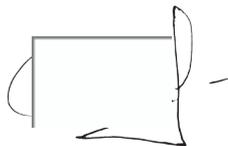


На правах рукописи



Джурук Дмитрий Сергеевич

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ДВУХПОЛОСНЫХ
ДОРОГАХ В МЕСТАХ КОНЦЕНТРАЦИИ ДТП НА
ПРИМЕРЕ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

Специальность 05.22.10
Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Зеденизов Антон Викторович

Официальные оппоненты: **Зырянов Владимир Васильевич**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, кафедра «Организация перевозок и дорожного движения», заведующий;

Афанасьев Александр Сергеевич
кандидат военных наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский горный университет»,
кафедра «Транспортно-технологических процессов и машин», заведующий;

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Защита состоится «20» октября 2020 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д **212.223.02** при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, зал заседаний (ауд. 2019).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/dzhupyk-dmitiy- sergeevich>.

Автореферат разослан: «14» сентября 2020 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент



Олещенко Елена Михайловна

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. По данным Всемирной организации здравоохранения смертность в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) является основной внешней причиной смертности в мире. В результате ДТП в мире ежегодно гибнет 1,35 миллиона человек. Уровень аварийности в России благодаря реализуемым федеральным целевым программам, транспортной стратегии 2030, стратегии безопасности дорожного движения (БДД) на 2018-2024 годы и ряду других целенаправленных мер, проводимых на фоне значительного роста уровня автомобилизации, несмотря на наметившуюся тенденцию к снижению, остается на недопустимо высоком уровне. В качестве целевого ориентира определен показатель социального риска, составляющий не более 4 погибших на 100 тыс. населения.

Отдельное внимание уделяется ДТП, произошедшим вне пределов населенных пунктов. Это обусловлено наибольшей тяжестью последствий таких ДТП. Одной из основных задач по обеспечению БДД наравне с развитием принципов автоматизации управления дорожным движением, интеграцией систем управления дорожным движением в интеллектуальные транспортные системы является совершенствование дорожных условий и дорожной инфраструктуры за счет малозатратных, но эффективных мероприятий – устранения мест концентрации ДТП. Таким образом, повышение уровня БДД в местах концентрации ДТП, произошедших на автомобильных дорогах вне населенных пунктов, имеет важное значение для достижения целевого ориентира вышеуказанной стратегии.

Вместе с этим, существующие методики оценки и прогнозирования уровня аварийности не позволяют учитывать дорожные условия и технические параметры двухполосных дорог, доля которых в РФ составляет 89 %. Возникшее противоречие между практическими запросами нашего общества и отсутствием научных знаний в части повышения БДД на двухполосных автомобильных дорогах требует разработки методики, направленной на создание инструментария, позволяющего прогнозировать число ДТП в зависимости от дорожных условий и технических параметров автомобильных дорог, что позволит оценивать и прогнозировать уровень БДД как на стадии проектирования новых, так и при реконструкции существующих автомобильных дорог.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в развитие теоретических основ, методов и проблем БДД, связанных с изучением влияния дорожных условий внесли такие ученые как: Бабков В.Ф., Сильянов В.В., Афанасьев М.Б., Клинковштейн В.П., Коноплянко В.И., Дивочкин О.А., Васильев А.П., Варлашкин В.П., Лобанов Е.М., Чванов

В.В., Пугачев И.Н., Кравченко П.А., Евтюков С.А., Солодкий А.И., Новиков А.Н., Пospelов П.И., Жанказиев С.В., Рябокoнь Ю.А., Зильбербрандт А.М., Рунэ Эльвик, Аннэ Боргер Мюсен, Трулс Ваа и др. Вместе с тем, анализ публикаций работ вышеупомянутых авторов показывает, что, процесс формирования дорожно-транспортных ситуаций, приводящих к ДТП на двухполосных автомобильных дорогах не получил должного развития.

Цель диссертационного исследования. Разработка методики повышения БДД на двухполосных автомобильных дорогах в местах концентрации ДТП, создаваемых дорожными условиями.

Объектом исследования является безопасность дорожного движения на двухполосных автомобильных дорогах, определяющаяся на основе совокупности дорожных условий и технических параметров проезжей части.

Предметом исследования является методика повышения безопасности дорожного движения на двухполосных автомобильных дорогах основывающаяся на совокупности дорожных условий и технических параметров проезжей части.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ ДТП, нанесённых на топографическую подоснову, произошедших вне населенных пунктов на двухполосных автодорогах, расположенных на территории Сибирского федерального округа, определить участки концентрации ДТП и основные факторы, влияющие на их появление.

2. Разработать регрессионные уравнения, позволяющие рассчитывать среднегодовую суточную интенсивность транспортных потоков на основе численности проживающего населения в зоне транспортной доступности, рассматриваемого участка автомобильной дороги.

3. Разработать регрессионные уравнения, позволяющие оценить коэффициент относительной аварийности на двухполосных автомобильных дорогах в местах концентрации ДТП.

4. Разработать методику, повышения безопасности дорожного движения на двухполосных автодорогах, как совокупность приведенных частных задач функционально объединённых общей целью.

5. Выполнить апробацию, разработанной методики и дать ей технико-экономическую оценку.

Научная новизна выполненного диссертационного исследования заключается в:

1. разработанной регрессионной зависимости, позволяющей рассчитать среднегодовую суточную интенсивность движения транспортных средств на двухполосных автодорогах, имеющих не более одного пересечения с другими автодорогами в радиусе транспортной доступности;

2. разработанных регрессионных зависимостях, позволяющих рассчитать коэффициент относительной аварийности по параметрам дорожных условий с учетом вида места концентрации ДТП;

3. разработанной методике повышения безопасности дорожного движения на двухполосных автомобильных дорогах, как совокупность приведенных частных задач функционально объединённых общей целью.

Теоретическая значимость исследования. Разработанная методика позволяет осуществлять оценку и прогнозирование уровня БДД в зависимости от состояния дорожных условий и технических параметров проезжей части двухполосных автомобильных дорог. Выявленные закономерности обеспечивают повышение уровня знаний о процессе возникновения опасных ДТС, приводящих к ДТП.

