

На правах рукописи



Кастырин Дмитрий Юрьевич

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНОСТИ
ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических наук

Орел – 2019

Работа выполнена на кафедре автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Научный руководитель: **Волков Владимир Сергеевич,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Басков Владимир Николаевич,**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Шевцова Анастасия Геннадьевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация и организация движения транспорта» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», г. Белгород

Ведущая организация: Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Защита состоится **«16» января 2020 г. в 11.00 часов** на заседании объединённого диссертационного совета Д 999.111.03 по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орёл, ул. Московская, 77.**

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте (<http://oreluniver.ru>) ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» и в Фундаментальной библиотеке университета.

Автореферат разослан 2019 г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<http://vak.ed.gov.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Телефон для справок +7(905)856-65-56. E-mail: srmostu@mail.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.111.03



А.Н. Новиков

1 Общая характеристика работы

Актуальность темы. Рост интенсивности транспортных потоков и пешеходного движения на пешеходных переходах определяет увеличение числа дорожно-транспортных происшествий, что вызывает необходимость научного подхода к оценке опасности конфликтных точек, образующихся на пересечениях траекторий движения потенциальных участников конфликтов. В качестве участников конфликтных ситуаций можно рассматривать переходящих проезжую часть по переходу пешеходов и пропускающих их автомобилей, а также движущихся по дорожному пересечению транспортных средств с пересекающимися траекториями движения. Исходя из этого, конфликтные ситуации можно рассматривать по двум разновидностям: «Автомобиль - пешеход» и «Автомобиль - автомобиль». В современных условиях при оценке опасности расположения пешеходных переходов и транспортных пересечений обычно используются статистические показатели по годовому учёту дорожно-транспортных происшествий без углублённого анализа, учитывающего наличие многих сопутствующих факторов, базирующихся на показателях интенсивности потоков транспорта и пешеходов, ограничений скоростного режима движения транспорта, превышения установленного скоростного режима, состояния дорожного полотна и условий видимости. При проектировании мест расположения нерегулируемых пешеходных переходов и пересечений автомобильных дорог, без наличия статистических данных невозможно установить уровень опасности таких объектов.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости поиска эффективных решений по повышению безопасности дорожных транспортных пересечений на основе прогнозирования опасности образующихся при этом конфликтных точек.

В настоящей работе предлагается программа расчёта прогнозных оценок опасности существующих и проектируемых нерегулируемых пешеходных переходов и дорожных пересечений на основе систематизации определяющих факторов в режиме реального времени. Данный подход позволяет своевременно принимать решения по изменению режимов движения транспорта, а также переводить нерегулируемые пешеходные переходы и дорожные пересечения в режим регулируемых. Указанные обстоятельства свидетельствуют об актуальности и своевременности темы исследований.

Степень разработанности и темы исследования

Наибольший вклад в исследование проблем повышения безопасности движения внесли следующие отечественные и зарубежные учёные:

- классическая теория транспортной науки на основе моделирования транспортных потоков и их взаимодействия с пешеходными потоками – В.Ф. Бабков, П.Г. Буга, С.А. Евтюков, В.В. Зырянов, В.А. Иларионов, Г.И. Клишковштейн, В.Э. Клявин, В.И. Коноплянко, В.А. Корчагин, Ю.А. Кременец, В.В. Лукьянов, А.Н. Новиков, А.М. Плотников, Т. Berg, E. Kopits, R/ Weber;

- исследование теории и методологии построения интеллектуальных транспортных систем – С.В. Жанказиев, Ю.Н. Ризаева, П. Прижибл;

- исследование теории взаимодействия транспортных и пешеходных потоков – П.Г. Буга, В.Г. Григорян, В.Г. Живоглядов, И.К. Коршаков, С.П. Озорнин, А.В. Симаков, Е.Н. Чикалин;

- исследование теории прогнозирования ситуаций в работе транспорта – И.В. Атласов, В.С. Волков А.С. Забышный.

Целью исследования является усовершенствование способа обеспечения безопасных условий движения автомобилей и пешеходов, снижение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Для достижения обозначенной цели в данной работе были **поставлены и решены следующие взаимосвязанные задачи** по сформулированной научной проблеме в рамках принятой системной методологии:

- проведение анализа теоретических и научно-практических подходов к оценке опасности взаимодействия транспортных и пешеходных потоков с выявлением возможных направлений повышения безопасности движения;

- составление банка экспериментальных данных, определяющих изменение состава участников движения по времени суток с выявлением из их числа групп, создающих угрозу безопасности движения;

- совершенствование системы и методов прогнозирования опасности пешеходных переходов и перекрёстков на основе использования теоретических положений и систематизированных экспериментальных данных;

- разработка научно-практических рекомендаций по использованию прогнозных моделей показателей опасности пешеходных переходов и перекрёстков в режиме реального времени;

- апробация усовершенствованного способа оценки опасности мест взаимодействия транспортных и транспортно-пешеходных потоков с возможностью разработки решений по локализации возникающей опасности.

Объект исследования: пешеходные переходы и перекрёстки улично-дорожной сети г. Воронежа.

Предмет исследования: улично-дорожная сеть города, пешеходные и транспортные потоки.

Рабочая гипотеза, заложенная в основу диссертационного исследования, связана с предположением о влиянии состава участников пешеходных и транспортных потоков по признакам их действий в соблюдении требований ПДД на риски возникновения ДТП и о возможности повышения БДД за счет прогнозирования опасности пешеходных переходов и перекрёстков на разных стадиях их жизненного цикла.

Научная новизна состоит:

- в теоретическом обосновании повышения безопасности движения на базе учёта факторов, определяющих источники риска возникновения ДТП;

- в систематизации состава участников пешеходных и транспортных потоков по их реакциям на появление фактора скрытой опасности;

- в разработке системы расчётного моделирования по оценке уровня опасности пешеходных переходов и перекрёстков;

- в получении экспериментальных зависимостей, характеризующих количественную оценку участников пешеходных и транспортных потоков, создающих угрозу возникновению риска ДТП;

- в совершенствовании метода прогнозного расчёта опасности пешеходных переходов и перекрёстков для определения наиболее опасных временных промежутков в режиме реального времени.

