На правах рукописи

ЧИКАЛИН ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЗОНАХ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Иркутск – 2013

Работа выполнена на кафедре «Менеджмент и логистика на транспорте» ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Михайлов Александр Юрьевич**
доктор технических наук, профессор кафедры менеджмента и логистики на транспорте ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»

Официальные оппоненты: **Бондаренко Елена Викторовна**
доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»;

Ляпустин Павел Константинович
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой управления на автомобильном транспорте ФГБОУ ВПО «Ангарская государственная техническая академия»

Ведущая организация: ГУП «Научно-исследовательский и проектный институт генерального плана города Москвы»

Защита диссертации состоится **26 июня 2013 г. в 12:00** часов на заседании диссертационного совета Д 212.073.04 при ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» по адресу:
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, корпус «К», конференц-зал.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет».

Автореферат разослан 24 мая 2013 г.

Отзывы на автореферат (два экземпляра, заверенные организацией) просим направлять в адрес диссертационного совета:
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Д 212.073.04;
e-mail: ds04@istu.edu;
факс 8 (3952) 40 58 69.

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор А.И. Шадрин

Актуальность диссертации. Проблемы безопасности дорожного движения, прежде всего, связаны с нерегулируемыми пешеходными переходами. По данным статистики Российской Федерации наезды на пешеходов составляют 40% всех ДТП, а доля пешеходов среди погибших в ДТП составляет около 45%. Кроме того, в Российской Федерации удельный показатель – количество погибших пешеходов на 10000 транспортных средств – по сравнению, например, с Финляндией больше в 23,5 раза. В связи с этим «Федеральным законом Российской Федерации от 7 мая 2009 г. N 86-ФЗ» были внесены изменения в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях, предусматривающие наказание водителей штрафом в размере 800–1000 руб. в случае, если он не уступил дорогу пешеходам на пешеходном переходе.

Повышение дисциплины водителей сопровождается ростом задержек транспортных средств в зонах размещения нерегулируемых пешеходных переходов и снижением пропускной способности улично-дорожных сетей (УДС). Поэтому с нерегулируемыми пешеходными переходами связаны две важные проблемы организации дорожного движения (ОДД) – обеспечение пропускной способности улично-дорожных сетей (УДС) и снижение задержек транспорта. Их актуальность возрастает вместе с непрерывно увеличивающимся уровнем автомобилизации городов Российской Федерации. При выполнении проектов организации дорожного движения (ПОДД), комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД) и проектировании УДС из-за отсутствия соответствующих методик не производятся расчеты пропускной способности участков размещения нерегулируемых пешеходных переходов и задержек транспортных средств. Такие методики отсутствуют и в новом документе ОДМ–20-07-11-П «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог». Восполнение этого пробела в методическом обеспечении ОДД требует решения целого ряда научных задач и накопления новых научных данных.

В этой связи особо актуальной становится научная задача выявления закономерности влияния интенсивности транспортных и пешеходных потоков на величину пропускной способности зон размещения нерегулируемых пешеходных переходов, а также задержек и очередей транспортных средств, возникающих в этих зонах. Наличие таких методов позволит научно обосновать области эффективного применения нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходов и тем самым повысить качество ОДД. Поэтому данная работа посвящена изучению режимов движения пешеходных и транспортных потоков, а также развитию методик расчетов пропускной способности улично-дорожных сетей и задержек транспортных средств.

Рабочая гипотеза. Определение областей эффективного применения нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходов позволит увеличить пропускную способность проезжих частей улиц и дорог и снизить задержки транспортных средств.

Целью работы являются повышение пропускной способности УДС и снижение задержек транспортных средств в зоне нерегулируемых пешеходных переходов.

Объект исследования – процессы движения транспортных и пешеходных потоков в зонах нерегулируемых пешеходных переходов, расположенных вне перекрестков.

Предмет исследования – зависимости, характеризующие влияние нерегулируемых пешеходных переходов на пропускную способность улиц и дорог и задержки транспортных средств.

Задачи исследования:

- разработать методику оценки задержек транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах с искусственной неровностью (ИН) и без нее с применением видеосъемки и треков GPS (ГЛОНАСС) навигаторов, и на этой основе выполнить исследования режимов движения транспортных и пешеходных потоков;
- разработать математические модели и на их основе выполнить расчеты пропускной способности проезжей части и задержек транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах;
- определить области эффективного применения нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходов на основе пропускной способности и задержек транспортных средств, выполнить экспериментальную проверку результатов научного исследования и дать технико-экономическую оценку.

