

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права

УДК 656.13; 656.051

**ХОДОСКИН**  
**Дмитрий Петрович**

**СНИЖЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ НА ПОДХОДАХ К РЕГУЛИРУЕМЫМ  
ПЕРЕКРЕСТКАМ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
ПОПУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.22.10 – эксплуатация автомобильного транспорта

Минск, 2023

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете и в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта».

Научный руководитель

**КАПСКИЙ Денис Васильевич**, доктор технических наук, доцент, заместитель Председателя, Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь

Официальные оппоненты:

**ИВАНОВ Владимир Петрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта, УО «Полоцкий государственный университет»;

**КРИВИЦКИЙ Александр Михайлович**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией технических и криминалистических исследований ГУ «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь»

Оппонирующая организация

РУП «БелНИИТ «Транстехника»

Защита состоится «26» апреля 2023 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.04 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря (017) 292-41-01, e-mail: msf@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «23» марта 2023 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент



А. И. Сафонов

© Ходоскин Д. П., 2023

© Белорусский национальный технический университет, 2023

## ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь более 90 % от общего числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) составляют ДТП с материальным ущербом, причем суммарные потери от них превышают потери от ДТП с пострадавшими, по экспертным оценкам, практически в 3 раза и продолжают возрастать. Среди общего числа ДТП, произошедших на регулируемых перекрестках (далее – перекрестках), абсолютное большинство составляют ДТП в попутном транспортном потоке (ТП), а именно столкновения с ударом сзади и попутные столкновения (60–70 % – в Республике Беларусь, по данным зарубежной статистики аварийности – 35–60 % ежегодно). Чаще всего такие ДТП происходят в попутном ТП на подходах к перекресткам и преимущественно при экстренном торможении лидирующего автомобиля. Наиболее часто водители прибегают к экстренному торможению в ситуациях, когда они попадают в так называемую «зону дилеммы», которая возникает при смене разрешающего сигнала светофора на запрещающий. В Республике Беларусь (как и в других странах) недостаточно исследованы причины экстренного торможения на перекрестках, поэтому не реализуются мероприятия по снижению значения замедления, применяемого для остановки.

Поэтому на базе имеющихся теоретико-методических основ необходимо определить зону дилеммы, установить ее местоположение с помощью соответствующей модели, разработать и формализовать модель конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей в данной зоне. Также следует установить зависимости между основными параметрами, характеризующими ТП на подходе к перекрестку, и проверить их адекватность. Существует необходимость в усовершенствовании метода конфликтных зон прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности попутных транспортных средств в конфликте «транспорт – транспорт» при приближении к перекрестку, который бы обеспечивал достаточную точность прогнозирования, в том числе путем введения дополнительных параметров, характеризующих конфликтную зону. Поэтому установление местоположения и параметров конфликтной зоны, степени ее влияния на аварийность, оптимизация выбора наиболее рациональных мероприятий по критериям вкладываемых ресурсов и полученной величины снижения аварийности и тяжести ее последствий является в настоящий момент актуальной научной задачей.

Актуальность рассматриваемой проблемы, ее значимость и недостаточная проработанность в Республике Беларусь обусловили выбор темы, цели и задач диссертационного исследования.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Тема диссертационной работы соответствует государственной политике Республики Беларусь в сфере обеспечения безопасности дорожного движения и выполнена в рамках реализации Закона Республики Беларусь от 5.01.2008 № 313-З «О дорожном движении» (глава 4); Указа Президента Республики Беларусь № 551 от 28.11.2005 «О мерах по повышению безопасности дорожного движения»; Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь,

утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 757 от 14.06.2006 (в ред. постановлений Совета Министров от 18.10.2012 № 947, от 17.08.2016 № 642) (п. 6.4); Стратегии инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года (главы 2 и 3).

Диссертационные исследования осуществлялись в рамках научных работ УО «Белорусский государственный университет транспорта», а именно: расчет прогнозных показателей результативности инвестиционных мероприятий Государственной программы в уровни безопасности автотранспортных средств и увязка их с показателями Государственной программы Национального развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы (№ 8093); обработка исходных данных по оценке состояния безопасности транспортных коммуникаций городского общественного транспорта г. Гомеля и пассажирской транспортной маршрутной сети (№ 8618/1); обработка исходных данных по оценке безопасности пассажирской транспортной маршрутной сети в г. Жлобине (№ 8618/2); разработка расчетных таблиц и прогноза уровней безопасности выполнения грузовых и пассажирских перевозок автотранспортом по видам сообщений (№ 9031). Результаты диссертационных исследований использованы в рамках осуществления хозяйственной деятельности НИОК(Т)Р и ПИР Научно-исследовательским центром дорожного движения филиала БНТУ НИПИ и НИР «Расчет параметров координированного регулирования светофорными объектами по ул. Советская в г. Гомеле» (№ 2/14943).

#### **Цель, задачи, объект и предмет исследования**

**Цель исследования** – снижение аварийности попутно движущихся транспортных средств на участках со светофорным регулированием методами управления ТП.

В соответствии с целью исследования поставлены целевые **задачи**:

1. Усовершенствовать на базе существующих теоретико-методических основ метод определения зоны дилеммы, уточнить понятие зоны дилеммы и выделить разные ее типы (в зависимости от значения, применяемого для остановки замедления).

2. Разработать модель определения местоположения зоны дилеммы с учетом различных условий движения, отличающуюся учетом особенностей конфликтного взаимодействия попутно движущихся транспортных средств при смене разрешающего сигнала светофора и параметров светофорного регулирования, позволяющую определить конкретное расположение зоны дилеммы.

3. Разработать модель конфликтного взаимодействия в попутном ТП лидирующего и ведомого автомобилей при приближении к перекрестку, отличающуюся учетом различных параметров и условий их маневрирования при смене разрешающего сигнала светофора, позволяющую формализовать искомые расстояния и систему условий безаварийного движения.

4. Установить новые научно обоснованные зависимости между характеристиками попутно движущихся транспортных средств на подходах к перекресткам с учетом способов размещения технических средств организации дорожного движения (ТСОДД).

5. Усовершенствовать метод конфликтных зон прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности попутных транспортных средств, отличающийся уточненными расчетными зависимостями, основывающийся на положениях разработанных моделей, и позволяющий снизить значение относительной погрешности прогноза по сравнению с базовым методом.

6. Разработать комплексный алгоритм для моделирования конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей, для определения местоположения конфликтной зоны и для прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности для попутного ТП.

7. Разработать совокупность научно обоснованных мероприятий по управлению движением попутных транспортных средств, позволяющих снизить опасность их конфликтного взаимодействия.

**Объект исследования** – ТП на подходах к регулируемому перекрестку, в которых попутно движущиеся транспортные средства взаимодействуют (конфликтуют) между собой.

**Предмет исследования** – закономерности конфликтного взаимодействия попутно движущихся транспортных средств на подходах к перекрестку со светофорным регулированием, а также методы управления ТП на таких перекрестках.

#### **Научная новизна**

Новизна результатов работы заключается: в разработке усовершенствованного метода определения зоны дилеммы, отличающегося учетом значения замедления, применяемого для торможения, и получением тем самым нескольких типов данной зоны, позволяющего разграничить возможности водителей, попадающих в них; установлении новых научно обоснованных зависимостей между характеристиками попутно движущихся транспортных средств на подходах к перекресткам с учетом, в том числе, способов размещения ТСОДД; разработке модели определения местоположения конфликтной зоны с учетом различных условий движения, отличающейся учетом особенностей конфликтного взаимодействия водителей при смене сигнала светофора и значения замедления, применяемого при торможении, позволяющей определять параметры и расположение конфликтной зоны; разработке модели конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей при приближении к перекрестку, отличающейся учетом различных параметров и условий маневрирования транспортных средств, позволяющей формализовать безопасные условия движения; разработке усовершенствованного метода конфликтных зон прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности попутных транспортных средств, отличающегося уточненной расчетной зависимостью за счет учета параметров конфликтной зоны и характеристик транспортного потока, позволяющего получить относительную погрешность прогноза в среднем меньше в 4,7 раза по сравнению с существующим методом (по контрольной выборке); разработке комплексного алгоритма для определения наличия зоны дилеммы, ее протяженности и типа, а также прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Усовершенствованный метод определения зоны дилеммы, отличающийся учетом двух типов данной зоны, разграничивающих возможности водителей, попадающих в них по значению замедления, применяемого при торможении, и основывающийся на разработанной модели определения местоположения зоны дилеммы и формализованной модели конфликтного взаимодействия автомобилей в попутном ТП, позволяющий определить конкретное расположение зоны дилеммы (определяет зону, где наблюдается высокий уровень аварийности) и формализовать искомые состояния, ее характеризующие, и систему условий безаварийного движения.