Практическая значимость работы. Разработанная методика может быть использована для оценки текущего уровня БДД и прогнозирования его изменения в случае реконструкции или строительства новых участков автомобильных дорог. Методика может быть рекомендована органам ГИБДД на городском, областном и федеральном уровнях, а также транспортным департаментам субъектов РФ для повышения БДД в местах концентрации ДТП на двухполосных автодорогах.

Методологическая основа исследования. Теория организации и безопасности дорожного движения, статистические методы проведения экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования, основных параметров автомобильных дорог осуществлялись путем натурных замеров и с применением ГИС-технологий. В аналитических исследованиях использованы численные методы математического анализа и планирования эксперимента, а также основы системного анализа. Обработка данных экспериментов осуществлялась на основе методов теории вероятности и математической статистики с помощью специализированных программных продуктов «Statistica» и «Microsoft Excel».

Положения, выносимые на защиту:

1. Среднегодовую суточную интенсивность движения ТС на автомобильных дорогах, имеющих не более одного пересечения с федеральной дорогой можно определять по регрессионной зависимости, учитывающей численность жителей населенных пунктов, находящихся в радиусе транспортной доступности, что существенно снизит трудоемкость оценки среднегодовой суточной интенсивности ТС.

2. Коэффициент относительной аварийности на реконструируемых и новых участках двухполосных автомобильных дорог можно определять по регрессионным зависимостям, учитывающих дорожные условия и тип мест концентрации ДТП.

3. Повышение безопасности дорожного движения при проектировании или реконструкции двухполосных автомобильных дорог можно осуществлять с использованием предложенной методики в основу которой входят регрессионные уравнения, позволяющие вычислять коэффициент относительной аварийности, учитывающий дорожные условия.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности ВАК 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно: п. 5 в части «обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса...» и п. 7. «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния... дорожной сети...».

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечена:

- репрезентативностью выборок, экспериментально полученных данных, применением методов статистической обработки и математической статистики;
- корректным применением регрессионного анализа, который позволяют обеспечить сходимость полученных результатов;
- отсутствием противоречий полученных результатов и выводов с результатами ранее выполненных научных исследований.

Практическая ценность и реализация результатов исследования. Методика повышения и прогнозирования БДД, основанная на дорожных условиях, может быть внедрена на предприятиях, занимающихся эксплуатацией, текущим и капитальным ремонтом, а также проектированием автомобильных дорог. Кроме этого, предлагаемая методика может быть рекомендована в вузах при подготовке бакалавров по специальности 23.03.01 «Технология транспортных процессов». Внедрение методики позволяет снизить трудоемкость и себестоимость оценки БДД по сравнению с существующими методиками.

Разработанная методика повышения и прогнозирования БДД, основанная на дорожных условиях прошла производственную проверку и рекомендована УГИБДД МВД республики Бурятия в качестве методики позволяющей определить степень эффективности мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации ДТП. Применение методики позволяет рассчитать количественную оценку риска ДТП после осуществления мероприятий по повышению БДД, а также в значительной степени снизить трудоемкость прогнозирования аварийности в местах концентрации ДТП.

Апробация работы основные результаты работы представлены на следующих научно-практических мероприятиях: VII, IX, XI Всероссийской научно-практической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (Иркутск, 2016, 2017 и 2018 г.); всероссийской научно-практической

конференции «Наука и практика в обеспечении безопасности дорожного движения: вчера, сегодня, завтра», посвященной 80-летию образования Госавтоинспекции (Москва, 2016 г.); XXII международной научно-практической конференции «Деятельность правоохранительных органов в современных условиях» (Иркутск, 2017 г.); XIII международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт-Петербург 2018 г.)

Публикации: по теме диссертации опубликовано 8 работ, 3 из которых в изданиях, рецензируемых ВАК РФ, 1 работа в журнале, рецензируемом Scopus и 4 публикации в материалах научно-практических конференций.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка использованных источников, включающего 124 наименований, в том числе 18 на иностранном языке и приложений. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста и включает 19 таблиц, 66 рисунков и 3 приложений с материалами результатов исследований.

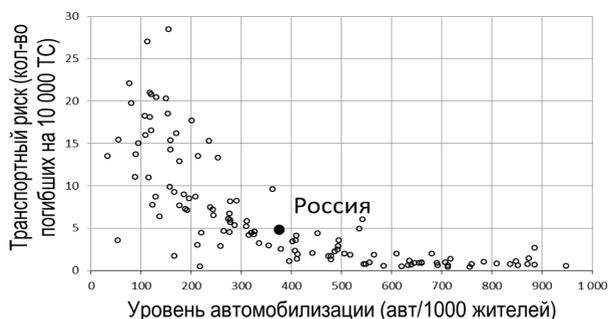
Во введении обоснованы актуальность темы, определены цель, устанавливаемая, требуемый результат, рабочая гипотеза, объект, предмет, методы исследования, отмечены научная новизна и практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения о публикациях, структуре и объеме работы.

Первая глава содержит аналитический обзор основных показателей аварийности в России и странах мира, а также существующих методов прогнозирования аварийности.

Как показывает сопоставительный анализ основных показателей аварийности России со странами мира, БДД напрямую зависит от уровня автомобилизации и среднего дохода на душу населения. Так, с ростом уровня автомобилизации и дохода населения, основные показатели аварийности имеют тенденцию к снижению. Показатели аварийности в Российской Федерации в сравнении со странами мира, имеющими аналогичный уровень автомобилизации, несмотря на динамику снижения всё ещё недопустимо высоки. Сравнение основных показателей безопасности дорожного движения представлено на рис. 1.

Анализ публикаций показывает, что основным и наиболее универсальным методом прогнозирования аварийности в настоящее время является метод коэффициентов аварийности, разработанный В.Ф. Бабковым. Зарубежные методы прогнозирования аварийности также основаны на определении коэффициентов. Данный метод позволяет определять уровень аварийности (опасности) участка автодороги, расположенной вне населенного пункта.