Теоретическая и практическая значимость выражается:

- в обосновании выбора методических положений, определяющих вид расчётного моделирования показателей опасности пешеходных переходов и перекрёстков на основе перечня источников риска возникновения ДТП;

- в получении оценок опасности конфликтных точек на пешеходных переходах и перекрёстках в режиме реального времени;

- в создании программного продукта прогнозного моделирования, позволяющего определять уровень опасности пешеходных переходов и перекрёстков по входным характеристикам источников риска ДТП;

- в коррекции порогового значения рекомендованного критерия, определяющего необходимость переключения режимов движения пешеходов и автомобилей от нерегулируемого к регулируемому режиму и наоборот.

Методы исследований. Для решения поставленных в диссертационной работе задач в процессе теоретических исследований использовались методы: теории транспортных и пешеходных потоков, методы математического моделирования, теории риска и математической статистики.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Теоретическое обоснование повышения безопасности движения на основе использования метода расчётного моделирования, позволяющего определять уровень опасности конфликтных точек на пешеходных переходах и перекрёстках в режиме реального времени.

2. Усовершенствованные методы оценки опасности конфликтных точек пешеходных переходов и перекрёстков по видам конфликтов между участниками движения.

3. Программный продукт, позволяющий определять прогнозные оценки уровня опасности проектируемых пешеходных переходов и перекрёстков.

4. Научно-практические рекомендации по использованию прогнозного моделирования уровня опасности пешеходных переходов и перекрёстков на основе разработанного программного продукта.

Апробация работы. Основные положения диссертации изложены и обсуждены на международной научно-технической конференции «Автомобильный транспорт сегодня: проблемы и перспективы» в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» в 2015, на международной научно-технической конференции «Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования» в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» в 2016...2017 годах, на международной научно-технической конференции «Научно-технические аспек-

ты инновационного развития транспортного комплекса» в Донецкой академии транспорта в 2017...2018 годах, на международной научно-технической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» в Орловском государственном университете имени И.С. Тургенева (г. Орёл) в 2016...2019 годах, в Липецком государственном техническом университете на 1 Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» 12-13 декабря 2018 г. и 22-23 мая 2019 г.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают паспорту научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» по п. 5 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и п. 7 «Исследования в области безопасности движения с учётом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

Реализация результатов. Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в системе регулирования движения Управления ГИБДД по Воронежской области, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», «Липецкий государственный технический университет».

Публикации. По теме диссертации опубликованы 22 печатные работы, в числе которых 3 работы размещены в изданиях, определённых в перечне ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ, получено 5 свидетельств о регистрации расчётных программ для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка использованных источников и приложений. Работа содержит 166 страниц формата А4, в том числе 132 страницы основного текста, 36 рисунков, 10 таблиц, 4 приложений и 131 наименование использованных источников.

2 ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены: обоснование необходимости прогнозирования опасности дорожных пересечений в режиме текущего времени; актуальность темы исследования; степень её разработанности; цель и задачи; научная новизна; теоретическая и практическая значимость работы; методы исследования; положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов и публикациях по теме исследования.

В первой главе рассмотрены актуальные вопросы совершенствования путей и методов оценки опасности конфликтных точек на дорожных пересечениях по видам конфликтных ситуаций «автомобиль-пешеход» и «автомобиль-автомобиль».

Внедрение научных разработок последнего времени позволило в значительной мере снизить негативные моменты в процессе дорожного движения, однако, качественное и количественное изменение состава транспортных потоков,

повышение интенсивности движения транспорта и пешеходов, вызывает появление новых задач и необходимости их решения. В определённой мере проведенные ранее исследования в области повышения безопасности дорожного движения являются фундаментальной основой для решения новых задач указанного направления.

На основании проведенного анализа теоретических и экспериментальных исследований по определению факторов опасности пешеходных переходов и перекрёстков дорог, можно обозначить следующие положения.

В качестве основной проблемной ситуации данного исследования выступает отсутствие прогнозных величин показателей опасности дорожных пересечений и образованием конфликтных точек по двум видам конфликта: «Автомобиль-пешеход» и «Автомобиль-автомобиль».

Стремление к снижению числа конфликтных точек на дорожных пересечениях вынуждает организаторов движения вводить определённые ограничения по разрешённым направлениям движения на перекрёстках и скоростному режиму. Указанные мероприятия дают определённый эффект, однако, научно обоснованные рекомендации для назначения точных границ ограничения скоростного режима и их вариаций по времени суток в настоящее время отсутствуют. Также отсутствуют научно обоснованные рекомендации, определяющие границы перехода от нерегулируемого режима работы пешеходного перехода к регулируемому режиму и, наоборот, в зависимости от нагрузки на переход по величинам интенсивности движения пешеходов и автомобилей.

Данная задача предопределяет необходимость разработки системы прогнозирования опасности пешеходных переходов и перекрёстков на основе систематизации экспериментальной статистической информации о базе данных ДТП и натурных обследований с возможностью аппроксимации результатов на проектируемые участки дорог с повышенной опасностью.

По результатам литературного обзора поставлена цель и определены задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены вопросы формирования расчётной базы показателей опасности конфликтных точек на территориях пешеходных переходов и перекрёстков. Характеристики риска ДТП на конфликтных точках определялись в приведении к часовым интервалам в течение суток, по данным которых формировался мониторинг опасности исследуемого объекта. По данным статистической отчётности годовой показатель оценки риска ДТП на нерегулируемом пешеходном переходе

$$p_{\text{пг}} = \frac{n_{\text{дтп}}}{N_{\text{п}} M_a}, \quad (1)$$

где $n_{\text{дтп}}$ – среднестатистическое годовое количество ДТП на данном пешеходном переходе (ДТП/год); $N_{\text{п}}$ – среднегодовая интенсивность движения пешеходов по данному переходу (чел/год); M_a – среднегодовая интенсивность движения автомобилей по конфликтным точкам данного перехода (авт/год).

Определяемый по формуле (1) показатель риска ДТП на нерегулируемом пешеходном переходе может характеризовать среднюю годовую величину опасности перехода, но не может точно спрогнозировать мониторинг опасности объ-

екта по более коротким временным промежуткам. Однако данный показатель может использоваться в качестве средневзвешенной часовой характеристики возникновения ДТП на переходе,

$$P_{\text{пчср}} = \frac{n_{\text{дтп}}}{N_{\text{п}} M_{\alpha} 365 \cdot 24} . \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) ориентируются на количественный состав участников движения без учёта особенностей их качественного состава, определяющего среди них большую или меньшую склонность к реакции на возникновение скрытой опасности.