2. Усовершенствованный метод конфликтных зон прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности попутных транспортных средств, отличающийся уточненной расчетной зависимостью за счет учета параметров конфликтной зоны и характеристик ТП, порога чувствительности ( $P_{00} = 0,894$  ед./год.), коэффициентов тяжести для ДТП с ранеными и со смертельным исходом ( $K_p = 4$  и  $K_c = 9$  соответственно), позволяющий получить относительную погрешность прогноза, которая не превышает 20 % по сравнению с базовым методом.

3. Комплексный алгоритм, включающий три взаимосвязанных модуля, предназначенных для: 1) моделирования конфликтного взаимодействия автомобилей; 2) определения местоположения конфликтной зоны; 3) прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности попутных транспортных средств, отличающийся учетом протяженности зоны дилеммы, а также зоны, располагающейся перед зоной дилеммы и характеризующейся применением водителями, которые попадают в нее, замедления больше служебного значения, позволяющий еще до строительства перекрестка определить наличие зоны дилеммы, ее тип, физические характеристики и тем самым сделать возможным оценку уровня безопасности дорожного движения на перекрестке еще на стадии принятия проектных решений.

4. Комплекс некапиталоемких мероприятий, позволяющий снизить опасность конфликтного взаимодействия попутно движущихся транспортных средств в межфазном и внутрифазном режимах, отличающийся учетом графического определения достаточной величины переходного интервала и позволяющий за счет выноса светофора над проезжей частью и применения в светофорах индикаторов обратного отсчета времени увеличить расстояние видимости его сигналов на 20–40 % и увеличить продолжительность времени оповещения водителей о смене разрешающего сигнала на 35–50 %, а также обеспечивающий снижение числа ДТП на 30,0 и 26,7 % за счет установки на консольной Г-образной опоре светофоров с вертикальным или горизонтальным расположением сигналов соответственно, на 21,7 % – при оборудовании светофоров индикаторами обратного отсчета и на 19,0 % – установки светофоров над проезжей частью на перекрестках, которые имеют входы с полосами, где динамический коэффициент приведения ТП более 1,2.

#### **Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации**

Диссертация является квалифицированной законченной научной работой, выполненной автором самостоятельно, и содержит новые научно обоснованные результаты. Изложенные в диссертационной работе результаты подтверждены расчетами, проведенными соискателем лично. Результаты получены при непосредственном участии соискателя в экспериментальных исследованиях, анализе и интерпретации полученных выводов, их обобщении, написании статей и материалов конференций. Все выносимые на защиту положения получены соискателем лично, имеют научную, практическую, экономическую и социальную значимость, апробированы на производстве (в сфере безопасности дорожного движения) и в учебном процессе. Тема диссертации, цель и задачи исследований, а также основные методологические положения определены соискателем совместно с научным руководителем. Все материалы совместных публикаций использованы диссертантом с учетом объема авторского вклада.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на международных научно-технических (практических) конференциях «Политранспортные системы» (Новосибирск, 2010); «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2011); «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов» (Минск, 2010); «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2010, 2012, 2017); «Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем» (Челябинск, 2009, 2011, 2012); «Автомобиле- и тракторостроение» (Минск, 2018); «Автомобильный транспорт Дальнего Востока – 2010» (Хабаровск, 2010); и др. Результаты исследований нашли свое применение в производственной деятельности различных предприятий, ГАИ, используются в образовательной и научной деятельности, что подтверждено актами внедрения.

### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 35 научных работ, в том числе 14 статей в научных рецензируемых изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (объемом 5,11 авт. л., из них 6 – в соавторстве), 2 – в научных журналах (объемом 0,68 авт. л.), 2 – в других научных изданиях (объемом 0,53 авт. л.), 16 – в материалах конференций (объемом 2,65 авт. л.), 1 удостоверение о депонировании объекта интеллектуальной собственности. Общий объем публикаций – 8,97 авт. л.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из двух томов: первый – основной, второй – том приложений. Основной том структурно состоит из содержания, терминов и определений, перечня сокращений и обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников, включающего 159 наименований. Общий объем основного тома составляет 163 страницы, иллюстрации в диссертации занимают 34 страницы, таблицы – 16 страниц. Второй том включает 23 приложения, приведенные на 567 страницах.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В первой главе «**Анализ состояния проблемы, выбор объекта изучения и методов исследования и прогнозирования**» изучены методы исследования и прогнозирования конфликтов «транспорт – транспорт» в попутном ТП.

На основе анализа достоинств и недостатков, а также степени возможной адаптации положений различных методов исследования к рассматриваемым видам ДТП для дальнейшей работы были выбраны следующие методы:

– *очагового анализа*, с использованием его на начальной стадии исследований для выявления мест концентрации городских очагов аварийности с большим числом ДТП в попутном ТП;

– *динамических моделей*, с возможным использованием положений (после определенной доработки) для разработки и формализации модели конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей при приближении к перекрестку в попутном ТП при смене разрешающего сигнала светофора;

– *зоны дилеммы*, с последующей разработкой на имеющихся отечественном и зарубежном базисах усовершенствованного метода (с дальнейшей возможностью разработки на его базе модели определения местоположения зоны дилеммы). В классическом понимании «зона дилеммы» представляет собой отрезок дороги, попадая на который водитель должен сделать выбор: либо ускориться и проехать перекресток, либо резко затормозить и остановиться перед стоп-линией. В соответствии с отечественной модификацией метода зона дилеммы определяется исходя из разности минимальных расстояний до полной остановки у стоп-линии при использовании служебного и экстренного (аварийного) значений замедлений соответственно ( $S_{\min c}$  и  $S_{\min}$ ). Согласно зарубежной модификации, зона дилеммы находится между расстояниями  $S_{\min}$  и  $S_{\max}$  – максимальным расстоянием до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать перекресток в течение действия переходного интервала. Следовательно, попав в такую зону, водитель не успеет бесконфликтно проехать перекресток.

Проведенный анализ научных исследований позволил выделить методы, наиболее приемлемые для прогнозирования аварийности в конфликте попутного транспорта:

– *конфликтных зон*, с последующим использованием для прогнозирования основной структурной формулы для определения потенциальной опасности ( $P_0$ ), ед/год, с учетом в отдельных составляющих структуры внесенных изменений, связанных с новыми полученными параметрами конфликтной зоны;

– *замедлений*, с возможностью применения для прогнозирования непосредственно столкновений с ударом сзади и попутных столкновений при подъезде к перекрестку, сущность которого заключается в последующем использовании положений новой теории зоны дилеммы и нового подхода в определении местоположения и типов данной зоны.

Таким образом, выбранные методы располагают существенными возможностями в плане уточнения и доработки их положений, в том числе и для адаптации их к выбранным видам ДТП.

Во второй главе **«Совершенствование метода зоны дилеммы на основе модели определения ее местоположения и модели конфликтного взаимодействия автомобилей в попутном транспортном потоке»** исходя из углубленного изучения возможностей водителей, попавших в зону дилеммы (продиктованных значением применяемого замедления в зависимости от условий движения и регулирования), в соответствии с положениями указанных модификаций, а также различий между ними и учетом недостатков каждой из них, автором видится необходимость в выделении следующих двух типов зон:

– «инертная» зона дилеммы базируется на следующем принципе: при нахождении в ней водитель не может ни безопасно остановиться (с необходимостью применения аварийного значения замедления и с выездом за стоп-линию), ни безопасно пересечь перекресток (что с высокой вероятностью может привести к межфазным столкновениям);

– «активная» зона дилеммы основывается на следующем принципе: при нахождении в ней водитель может выбрать один из двух вариантов: продолжить движение через перекресток либо остановиться перед стоп-линией, с разделением данной зоны согласно применяемому значению замедления на два подтипа:



1) с замедлением больше служебного значения и меньше аварийного значения либо равного ему, что с высокой вероятностью может привести к созданию очагов столкновений с ударом сзади и попутных столкновений;

2) с замедлением меньше служебного значения или равного ему, что не создаст очагов аварийности по причине плановости выполняемого маневра.