а)



б)

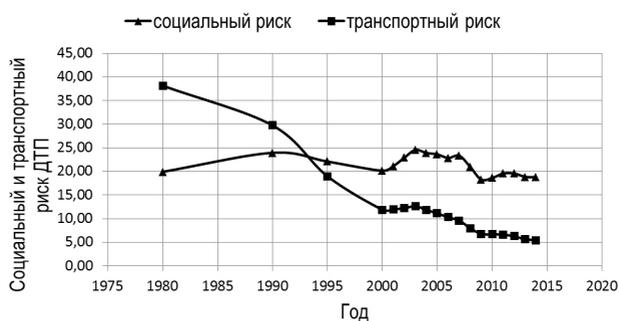


Рис. 1 – Основные показатели аварийности России и стран мира: а) зависимость транспортного риска ДТП от уровня автомобилизации, б) динамика изменений социального и транспортного риска ДТП в Российской Федерации

Однако, несмотря на высокую распространенность, у данного метода имеются недостатки, во-первых, при его разработке зависимость частных коэффициентов аварийности от дорожных факторов определялась без учета их совокупного влияния. Во-вторых, данный метод предполагает, что степень влияния частных коэффициентов на БДД одинакова, таким образом, изменение значения любого из них отражается на БДД. В-третьих, данный метод показывает лишь относительный уровень аварийности и при этом не позволяет прогнозировать количество ДТП на конкретном участке автодороги. В-четвертых, в связи с изменением тягово-скоростных, маневренных и тормозных характеристик подвижного состава, требуется периодическая корректировка коэффициентов аварийности, приведенных в отечественной и зарубежной литературе в виду утраты их актуальности.

Вторая глава посвящена исследованию влияния дорожных условий на БДД. Как правило, все места совершения ДТП уникальны, они отличаются друг от друга своими транспортно-эксплуатационными характеристиками, а также интенсивностью движения. Поэтому для сравнения разнородных участков автодорог используется специальный показатель – коэффициент относительной аварийности, выражающийся числом происшествий на 1 млн авт.км пробега. В случае определения уровня аварийности протяженных однородных участков данный показатель рассчитывается по формулам, представленным проф. Бабковым:

$$Y_1 = \frac{10^6 \cdot z}{365 \cdot N \cdot L \cdot t}, \quad (1)$$

где z – количество ДТП за исследуемый период; N – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сут.; L – длина участка дороги, км; t – продолжительность исследуемого периода, лет. Применение выражения (1) требует разработки функциональных зависимостей, отражающих изменение, входящих в неё параметров.

Для коротких участков формула имеет иной вид. К данным участкам относятся пересечения автодорог, мосты, тоннели и т.п.

$$Y_2 = \frac{10^6 \cdot z}{365 \cdot N \cdot t}. \quad (2)$$

Данный коэффициент определяется на основе статистических данных о количестве ДТП на определенном участке автодороги. При этом исследуемый период не должен быть менее 3 лет, что позволяет нивелировать неравномерность распределения ДТП по годам. Таким образом, для разработки функциональных зависимостей необходимо проведение натурных исследований и статистического анализа экспериментальных данных.

Третья глава посвящена методике экспериментальных исследований. В главе подробно описан порядок формирования, хранения и использования статистических данных о ДТП, подлежащими включению в государственную статистическую отчетность, а также порядок получения иных сведений о дорожных условиях в исследуемых местах концентрации ДТП.

Учет ДТП ведется централизованно на федеральном уровне. На каждое ДТП заполняется специальная карточка учета ДТП. Данная карточка состоит из десяти разделов, в каждом из которых отражается соответствующая информация о данном происшествии. Для проведения исследования

использовались статистические данные из разделов «место совершения ДТП» и «дорожные условия».

Доступ к статистическим данным на федеральном уровне осуществлялся с использованием специализированного программного продукта МИАС «Прогноз». Вместе с тем, существующее программное обеспечение существенно ограничено в своих функциональных возможностях и не позволяет проводить полноценный регрессионно-корреляционный анализ, однако позволяет получать прямой доступ к сведениям, внесенным в карточки учета ДТП. Для проведения исследования в программном продукте Microsoft Excel была создана собственная база данных, объединяющая статистические данные о ДТП, произошедших на автодорогах федерального значения Сибирского федерального округа в период времени с 2013–2016 гг.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных и аналитических исследований. По результатам топографического анализа данных, было сформировано 402 места концентрации ДТП, расположенных на федеральных автодорогах Сибирского федерального округа вне населенных пунктов. В качестве независимых факторов, оказывающих влияние на БДД были выбраны: среднегодовая суточная интенсивность движения, ширина обочины, ширина проезжей части, расстояние видимости, радиус кривизны дороги в плане и продольный угол наклона дороги. Выбор данных факторов обусловлен тем, что их значения постоянны вне зависимости от времени года, суток или состояния погоды.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Среднегодовую суточную интенсивность движения ТС на автомобильных дорогах, имеющих не более одного пересечения с федеральной дорогой можно определять по регрессионной зависимости, учитывающей численность жителей населенных пунктов, находящихся в радиусе транспортной доступности, что существенно снизит трудоемкость оценки среднегодовой суточной интенсивности ТС.

Для определения значения среднегодовой суточной интенсивности движения использовалась методика, утвержденная распоряжением Минтранса от 19.06.2003 № ОС-555-р «О введении в действие «Руководства по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах». В ее основе лежит построение матрицы корреспонденций между населенными пунктами, расположенными на исследуемой территории.

