е.Р. Россинская, Ю.Г. Корухов. – Москва: 1999. - 552 с.

40. Кравченко, П.А., Организационный и технологический ресурс решения проблемы обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации / П.А. Кравченко, А.Г. Воробьев // Транспорт Российской Феде-

рации. 2008. - № 2 (15). - С. 44-49.

41. Кустарев, Г.В. Проблемы определения сцепления колес транспортных средств с покрытием при обработке антигололедными материалами в зимнее время / Г.В. Кустарев, Р.В. Морозов, А.В. Горшков // Журнал «Перспективы науки» МАДИ, М., 2013.- №10 (49), - С. 18-21.

42. Левин, М.А. Теория качения деформируемого колеса / М.А. Левин, Н.А. Фуфаев - М.: Наука гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. - 269 с.

43. Лукошавичене, О.В. Моделирование дорожно-транспортных происшествий: монография / О.В. Лукошавичене - М.: Транспорт, 1988. - 96 с.

44. Марков А.С. Повышение достоверности стендового контроля тормозной эффективности АТС категории М1 в условиях эксплуатации: дисс. канд. тех. наук: 05.22.10 / Марков Алексей Сергеевич. – ИрГТУ, Иркутск, 2019 г. – 232 с.

45. Масленников, В.Г. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий с участием автотранспортных средств категории М1 при отрицательных температурах асфальтобетонного покрытия дороги: дисс. канд. тех. наук: 05.22.10 / Масленников Василий Геннадьевич. - ИрГТУ, Иркутск, 2019 г. - 143 с.

46. Молев, Ю.И. Обеспечение дорожной безопасности автомобильного транспорта в зимний период: автореферат дисс. докт. тех. наук: 05.22.10 / Молев Юрий Игоревич. - НГТУ, Владимир, 2007.- 31 с.

47. Монтгомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: [Текст], / Д. К. Монтгомери; пер. с англ. В. А. Коптяева, Л.: Судостроение, 1980.- 383 с.

48. Научно производственная фирма "МЕТА". Измеритель светопропускания стекол "ТОНИК". Руководство по эксплуатации М 019.000.00 РЭ. - 32 с.

49. Научно производственная фирма "МЕТА". Измеритель параметров света фар автотранспортных средств ИПФ-01. Руководство по эксплуатации М 048.000.00.00 РЭ. - 44 с.

50. Немчинов, В. М. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения: учебное пособие / М. В. Немчинов.- М.: Транспорт, 1985. - 231 с.

51. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений: Текст / П. В. Новицкий, И.А. Зограф.- М.: Энергоатомиздат, 1985. - 247 с.

52. Нюдь, А.С. Существующие проблемы выявления и ликвидации зимней скользкости на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях / А. С. Нюдь, Е. И. Киряков // Вестник ТГАСУ, Томск, - 2013.- № 2 - С. 263-272.

53. Официальный сайт Госавтоинспекции [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru>.

54. Певзнер, Я.М. Теория устойчивости автомобиля: / Я.М. Певзнер.- М.: Машгиз, 1947. - 156 с.

55. Петров, М.А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме: учебное пособие / М.А. Петров. - Омск.: Зап.-Сиб. книжн. изд-во, 1973.- 224 с.

56. Порхачёва, С.М. К вопросу учета факторов влияния на изменение условий движения автомобилей в пределах городских дорог / С.М. Порхачёва // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2016. Т. 4. № 5-3 (25-3). С. 137-141.

57. Правила дорожного движения Российской Федерации: [утверждены постановлением Правительства РФ № 1769 от 06.10.2022] [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://avto-russia.ru/pdd/pdd_rf.html.

58. Романовский, В.И. Основные задачи теории ошибок: [Текст] / В.И. Романовский. - М.-Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы 1947.- 116 с.

59. Романовский, В.И. Применение математической статистики в опытном деле: [Текст] / В.И. Романовский. - М.-Л.: ОГИЗ, 1947.- 248 с.

60. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах: [отрасл. дор. методич. документ: утв. распоряж. Минтранса РФ от 16 июня 2003 г.]. М. Информавтодор, - 2003. - 40 с.

61. Симуль, М.Г. Конфликтные ситуации и дорожная аварийность с участием пешеходов на городских магистралях / Ю.А. Рябоконь М.Г. Симуль // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.- 2011. № 3 (21). - С. 19-23.

62. Сарайкин, А.И. Обеспечение безопасности движения автомобиля в условиях дефицита визуальной информации: дисс. канд. тех. наук: 05.22.10/ Сарайкин Александр Иванович. - ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, 2017.- 189 с.