В диссертационной работе предлагается объединить отечественную и зарубежную модификации, а именно в первую внести расстояние  $S_{max}$ , т. е. определять зону дилеммы исходя из трех указанных расстояний. Это связано со следующими причинами: во-первых, не все автомобили, находящиеся в зоне дилеммы (при решении проезда), могут успеть проехать перекресток в течение действия переходного интервала, что приводит к столкновениям с ТП, начинающим движение, или наездам на пешеходов на удаленном пешеходном переходе (для которых загорается разрешающий сигнал); во-вторых, на перекрестке вероятность столкновений в попутном ТП в значительной мере зависит от параметров светофорного регулирования – времени оповещения о смене сигнала светофора и величины переходного интервала ( $S_{max}$  – это расстояние, характеризующее последний интервал). Варьируя данными расстояниями, можно определить местоположение и тип зоны дилеммы. Причем расстояния  $S_{min}$  и  $S_{min.c}$  не меняют своего положения по отношению друг к другу (т. к.,  $S_{min}$  будет всегда находиться ближе к стоп-линии, чем  $S_{min.c}$ ). Меняет свое положение относительно остальных расстояния  $S_{max}$ , т. к. оно зависит, в том числе, от параметров светофорного регулирования и расстояния до конфликтной точки. Теоретически в методике возможно пять случаев, анализ которых показал, что наиболее аварийным является случай  $S_{max} < S_{min} < S_{min.c}$ , т. к. имеет место инертная зона дилеммы в зоне  $B$  (рисунок 1). Таким образом, водитель, находясь в ней, не сможет проехать безопасно перекресток, т. к. находится на расстоянии до стоп-линии большем, чем  $S_{max}$ , и не сможет безопасно остановиться у стоп-линии потому, что находится на расстоянии, меньшем, чем  $S_{min}$ .

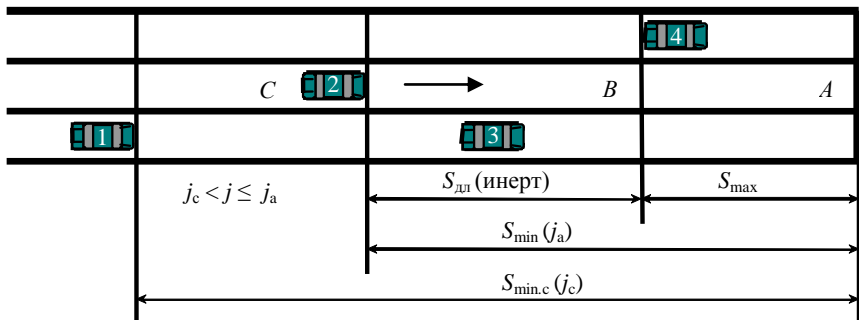


Рисунок 1 – Расположение зоны дилеммы в случае  $S_{max} < S_{min} < S_{min.c}$

Как показал анализ разграничения возможностей водителей (по значению принимаемого замедления), в данном случае опасными являются зоны  $B$  и  $C$ , длина которых определяется как:

$$S_{длB} = S_{\min} - S_{\max}; \quad (1)$$

$$S_C = S_{\min.c} - S_{\min}. \quad (2)$$

Следовательно, водителям автомобилей, находящихся в зонах  $A$ ,  $B$  и  $C$ , необходимо предоставить возможность безопасного проезда перекрестка посредством увеличения продолжительности переходного интервала, кроме того, водителю необходимо сообщить о ее наличии посредством нанесения ТСОДД, а именно дорожной разметки. Водителям, находящимся на расстоянии, большем, чем  $S_{\min.c}$ , необходимо предоставить достаточно времени для выполнения запланированного торможения перед стоп-линией со служебным значением замедления посредством обеспечения достаточной продолжительности времени оповещения водителя о смене сигнала светофора, а именно такой установки светофоров, которая бы обеспечивала наибольшее расстояние их видимости, оптимально – с выносом над каждой полосой (но возможны также и другие варианты).

На основе анализа положений динамических моделей разработана и формализована модель конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей при подъезде к перекрестку при смене сигнала светофора, позволившая в последующем получить систему условий, при соблюдении которых между лидирующим и ведомым автомобилями не произойдет ни столкновения с ударом сзади (попутного столкновения), ни конфликтной ситуации, ни выезда их обоих (либо только лидирующего автомобиля) за стоп-линию:

$$\begin{cases} S_A^\Phi \geq S_A + S_{0A} \\ S_B^\Phi - l_B \geq S_{0B} \\ S_\Delta \geq 1,5 \text{ м} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $S_A^\Phi, S_B^\Phi$  – фактическое расстояние от передней (задней) части ведомого (лидирующего) автомобиля до стоп-линии в начальный момент положения автомобилей, м;

$S_A$  – расстояние, пройденное ведомым автомобилем за время реакции водителя лидирующего автомобиля, м;

$S_{0A}, S_{0B}$  – остановочный путь ведомого (лидирующего) автомобиля, м;

$l_B$  – длина лидирующего автомобиля, м;

$S_\Delta$  – расстояние между автомобилями в момент их остановки, м.

В разработанной модели расстояния  $S_{\min}, S_{\min.c}, S_{\max}$  определяются:

$$S_{\min} = (t_p + t_2 + 0,5t_3)v + \frac{v^2}{2j_a}; \quad (4)$$

$$S_{\min,c} = (t_p + t_2 + 0,5t_3)v + \frac{v^2}{2j_c}; \quad (5)$$

$$S_{\max} = -(B_{\text{кфт}} + l) + v \cdot t_{\text{пр}} + \frac{a(t_{\text{пр}} - t_p)^2}{2}, \quad (6)$$

где  $t_p$  – время реакции водителя, с;

$t_2$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода, с;

$t_3$  – время нарастания замедления, с;

$v$  – скорость на подходе, м/с;

$j_a, j_c$  – аварийное (служебное) замедление автомобиля, м/с<sup>2</sup>;

$B_{\text{кфт}}$  – расстояние до наиболее удаленной конфликтной точки, м;

$l$  – длина автомобиля, м;

$(B_{\text{кфт}} + l)$  – корректировка по расстоянию, чтобы после проезда перекрестка задняя часть автомобиля находилась после конфликтной точки, м;

$t_{\text{пр}}$  – продолжительность переходного интервала, с;

$a$  – ускорение автомобиля, м/с<sup>2</sup>.

Для оценки влияния времени оповещения о предстоящей смене разрешающего сигнала светофора на аварийность предложена формула:

$$t_{\text{оп}} = (t_p + t_2 + 0,5t_3) + \frac{v}{j}. \quad (7)$$

При практическом использовании графика  $j = f(t_{\text{оп}})$  создается возможность проследить, как изменяется значение замедления автомобиля от значения времени  $t_{\text{оп}}$  при подъезде к инертной зоне дилеммы (в зоне С, см. рисунок 1), тем самым исследуется степень достаточности этого времени.

В третьей главе «**Экспериментальные исследования условий движения попутного транспортного потока**» рассматриваются статистические данные по очковой аварийности; конкретизирована информация по выделению первичных и вторичных конфликтов, имеющих место в попутном ТП; определена количественная структура таких конфликтов с распределением их по тяжести:  $\Delta_c = 0,0008$ ,  $\Delta_p = 0,0017$ ,  $\Delta_{\text{м}} = 0,9975$ ; выполнено исследование распределения первичных и вторичных конфликтов в попутном ТП по входам с различным числом полос. Выполнен ряд исследований параметров мгновенных скоростей лиди-

рующего и ведомого автомобилей, дистанции и временного интервала между ними, полученных при помощи внесения в классическую методику функциональных и формализованных изменений. Для анализа динамики статистических параметров исследуемых выборок (по перечисленным параметрам) и выдвижения гипотезы о местонахождении конфликтной зоны в качестве опытных были приняты расстояния: при пересечении стоп-линии, на расстоянии 50, 100, 150 м до стоп-линии. Для оценки адекватности результатов проведена проверка выборок по скоростям на минимальную протяженность мерного участка и по условию на достаточность.