Определение среднегодовой суточной интенсивности движения на участке автодороги между двумя корреспондирующими населенными пунктами определяется по следующей формуле:

$$N_{ij} = \frac{P_p \cdot K_c \cdot Q_l \cdot V_l \cdot \lambda_l \cdot K_l}{1000 \cdot L_{np}^2} + \frac{P_p \cdot K_c \cdot Q_a \cdot V_a \cdot \lambda_a \cdot K_a}{1000 \cdot L_{np}^2} + \frac{P_p \cdot K_c \cdot Q_r \cdot V_r \cdot \lambda_r \cdot K_r}{1000 \cdot L_{np}^\alpha}, \quad (3)$$

где P_p – суммарная приведенная численность населения в i и j населенных пунктах; K_c – коэффициент связанности i -го и j -го населенных пунктов; Q_l, Q_a, Q_r – существующий или перспективный уровень насыщения территории легковыми автомобилями, грузовыми автомобилями и автобусами соответственно авт./1000 жит; V_l, V_r, V_a – средняя скорость движения легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов в эталонных условиях соответственно; $\lambda_l, \lambda_r, \lambda_a$ – средняя продолжительность работы в течение суток легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов соответственно; K_l, K_r, K_a – коэффициент, характеризующий использование легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов соответственно; L_{np} – приведенное расстояние между i -м и j -м населенными пунктами; α – показатель степени, используемый при расчете интенсивности движения грузовых автотранспортных средств.

Данная методика учитывает интенсивность движения трех основных групп транспортных средств (легковые, грузовые автомобили и автобусы), а также уровень автомобилизации региона и другие. Вместе с тем, при расчетах среднегодовой суточной интенсивности движения на региональном уровне, учитываются лишь населенные пункты с численностью населения более 10 000 жителей. Такой подход не позволяет провести расчет с достаточной точностью, в связи с чем возникает необходимость учета более мелких населенных пунктов. Однако их учет влечет за собой значительное увеличение матрицы корреспонденций и осложнение последующих вычислений, которое связано с большим количеством факторов и необходимостью их определения вручную. Это обстоятельство послужило основанием для разработки собственной упрощенной регрессионной зависимости определения суточной интенсивности движения.

В качестве основного фактора, влияющего на интенсивность, было выбрано количество жителей населенных пунктов в зоне транспортной доступности которых находится исследуемый участок автодороги. Для выявления зависимости суточной интенсивности ТС был составлен перечень населенных пунктов, численность, проживающего в них населения и их местоположение с привязкой к километражу автодороги. При этом учитывались все населенные пункты с численностью жителей от 100 человек.

Общее число таких населенных пунктов, расположенных вблизи федеральных автодорог Сибирского федерального округа составило 466 ед. Кроме того, были получены сведения о фактической среднегодовой суточной интенсивности на федеральных автодорогах Сибирского федерального округа в 2016 году. Однако результаты регрессионного анализа показали слабую связь между интенсивностью движения и объясняющим ее фактором. Низкая степень корреляции может быть объяснена влиянием неучтенного транзитного транспорта, поскольку ряд автодорог соединяют между собой не только все остальные федеральные трассы округа, но и европейскую часть России с Дальним Востоком.

Исключение таких автодорог из регрессионного анализа позволило существенно повысить точность прогнозирования. В результате анализа перечисленных данных была выявлена регрессионная зависимость суточной интенсивности ТС от численности, проживающего в радиусе транспортной доступности. Результаты регрессионного анализа по скорректированным данным представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты регрессионно-корреляционного анализа по федеральным автодорогам Сибирского федерального округа

Регрессионная статистика				
Коэффициент корреляции R		0,939903		
R -квадрат		0,883418		
Нормированный R -квадрат		0,879255		
Стандартная ошибка		3078,637		
Общие наблюдения / групп наблюдений		30		
Дисперсионный анализ				
	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий Фишера F	
			$F_{\text{расч.}}$	$F_{95\% ; 1; 12}$
Регрессия	1	2,01E + 09	212,1749	1,36E-14
Остаток	28	9478008		
Итого	29	–		
$Y = 2530 + 0,017325P$				

Основываясь, на результатах регрессионно-корреляционного анализа следует привести уравнение, которое может быть рекомендовано для практического применения:

$$N = 2530 + 0,017325 \cdot P,$$

где P – численность населения, проживающего в зоне транспортной доступности, чел.

Границами применения данного уравнения является, во первых, федеральные автомобильные дороги, имеющие не более одного пересечения с другими федеральными дорогами, во-вторых, данное уравнение будет справедливо для диапазона численности жителей населенных пунктов от 100 до 2 761 659 чел.

Точность прогнозирования суточной интенсивности движения на автодорогах Сибирского федерального округа приведена на рис. 2.

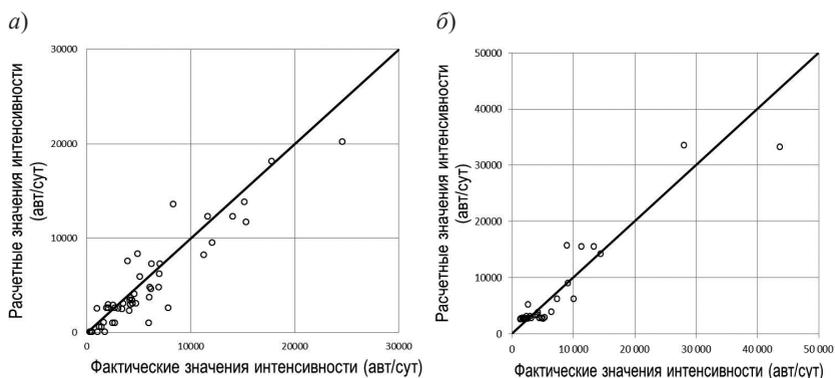


Рис. 2 – Оценка точности прогнозирования среднегодовой суточной интенсивности движения на автодорогах Сибирского федерального округа: а) по методике Минтранса; б) по предложенной регрессионной зависимости

2. Коэффициент относительной аварийности на реконструируемых и новых участках двухполосных автомобильных дорог можно определять по регрессионным зависимостям, учитывающих дорожные условия и тип мест концентрации ДТП.