В отечественной литературе содержится относительно мало информации о ранжировании пешеходов и водителей транспорта по взаимодействию с фактором скрытой опасности. В англоязычной литературе рассматриваются принципы ранжирования участников движения по гендерным признакам, возрастным категориям, психологическим особенностям личности, однако, информации о разделении участников движения на группы по их реакции на появление фактора скрытой опасности не приводится.

Согласно результатам наблюдений, изложенным в главе 3 настоящей работы, поток пешеходов, переходящих проезжую часть по нерегулируемому переходу, можно разделить на следующие три группы.

1. Пешеходы, остановившиеся перед переходом и ждущие паузу в потоке автомобилей, при появлении которой, начинают движение по переходу.

2. Пешеходы, выполняющие требования Правил дорожного движения, осуществляющие движение по переходу, убедившись, что водители автомобилей в соответствии с требованиями ПДД их пропускают.

3. Пешеходы, осуществляющие движение по переходу без ощущения фактора скрытой опасности, не ориентирующиеся на движение автомобилей.

В любом варианте своего движения пешеходы реализуют своё право на переход проезжей части по нерегулируемому пешеходному переходу.

Как известно в качестве причин ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах рассматривается несоблюдение водителями требований Правил дорожного движения, к чему в качестве сопутствующих факторов можно отнести превышение установленного скоростного лимита. Кроме этого действие человеческого фактора проявляется при недооценке скрытой опасности, когда водитель ориентируется на пешеходов из группы 1, остановившихся у перехода, но не ступивших на переход и из этой группы неожиданно для водителей выделяются пешеходы из группы 3.

В среде водителей также можно выделить следующие психологические группы, относящиеся к человеческому фактору.

1. Водители, чётко соблюдающие требования ПДД, не превышающие скоростные ограничения, останавливающие транспортные средства перед переходом при наличии пешеходов группы 1, подошедших к переходу, но не решающихся начать движение.

2. Водители, не превышающие скоростные ограничения, но продолжающие движение при наличии пешеходов из группы 1, остановившихся перед пе-

реходом, но не ступившим на переход. При появлении пешеходов на переходе, водитель снижает скорость, либо останавливает автомобиль.

3. Водители, стремящиеся соблюсти требования ПДД, но систематически превышающие скоростные ограничения.

4. Водители, пренебрегающие требованиями ПДД и превышающие установленные скоростные ограничения.

При анализе ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах в качестве потенциальных виновников следует рассматривать водителей, относящихся к группам 3 и 4, пренебрегающих требованиями соответствующих пунктов ПДД. В качестве сопутствующего человеческого фактора можно рассматривать движение пешеходов из группы 3, не учитывающих действие фактора скрытой опасности.

С учётом указанного показатель риска ДТП на одной конфликтной точке нерегулируемого пешеходного перехода, располагаемой на одной полосе движения транспортных средств, за конкретный временной промежуток, образуется следующими функциями:

- интенсивностью потока пешеходов, относящихся к группе 3, не учитывающих фактора скрытой опасности;

- интенсивностью движения автомобилей по данной полосе, водители которых относятся к группе 2, не учитывающих фактор скрытой опасности при появлении на переходе пешеходов группы 3;

- интенсивностью движения автомобилей, водители которых относятся к группе 3, допускающие резкое торможение перед переходом;

- интенсивностью движения автомобилей по данной полосе, водители которых пренебрегают требованиями Правил дорожного движения.

С учётом указанных факторов годовой показатель риска ДТП на i -ой конфликтной точке нерегулируемого пешеходного перехода в интервале времени может рассматриваться в виде

$$p_i = \frac{n_{i \text{ дтп}} k_{пз} k_{ia3} k_{ia4} V_i k_{iv}}{N_{п} M_{ia} k_{ду} l_{ост}}, \quad (3)$$

где $n_{i \text{ дтп}}$ – среднестатистическое годовое количество ДТП на i -ой конфликтной точке пешеходного перехода (ДТП/год); $N_{п}$ – среднестатистическая часовая интенсивность движения пешеходов по пешеходному переходу (пеш/ч); M_{ai} – среднестатистическая часовая интенсивность движения автомобилей по i -ой конфликтной точке пешеходного перехода (авт/ч); V_i – действующее ограничение максимальной скорости движения транспорта на i -ой полосе (км/ч); $k_{ду}$ – коэффициент учёта дорожных условий, $k_{пз}$ – коэффициент учёта пешеходов из группы 3; k_{ia3} и k_{ia4} – коэффициенты учёта автомобилей из групп 3 и 4; k_{iv} – коэффициент превышения скорости.

Коэффициент учёта в общем потоке пешеходов группы 3, осуществляющих переход без ощущения скрытой опасности

$$k_{пз} = \frac{N_{пз}}{N_{п}}, \quad (4)$$

где $N_{пз}$ - интенсивность движения пешеходов из группы 3 (пеш₃/ч); $N_{п}$ – суммарная интенсивность движения пешеходов (пеш/ч).

Коэффициенты k_{ia3} и k_{ia4} учёта автомобилей групп 3 и 4, водители которых движутся по i -ой конфликтной точке с превышением скоростного режима, определяются по формулам

$$k_{ia3} = \frac{M_{ia3}}{M_{ia}}; \quad k_{ia4} = \frac{M_{ia4}}{M_{ia}} \quad (5)$$

где M_{ia3} и M_{ia4} – соответственно интенсивности движения автомобилей из групп 3 и 4 (авт/ч); M_{ia} - суммарная интенсивность движения автомобилей M_{ia} , проезжающих по i -ой конфликтной точке (авт/ч).

Коэффициент учёта превышения скорости водителями автомобилей относительно установленного лимита

$$k_{iv} = \frac{m_{v34}}{m_{vтп}}; \quad (6)$$

где m_{v34} – средняя скорость автомобилей из групп 3 и 4 (км/ч); $m_{vтп}$ - средняя скорость транспортного потока, проходящего через i -ую конфликтную точку (км/ч).

Коэффициент учёта дорожных условий

$$k_{ду} = \frac{\varphi_x}{\varphi_{x \max}}; \quad (7)$$

где φ_x - текущая величина коэффициента сцепления колёс с дорогой; $\varphi_{x \max}$ - максимальная величина коэффициента сцепления для сухого асфальта данного участка дороги.