63. Саркисов, П.И. Расчётно-экспериментальный метод моделирования нестационарного качения автомобильного колеса по недеформируемому опорному основанию: дисс. канд. техн. наук: 05.05.03 / Саркисов Павел Игоревич. - М., 2014. – 167 с.

64. Седов, А.В. Сравнительный анализ противогололедных материалов по критерию безопасности движения / А.В. Седов // Вестник ХНАДУ, Харьков. - 2005. С. 104-106.

65. Сильянов, В.В. О прогнозе дорожно-транспортной аварийности в российской федерации в 2019 году / В.Т. Капитанов, В.В. Сильянов, А.Б. Чубуков, О.Ю. Моница // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2019. № 3 (89). С. 2-4.

66. Столяров, В.В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий на основе теории риска: учебное пособие / В.В. Столяров – Саратов: 1996. - 176 с.

67. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза: судеб.-эксперт. оценка действий водителей и др. лиц, ответств. за обеспечение безопасности дорож. движения, на участках ДТП / Ю.Б. Суворов.- Москва: 2004. - 202 с.

68. Суворов, Ю.Б. Применение дифференцированных значений времени реакции водителя в экспертной практике: методические рекомендации ВНИИ судебных экспертиз, 1987. Переработанные и дополненные изданием работы «Применение дифференцированных значений времени реакции водителя в

экспертной практике» (М., 1983) / Ю. Б. Суворов, А.К. Гордеева, Н.М. Кристи, Е.М. Лобанов. - М., ВНИИСЭ, 1987. - 20 с.

69. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Экспертное исследование обстоятельств дорожно-транспортных происшествий, совершенных в нестандартных дорожно-транспортных ситуациях или в особых дорожных условиях: в помощь экспертам / Ю. Б. Суворов, И.И. Чава. - ГУ М. РФЦСЭ, 2003. - 114 с.

70. Сютова, Е.А. Сравнительные испытания новых противогололедных материалов разного состава / Е. А. Сютова, Н.М. Алыков // Журнал «Экология и промышленность России», АГУ, Астрахань. - 2012.- С. 47-51.

71. Требования к противогололедным материалам: [отрасл. дор. методич. документ: утв. распоряж. Минтранса РФ от 16 июня 2003 г.]. М. Информавтор, - 2003.- 72 с.

72. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств». ТР ЕАЭС 018/2011, М., - 2011.

73. Фалькевич, Б.С. Теория автомобиля: учебник для вузов / Б.С. Фалькевич. - М.: Машгиз, 1963. – 239 с.

74. Федотов А.И., Громалова В.О. // Влияние работы ABS на тормозную эффективность и устойчивость автомобиля // Вестник ИрГТУ. Выпуск №8.- Иркутск: 2013 - С. 130-133.

75. Федотов, А.И. Основы научных исследований: учебно-методическое пособие / А. И. Федотов. Изд-во ИрГТУ, Иркутск: 2012.- 122 с.

76. Федотов, А.И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобиля: учебник / А.И. Федотов. Изд-во ИрГТУ, Иркутск: 2016. - 288 с.

77. Федотов, А.И. Повышение эффективности работы антиблокировочных систем при колебаниях нормальной нагрузки на колесах автомобиля: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Федотов Александр Иванович. - М., МАМИ, 1986. – 185 с.

78. Федотов, А.И. Математическое моделирование процессов функционирования автомобилей: учебное пособие / А.И. Федотов, А.В. Бойко. –

ИрГТУ: 2016. – 160 с.

79. Федотов А.И., Громалова В.О. / Моделирование процесса торможения автотранспортного средства с антиблокировочной системой // Особенности эксплуатации автотранспортных средств в дорожно-климатических условиях Сибири и Крайнего Севера. Проблемы сертификации, диагностики, контроля технического состояния: материалы 83-й Международной научно-технической конференции ААИ. - Иркутск: ИрГТУ, 2013. - С. 244-256.

80. Федотов, А.И. Воспроизводимость результатов измерений параметров тормозной системы автомобиля на тормозном стенде с беговыми барабанами / А.И. Федотов, А.В. Бойко, А.С. Потапов // Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования: материалы международная научно практическая конференция Иркутск, ИрГТУ. 2007.- С. 26 - 32.

81. Федотов, А.И. О повторяемости измерений параметров процесса торможения автомобиля на стенде с беговыми барабанами / А.И. Федотов, А.В. Бойко, А.С. Потапов // Вестник ИрГТУ, Иркутск. - 2008. - Т. 33. N 1.- С. 63-71.