Значение коэффициента относительной аварийности определяют дорожные условия, характерные для исследуемого участка. По мнению ряда ученых зависимость может быть описана линейной регрессией, в которой в качестве факторов выступают технические параметры автомобильных дорог. Вместе с тем, следует отметить, что кроме дорожных условий на БДД оказывают влияние и такие составляющие как водитель и автомобиль. В связи с этим, в местах концентрации ДТП совокупность дорожных условий будет оказывать максимальное влияние на коэффициент относительной аварийности, влияние же остальных факторов будет менее

значительно. Таким образом, изучение влияния дорожных условий, выраженных геометрическими характеристиками двухполосных автомобильных дорогах на коэффициент относительной аварийности, в целях повышения точности, целесообразно проводить именно в местах концентрации ДТП.

Несмотря на наличие, законодательно закрепленного, понятия аварийно-опасным участком дороги (место концентрации ДТП), в своей деятельности два основных ведомства отвечающих за вопросы безопасности (ГИБДД МВД и Министерство транспорта) трактуют данное понятие по-разному. В данной работе под местом концентрации ДТП понимается участок автодороги вне населенного пункта длиной не более 1000 м, на котором за исследуемый период (2013–2016 гг.) произошло не менее 4 ДТП любого вида. Как показал топографический анализ ДТП, произошедших на территории Сибирского федерального округа, 48 % всех ДТП приходится именно на такие участки. Общая протяженность таких участков составляет 288 километров, при общей протяженности федеральных автодорог Сибири более 9605 км.

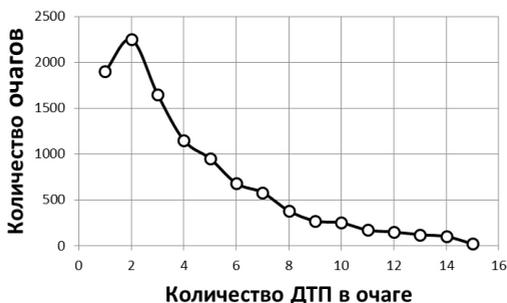


Рис. 3 – Распределение количества мест концентрации ДТП на федеральных автодорогах в Сибирском федеральном округе

К основным количественным характеристикам мест концентрации ДТП относятся: длина участка, число ДТП, коэффициент относительной аварийности и среднегодовая суточная интенсивность ТС. Фактическое значение коэффициента относительной аварийности определялось по формулам 1 и 2. Длина места концентрации ДТП определялась как разница между километровыми отметками (с точностью до метра) крайних ДТП, относящихся к одному месту концентрации.

Изменение коэффициента относительной аварийности может быть обусловлено влиянием дорожных условий, в том числе, было изучено влияние

таких дорожных условий как: среднегодовая суточная интенсивность движения, ширина проезжей части, ширина обочины, расстояния видимости, радиуса кривизны дороги в плане, угла продольного уклона автодороги и других. Наиболее ярко выраженные зависимости представлены на рис. 4. Кроме того на уровень БДД оказывают влияние и такие факторы как: число основных полос для движения, наличие искусственных сооружений, застройка местности, характер покрытия, наличие и ширина разделительной полосы. Вместе с тем, оценить влияние каждого из перечисленных факторов возможно на основании регрессионно-корреляционного анализа.

Данные зависимости получены путем аппроксимации значений коэффициента относительной аварийности для каждого из исследуемых дорожных условий. Как видно из графиков зависимость коэффициента относительной аварийности от таких факторов как расстояние видимости, среднегодовая суточная интенсивность и ширина обочины носит ярко выраженный степенной характер, при этом значение коэффициента детерминации во всех случаях превышает 0,8 что говорит о весьма тесной связи. Влияние ширины проезжей части на коэффициент относительной аварийности значимо, однако зависимость имеет вид полинома второй степени. Такие факторы как радиус кривизны дороги в плане и угол продольного уклона существенного влияния не оказывают. В целом полученные зависимости по своему характеру схожи с результатами исследований Бабкова В.Ф., Чванова В.В., Васильева А.П. и других ученых.

В целях повышения точности анализа полученная совокупность факторов была проверена на наличие выпадов (артефактов). Данная проверка проводилась для исключения чрезвычайно высоких и чрезвычайно малых значений, которые значительно отличаются от остальных. В результате проверки к артефактам были отнесены значения дорожных условий в 72 местах концентрации ДТП, которые были исключены из выборки и в дальнейшем анализе участия не принимали.

Кроме того, из общей выборки были исключены места концентрации ДТП, на многополосных дорогах (в количестве 40 шт.). Данное мероприятие необходимо, поскольку процесс движения ТС по многополосным дорогам существенно отличается от движения по двухполосным. Так, на трехполосных дорогах средняя полоса в основном используется на затяжных подъемах для предоставления возможности обгона тихоходных ТС без выезда на полосу встречного движения.

Зависимость коэффициента относительной аварийности от дорожных условий носит не линейный характер. Проведенный регрессионный анализ также показал, что степенная математическая зависимость, в отличие от линейной, дает более точные результаты прогнозирования. В связи

с этим, дальнейший регрессионный анализ проводился именно по степенной модели. Основные показатели регрессионно-корреляционного анализа мест концентрации ДТП, расположенных на двухполосных дорогах вне населенного пункта представлены в табл. 2.