Длина остановочного пути, соответствующая максимальной разрешённой скорости V_i и текущему коэффициенту сцепления колёс с дорогой

$$l_{ост} = \frac{\frac{V_i t_{рв}}{3,6} + \frac{V_i t_{рт}}{3,6} + \frac{V_i^2}{254 \varphi_x (1 \pm \sin \alpha)}}{1000}, \quad (8)$$

где $t_{рв}$ и $t_{рт}$ – соответственно промежутки времени реакции водителя и тормозной системы автомобиля (с); α - угол подъёма или уклона дороги: при наличии подъёма применяется знак (+), при наличии уклона (-); на горизонтальной дороге $\alpha = 0$.

В приведении к часовому интервалу формула (3) приобретает вид

$$p_i = \frac{n_{i \text{ дтп}} k_{пз} k_{ia34} V_i k_{iv}}{N_{п} M_{ia} k_{ду} l_{ост} 365 \cdot 24}. \quad (9)$$

При наличии на переходе n полос движения общий показатель риска ДТП на переходе можно рассматривать в виде суммы

$$p_{пч} = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (10)$$

С учётом выделенных особенностей человеческого фактора участников движения, климатических условий, а также часовых колебаний интенсивностей движения через переход пешеходов и автомобилей, можно определить мониторинг показателя риска ДТП на переходе с часовым, либо при необходимости с любым другим интервалом. Однако по данной, относительно малой, величине затруднительно принимать конкретные управленческие решения, направленные на организационные изменения режима движения.

В связи с указанным, в данном случае предлагается для оценки опасности движения по пешеходному переходу использовать относительный показатель - коэффициент опасности $K_{оп}$, определяемый по отношению расчётного часового показателя вероятности $p_{пч}$ ДТП на переходе к среднестатистическому годовому показателю риска, приведённому к часовому интервалу $p_{пчср}$,

$$K_{оп} = \frac{p_{пч}}{p_{пчср}}. \quad (11)$$

Пользование данной формулой позволяет определить состояние мониторинга коэффициента опасности пешеходного перехода с учётом влияния интенсивности движения пешеходов и автомобильного потока, климатического фактора, скоростного режима автомобилей, а также негативного действия превышения установленного ограничения скорости.

Как было установлено в ходе наблюдений, проводимых в течение шести недель весеннего периода, в пешеходном потоке доля пешеходов из группы 3, не сознающих фактор скрытой опасности при движении по переходу, составляет в приведении к часовым интервалам, от 3 до 18 процентов.

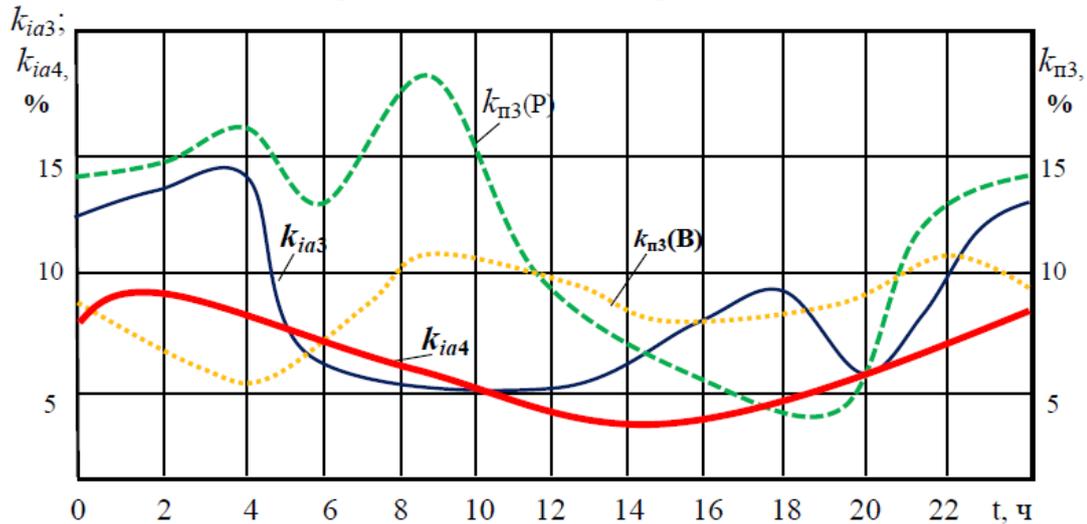


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов учёта в общем потоке автомобилей, водители которых относятся к группам 3 и 4 (k_{ia3} и k_{ia4}) и пешеходов из группы 3 от времени суток: $k_{п3}(P)$ – в рабочие дни; $k_{п3}(B)$ – в выходные дни

В зависимости от времени суток, как показано на рисунке 1, наблюдаются значительные колебания такого показателя. В зависимости от наличия дня недели, рабочего или выходного дня, состояния погодных условий, существенной разницы в изменениях коэффициента $k_{п3}$ выявлено не было, на основании чего можно заключить, что указанный коэффициент учёта в общем потоке пешеходов из группы 3 зависит, прежде всего от времени суток, но не зависит от дней недели и мало зависит от климатических факторов.

Наиболее высокий уровень пешеходов, практикующих переход проезжей части с пренебрежением фактора скрытой опасности, наблюдается в рабочие дни от 7 до 10 и от 22 до 4 часов. В выходные дни доля таких пешеходов в общем потоке снижается, однако, с 8 до 12 часов наблюдается некоторое возрастание коэффициента $k_{п3}$. При этом следует учесть, что в любом случае движение таких пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу способствует повыше-

нию опасности перехода, но не является нарушением Правил дорожного движения.

Как видно из рисунка 1, наибольшее количество нарушений водителями из группы 3, по превышению скоростного режима наблюдается в период с 23 часов до 4 часов утра и с 14 до 18 часов. При этом такие водители применяют резкое торможение при появлении пешеходов, либо прибегают к маневрированию, чтобы избежать наезда. Водители из группы 4, не пропускающие пешеходов, также движутся с превышением скоростного режима.

С учётом указанных входных функций и их изменений во времени суток с использованием формул (2); (3) и (12) можно определить прогнозный мониторинг коэффициента опасности нерегулируемого пешеходного перехода с часовым интервалом во времени суток.