82. Федотов, А.И. Причины неповторяемости диагностических параметров процесса торможения автомобиля на стенде с беговыми барабанами / А.И. Федотов, А.В. Бойко, А.С. Потапов // Вестник ИрГТУ, Иркутск. 2008. - N 1.- С. 63-71.

83. Федотов, А.И. Экспериментальные исследования процесса взаимодействия эластичного колеса с беговым барабаном и дорогой / А.И. Федотов, А.В. Бойко, В.П. Халезов // Вестник ИрГТУ, Иркутск . - 2012. - N 9 (68). - С. 157-163.

84. Федотов, А.И. Шинный тестер для экспериментального исследования сцепных свойств автомобильных шин с дорогой, покрытой химическими противогололедными материалами / А.И., Федотов С.М. Гергенов, Ж.В. Дарханов // в сборнике: Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации Материалы 99-й Международной научно-технической кон-

ференции ИРНИТУ; под общей редакцией А.И. Федотова. Вестник ИрГТУ, Иркутск. - 2017.- С. 150-159.

85. Федотов, А.И. Анализ конструктивных возможностей площадочных стендов для контроля тормозных систем легковых автомобилей // А.И., Федотов, Н.А., Демин, К.С. Фоменко / в сборнике: Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации Материалы 99-й Международной научно-технической конференции ИРНИТУ. Вестник ИрГТУ, Иркутск. - 2017.- С. 143-150.

86. Федотов, А.И. Обоснование конструкции стенда для контроля эффективности торможения АТС с АБС / А.И. Федотов, Е.М. Портнягин // Технические науки, технологии и экономика: материалы межрегион. науч.-практ. конф. Чита: ЧитГТУ. - 2002. - Ч. IV.- С. 115-127.

87. Федотов, А.И. Качение тормозящего колеса, нагруженного переменной нормальной нагрузкой / А.И. Федотов, А.Б. Дик // Активная и пассивная безопасность и надежность автомобиля: сб. науч. тр. М.: МАМИ. - 1984. С. 94-110.

88. Чава, И.И. Судебная автотехническая экспертиза. Исследование обстоятельств ДТП: учебно-методическое пособие / И.И. Чава. - Библиотека эксперта: 2007.- 98 с.

89. Чудаков, Е.А. Качение автомобильного колеса / Е.А. Чудаков. - М.: Машгиз, 1947. - 72 с.

90. Bakker, E. A new tire model with an application in vehicle dynamics studies / E. Bakker, H. Pacejka, L. Lidner. SAE Technical Paper 890087. 1989.

91. Böhm, F. Grund lagender Roll dynamikv on Luftreifen / F. Böhm M. Eichler K. Kmoch // Fort schritteder Kraftfahrzeug technik 1. Fachtagung Fahrzeug-Dynamik. Essen Hausder Technik. - 1988.- Pp. 3-34.

92. Broulhiet, G. La suspension de la direction de la voiture automobile. Schimmi et dandinement. / Société des ingénieurs civils de France. 1925. Bul. 78.

93. Dugoff, H. Tire performance characteristics affecting vehicle response to steering and braking control inputs. final report / H. Dugoff, P. Fancher L. Segel. -

Technical Report. Highway Safety Research Institute, Ann Arbor. Michigan, 1969.

94. Faria L., Tire modeling by finite elements / L.O. Faria, J. T. Oden Yavari // Tire Science and Technology. - 1992. - Vol. 20, N 1. Pp. 33-56.

95. Fiala, E. Seitenkräfte am rollenden Luftreifen: VDI Zeitschrift / Fiala, E. - 1954.

96. Gipser M. Tyre Forces Responseto Road Unevennesses: VDI Zeitschrift / M. Gipser R. Hofer P. Lugner.

97. Gromalova V., Influence Of Deicing Chemicals Contaminating Automobile Headlamps On Light Intensity / A. Fedotov, M. Korniyakov, V. Gromalova, S. Gergenov // Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). - 2018 - Pp. 141-146.

98. Gromalova V., Influence of Headlight Contamination on the Stopping Distance and Maximum Allowable Speed on Roads Covered with Chemical Anti-Icing Materials / A. Fedotov, V. Gromalova, S. Gergenov //Advances in Engineering Research: International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). - 2019. - Vol. 188.

99. Gromalova V. Mathematical description of automobile headlight contamination when driving on a wet road / Vlasov V.G., Fedotov A.I., Gromalova V.O., Gergenov S.M. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference Aviation Engineering and Transportation, (AviaEnT 2020) -2021. Tom 1061, № 19 №012041.