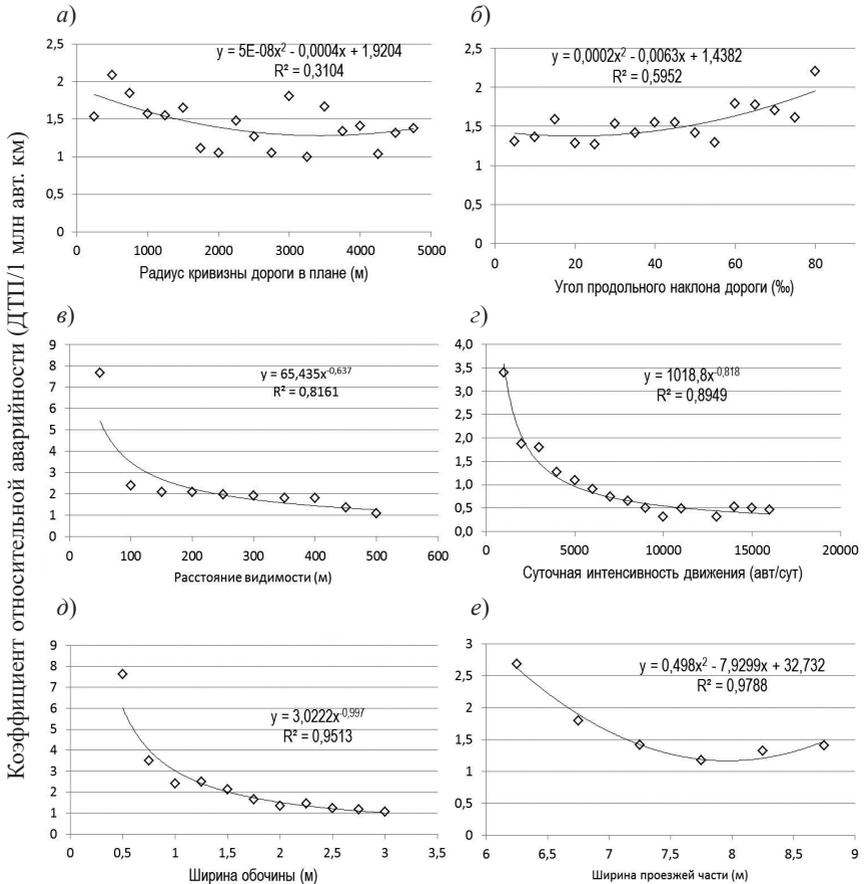


Рис. 4 – Зависимости коэффициента относительной аварийности (ДТП/1 млн авт. км) от дорожных условий на федеральных автодорогах Сибирского федерального округа:

а) радиуса кривизны дороги в плане; б) угла продольного уклона дороги;

в) расстояния видимости; г) суточной интенсивности движения;

д) ширины обочины; е) ширины проезжей части

Таблица 2

Результаты регрессионно-корреляционного анализа коэффициента относительной аварийности от дорожных условий для двухполосных дорог

Регрессионная статистика				
Коэффициент корреляции R		0,89		
R -квадрат		0,80		
Нормированный R -квадрате		0,79		
Стандартная ошибка		0,25		
Общие наблюдения / групп наблюдений		290		
Дисперсионный анализ				
	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий Фишера F	
			$F_{\text{расч.}}$	$F_{95\%}; 1; 12$
Регрессия	6	11,45		
Остаток	283	0,06		
Итого	289	–	185,3	6,2E-95
$K_{\text{ав}} = 3445 * N_{\text{сут}}^{-0,67} * P_{\text{об}}^{-0,30} * V^{-0,37} * P_{\text{пч}}^{-0,31} * R^{-0,09} * t^{-0,018}$				

- пересечения или примыкания к федеральной автодороге в одном уровне;
- кривые малого радиуса – радиус кривизны дороги в плане менее 1500 м;
- кривые среднего радиуса – радиус кривизны дороги в плане от 1500 до 3000 м;
- кривые большого радиуса – радиус кривизны дороги в плане более 3000 м.

В результате проведенной классификации были получены уравнения регрессии (табл. 3).

Необходимо отметить, что незначимость продольного уклона дороги характерна для всех типов мест концентрации ДТП, за счет характеристик современных ТС с повышенными тягово-скоростными и тормозными параметрами и, соответственно, снижения сложности осуществления маневров в условиях сложного рельефа (например, обгон на подъеме). Ширина проезжей части оказалась статистически незначима для таких типов мест концентрации ДТП как пересечения в одном уровне и кривые малого радиуса. Ширина обочины и расстояние видимости оказывают значимое влияние на коэффициент относительной аварийности вне зависимости от типа места концентрации ДТП, в связи с чем могут оказывать влияние на БДД на всем протяжении автодороги.

Регрессионные уравнения для типов мест концентрации ДТП

Тип места концентрации ДТП	Регрессионное уравнение	Ограничения
Пересечения в одном уровне	$K_{ав} = 32192 \cdot N^{-0,46} \cdot P_{об}^{-0,32} \cdot V^{-0,35} \cdot P_{пч}^{-1,99}$	$1311 < N < 9560$; $0,7 < P_{об} < 3,8$; $200 < V < 1500$; $6,5 < P_{пч} < 8,7$
Кривые в плане малого радиуса	$K_{ав} = 3245 \cdot P_{об}^{-0,24} \cdot V^{-0,40} \cdot P_{пч}^{-2,55}$	$0,6 < P_{об} < 3,3$; $130 < V < 600$; $6,9 < P_{пч} < 8,9$
Кривые в плане среднего радиуса	$K_{ав} = 8421 \cdot N^{-0,77} \cdot P_{об}^{-0,29} \cdot V^{-0,36}$	$1311 < N < 9881$; $0,6 < P_{об} < 3,3$; $150 < V < 1000$
Кривые в плане большого радиуса	$K_{ав} = 4460 \cdot N^{-0,76} \cdot P_{об}^{-0,342} \cdot V^{-0,31} \cdot R^{0,042}$	$1311 < N < 9881$; $0,3 < P_{об} < 3,8$; $200 < V < 2000$; $3000 < R < 92584$

Графическое отображение регрессионных уравнений показано на рис. 5. Оценка точности моделирования коэффициента относительной аварийности в зависимости от дорожных условий для двухполосных автодорог вне населенного пункта представлена на рис. 6.