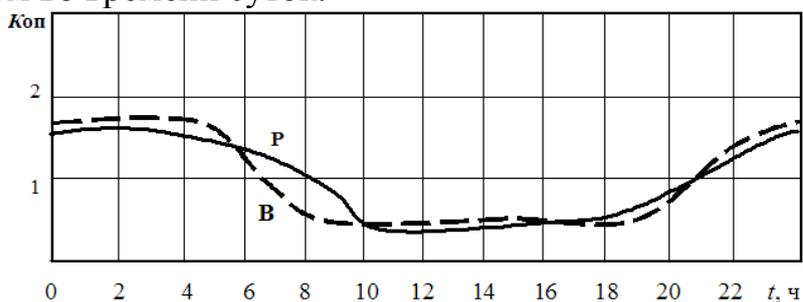


Рисунок 2 – Изменение коэффициента опасности ($K_{оп}$) на нерегулируемом пешеходном переходе по времени суток: **P** – рабочие дни; **B** – выходные дни

Как показывают результаты расчёта, изменение коэффициента опасности нерегулируемого пешеходного перехода наблюдается в диапазоне от 0,3 до 1,8. При этом наибольшую опасность представляют промежутки времени от 22 часов вечера до 7 часов утра следующих суток. Разность величины этого коэффициента в днях недели и чередовании рабочих и выходных дней незначительна и находится в диапазоне $\pm 12\%$. Увеличение коэффициента опасности перехода в ночное время объясняется, прежде всего ростом частоты нарушений водителями транспорта скоростного режима, а также некоторым увеличением доли пешеходов из группы 3, переходящих проезжую часть без внутреннего контроля и ощущения фактора скрытой опасности.

При рассмотрении вопроса действия скоростного ограничения перед переходом на уровень его опасности необходимо выяснение влияния фактора превышения отдельными водителями предписанного скоростного режима. При этом в качестве вариативного фактора был использован безразмерный коэффициент превышения скорости K_v , определяемый по формуле (6), по отношению средней скорости автомобилей, водители которых практикуют агрессивный стиль езды к средней скорости транспортного потока.

В данном случае в качестве входного вариативного фактора было назначено изменение коэффициента превышения скорости в пределах от 0,8 до 2,5. При скорости транспортного потока $v_{тп} = 40$ км/ч при превышении скорости отдельными водителями до 80 км/ч коэффициент опасности перехода возрастает от 0,2 до 1,5. При дальнейшем увеличении скорости транспортного потока наблюдается резкий нелинейный рост коэффициента опасности перехода. При скорости

транспортного потока перед переходом $V_{тп} = 80$ км/ч и отсутствии транспортных средств, водители которых превышают данный скоростной режим, коэффициент опасности перехода составляет $K_{оп} = 0,3$. При появлении в таком транспортном потоке водителей, практикующих превышение данного скоростного режима в два раза, то есть до 160 км/ч, коэффициент опасности перехода превышает $K_{оп} > 2,5$.

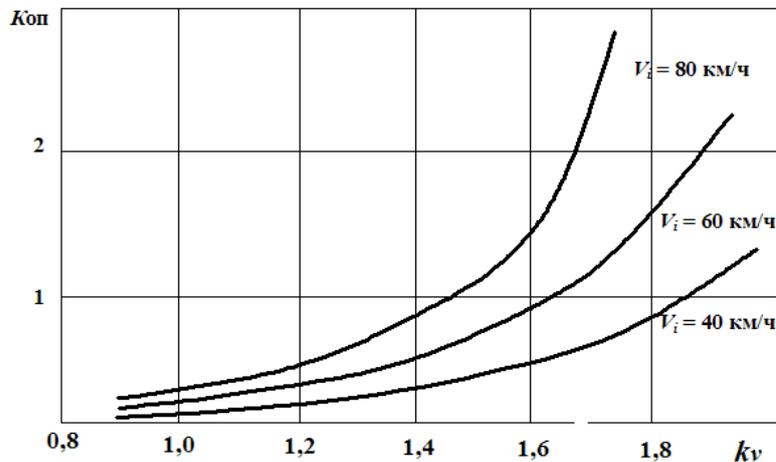


Рисунок 3 - Влияние коэффициента превышения скорости на уровень опасности нерегулируемого пешеходного перехода

Показанный на рисунке 3 график иллюстрирует, что основную опасность нерегулируемого пешеходного перехода формирует не столько ограничение верхнего предела скоростного режима, сколько превышение данного ограничения водителями, практикующими агрессивный стиль езды.

Показатель риска ДТП регулируемого перехода может рассматриваться в виде процесса, характеризуемого следующими четырьмя функциями, изменяющимися в границах временного интервала:

- количеством пешеходов, совершивших движение по переходу на запрещающий сигнал светофора;
- количеством транспортных средств, проехавших по переходу на запрещающий сигнал светофора;
- суммарным количеством пешеходов, совершивших движение по переходу в границах временного интервала;
- суммарным количеством транспортных средств, проехавших по переходу в границах временного интервала.

В соответствии с тем, что первые две функции можно рассматривать как причинно-следственные составляющие ДТП на регулируемом пешеходном переходе, показатель риска ДТП в течение часового интервала можно определить по формуле

$$p_{рп} = \frac{n_{дтп} N_{пзч} M_{азч} k_{зсп} k_{зса}}{365 \cdot 24 N_{пч} M_{ач}}, \quad (12)$$

где $n_{дтп}$ – среднестатистическое годовое количество ДТП на переходе (ДТП/год); $N_{пзч}$ – количество пешеходов, перешедших переход на запрещающий сигнал светофора в течение часового интервала (чел/ч); $M_{азч}$ – количество автомобилей, проехавших переход на запрещающий сигнал светофора в течение часового ин-

тервала (авт/ч); $N_{пч}$ – суммарная часовая интенсивность движения пешеходов на данном переходе (чел/ч); $M_{ач}$ – суммарная часовая интенсивность движения автомобилей, пересекающих данный переход (авт/ч); $K_{зсп}$ и $k_{зса}$ – соответственно коэффициенты, характеризующие длительность действия запрещающего сигнала светофора для пешеходов и для автомобилей, определяемые по формулам

$$k_{зсп} = \frac{t_{зсп}}{60}; \quad k_{зса} = \frac{t_{зса}}{60}, \quad (13)$$

где $t_{зсп}$ и $t_{зса}$ – соответственно промежутки времени действия запрещающего сигнала для пешеходов и автомобилей в секундах.