100. Gromalova, V. On impact of vehicle headlights contamination with products of road chemical deicing agents upon pedestrian visibility on unlit roads / V. Gromalova, A. Fedotov, S. Gergenov, V. Zedgenizov, V. Neskromnykh // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. Tom 632 № 012056.

101. Pacejka, H. Tyre and Vehicle Dynamics. Elsevier BH : TU Delft / H. Pacejka. - 2002. - 3rd ed. P. 642.

102. Rothert, H. On the contact problem of tires, including friction / H. Rothert, H. Idelberger, W. Jacobi, G. Laging // Tire Science and Technology. - 1985. -

Vol. 13. N 2. - Pp. 111-123.

103. <https://big5.ru/peshehody-na-doroge/> - в общем доступе. [Электронный ресурс].
104. <https://mineavto.ru/infografika/infografika-kakuyu-odezhdu-nosit-peshehodu-v-temnote-1955.html> - в общем доступе. [Электронный ресурс].
105. <https://infourok.ru/pamyatka-dlya-peshehodov-bezopasnaya-odezhda-peshehodov-3838791.html> - в общем доступе. [Электронный ресурс].
106. www.rgk-tools.com в общем доступе. [Электронный ресурс].

Обработка результатов процесса торможения колеса с шиной модели TOYO STUDLESS GARIT G4 в составе ABS на стенде с беговым барабаном

Исследования процесса торможения испытания шин модели TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14 для автомобиля Toyota Fun Cargo выполняли с целью получения параметров, необходимых для расчетов на математической модели.

Стендовые испытания шин проводили в лаборатории кафедры Автомобильного транспорта ИРНИТУ на шинном тестере по методике, изложенной в разделе 3.5. третьей главы.

Очевидно, что испытание шипованных шин на стенде может очень быстро разрушить фрикционную поверхность его бегового барабана. Поэтому в испытании использовали не шипованный вариант шины модели TOYO STUDLESS GARIT G4. Торможение колеса с данной шиной выполняли в составе штатной ABS автомобиля Toyota Fun Cargo при следующих условиях:

- начальная (*перед началом торможения*) угловая скорость бегового барабана - $\omega_{б6}$ соответствовала линейной скорости движения автомобиля, равной 89,4 км/час, или 27,6 м/с;
- угловая скорость бегового барабана в конце торможения $\omega_{б6} = 0$ км/час;
- нормальная нагрузка на колесо $R_z = 3,0$ кН;
- давление воздуха в шине 0,2 МПа;
- температура среды $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

В процессе торможения колеса в составе ABS измеряли следующие параметры: R_x – тормозную силу (*реализованную касательную реакцию*); ω_k – угловую скорость колеса; $\omega_{б6}$ - угловую скорость бегового барабана стенда.

Результаты испытаний процесса торможения колеса с шиной TOYO

STUDLESS GARIT G4 в составе штатной ABS автомобиля Toyota Fun Cargo на стенде «Шинный тестер» ИРНИТУ приведены на рис. П1.