Также в главе 3 выполнены исследования: разностей скоростей лидирующего и ведомого автомобилей; графических зависимостей дистанции и временного интервала от скоростей автомобилей с помощью графического пакета *Origin Graph*; зависимостей временного интервала от скоростей лидирующего и ведомого автомобилей по временным и скоростным диапазонам и размаха параметров по данным зависимостям; расстояний между остановившимися перед стоп-линией автомобилями различных типов, замеренных с помощью лазерного дальномера; особенностей движения автомобилей в переходном интервале на двух разнотипных перекрестках: с индикатором обратного отсчета и не оборудованного им; основных параметров модели конфликтного взаимодействия автомобилей (замедления, начальной скорости торможения, величины фактического тормозного пути), полученных с помощью прибора «Эффект-02» на перекрестках с различными характеристиками; по установлению величины служебного замедления –  $3,28 \text{ м/с}^2$ ; зависимостей замедления от времени оповещения о смене сигналов светофора при различных значениях времени реакции водителя 0,6, 0,8 и 1 с с привязкой к сигналам светофора (рисунок 2). После нанесения на график прямой, разграничивающей расположение зон *B* и *C* (см. рисунок 1), и вертикальной прямой, указывающей на границы желтого сигнала, были получены четыре характерные зоны (рисунок 2). Выполнен анализ возможностей водителей в каждой из указанных на графике зон и достаточности времени оповещения о смене сигнала светофора.

Установлены зависимости расстояния до стоп-линии от начальной скорости торможения (для значений времени реакции 0,6, 0,8 и 1 с) (рисунок 3) и времени оповещения о смене сигнала светофора. На графике выделены зоны, имеющие место при подъезде к стоп-линии, и непосредственно инертная зона дилеммы (зона *B*). Путем интегрирования определены их размеры и проанализирована их динамика при различных значениях времени реакции водителя: с увеличением времени на 0,2 с площадь зоны *B* увеличивается в среднем на  $55 \text{ ед}^2$  (примерно 20 %); площадь зоны *A* (т. е. безопасной зоны, попав в которую водитель успеет в существующих условиях проехать перекресток) уменьшается в среднем на  $18 \text{ ед}^2$  (примерно 3 %); площадь зоны *C* (зоны, предшествующей инертной зоне дилеммы) остается постоянной.

Установлены зависимости фактического расстояния до стоп-линии от начальной скорости торможения с нанесением кривых  $S_{\min}$ ,  $S_{\min c}$ ,  $S_{\max}$ , скоростных коридоров и точек замеров скоростей, выполненных при помощи прибора «Эффект-02» на опытном перекрестке ул. Советской – ул. Головацкого. Анализ графиков совместно с выводами предыдущих исследований показал конкретное месторасположение зоны дилеммы (*B*) и зоны, предшествующей ей (*C*), недостаточность продолжительности существующей величины переходного интервала и времени оповещения о смене сигнала светофора. По результатам исследований определено,

что наряду с нейтрализацией последствий инертной зоны дилеммы основной задачей является минимизация случаев остановки автомобиля со значением замедления больше служебного.

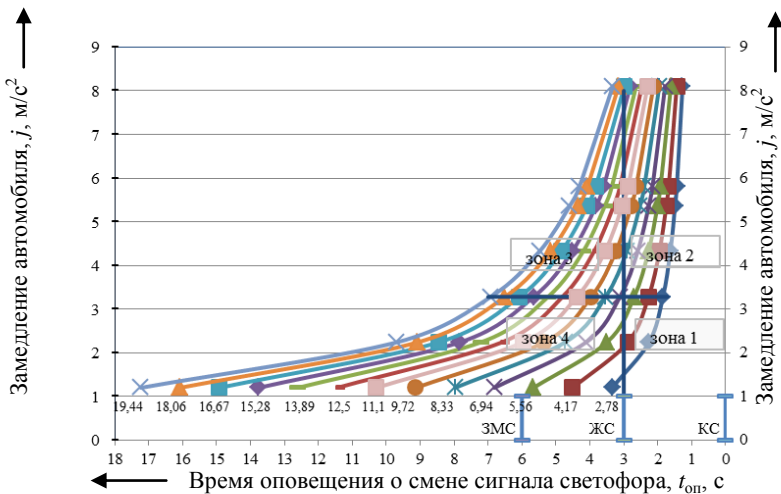


Рисунок 2 – Зависимость замедления от времени оповещения о смене сигнала светофора для различных значений скоростей и времени реакции водителя 0,6 с

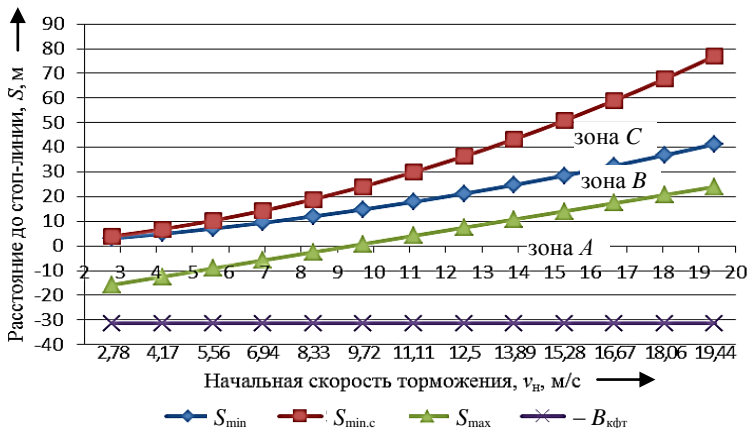


Рисунок 3 – Зависимость расстояния до стоп-линии от начальной скорости торможения автомобиля (время реакции 0,6 с)

В четвертой главе «Усовершенствованный метод конфликтных зон прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности попутных транспортных средств» усовершенствован и апробирован метод, отличающийся от существующего учетом параметров конфликтной зоны (ее протяженностью, значением служебного замедления и др.), которая состоит из непосредственно зоны дилеммы (B) и зоны (C), предшествовавшей ей (характеризующейся применением значения замедления более служебного) (см. рисунок 1).

Структурная формула для определения (с внесенными изменениями) потенциальной опасности имеет вид:

$$P_0 = K_{OH}'^{a_1} \cdot K_V'^{a_2} \cdot K_B'^{a_3} \cdot K_p^{a_4} \cdot K_H'^{a_5} \cdot K_Y'^{a_6} \cdot K_t^{a_7}, \text{ ед./год}, \quad (8)$$

где  $K_{OH}'$  – уточненный коэффициент начальной вероятности конфликта;

$K_V'$  – уточненный коэффициент скоростей;

$K_B'$  – уточненный коэффициент вида конфликта;

$K_p$  – коэффициент плотности;

$K_H'$  – уточненный коэффициент нарушений;

$K_Y'$  – уточненный коэффициент условий;

$K_t$  – коэффициент времени;

$a_1 - a_7$  – показатели степени ранжирования;

Формула для определения потенциальной опасности конфликтной зоны на входе:

$$P_{OyBx} = \left[ \sum_1^k (P_{oi} - P_{o0})_k^{0,9} \right]^{0,7}, \quad (9)$$

где  $P_{OyBx}$  – потенциальная опасность конфликтной зоны на входе, ед./год;

$k$  – количество конфликтных точек в конфликтной зоне;

$P_{oi}$  – потенциальная опасность конфликтной зоны на полосе, ед./год;

$P_{o0}$  – порог чувствительности для рассматриваемого режима движения, ед./год;

0,9; 0,7 – показатели степени.