Научной новизной обладают:

- разработанная методика оценки задержек транспортных средств, основанная на использовании треков GPS (ГЛОНАСС) навигаторов и видеосъемки, позволяющая исследовать режимы движения транспортных и пешеходных потоков в зонах размещения нерегулируемых пешеходных переходов;
- разработанные математические модели, позволяющие рассчитывать пропускную способность проезжих частей улиц и дорог, а также задержки транспортных средств в зонах размещения нерегулируемых пешеходных переходов;
- научно обоснованные области эффективного применения нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходов, на основе учета ширины проезжей части улиц и дорог.

Практическая значимость

Результаты исследования могут быть использованы:

- департаментами транспорта при разработке комплексных схем ОДД (КСОДД);
- органами ГИБДД при разработке проектов организации дорожного движения (ПОДД);
- проектными организациями в расчетах пропускной способности городских улиц и дорог, а также автомобильных дорог общего пользования при выполнении рабочих проектов и технико-экономических обоснований.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- точность и эффективность натурной оценки задержек транспортных средств в зонах размещения нерегулируемых пешеходных переходов можно значительно повысить, если использовать GPS (ГЛОНАСС) треки транспортных средств и видеосъемку;
- для повышения эффективности и снижения трудоемкости расчетов оценку пропускной способности проезжих частей улиц и дорог, а также задержки транспортных средств в зонах размещения нерегулируемых пешеходных переходов целесообразно выполнять на основе математических моделей, учитывающих интенсивности транспортных и пешеходных потоков, интервалы следования транспорта из очереди, критические интервалы;

- область применения регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходов можно значительно уточнить, если определять ее с учетом влияния интенсивностей транспортных и пешеходных потоков, а также ширины проезжих частей улиц и дорог.

Внедрение результатов работы

Результаты исследований внедрены в АНО «Институт проблем безопасности движения» при подготовке новой редакции текста ОДМ «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог».

Результаты исследований использованы в учебном процессе кафедры «Менеджмент и логистика на транспорте» ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» при подготовке инженеров по специальности 190702 «Организация и безопасность движения (автомобильный транспорт)».

Апробация работы

Основные положения и отдельные ее результаты представлялись в научных докладах и обсуждались на: V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования» (г. Омск, 19–21 мая 2010 г.); Девятой международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт Петербург, 23–24 сентября 2010 г.); VII Всероссийской научно-технической конференции «Политранспортные системы» (г. Красноярск, 25–27 ноября 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы функционирования систем транспорта» (г. Тюмень, 18–19 ноября 2010 г.); I Всероссийской научно-практической (заочной) конференции с международным участием «Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса» (г. Магадан, 29–30 ноября 2010 г.); Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Проблемы функционирования систем транспорта» (г. Тюмень, 10–12 ноября 2011 г.); Четвертой Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем» (г. Челябинск, 3 мая 2012 г.); XVIII международной научно-практической конференции «Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния» (г. Екатеринбург, 16–17 июня 2012 г.).

Публикации

По результатам диссертационного исследования опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 публикации в рецензируемом издании, рекомендованном ВАК РФ.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и основных выводов, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации составляет 210 страниц машинописного текста, в том числе 164 стр. основного текста, 70 рисунков, 17 таблиц и 7 приложений. Список литературы включает в себя 156 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ работ, посвященных организации дорожного движения пешеходов и транспорта в зоне нерегулируемых пешеходных переходов типа «зебра».

Исследованиями, посвященными организации дорожного движения на нерегулируемых пешеходных переходах занимались ученые: П.Г. Буга, Г.И. Клинковштейн, Ю.А. Кременец, Е.М. Лобанов, А.Г. Романов, М.Г. Симуль, Ю.А. Ставничий, Ю.Д. Шелков, В.В. Шештокас и др.

Наиболее существенной проблемой безопасности дорожного движения в РФ является большое количество погибших пешеходов в городах и, особенно, количество погибших на пешеходных переходах. Поэтому основная масса работ посвящена обеспечению безопасности дорожного движения на пешеходных переходах.

Влияние, которое оказывают нерегулируемые пешеходные переходы на пропускную способность и задержки транспортных средств, рассматривалось редко. Методики расчета пропускной способности проезжих частей улиц и дорог в зонах размещения нерегулируемых переходов и задержек транспортных средств, возникающих в этих зонах, отсутствуют и в новом документе ОДМ 20-07-11-П «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог».

Вместе с тем в мировой практике ОДД величина средней задержки используется как показатель уровня обслуживания транспорта на регулируемых и нерегулируемых пересечениях.