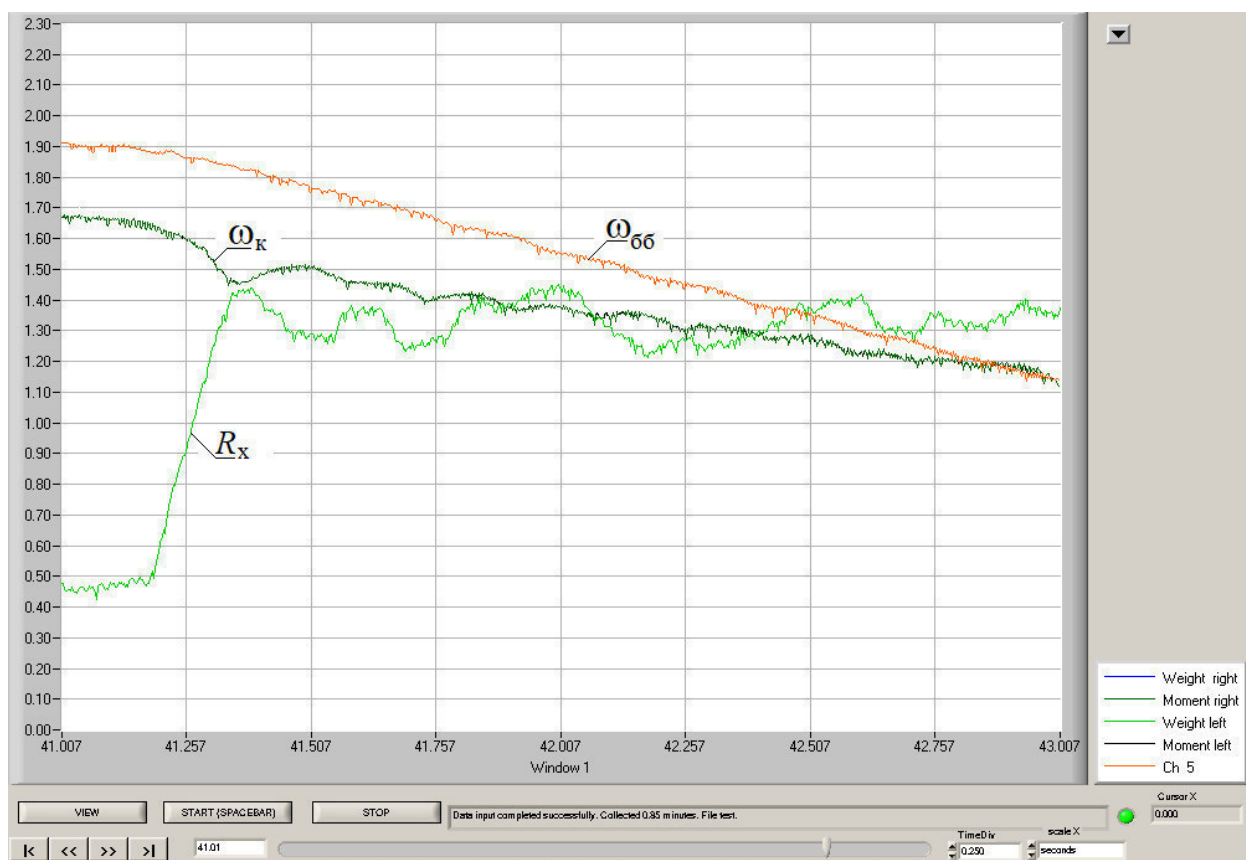


Рис. П1. Скриншот экрана с записью параметров процесса торможения колеса с шиной модели TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14 в составе ABS автомобиля Toyota Fun Cargo на шинном тестере кафедры Автомобильного транспорта ИРНИТУ: R_x – тормозная сила (*реализованная касательная реакция*); ω_k – угловая скорость колеса; ω_{66} – угловая скорость бегового барабана стенда.

Результаты стендовых испытаний процесса торможения колеса с шиной TOYO STUDLESS GARIT G4 в составе штатной ABS автомобиля Toyota Fun Cargo, а также и без ABS (*торможение до блока*) были преобразованы в числовые массивы и графики. Для этого использовали программную среду в Microsoft Excel. Затем в среде Microsoft Excel рассчитывали режимы торможения колеса, которые количественно отражает проскальзывание S шины относительно опорной поверхности. Проскальзывание S шины рассчитывали с использованием известной

формулы [29, 73, 87]:

$$S = 1 - \frac{\omega_k \cdot r_{ko}}{\omega_b \cdot r_{bo}} \quad (1)$$

где: r_{ko} - силовой радиус колеса;

r_{bo} - радиус бегового барабана;

ω_k - угловая скорость колеса;

ω_b - угловая скорость бегового барабана.

Рассчитанные режимы торможения колеса в виде проскальзывания S дали возможность пересчитать осциллограммы процесса торможения колеса в графики, построенные в координатах «Сила – Проскальзывание», или $R_x = f(s)$. Один из таких графиков представлен на рис. П2.