Совершенствование регрессионной модели зависимости аварийности от потенциальной опасности производилось в следующем порядке: за счет внесения изменений в расчетную методику, связанных с учетом новых факторов, которые характеризуют конфликтную зону; при расчете и последующем учете значения порога чувствительности потенциальной опасности для рассматриваемых видов ДПП

( $P_{00} = 0,894$  ед./год.); при расчете и последующем учете новых значений коэффициентов приведения ДТП по тяжести последствий (для ДТП с ранением  $K_p = 4$ , для ДТП со смертельным исходом  $K_c = 9$ ); применение дважды увеличенной выборки (с помощью дополнительной и контрольной выборок). Для оценки возможности практического использования полученной на каждом из этапов регрессионной модели выполнялись проверка адекватности регрессионной модели, оценка статистической значимости уравнения регрессии и оценка качества уравнения регрессии (таблица 1).

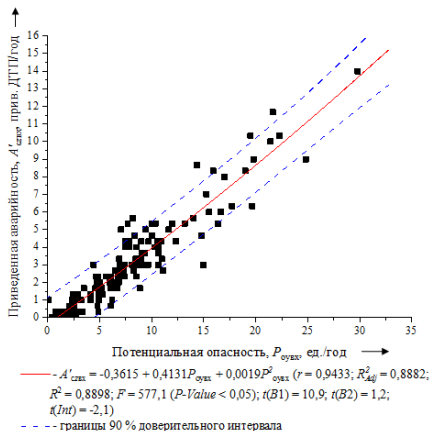
Таблица 1 – Результаты совершенствования расчетной методики

| Последовательность внесения изменений              |   | Значения параметров |        |  |  |       |         |          |         |
|--|---|---------------------|--------|--|--|-------|---------|----------|---------|
|  |   | $r$                 | $R^2$  | $R^2_{Adj}$  | Уравнение регрессии                                    | $F$   | $t(B1)$ | $t(Int)$ | $t(B2)$ |
| Выборка из 36 перекрестков                         | Базовый метод ( $N = 287$ )                                     | 0,6847              | 0,4688 | 0,4669   | $A_{спол} = 0,63208 + 0,02721P_{об}$                   | 251,5 | 15,9    | 9,7      | –       |
|  | Формулы. Конфликтная зона на полосе ( $N = 287$ )               | 0,8679              | 0,7532 | 0,7524   | $A_{спол} = 0,29271 + 0,07172P_{oy}$                   | 869,9 | 29,5    | 6,1      | –       |
|  | Порог чувствительности. Конфликтная зона на входе ( $N = 122$ ) | 0,9356              | 0,8753 | 0,8742   | $A_{свх} = -0,25655 + 0,41532P_{овх}$                  | 842,2 | 29      | –2       | –       |
|  | Приведение ДТП по тяжести ( $N = 122$ )                         | 0,9385              | 0,8808 | 0,8798   | $A_{свх} = -0,368 + 0,43614P_{овх}$                    | 886,7 | 29,8    | –2,8     | –       |
|  | Увеличенная выборка (40 перекрестков) ( $N = 139$ )             | 0,9429              | 0,8891 | 0,8875   | $A'_{свх} = -0,3561 + 0,4168P_{овх} + 0,0017P^2_{овх}$ | 537,2 | 10,6    | –2       | 1       |
| Контрольная выборка (43 перекрестка) ( $N = 148$ ) | 0,9433  | 0,8898              | 0,8882 | $A'_{свх} = -0,3615 + 0,4131P_{овх} + 0,0019P^2_{овх}$ | 577,1  | 10,9  | –2,1    | 1,2      |         |

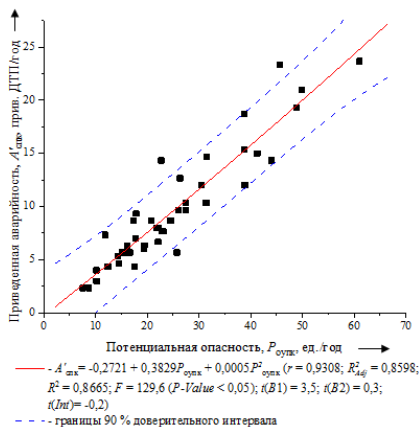
Примечание –  $P$ -Value для всех указанных в таблице зависимостей меньше 0,05.

Установлены наиболее статистически значимые зависимости приведенной аварийности от потенциальной опасности по конфликтным зонам на входах (рисунок 4) и в целом по перекресткам (рисунок 5) (с указанными уравнением регрессии и статистическими параметрами). При помощи параметра относительной погрешности прогноза выполнено сравнение результатов прогнозных значений аварийности при использовании базового метода и двух указанных вариантов усовершенствованного метода с фактической приведенной аварийностью. При этом преимущество первого варианта по усовершенствованному методу заключается в возможности последующего прогнозирования аварийности также и по перекресткам в целом. Применение базового метода связано со сложностью последующего прогнозирования аварийности на каждом из входов, при условии, например, внедре-

ния мероприятий на одном из них или внедрении на каждом из них различных мероприятий. Анализ результатов расчетов показал, что, по сравнению с базовым методом, относительная погрешность прогноза при использовании усовершенствованного метода по входам в среднем ниже примерно в 4,7 раза (по контрольной выборке), при этом погрешность прогноза не превышает 20 %.



**Рисунок 4 – Зависимость приведенной аварийности от потенциальной опасности по конфликтным зонам на входах**



**Рисунок 5 – Зависимость приведенной аварийности от потенциальной опасности по перекресткам**

В пятой главе «Практическое внедрение результатов диссертационной работы» разработан и апробирован комплексный алгоритм, состоящий из трех взаимосвязанных модулей, предназначенных для моделирования конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей, для определения местоположения конфликтной зоны и прогнозирования приведенной аварийности в попутном ТП, учитывающий протяженность зоны дилеммы в соответствии с разработанной моделью ее определения, а также протяженность зоны, располагающейся перед зоной дилеммы и характеризующейся применением значения замедления больше служебного (зона С). Это позволило до осуществления этапа прогнозирования определить наличие зоны дилеммы, ее тип и физические характеристики.

Зная прогнозируемое число приведенных ДТП (определяется с помощью уравнения регрессии по потенциальной опасности), распределение их по тяжести последствий (указано выше) и полную расчетную стоимость ДТП каждой тяжести последствий (определяется через ВВП), можно определить прогнозируемые аварийные потери. Зная долю распределения ДТП по полосам на входе с определенным их количеством (было определено в главе 3), можно спрогнозировать приведенное число ДТП в каждой конфликтной зоне на полосе.



Как показали выполненные исследования, управление ТП при подъезде к перекрестку при смене разрешающего сигнала светофора предопределяет работу с двумя группами автомобилей. Первая группа – это автомобили, проезжающие перекресток, а вторая – совершающие остановку перед стоп-линией. Поэтому суть предложений заключается в обеспечении безопасных условий проезда для автомобилей, входящих в каждую из групп. Таким образом, основным регулирующим параметром для автомобилей первой группы является продолжительность переходного интервала, а для второй – время оповещения водителей о смене разрешающего сигнала светофора.

Именно за счет увеличения продолжительности переходного интервала водителям предоставляется достаточно времени для бесконфликтного проезда перекрестка или, более точная предложенная формулировка, до наиболее удаленной конфликтной точки (основным параметром в этом случае является  $B_{\text{кфт}}$ ). Однако наряду с указанным мероприятием также с помощью разметки на проезжей части для водителей должна быть указана зона, попав в которую водитель имеет безопасную возможность проехать перекресток (данная зона и характеризуется расстоянием  $S_{\text{max}}$ ). Исходя из принципов существующей в нашей стране системы дорожной разметки в качестве таковой для выделения указанной выше зоны может применяться разметка 1.1 наносимая слева на полосе (желтого цвета). Последнее мероприятие ориентированно в том числе на неместных водителей. В отличие от других параметров светофорного цикла величина переходного интервала должна быть не меньше и не больше требуемой, поэтому предлагается для оценки ее достаточности использовать графический метод комплексного алгоритма (с построением графика, аналогичного рисунку 3). Продолжительность переходного интервала возможно также определять и по формуле:

$$t_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{min.c}} + l + B_{\text{кфт}}}{v} . \quad (10)$$

Таким образом, с помощью предложенной разметки достаточно удобно регулировать начало конфликтной зоны, и тем самым указывать ее расположение для водителей, которые будут своевременно принимать соответствующие решения. Применение этой разметки также возможно для выполнения указанного назначения и в условиях использования беспилотных автомобилей. Основным параметром, влияющим на время оповещения о смене сигнала светофора, является фактическое расстояние видимости ТСОДД ( $S_{\text{в}}$ ), причем модуль алгоритма позволяет проанализировать достаточность значения  $t_{\text{оп}}$ , сравнив значения расстояний  $S_{\text{в}}$  и  $S_{\text{min.c}}$  при различных значениях скоростей автомобилей. Тогда достаточность существующего времени оповещения будет иметь место при  $S_{\text{в}} > S_{\text{min.c}}$ , а не достаточность – при  $S_{\text{в}} < S_{\text{min.c}}$ .