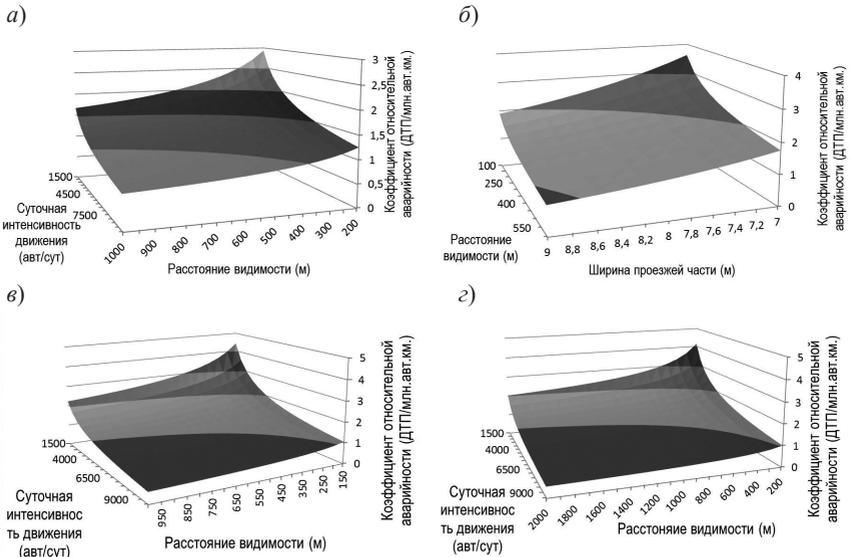


Рис. 5 – Зависимость коэффициента относительной аварийности от дорожных условий: а) для кластера пересечения в одном уровне; б) для кластера кривые малого радиуса; в) для кластера кривые среднего радиуса; з) для кластера кривые большого радиуса

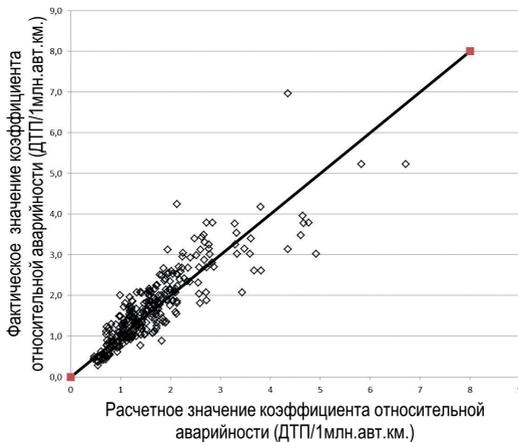


Рис. 6 – Оценка точности прогнозирования коэффициента относительной аварийности в зависимости от дорожных условий

3. Повышение безопасности дорожного движения при проектировании или реконструкции двухполосных автомобильных дорог можно осуществлять с использованием предложенной методике в основу которой входят регрессионные уравнения, позволяющие вычислять коэффициент относительной аварийности по дорожным условиям.

В результате проведенных расчетов, разработана методика, позволяющая определять значение коэффициента относительной аварийности в местах концентрации ДТП на участке двухполосной автодороги вне населенного пункта на основе дорожных условий. Данная методика состоит из пяти последовательных шагов, реализуемых в три этапа (рис. 7).

На первом этапе необходимо определить места концентрации ДТП на основе стандартной процедуры топографического анализа ДТП и рассчитать коэффициент относительной аварийности для каждого из таких участков. На первом шаге необходимо собрать информацию о ДТП, произошедших в рассматриваемом месте концентрации ДТП и провести топографический анализ аварийности. На втором шаге для расчета коэффициента относительной аварийности используются сведения о количестве ДТП, произошедших в месте концентрации ДТП, среднегодовой суточной интенсивности движения и его длине.

На втором этапе определяется тип места концентрации ДТП и количественные характеристики по дорожным условиям, характерным для данного участка автодороги. В зависимости от типа места концентрации ДТП

к таким характеристикам относятся: среднегодовая суточная интенсивность движения, ширина обочины, ширина проезжей части, расстояние видимости и радиус кривизны дороги в плане.

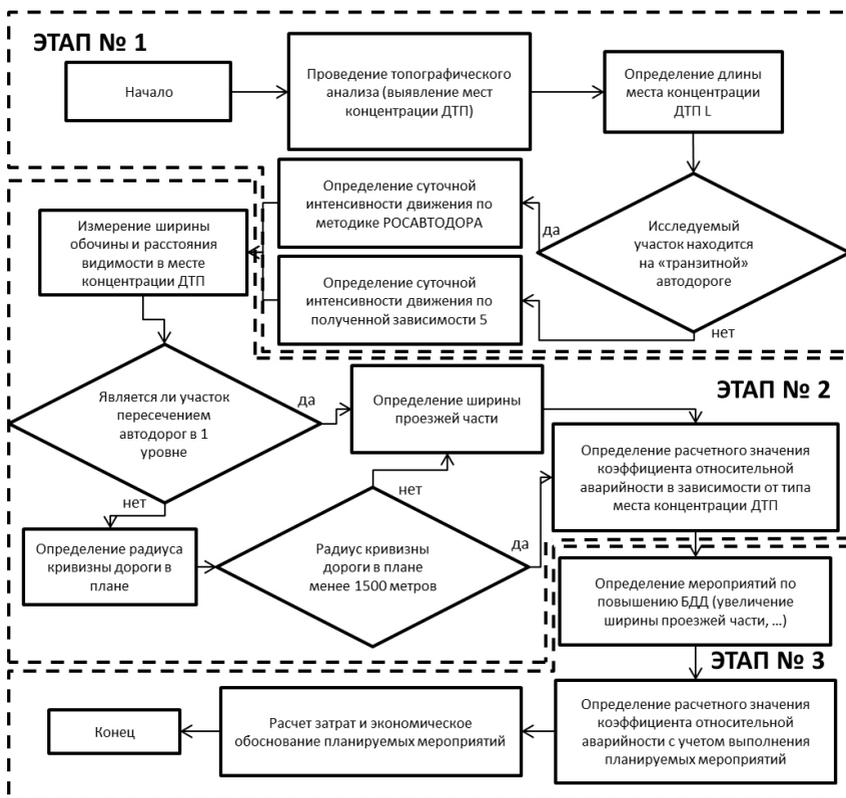


Рис. 7 – Процедура оценки эффективности мероприятий по повышению БДД

На заключительном этапе определяются мероприятия по частичной реконструкции исследуемого участка, направленные на повышение БДД. К таким мероприятиям могут относиться: увеличение ширины обочины, увеличение ширины проезжей части, увеличение расстояния видимости и др. Конкретные мероприятия определяются исходя из особенностей рельефа, застройки и иных параметров участка автодороги и принимаются индивидуально для каждого из них. Следующим шагом проводится расчет планируемого значения

коэффициента относительной аварийности с учетом произведенных мероприятий по реконструкции. На заключительном шаге рассчитываются затраты на проведение работ по реконструкции участка автодороги, на основании которых осуществляется экономическое обоснование.