Среднегодовой показатель риска ДТП на данном пешеходном переходе, приведенный к часовому интервалу можно выразить отношением

$$p_{сг} = \frac{n_{дтп} N_{пзг} M_{пзг}}{(365 \cdot 24)^2 N_{пг} M_{аг}}, \quad (14)$$

где $N_{пзг}$ – среднегодовая интенсивность движения пешеходов на переходе на запрещающий сигнал светофора (чел/год); $M_{пзг}$ – среднегодовая интенсивность движения автомобилей через переход на запрещающий сигнал светофора (авт/год); $N_{пг}$ – среднегодовая интенсивность движения пешеходов на данном переходе (чел/год); $M_{аг}$ – среднегодовая интенсивность движения автомобилей, через переход (авт/год).

Коэффициент опасности регулируемого пешеходного перехода

$$K_{опр} = \frac{p_{рп}}{p_{сг}}. \quad (15)$$

В качестве допущений принимается, что

$N_{пзг} = \sum_1^{365 \cdot 24} N_{пзч}$; $M_{пзг} = \sum_1^{365 \cdot 24} M_{пзч}$; $N_{пг} = \sum_1^{365 \cdot 24} N_{пч}$; $M_{аг} = \sum_1^{365 \cdot 24} M_{ач}$, то есть годовые значения интенсивностей движения пешеходов и автомобилей равны суммарным соответствующим значениям их часовых показателей.

Кроме этого было принято, что показатели $N_{пзч}$ и $M_{азч}$ движения пешеходов и автомобилей на запрещающий сигнал светофора являются составными частями соответствующих им показателей $N_{пч}$ и $M_{ач}$, характеризующих интенсивности движения пешеходов и автомобилей в часовом интервале. Аналогичным образом рассматриваются показатели $N_{пзг}$ и $M_{азг}$ движения пешеходов и автомобилей на запрещающий сигнал светофора являются составными частями соответствующих им показателей $N_{пг}$ и $M_{аг}$, характеризующих интенсивности движения пешеходов и автомобилей в готовом интервале.

Для более конкретной оценки рабочего процесса регулируемого пешеходного перехода были использованы коэффициенты учёта пешеходов $k_{пзч}$ и автомобилей $k_{азч}$, движущихся на запрещающий сигнал светофора в часовом интервале, соответственно определяемые по формулам

$$k_{пзч} = \frac{N_{пзч}}{N_{пч}}; \quad k_{азч} = \frac{M_{азч}}{M_{ач}}. \quad (16)$$

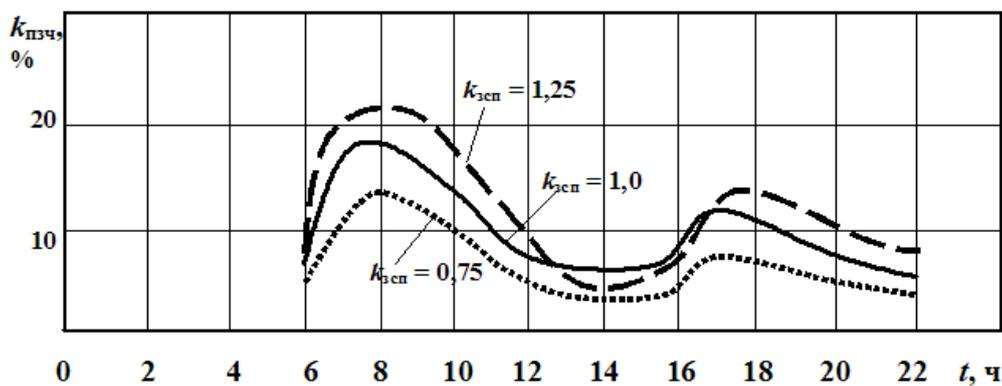


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента учёта пешеходов, движущихся на запрещающий сигнал светофора от времени суток в рабочие дни

В ходе наблюдений было установлено на нескольких регулируемых пешеходных переходах на улично-дорожной сети в г. Воронеже, количество пешеходов, переходящих проезжую часть на запрещающий сигнал светофора, существенно зависит от времени суток и от длительности действия запрещающего движение по переходу сигнала.

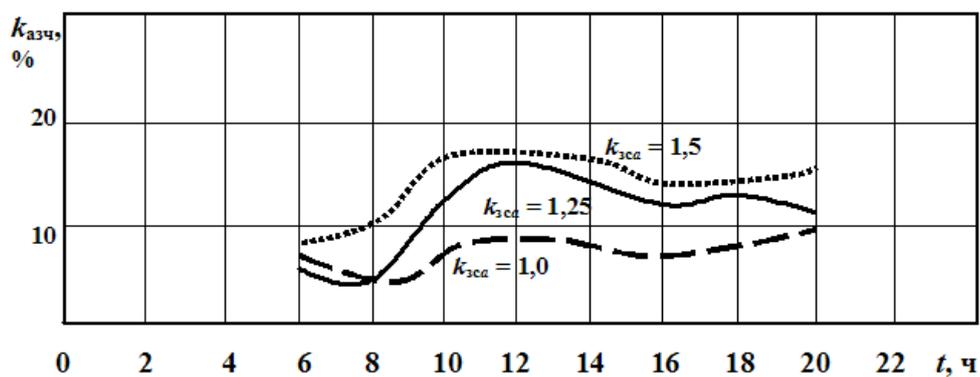


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента учёта автомобилей, движущихся через переход на запрещающий сигнал светофора от времени суток

Состояние климатических условий также определяет значительное влияние коэффициента сцепления колёс с дорогой на уровень опасности дорожного пересечения. Установлено, что такое влияние оказывается значительно большим при конфликтной ситуации «автомобиль-автомобиль», чем при конфликте «автомобиль-пешеход».

В третьей главе рассмотрены вопросы проведения пассивного эксперимента по составлению банка данных первичных расчётных факторов, по которым осуществлялся расчёт вероятностных оценок опасности дорожных пересечений. В соответствии с требованиями ГОСТ 24026-80 Наблюдения проводились на основе регистрации фактических данных интенсивности движения пешеходов и транспорта по часовым интервалам, задержек движения при прохождении участков, движения пешеходов и транспорта с нарушениями Правил дорожного движения.

В качестве основного документа использовались ведомости наблюдений, в которые заносились с часовыми интервалами число проезжающих по полосам автомобилей, наибольшее время задержки перед проездом пересечения проезжих частей, интенсивность движения пешеходов. В указанных сведениях фиксировалось число проезжающих автомобилей и переходящих проезжую часть пешеходов с нарушениями ПДД. В качестве фиксируемых нарушений рассматривались случаи: наезд на сплошную линию разметки, несоблюдение рядности; остановка на разметке пешеходного перехода; проезд на запрещающий сигнал светофора; движение по нерегулируемым пешеходным переходам при наличии на них пешеходов согласно п. 14.1 ПДД.