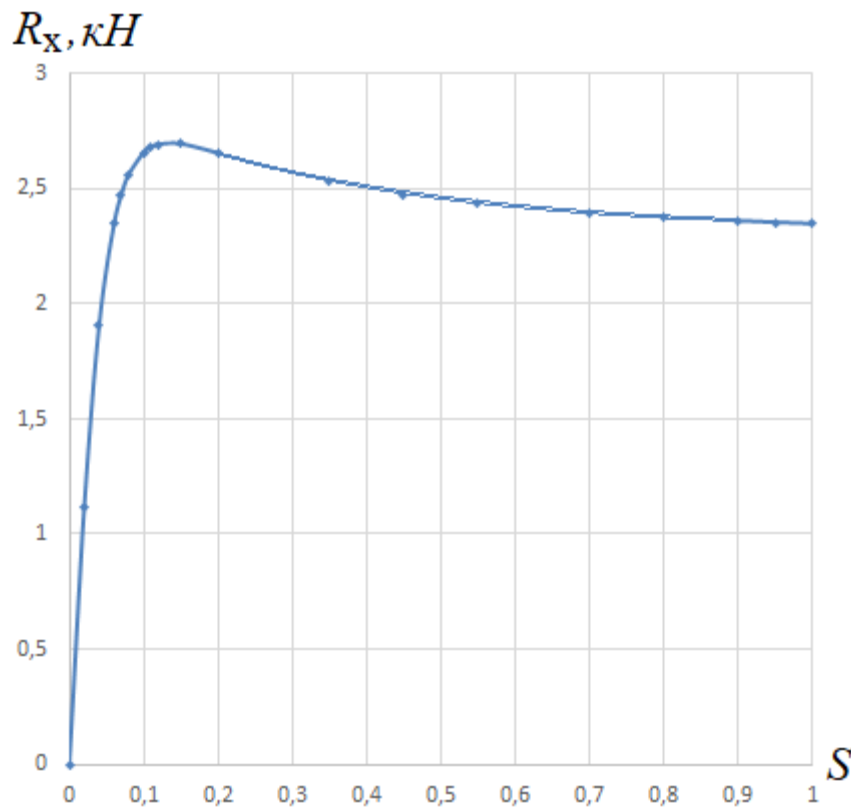


Рис. П2. График процесса торможения колеса с шиной модели TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14 в координатах «Сила – Проскальзывание», или $R_x = f(s)$.

Этот график был пересчитан в $(\varphi - s)$ – диаграмму, или основную фрикционную характеристику эластичной шины TOYO STUDLESS GARIT G4. Для этого каждое значение *реализованной касательной реакции* R_x

поделили на величину нормальной нагрузки на колесо $R_z = 3,0 \text{ кН}$:

$$\varphi = \frac{R_x}{R_z} \quad (2)$$

Это позволило построить график $(\varphi - s)$ – диаграммы, вид которого приведен на рис. П.3.

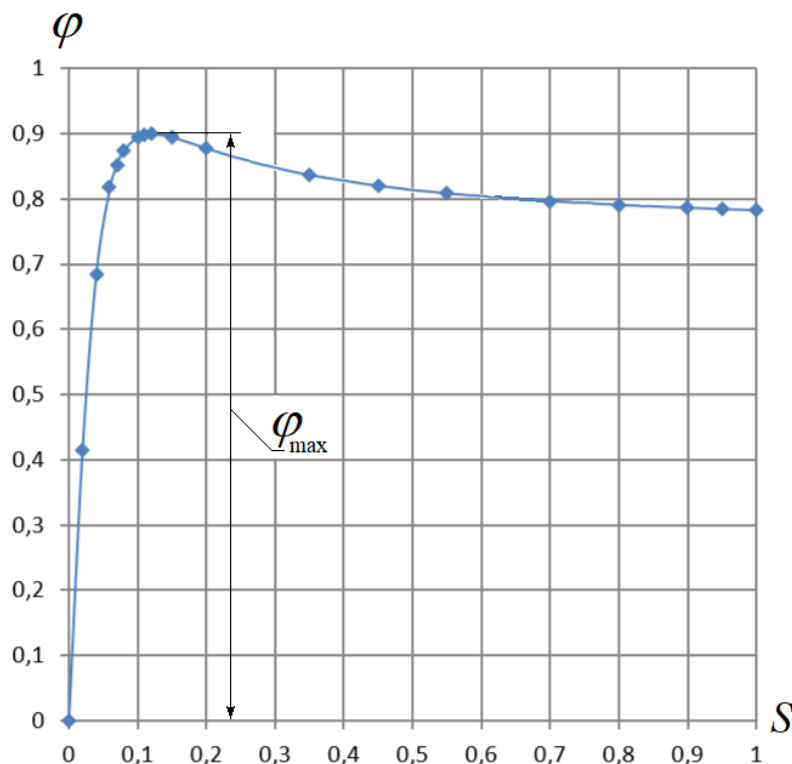


Рис. П.3. График $(\varphi - s)$ – диаграммы, или фрикционная характеристика эластичной шины TOYO STUDLESS GARIT G4

На графике $(\varphi - s)$ – диаграммы шины TOYO STUDLESS GARIT G4 было отмечено максимальное значение коэффициента сцепления шины - $\varphi_{\max}$ (см. рис. П.3). Величина максимального значения коэффициента сцепления шины $\varphi_{\max}$ является одним из важнейших параметров, используемых в математическом описании фрикционных характеристик шины. Для шины TOYO STUDLESS GARIT G4, размером 185/65 R14 максимальное значение коэффициента сцепления шины $\varphi_{\max} \approx 0,9$.

На следующем этапе, график $(\varphi - s)$ – диаграммы (рис. П.3) был пронормирован по максимальному значению коэффициента сцепления $\varphi_{\max}$.