На основе полученных значений дорожных условий, для исследуемого очага аварийности определяется коэффициент относительной аварийности. Важно понимать, что предлагаемый инструментарий, позволяет прогнозировать БДД, выражаемую коэффициентом относительной аварийности в зависимости от возможных мероприятий по реконструкции, что при прочих равных условиях позволит также снизить затраты на реконструкцию таких участков.

Примером применения методики может служить расчет эффективности мероприятий по реконструкции участка автодороги А-322-24. Ежегодный ущерб от ДТП на данном участке составляет 2 149 150 руб., после его реконструкции стоимость которой составляет 4 408 200 руб. стоимость ежегодного ущерба снижается на 36 % а срок окупаемости составляет 6 лет.

III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертация является завершенным исследованием, содержащим решение задачи, направленной на повышение БДД по дорожным условиям. По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Выполнен анализ ДТП, произошедших вне населенных пунктов на двухполосных автодорогах, расположенных на территории Сибирского федерального округа. В результате, выделены участки концентрации ДТП всего 801 шт., из них 402 в местах, отвечающих критериям классификации мест концентрации ДТП. Определены факторы, влияющие на возникновение участков концентрации ДТП к которым следует отнести радиус кривизны дороги в плане, ширину обочины, угол продольного наклона дороги, суточная интенсивность движения.

2. Разработано регрессионное уравнение, позволяющее определять среднегодовую суточную интенсивность движения транспорта на двухполосных автодорогах вне населенных пунктов, имеющих не более одного пересечения с другими автодорогами, основанное на числе жителей населенных пунктов, расположенных в зоне транспортной доступности. Уравнение позволяет существенно сократить трудоемкость (на 86 %) оценки интенсивности ТС по сравнению с методикой Минтранса ОС-555-р «О введении

в действии «Руководства по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах».

3. Разработаны регрессионные уравнения, позволяющие рассчитать коэффициент относительной аварийности участка автодороги в зависимости от ширины проезжей части, ширины обочины, расстояния видимости, среднегодовой суточной интенсивности движения и радиуса кривизны дороги в плане. Теснота связи, перечисленных параметров уравнений регрессии подтверждается коэффициентом множественной детерминации, значение которого не ниже 0,8, а их значимость критерием Фишера-Снедекора, расчетные значения которых существенно выше критических для рассматриваемого уровня значимости.

4. Разработанная методика повышения безопасности дорожного движения на двухполосных автодорогах как совокупность частных задач функционально объединённых общей целью позволяет оценивать и прогнозировать уровень БДД, выполнять оценку существующего коэффициента относительной аварийности и его прогноз при реконструкции или строительстве новых двухполосных автомобильных дорог с наименьшими затратами и требуемой точностью. Предлагаемая методика позволяет уже на стадии проекта реконструкции рассчитывать коэффициент относительной аварийности, что, несомненно, позволит повысить уровень БДД.

5. Технико-экономическая оценка показывает высокую сходимость расчетных и натуральных значений ($R^2 = 0,77$), что позволяет снизить себестоимость оценки и прогнозирования БДД в 7,3 раз. Производственная проверка методики повышения безопасности дорожного движения выполнена на базе профильной организации УГИБДД МВД республики Бурятия.

IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы диссертации опубликованы в следующих печатных изданиях:

в изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Джурук Д.С. Проблемные вопросы проведения топографического анализа аварийности и пути их решения // Качество и жизнь, 2018. – № 2(18) с.;

2. Джурук Д.С. Оценка влияния дорожных факторов на аварийность // Транспорт: наука, техника, управление, 2018. – № 12;

3. Джурук Д.С. Методика оценки и прогнозирования числа ДТП на загородных двухполосных автодорогах // Мир транспорта и технологических машин. 2018. – № 4.

статьи в журналах, индексируемых международной системой цитирования Scopus:

4. Dzhuruk, D., Zedgenizov, A. (2018). Forecasting of traffic intensity on suburban routes. Paper presented at the Transportation Research Procedia, 36 135–140. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.055.

в научно-рецензируемых изданиях и сборниках трудов:

5. Джурук Д.С. Зедгенизов А.В. Методы оценки мер по обеспечению безопасности дорожного движения // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: VII Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 13–16 апреля 2016 г.). Иркутск: 2016. С. 104–108;

6. Джурук Д.С. Зедгенизов А.В. Анализ состояния безопасности дорожного движения в России и в мире // Наука и практика в обеспечении безопасности дорожного движения: вчера, сегодня, завтра, посвященной 80-летию образования Госавтоинспекции: Всероссийская научно-практическая конференция (Москва, 21 июня 2016). Москва: 2016. С. 3–8;

7. Джурук Д.С., Зедгенизов А.В. Методы оценки безопасности дорожного движения на загородных трассах // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: IX Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 12–15 апреля 2017 г.). Иркутск: 2017. С. 319–323;

8. Джурук Д.С. Влияние человеческого фактора на вероятность совершения дорожно-транспортного происшествия // Деятельность правоохранительных органов в современных условиях: XXII международной научно-практической конференции (Иркутск, 18–19 мая 2017 г.). Иркутск: 2017. С. 56–61.

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 29.06.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,34. Тираж 120 экз. Заказ 67.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4. Отпечатано на МФУ.

198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