В расчёте значений среднеквадратичного отклонения параметра предусматривалось допущение, что между входящими в данную формулу параметрами нет корреляционной связи. Число параллельных регистраций параметра n и выборочных дисперсий погрешности градуировки, расчёта и методики определялись по результатам наблюдений с использованием методов теории ошибок. Уровень относительной ошибки для измеряемых параметров находился в пределах от 0,97 до 6,2 %. Дальнейшая обработка результатов наблюдений заключалась в отсеке ошибок и аппроксимации получаемых зависимостей посредством методов теории ошибок и регрессионного анализа.

В четвёртой главе рассмотрены вопросы обработки и практического использования результатов исследования.

Разработанная расчётная система определения уровня опасности дорожных пересечений позволяет по имеющимся экспериментальным входным факторам определить, насколько опасным может оказаться конкретное направление движения на дорожном пересечении по данной полосе.

Реализация расчётной модели показателя опасности осуществлена по следующему алгоритму, показанному на рисунке 8, как наиболее простому и универсальному варианту практического применения

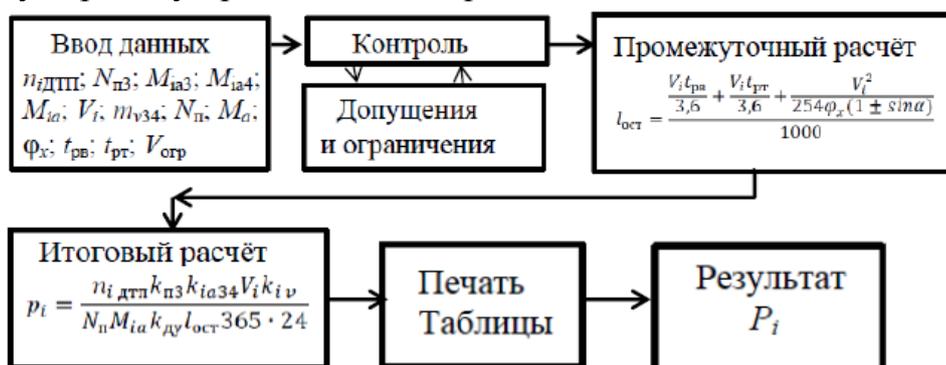


Рисунок 6 – Схема реализации расчётной модели риска ДТП

По полученному показателю опасности можно осуществлять оценку риска возникновения ДТП при данном направлении движения транспорта и целесообразность его разрешения на данном перекрёстке при высоком уровне показателя опасности. В распоряжении пользователя могут присутствовать средства снижения показателя опасности обозначенного направления движения транспорта пу-

тём уменьшения числа конфликтных точек, посредством регулирования очередности проезда транспорта по полосам движения или по направлениям.

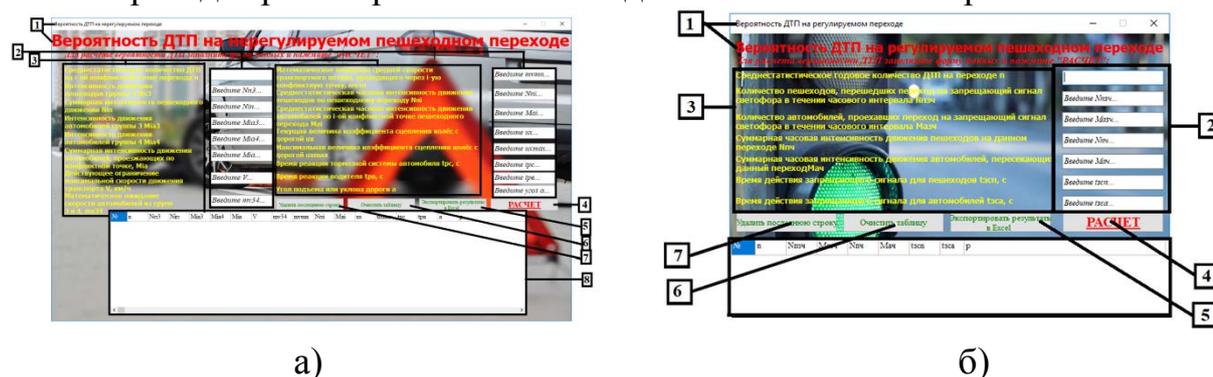


Рисунок 7 – Интерфейс программы расчёта риска ДТП на нерегулируемом (а) и регулируемом (б) пешеходных переходах

Предлагаемая в данной работе система расчёта показателей риска ДТП позволяет определять уровень безопасности движения на конкретных участках, как в режиме реального времени, так и в прогнозном выражении по состоянию входных факторов. По полученным данным может быть составлен мониторинг опасности каждой конфликтной точки с часовыми интервалами в течение суток, по которому можно определить наиболее опасные временные периоды и принимать соответствующие организационные мероприятия, локализирующие появляющуюся опасность.

В перспективном варианте возможно создание центра управления безопасностью движения, в качестве одной из функций которого можно рассматривать оперативное принятие решений в режиме реального времени в зависимости от рассчитываемых по предлагаемой методике параметров конкретных пересечений, характеризующих их состояние опасности. Управленческие функции могут осуществляться как в ручном режиме, так и по мере развития IT-технологий возможен переход к автоматическому управлению, где в качестве первичных элементов такой системы может использоваться предлагаемая методика расчёта опасности дорожных пересечений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе выполненных исследований решена научно- практическая задача по определению оценок опасности пешеходных переходов и перекрёстков, позволяющая в режиме реального времени отслеживать мониторинг уровня опасности конфликтных точек, а также определять прогнозные оценки опасности таких объектов.

2. Усовершенствованная система и методы прогнозирования опасности пешеходных переходов и перекрёстков, позволяет по конкретным факторам определять опасные временные периоды, для принятия управленческих решений по локализации опасности объекта.

3. Усовершенствованные и работоспособно подтверждённые расчётные модели определения показателей опасности пешеходных переходов и дорожных пересечений, позволяют в режиме реального времени осуществлять мониторинг наиболее опасных периодов конфликтных точек. В частности, при коэффициен-

те опасности нерегулируемого пешеходного перехода более 1,2 целесообразно переключение перехода в регулируемый режим.

4. Разработанные научно-практические рекомендации по использованию прогнозных моделей, позволяют на базе перечня входных характеристик прогнозировать уровень опасности проектируемых пешеходных переходов и перекрёстков.