Это было сделано в соответствие с требованиями, изложенными в математическом описании фрикционных характеристик исследователя А.Б. Дика, изложенными в разделе 2.2.2. второй главы диссертации.

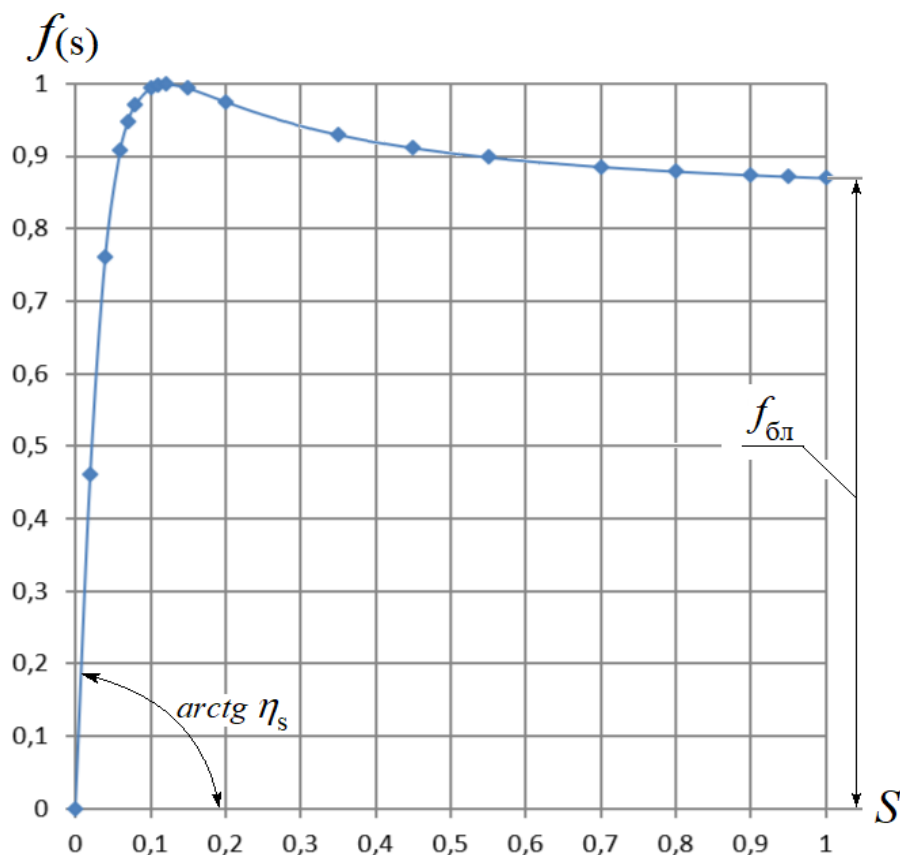


Рис. П.4. График нормированной $f(s)$ – диаграммы шины TOYO STUDLESS GARIT G4.

Полученный график нормированной $f(s)$ – диаграммы шины TOYO STUDLESS GARIT G4 позволил с его помощью получить два важнейших числовых коэффициента, которые позволяют описывать фрикционные характеристики колеса с эластичной шиной, используя математическое описание А.Б. Дика:

- 1) Коэффициент жесткости проскальзывания $\eta_s = 22,3$;
- 2) Коэффициент снижения фрикционных свойств шины в блоке $f_{\text{бл}} = 0,87$.

Оба эти коэффициента легко определяются по графику рис. П.4. Первый коэффициент жесткости проскальзывания η_s определяют как тангенс угла наклона графика $f(s)$ – диаграммы к оси ординат, или как частное от деления приращения ординаты графика Δf на приращение его абсциссы Δs

при $S \rightarrow 0$.

Численное значение коэффициента снижения фрикционных свойств шины в блоке $f_{\text{бл}}$ также легко находят по графику (см. рис. П.4) [25, 26].

Полученные коэффициенты φ_{max} , η_s и $f_{\text{бл}}$ были использованы в математической модели (см. п. 2.2.2. второй главы) для аналитических исследований процесса торможения автомобилей.

«Утверждаю»

Директор
ООО "ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ
ЦЕНТР СУДЕБНОЙ
ЭКСПЕРТИЗЫ"

М.Н. Токарев

«29» 2023 г.