Разработан и апробирован комплекс мероприятий по увеличению времени оповещения о смене разрешающего сигнала светофора: установка светофоров на консольной опоре (Г-образной) (при отсутствии островков безопасности) с вертикальным расположением сигналов приводит к снижению числа ДТП на 30 %, а с горизонтальным – на 26,7 %, при оборудовании светофоров индикаторами достигается

сокращение числа ДТП на 21,7 %. При оборудовании перекрестков, имеющих входы с полосами, на которых динамический коэффициент более 1,2, светофорами над проезжей частью сокращение числа ДТП составило 19 %. Установлено, что вынос светофора над проезжей частью (при отсутствии островков безопасности) приводит к увеличению расстояния видимости на 20–40 % и, соответственно, к увеличению времени оповещения примерно на 35–50 %. В результате внедрения комплекса мероприятий на 12 перекрестках г. Гомеля, экономический эффект составил 84795 бел. руб. в год. Применение указанных мероприятий на различных перекрестках позволило снизить аварийность до 30 % и повысить пропускную способность до 10 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработан усовершенствованный метод определения зоны дилеммы, базирующийся на предложенной модели определения местоположения зоны дилеммы и формализованной модели конфликтного взаимодействия в попутном ТП лидирующего и ведомого автомобилей, отличающийся возможностью графического определения достаточности продолжительности переходного интервала и достаточного расстояния видимости сигналов светофора, позволяющий определить местоположение зоны дилеммы, формализовать искомые расстояния, которые характеризуют ее ( $S_{\min}$ ,  $S_{\min c}$ ,  $S_{\max}$ ) и систему условий безаварийного движения, и определить объем необходимых мероприятий по снижению числа ДТП [1–7; 9; 10; 13–23; 26–28; 31; 32].

2. Усовершенствован и апробирован метод конфликтных зон прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности попутных транспортных средств, отличающийся учетом параметров, которые характеризуют конфликтную зону (ее протяженность, новое значение служебного замедления, средневзвешенное значение замедления и др.), установленным значением порога чувствительности потенциальной опасности ( $P_{00} = 0,894$  ед./год.), значениями коэффициентов приведения ДТП по тяжести последствий (с ранением:  $K_p = 4$ , со смертельным исходом:  $K_c = 9$ ). Применение данного метода позволило достичь относительной погрешности прогноза не более 20 %. На основании проведенных исследований установлена наиболее статистически значимая зависимость приведенной аварийности от потенциальной опасности [2; 3; 5; 6; 8; 10–14; 20; 23; 24; 29; 31].

3. Разработан и апробирован комплексный трехмодульный алгоритм, учитывающий новые параметры зоны дилеммы и зоны, располагающейся перед ней и характеризующейся использованием значения замедления больше служебного, применение которого позволяет до осуществления этапа прогнозирования определить наличие зоны дилеммы, ее тип и физические характеристики, а также выполнить расчет всех необходимых параметров, в том числе прогнозных значений аварийности, как на перекрестке в целом, так и на входе, и на каждой из его полос. Использование алгоритма делает возможным выполнение оценки уровня безопасности дорожного движения на перекрестке еще на стадии принятия решений (до строительства) [3; 6; 12; 14; 15; 35].

4. Разработан и научно обоснован комплекс мероприятий в зоне перекрестков по оптимизации продолжительности переходного интервала и увеличению времени оповещения о смене разрешающего сигнала; расстановке светофоров и оборудованию их индикаторами; нанесению дорожной разметки, что обеспечило снижение аварийности на объектах внедрения до 30 % и повышение пропускной способности до 10 % [3; 5; 6; 10; 14; 24; 25; 30; 32–34].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Результаты проведенных исследований подтверждены актами внедрения в научную, производственную и учебную деятельность и имеют практическое применение в следующих областях:

– производственно-научная – комплексный алгоритм позволяет прогнозировать эффективность внедряемых мероприятий по критерию минимизации числа ДТП и аварийным потерям. Методические разработки используются в УГАИ УВД Гомельского облисполкома для оценки внедрения комплекса мероприятий по предупреждению ДТП, Научно-исследовательском центре дорожного движения филиала БНТУ НИПИ при выполнении научно-проектных работ;

– инновационная – обоснование эффективности функционирования транспортной инфраструктуры Республики Беларусь – выполнена оценка состояния безопасности транспортных коммуникаций городского общественного транспорта г. Гомеля и г. Жлобина и маршрутной сети (№ 8618/1, № 8618/2, 2013);

– инвестиционная – разработка проекта Государственной программы Национального развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы (№ 8093, 2012).

В качестве практических рекомендаций разработан и апробирован комплекс мероприятий, основными из которых являются: оптимизация продолжительности переходного интервала и увеличение времени оповещения о смене разрешающего сигнала светофора. Их применение позволило предоставить возможность бесконфликтного проезда перекрестка как для автомобилей, управляемых водителями, которые решили проехать его при смене сигнала светофора, так и автомобилей, водители которых решили выполнить остановку перед стоп-линией. Экономический эффект от внедрения результатов работы на объектах г. Гомеля по состоянию на 23.06.2022 составил 84 795 бел. руб. ежегодно. Применение разработанных мероприятий по размещению технических средств обеспечивает снижение аварийности и повышение пропускной способности. В настоящее время продолжается плановое внедрение рассмотренных технических средств в практику организации дорожного движения. Материалы диссертации используются в учебном процессе Белорусского национального технического университета и УО «Белорусский государственный университет транспорта» по дисциплинам «Организация дорожного движения», «Обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок», «Автомобильные дороги. Дорожные условия и безопасность движения» и др. при подготовке инженеров по специальности 1 – 44 01 02 «Организация дорожного движения».



## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК, и в иностранных изданиях

1. Ходоскин, Д. П. Методика измерения мгновенной скорости лидирующего и ведомого автомобилей и дистанции между ними. Оценка полученных результатов / Д. П. Ходоскин // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2010. – № 2 (21). – С. 27–32.

2. Скиркоцкий, С. В. Методы исследования аварийности на примере регулируемых перекрестков и пешеходных переходов г. Гомеля / С. В. Скиркоцкий, Д. П. Ходоскин // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 31–38.

3. Ходоскин, Д. П. Разработка методики для определения местоположения и борьбы с последствиями зоны дилеммы на примере регулируемого перекрестка г. Гомеля / Д. П. Ходоскин // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 39–44.

4. Ходоскин, Д. П. Зона дилеммы : существующие методики и предложения по их усовершенствованию / Д. П. Ходоскин // Вост.-Европ. журн. передов. технолог. – 2011. – № 5/4 (53). – С. 42–47.

5. Ходоскин, Д. П. Исследование зависимостей фактического расстояния до стоп-линии от начальной скорости торможения и времени оповещения на подъезде к регулируемому перекрестку / Д. П. Ходоскин, Р. Ю. Лагеров // Вестн. Иркутск. гос. техн. ун-та. Сек. Трансп. – 2011. – № 10 (57). – С. 130–137.

6. Лапский, С. Л. Разработка компьютерной модели прогнозирования столкновений с ударом сзади / С. Л. Лапский, Д. П. Ходоскин, Р. Ю. Лагеров // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 49–54.

7. Ходоскин, Д. П. Особенности движения транспортных средств в переходном интервале / Д. П. Ходоскин // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 55–59.