5. Выявленные закономерности корреляции количества допускаемых нарушений ПДД с временными промежутками действия запрещающего сигнала светофора, позволяют определять оптимальные величины таких промежутков действия запрещающих сигналов. В частности, при увеличении времени действия запрещающего сигнала более 90 секунд, происходит резкое возрастание количества нарушений ПДД.

6. Использование безразмерного коэффициента опасности пешеходного перехода позволяет в режиме реального времени оценивать обстановку и принимать оперативные решения по снижению риска ДТП.

7. Проведенная апробация и разработанные рекомендации для УГИБДД по Воронежской области, позволили за 2018 год снизить количество нарушений ПДД на пешеходных переходах на 4,8 % и, соответственно, количество ДТП на 3,5 %.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) публикации в изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. Кастырин, Д.Ю. Расчет вероятностных оценок опасности конфликтных точек на дорожных пересечениях [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин. // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. - № 4(55). С. 105-110.

2. Кастырин, Д.Ю. Влияние скоростного режима движения транспорта на показатель опасности дорожного пересечения [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Е.Г. Лебедев. // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. - № 2 (57). С. 74-80.

3. Кастырин, Д.Ю. Систематизация факторов и оценка опасности нерегулируемого пешеходного перехода [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин. // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. - № 2 (65). С 82-88.

б) статьи в сборниках материалов научных конференций:

4. Кастырин, Д.Ю. Совершенствование экспертизы дорожно-транспортных происшествий с применением квадрокоптеров [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Материалы международной научно-практической конференции «Автомобильный транспорт сегодня: проблемы и перспективы» 07–09 октября 2015 г., Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛУ». С. 271-276.

5. Кастырин, Д.Ю. Анализ факторов дорожно-транспортных происшествий, позволяющих автоматизировать решение задач их реконструкции [Текст] / Д.Ю. Кастырин, В.С. Волков // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – Воронеж: ФГБОУ «ВГЛУ», 2015. - Т. 2. № 2. - С. 629-632.

6. Кастырин, Д.Ю. Роль компьютерной поддержки в производстве автотехнической экспертизы [Текст] / Д.Ю. Кастырин, В.С. Волков // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы. – Воронеж, ФГБОУ «ВГЛТУ», 2015. - Т. 2. № 2. - С. 633-635.

7. Кастырин, Д.Ю. Расчёт текущей оценки опасности участков улично-дорожной сети населённого пункта [Текст] / Д.Ю. Кастырин // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы. – Воронеж, ФГБОУ «ВГЛТУ», 2016. - Т. 3, Вып. 1 (4). - С. 197-200.

8. Кастырин, Д.Ю. Вероятностные оценки опасности конфликтных точек на пересечениях автомобильных дорог [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Е.Г. Лебедев. // «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса» - Материалы III Международной научно-технической конференции. – Донецк (25 мая 2017 г.). – С. 59-63.

9. Кастырин, Д.Ю. Расчёт вероятностных оценок опасности конфликтных точек на дорожных пересечениях / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Е.Г. Лебедев. // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. – Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, НОУ «АТИ», 2017. – С. 55-63.

10. Кастырин, Д.Ю. Зависимость опасности дорожных пересечений от скорости движения транспортных средств / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Е.Г. Лебедев. // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. – Сборник статей Всероссийской науч.-практ. конф. – Воронеж, НОУ «АТИ», 2017. – С. 63-71.

11. Кастырин, Д.Ю. Анализ опасности конфликтных точек на перекрёстках / Волков В.С., Кастырин Д.Ю., Лебедев Е.Г. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – Воронеж, ФГБОУ «ВГЛТУ», 2017. Т. 4. № 1 (7). – С. 137-142.

12. Кастырин, Д.Ю. Анализ опасности конфликтной точки дорожного пересечения с учётом скоростного режима транспорта / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Е.Г. Лебедев. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – Воронеж, ФГБОУ «ВГЛТУ», 2017. Т. 4. № 1 (7). – С. 143-148.

13. Кастырин, Д.Ю. Влияние качества подготовки водительского состава на безопасность движения [Текст] / В.С. Волков, Е.Г. Лебедев, Д.Ю. Кастырин, Е.В. Тарасова. // «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса» - Материалы IV Международной научно-технической конференции. – Донецк (24 мая 2018 г.). – С. 348-352.

14. Кастырин, Д.Ю. Актуальные вопросы подготовки водительских кадров [Текст] / Е.Г. Лебедев, Д.Ю. Кастырин, В.С. Волков. // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. – Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, НОУ «АТИ», 07-09 июня 2018. – С. 156-160.

15. Кастырин, Д.Ю. Вероятностные оценки опасности дорожных пересечений [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин. // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. – Материалы I Международной науч.-практ. конф. – Липецк, ГТУ, 12-13 декабря 2018. – С 24-29.

16. Кастырин, Д.Ю. Вероятность дорожно-транспортного происшествия на перекрёстке [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, А.А. Трусов. // Национальная научно-практическая конференция «Современные проблемы прикладных и фундаментальных исследований в лесном хозяйстве и природопользовании». – Воронеж, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 5 февраля 2019. - С. 200-204.

в) прочие публикации:

17. Кастырин, Д.Ю. Расчёт вероятностной оценки опасности дорожных пересечений [Текст] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин. // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. - Донецк, 2018. № 1. – С. 16-22.

г) свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

18. Кастырин, Д.Ю. Программа расчета вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на пешеходном переходе оборудованным светофорным регулированием. // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2019610843 от 18.01.2019.

19. Кастырин, Д.Ю. Программа расчета вероятности возникновения дорожно- транспортных происшествий на нерегулируемом пешеходном переходе. // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2019610651 от 18.01.2019.

20. Кастырин, Д.Ю. Программа расчета показателя аварийности дорожного пересечения по конфликту автомобиль-автомобиль с учетом влияния скорости. // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2019610574 от 18.01.2019.

21. Кастырин, Д.Ю. Программа расчета показателя опасности дорожного пересечения по конфликту автомобиль-автомобиль. // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2019610575 от 18.01.2019.

22. Кастырин, Д.Ю. Программа расчета показателя опасности дорожного пересечения по конфликту автомобиль-пешеход с учетом интенсивности. // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2019610419 от 18.01.2019.

Подписано в печать 2019 г.

Формат 60x84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ №
Типография