«Утверждаю»

Ректор ФГБОУ ВО «ИрНИТУ»

М.В. Корняков

«25» 2023 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы аспиранта кафедры
Автомобильный транспорт ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
Громаловой Виктории Олеговны

1. Наименование работы: «Уточненная методика экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в ночное время на дорогах покрытых химическими противогололедными материалами».
2. Наименование предприятия (организации), где осуществлялось внедрение: ООО "ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ ЦЕНТР СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ", 672023, г. Чита, ул. Красноярская, д. 6, пом. 2.
3. Наименование организации, выполняющей научно-исследовательскую работу: ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83.
4. Краткое описание работы: Уточненная методика экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в темной одежде в ночное время на дорогах покрытых химическими противогололедными материалами прошли проверку и внедрены в работу ООО "ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ ЦЕНТР СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ", г. Чита. Её экспериментальная проверка показала, что погрешность определения расстояния видимости водителем автомобиля с загрязненными фарами пешехода в темной одежде, в темное время суток на неосвещенном участке дороги, покрытой ХПГМ, в процентном выражении может быть снижена в два раза.

Начальник отдела автотехнических
экспертиз

ООО "ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ ЦЕНТР
СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ"

В.П. Нескоромных

«26» сентября 2023 г.



Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «ИрНИТУ»

А.М. Кононов

«25» 2023 г.



«БЮРО СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ»

Индивидуальный предприниматель Родак Владимир Юрьевич

ОГРИП 320032700001593, ИНН 032601826796

664035, г. Иркутск, ул. Рабочего Штаба, 111, оф.9. Тел.: 89025341640, bse241640@mail.ru

Р/счет 40802810718350042714, БИК 042520607, корр. счет 30101810900000000607, Байкальский банк ПАО СБЕРБАНК



«Утверждаю»

Руководитель «Бюро судебной экспертизы»

В.Ю. Родак

« 10 » 2023 г.



«Утверждаю»

Ректор ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

М.В. Корняков

« 10 » 2023 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы аспиранта кафедры Автомобильный транспорт ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Громаловой Виктории Олеговны

1. Наименование работы: «Уточненная методика экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в ночное время на дорогах покрытых химическими противогололедными материалами».
2. Наименование предприятия (организации), где осуществлялось внедрение: «Бюро судебной экспертизы» (ИП Родак В.Ю.) 664035, г. Иркутск, ул. Рабочего Штаба, 111, оф.9.
3. Наименование организации, выполняющей научно-исследовательскую работу: ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83.
4. Краткое описание работы: Методика определения расстояния видимости водителем автомобиля пешехода в темной одежде в ночное время на проезжей части дороги, обработанной химическими противогололедными материалами на основе соли, при разных уровнях загрязнения фар, прошла проверку и внедрена в работу «Бюро судебной экспертизы» (ИП Родак В.Ю.) г. Иркутска. Методика позволяет почти в два раза сократить погрешность определения расстояния видимости водителем пешехода в названных дорожных условиях, что делает экспертизу значительно объективной.

Эксперт-автотехник

В.Ю. Родак
« 3 » 10 2023 г.

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

А.М. Кононов
« 3 » 10 2023 г.



«С подтверждаю»

Ректор ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

М.В. Корняков

о внедрении в учебный процесс кафедры «Автомобильный транспорт» института Авиамашиностроения и транспорта ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» результатов диссертационной работы Громаловой Виктории Олеговны, выполненной на тему «Уточненная методика экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в ночное время на дорогах покрытых химическими противогололедными материалами»

Комиссия в составе проректора по учебной работе ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» Смирнова В.В., директора института Авиамашиностроения и транспорта, профессора Пашкова А.Е., заместителя заведующего кафедрой «Автомобильный транспорт», доцента Колганова С.В. составили настоящий акт о внедрении и использовании теоретических материалов диссертационной работы Громаловой В.О., в том числе методики экспертиз дорожно-транспортных происшествий с наездом автомобиля на пешехода в ночное время на неосвещенных дорогах, покрытых химическими противогололедными материалами.

Методика позволяет устанавливать расстояние видимости водителем пешехода на проезжей части дороги, обработанной химическими противогололедными материалами в ночное время и безопасную скорость движения, что способствует повышению объективности заключений дорожно-транспортных экспертиз ДТП, оформляемых в экспертных учреждениях, в процессе обучения во время лекционных и практических занятий по дисциплинам «Экспертиза дорожно-транспортных происшествий», «Теория эксплуатационных свойств колесных транспортных средств», при подготовке студентов по направлению 23.03.01 «Технология транспортных процессов» института Авиамашиностроения и транспорта ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО ИРНИТУ

В.В. Смирнов

Директор института Авиамашиностроения
и транспорта, профессор

А.Е. Пашков

Заместитель заведующего кафедрой
«Автомобильный транспорт»

С.В. Колганов