8. Ходоскин, Д. П. Столкновения с ударом сзади : методология прогнозирования / Д. П. Ходоскин // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. Сер. Технічні науки та архітектура. / Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва; редкол.: В. М. Бабаев [и др.]. – Харьков, 2012. – № 103. – С. 407–415.

9. Ходоскин, Д. П. Исследование зависимостей временного интервала между автомобилями от их скоростей по временным и скоростным диапазонам / Д. П. Ходоскин // Вестн. Тихоокеанск. гос. ун-та. – 2012. – № 2 (25). – С. 127–136.

10. Ходоскин, Д. П. Расположение зоны дилеммы : методика, недостатки существующих подходов / Д. П. Ходоскин // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2012. – № 1 (24). – С. 32–38.

11. Ходоскин, Д. П. Расчет потенциальной опасности в конфликте «транспорт – транспорт» в попутном потоке с учетом параметров зоны дилеммы / Д. П. Ходоскин // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 52–54.

12. Капский, Д. В. Применение вычислительно-аналитического алгоритма для моделирования конфликтного взаимодействия автомобилей в попутном транспорт-

ном потоке / Д. В. Капский, Д. П. Ходоскин // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2020. – № 1 (40). – С. 15–19.

13. Ходоскин, Д. П. Применение количественного анализа ДТП для прогнозирования аварийности в попутном транспортном потоке / Д. П. Ходоскин, О. А. Ходоскина // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2020. – № 1 (40). – С. 20–24.

14. Капский, Д. В. Разработка мероприятий по снижению аварийности в попутном транспортном потоке / Д. В. Капский, Д. П. Ходоскин // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – № 10 (46). – С. 86–91.

#### **Статьи в научных журналах**

15. Ходоскин, Д. П. Совершенствование метода исследования столкновений с ударом сзади при подъезде к регулируемому перекрестку / Д. П. Ходоскин, Р. Ю. Лагерева // Молодеж. вестн. Иркутск. гос. технич. ун-та (интерн. верс.). – Иркутск, 2011. – № 2. – С. 45–52.

16. Ходоскин, Д. П. Исследование разниц скоростей лидирующего и ведомого автомобилей. Определение параметров зависимостей дистанции и временного интервала от этих скоростей / Д. П. Ходоскин // Молодой ученый; редкол.: Г. Д. Ахметова [и др.]. – 2011. – Т. 1., № 8 (31). – С. 86–89.

#### **Статьи в других научных изданиях**

17. Ходоскин, Д. П. Определение теоретического подхода при изучении столкновений с ударом сзади / Д. П. Ходоскин // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : сб. науч. тр. Сек. Организация и безопасность дорожного движения. / Тихоокеан. гос. ун-т ; редкол.: П. А. Пегин [и др.]. – Хабаровск, 2010. – № 10. – С. 260–267.

18. Ходоскин, Д. П. Определение дистанции между автомобилями следующими в попутном направлении и их мгновенных скоростей. Построение зависимостей между данными параметрами / Д. П. Ходоскин // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : сб. науч. тр. Сек. Организация и безопасность дорожного движения. / Тихоокеан. гос. ун-т ; редкол.: П. А. Пегин [и др.]. – Хабаровск, 2010. – № 10. – С. 278–286.

#### **Материалы конференций**

19. Ходоскин, Д. П. Причинно-следственные ситуации дорожно-транспортных происшествий при ударе сзади / Д. П. Ходоскин // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем : материалы междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 12–13 мая 2009 г. / Южно-Урал. гос. ун-т ; редкол.: О. Н. Ларин, Ю. В. Рождественский. – Челябинск, 2009. – С. 186–187.

20. Ходоскин, Д. П. Исследование замедления и начальной скорости торможения при подъезде к регулируемым перекресткам и регулируемым пешеходным переходам в г. Гомеле с помощью прибора «Эффект» / Д. П. Ходоскин // Автомобильный транспорт Дальнего Востока – 2010 : материалы Пятой междунар. науч.-практ. конф., Хабаровск – Владивосток, 3–8 сент. 2010 г. / Тихоокеан. гос. ун-т ; редкол.: П. П. Володькин [и др.]. – Хабаровск, 2010. – С. 270–277.

21. Ходоскин, Д. П. Исследование движения транспортных средств в переходном интервале на примере регулируемого перекрестка г. Гомеля / Д. П. Ходоскин // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27–29 окт. 2010 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Ф. А. Романюк [и др.]. – Минск, 2011. – С. 3–8.

22. Капский, Д. В. Исследование условий движения на регулируемых перекрестках г. Гомеля / Д. В. Капский, Д. П. Ходоскин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы Пятой междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2010 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; редкол.: В. И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2010. – С. 42–43.

23. Ходоскин, Д. П. Исследование замедления и начальной скорости торможения на регулируемых перекрестках / Д. П. Ходоскин // Политранспортные системы : материалы Седьмой Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 25–27 нояб. 2010 г. / Сибир. гос. ун-т путей сообщения. – Новосибирск, 2010. – С. 578–583.

24. Ходоскин, Д. П. Классификация уклончивых маневров от столкновения с ударом сзади. Решение проблемы зоны дилеммы / Д. П. Ходоскин // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології : матеріали П'ятої міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 24–25 берез. 2011 р. / Держ. екон.-технолог. ун-т трансп. ; редкол. В. К. Мироненко [и др.]. – Київ, 2011. – С. 214–216. – Сер. Техніка, технологія. Сек. Управління процесами перевезень і транспортними системами.

25. Ходоскин, Д. П. Влияние величины переходного интервала на решения, принимаемые водителями в зоне дилеммы / Д. П. Ходоскин // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Девятой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21 апр. 2011 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталёв [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 3. – С. 174–175.

26. Ходоскин, Д. П. Определение зоны дилеммы при подъезде к регулируемому перекрестку / Д. П. Ходоскин // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Девятой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21 апр. 2011 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталёв [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 3. – С. 175–176.

27. Ходоскин, Д. П. Исследование скоростей лидирующего и ведомого автомобилей и их разниц при подъезде к перекрестку на примере регулируемого перекрестка г. Гомеля / Д. П. Ходоскин // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем : материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 12 мая 2011 г. / Южно-Урал. гос. ун-т ; редкол.: О. Н. Ларин, Ю. В. Рождественский. – Челябинск, 2011. – С. 227–232.

28. Ходоскин, Д. П. Исследование зависимости временного интервала между автомобилями от скорости ведомого автомобиля на примере регулируемого перекрестка г. Гомеля / Д. П. Ходоскин // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем : материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 12 мая 2011 г. / Южно-Урал. гос. ун-т ; редкол.: О. Н. Ларин, Ю. В. Рождественский. – Челябинск, 2011. – С. 233–237.

29. Ходоскин, Д. П. Классификация первичных и вторичных конфликтов при столкновениях с ударом сзади на подъездах с разным числом полос /

Д. П. Ходоскин // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем : материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 12 мая 2011 г. / Южно-Урал. гос. ун-т ; редкол.: О. Н. Ларин, Ю. В. Рождественский. – Челябинск, 2011. – С. 237–242.

30. Ходоскин, Д. П. Анализ нормативных документов, регламентирующих движение попутного потока при подъезде к регулируемому перекрестку / Д. П. Ходоскин // Транспортные системы мегаполисов. Проблемы и пути решения : междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 11–12 окт. 2011 г. / Харьк. нац. автомобильно-дорож. ун-т. – Харьков, 2011. – С. 87–93.

31. Ходоскин, Д. П. Методика прогнозирования аварийности в потоке попутного транспорта / Д. П. Ходоскин // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем : материалы Четвертой междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 3 мая 2012 г. / Южно-Урал. гос. ун-т ; редкол.: О. Н. Ларин, Ю. В. Рождественский. – Челябинск, 2012. – С. 311–317.

32. Ходоскин, Д. П. Алгоритм исследования регулируемого перекрестка на предмет наличия зоны дилеммы / Д. П. Ходоскин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы Шестой междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 29–30 нояб. 2012 г. / Беларус. гос. ун-т трансп. ; редкол.: В. И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2012. – С. 52–53.