В этой связи данное диссертационное исследование посвящено изучению режимов движения пешеходных и транспортных потоков на нерегулируемых пешеходных переходах, размещенных вне перекрестков, развитию методик расчетов пропускной способности улично-дорожных сетей и задержек транспортных средств.

Во второй главе представлены теоретические основы расчета задержек транспорта и пропускной способности улиц и дорог в зонах размещения нерегулируемых переходов.

Для определения пропускной способности зоны нерегулируемого пешеходного перехода и возникающих на нем задержек предлагались эмпирические формулы. Так в Великобритании академией TRL для практических расчетов пропускной способности в зоне нерегулируемых пешеходных переходов предложена следующая формула:

$$C = \frac{U}{UB + (e^{UA} - 1) \cdot (1 - e^{-UB})}, \qquad (1)$$

где U – интенсивность пешеходов на пешеходном переходе, пеш/с; A – среднее время движения пешехода при пересечении проезжей части, с (при этом средняя скорость движения пешеходов при переходе проезжей части принимается равной 1,4 м/сек); B – среднее время проезда автомобильным транспортом через пешеходный переход, при отсутствии пешеходов, с (аналогичен потоку насыщения транспортных средств в секунду); e = 2,7183.

В нашей стране для практических расчетов величины средней задержки транспорта на нерегулируемых пешеходных переходах была рекомендована формула (Ю.Д. Шелков и П.Г. Буга)

$$Z = 0{,}00147\frac{N_n N_{mp}}{v^2}, \qquad (2)$$

где N_n, N_{mp} – интенсивность пешеходного (чел./ч) и транспортного (ед./ч) потоков соответственно; v – скорость движения транспортных средств, км/ч.

Однако представленные модели (как аппроксимация результатов натурных обследований) не учитывают, что пешеходный поток – главный.

На нерегулируемых перекрестках (при наличии знаков приоритета) движение по главной дороге обеспечивается практически без задержек, а на второстепенной дороге водитель, не обладающий преимущественным правом проезда, вынужден ожидать приемлемого интервала между транспортными средствами на главной дороге. Поэтому среднюю задержку транспортных средств на второстепенном направлении представляют как (Ю.А. Кременец)

$$\overline{t_{\Delta i}} = \frac{e^{N_{\text{г}} t_{\text{гр}}} - N_{\text{г}} t_{\text{гр}} - 1}{N_{\text{г}} - N_{в}(e^{N_{\text{г}} t_{\text{гр}}} - N_{\text{г}} t_{\text{гр}} - 1)} + \frac{V_a}{7{,}2}\left(\frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_p}\right), \qquad (3)$$

где e – основание натурального логарифма; $N_г$ – интенсивность транспортного потока на главной дороге в обоих направлениях, авт./с; $N_в$ – интенсивность транспортного потока, приходящаяся в среднем на одну полосу второстепенной дороги в рассматриваемом направлении, авт./с; $t_{гр}$– граничный интервал времени, с (при пересечении двухполосной дороги равен 6–8 с; при левом повороте – 10–13 с; при правом повороте – 4–7 с); V_a– скорость потока на подходе к перекрестку, км/ч; a_m и a_p – замедление и ускорение автомобиля, м/с^2 (можно принять a_m=3,0–4,0 м/с^2, a_p=1,0–1,5 м/с^2).

Следует отметить уравнение пропускной способности второстепенного направления, наиболее подробно описывающее потоки главного и второстепенного направлений, предложенное Tanner для выезда на кольцевое пересечение:

$$Q_{\text{в}} = \frac{q_c\left(1 - t_p q_c\right) \cdot e^{-q_c(t_c - t_p)}}{1 - e^{-q_c t_f}}, \qquad (4)$$

где Q_e – пропускная способность на входе на кольцевое пересечение, авт./с; q_c – интенсивность движения на кольце, авт./с; t_c – критический интервал, с; t_p – минимальный интервал между транспортными средствами главного потока, с; t_f – интервал следования из очереди второстепенного потока из очереди (на входе на кольцо), с.

С учетом уравнений (3) и (4) в настоящей работе автором предложено рассчитывать пропускную способность полосы движения в зоне нерегулируемого пешеходного перехода $C_{m,x}$ (авт./с) по следующей формуле:

$$C_{m,x} = \frac{1}{t_f} e^{-\lambda t_c}, \qquad (5)$$

где λ – интенсивность движения пешеходов, пеш/с; t_f – минимальный интервал следования транспорта из очереди, с; t_c– минимальное время, которое занимает пешеход при переходе одной полосы движения (критический интервал), с.