33. Ходоскин, Д. П. Зависимость замедления от времени оповещения о смене сигналов светофора при подъезде к стоп-линии на регулируемом перекрестке / Д. П. Ходоскин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы Восьмой междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 23–24 нояб. 2017 г. : в 2 т. / Беларус. гос. ун-т трансп. ; редкол.: Ю. И. Кулаженко [и др.]. – Гомель, 2017. – Т. 2. – С. 157–159.

34. Ходоскин, Д. П. Исследование движения транспортных средств в переходном интервале / Д. П. Ходоскин // Автомобиле- и тракторостроение : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–18 мая 2018 г. : в 2 т. / Беларус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Д. В. Капский [и др.]. – Минск, 2018. – Т. 2. – С. 94–101.

### **Другие**

35. Ходоскин, Д. П. Автодилеммапрогноз – Прогнозирование приведенной аварийности в попутном транспортном потоке при помощи метода конфликтных зон (зон дилеммы) : сер. IX–РИД № 2022–001 / Д. П. Ходоскин // заявитель Д. П. Ходоскин – № ВУ/1591; заявл. 13.07.2022; депон. 21.07.2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Деп. в УП «Белпатентсервис» БелТПП.

## РЭЗІЮМЭ

Хадоскін Дзмітрый Пятровіч

### Зніжэнне аварыйнасці на падыходах да рэгуляваных скрыжаванняў шляхам кіравання рухам спадарожных транспартных сродкаў

**Ключавыя словы:** бяспека дарожнага руху, аварыйнасць у спадарожным транспартным патоку, зона дылемы, метады прагназавання, час абвесткі, пераходны інтэрвал

**Мэта работы:** зніжэнне аварыйнасці спадарожных транспартных сродкаў на ўчастках са святлафорным рэгуляваннем метадамі кіравання транспартнымі патокамі.

**Метады даследавання:** рэгрэсійны аналіз, метады матэматычнай статыстыкі і аналізу, камп'ютарнага мадэлявання.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** удасканалены метады вызначэння зоны дылемы, які адрозніваецца ўлікам значэння запаволення і атрыманнем тым самым некалькіх тыпаў дадзенай зоны, дазваляе размежаваць магчымасці кіроўцаў, якія трапляюць у іх; распрацавана мадэль вызначэння месцазнаходжання канфліктнай зоны, якая адрозніваецца ўлікам асаблівасцяў канфліктнага ўзаемадзеяння вадзіцеляў і значэння запаволення, якая дазваляе вызначаць параметры і размяшчэнне канфліктнай зоны; распрацавана мадэль канфліктнага ўзаемадзеяння аўтамабіляў пры набліжэнні да скрыжавання, якая дазваляе фармалізаваць бяспечныя ўмовы руху; удасканалены метады канфліктных зон прагназавання прыведзенай аварыйнасці, які адрозніваецца ўдакладненай разліковай залежнасцю за кошт уліку параметраў канфліктнай зоны, дазваляе атрымаць адносную хібнасць прагнозу ў сярэднім ніжэй у 4,7 разы ў параўнанні з існуючым метадам; распрацаваны комплексны алгарытм для вызначэння наяўнасці зоны дылемы яе працягласці і тыпу, а таксама прагназавання прыведзенай аварыйнасці; распрацаваны комплекс мерапрыемстваў, які дазваляе знізіць небяспеку канфліктнага ўзаемадзеяння у міжфазным і ўнутрыфазным рэжымах і тым самым знізіць аварыйнасць да 30 %.

**Ступень выкарыстання:** вынікі даследавання знайшлі прымяненне ў галіне дарожнага руху, у рабоце навукова-даследчых, практных устаноў і ў ВНУ пры падрыхтоўцы спецыялістаў.

**Галіна выкарыстання:** ДАІ, у навукова-даследчай і практнай рабоце адпаведных устаноў (напрыклад: навукова-даследчых цэнтрах дарожнага руху, спецыялізаваных мантажна-эксплуатацыйных прадпрыемствах) і адукацыйным працэсе ВНУ.



## РЕЗЮМЕ

Ходоскин Дмитрий Петрович

### **Снижение аварийности на подходах к регулируемым перекресткам путем управления движением попутных транспортных средств**

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, аварийность в попутном транспортном потоке, зона дилеммы, метод прогнозирования, время оповещения, переходной интервал

**Цель исследования:** снижение аварийности попутно движущихся транспортных средств на участках со светофорным регулированием методами управления транспортными потоками.

**Методы исследования:** регрессионный анализ, методы математической статистики и анализа, компьютерного моделирования.

**Полученные результаты и их новизна:** усовершенствован метод определения зоны дилеммы, отличающийся учетом значения замедления и получением тем самым нескольких типов данной зоны, позволяющий разграничить возможности водителей, которые попадают в них; разработана модель определения местоположения конфликтной зоны, отличающаяся учетом особенностей конфликтного взаимодействия водителей и значения замедления, позволяющая определять параметры и расположение конфликтной зоны; разработана модель конфликтного взаимодействия автомобилей при приближении к перекрестку, позволяющая формализовать безопасные условия движения; усовершенствован метод конфликтных зон прогнозирования приведенной аварийности, отличающийся уточненной расчетной зависимостью за счет учета параметров конфликтной зоны, позволяющий получить относительную погрешность прогноза в среднем ниже в 4,7 раза по сравнению с существующим методом; разработан комплексный алгоритм для определения наличия зоны дилеммы ее протяженности и типа, а также прогнозирования приведенной аварийности; разработан комплекс мероприятий, позволяющий снизить опасность конфликтного взаимодействия в межфазном и внутрифазном режимах и тем самым снизить аварийность до 30 %.

**Степень использования:** результаты исследования нашли применение в области дорожного движения, в работе научно-исследовательских, проектных учреждений и в вузах при подготовке специалистов.

**Область применения:** ГАИ, в научно-исследовательской и проектной работе соответствующих учреждений (например: научно-исследовательских центрах дорожного движения, специализированных монтажно-эксплуатационных предприятий) и образовательном процессе вузов.

## SUMMARY

**Khadoskin Dzmitry Petrovich**

### **Reducing accidents on approaches to regulated intersections by controlling the movement of passing vehicles**

**Keywords:** road safety, accident rate in passing traffic, dilemma zone, forecasting method, notification time, transition interval

**The goal of the research:** reducing the accident rate of passing vehicles on sections with traffic lights regulation by traffic flow management methods.

**Research methods:** regression analysis, methods of mathematical statistics and analysis, computer modeling.

**Research results and their scientific novelty:** the method for determining the dilemma zone has been improved, differing by taking into account the deceleration value and thereby obtaining several types of this zone, which makes it possible to distinguish between the capabilities of drivers who fall into them; a model for determining the location of the conflict zone has been developed, which differs in taking into account the peculiarities of the conflict interaction of drivers and the deceleration value, which allows determining the parameters and location of the conflict zone; a model of the conflict interaction between was developed when approaching the intersection, which allows formalizing safe traffic conditions; the method of conflict zones for predicting the reduced accident rate, which is distinguished by a refined calculated dependence by taking into account the parameters of the conflict zone, which makes it possible to obtain a relative forecast error on average 4,7 times lower compared to the existing method; a complex algorithm has been developed to determine the presence of a dilemma zone of its length and type, as well as to predict the reduced accident rate; a set of measures has been developed to reduce the risk of conflict interaction in interphase and intraphase modes and thereby reduce the accident rate to 30 %.

**Application area of the research results:** the results of the study have found application in the field of traffic, in the work of research, design institutions and universities in the training of specialists.

**The field of application:** SAI, in the research and design work of the relevant institutions (for example: traffic research centers, specialized installation and maintenance enterprises) and the educational process of universities.

Научное издание

**ХОДОСКИН**  
Дмитрий Петрович

**СНИЖЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ НА ПОДХОДАХ К РЕГУЛИРУЕМЫМ  
ПЕРЕКРЕСТКАМ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
ПОПУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.22.10 – эксплуатация автомобильного транспорта

Подписано в печать 22.03.2023. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд. л. 1,53. Тираж 60. Заказ 194.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.