При этом t_c рассчитывается по формуле

$$t_c = \frac{b}{V_{\text{пеш}}} + t_d, \qquad (6)$$

где b – ширина одной полосы проезжей части, принимается равной 3,5÷3,75 м; $V_{пеш}$ – скорость пешеходов, принимается равной 1,4 м/с; t_d –дополнительное время необходимое для обеспечения большей безопасности движения пешеходов при переходе проезжей части, принимается равным 2–3 с.

Выражение (5) позволяет адаптировать для случая нерегулируемых пешеходных переходов формулы расчета средней задержки транспортных средств d и длины их очереди 95% обеспеченности Q_{95}, предложенных в руководстве HCM 2000:

$$d = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900T\left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}}\right)\cdot\left(\frac{V_x}{C_{m,x}}\right)}{450T}}\right] + 5; \quad (7)$$

$$Q_{95} = 900T\left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} -\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}}\right)\cdot\left(\frac{V_x}{C_{m,x}}\right)}{150T}}\right]\cdot\left(\frac{C_{m,x}}{3600}\right), \quad (8)$$

где v_x – интенсивность движения на входе на нерегулируемое пересечение, авт./ч; c_{mx} – пропускная способность полосы движения в зоне нерегулируемого пересечения, авт./ч (см. формулу (5)); T – продолжительность анализируемого периода (например T = 0,25 для периода 15 мин), ч.

Для выполнения сопоставительного анализа задержек транспортных средств на регулируемых и нерегулируемых переходах в работе была также использована методика расчета задержек на регулируемых перекрестках, предложенная в американском руководстве HCM 2000.

В третьей главе представлена методика проведения экспериментального исследования. Последовательность проведения исследования разбита на несколько этапов и более подробно представлена на схеме (рис. 1).

Рис. 1. Схема методики проведения экспериментальных исследований

Схема сбора данных для проведения данной диссертационной работы разработана самостоятельно и включает в себя новый метод сбора данных с использованием навигационной системы.

При выборе пешеходного перехода учитываются следующие параметры: количество полос движения для транспорта не менее 2-х, переход должен быть изолированным (находиться не ближе 150 м от регулируемых и нерегулируемых перекрестков). Для обследования были выбраны только нерегулируемые пешеходные переходы с искусственными неровностями и без них. Замеры проводились в течение дня: в основном в утренний и вечерний час пик, а также в обеденное время по тридцать минут в каждом направлении движения транспорта. Применение видеосъемки позволяет неоднократно использовать материалы обследования. При этом можно получить точные данные обследования пешеходного перехода и внимательно изучить закономерности движения на участках улично-дорожной сети. Для определения задержек транспортного потока использовалось навигационное оборудование, которое позволяет учитывать изменение скорости транспортного средства относительно времени затраченного для проезда.

Объем и характеристики выполненных исследований приведены в табл. 1

Таблица 1

Характеристика	Значение
Объем видеосъемки, ч	21
Количество обследованных нерегулируемых пешеходных переходов с искусственной неровностью, ед.	10
Количество обследованных нерегулируемых пешеходных переходов без искусственной неровности, ед.	11
Итоговое количество обследований нерегулируемых пешеходных переходов, ед.	43
Диапазон интенсивности автотранспорта с искусственной неровностью, авт./ч	459–3102
Диапазон интенсивности автотранспорта без искусственной неровности, авт./ч	592–2968
Диапазон интенсивности пешеходов с искусственной неровностью, пеш/ч	60–741
Диапазон интенсивности пешеходов без искусственной неровности, пеш/ч	40–891
Объем выборки (количество выполненных GPS (ГЛОНАСС) треков)	989

Для проведения экспериментальных исследований выбрано сочетание цифровой съемки транспортных и пешеходных потоков и треков навигационных систем. В настоящей работе используется спутниковая система веб-мониторинга транспорта компании «Автоника». Компания предлагает систему спутникового мониторинга автотранспорта со спутниковой системой GPS (Глонасс) с применением навигационного устройства TZ-AVL03.

Для изучения скорости движения транспортного средства просматривается история трека (рис. 2), которая позволяет запросить информацию о перемещении транспортного средства в любой указанный промежуток времени. На подгружаемой карте (входит в состав навигационной системы) отображается линия движения объекта с точками, откуда поступили сообщения на сервер.

Соответственно каждая точка трека содержит информацию о дате, времени отправления сообщения и скорости движения транспортного средства.

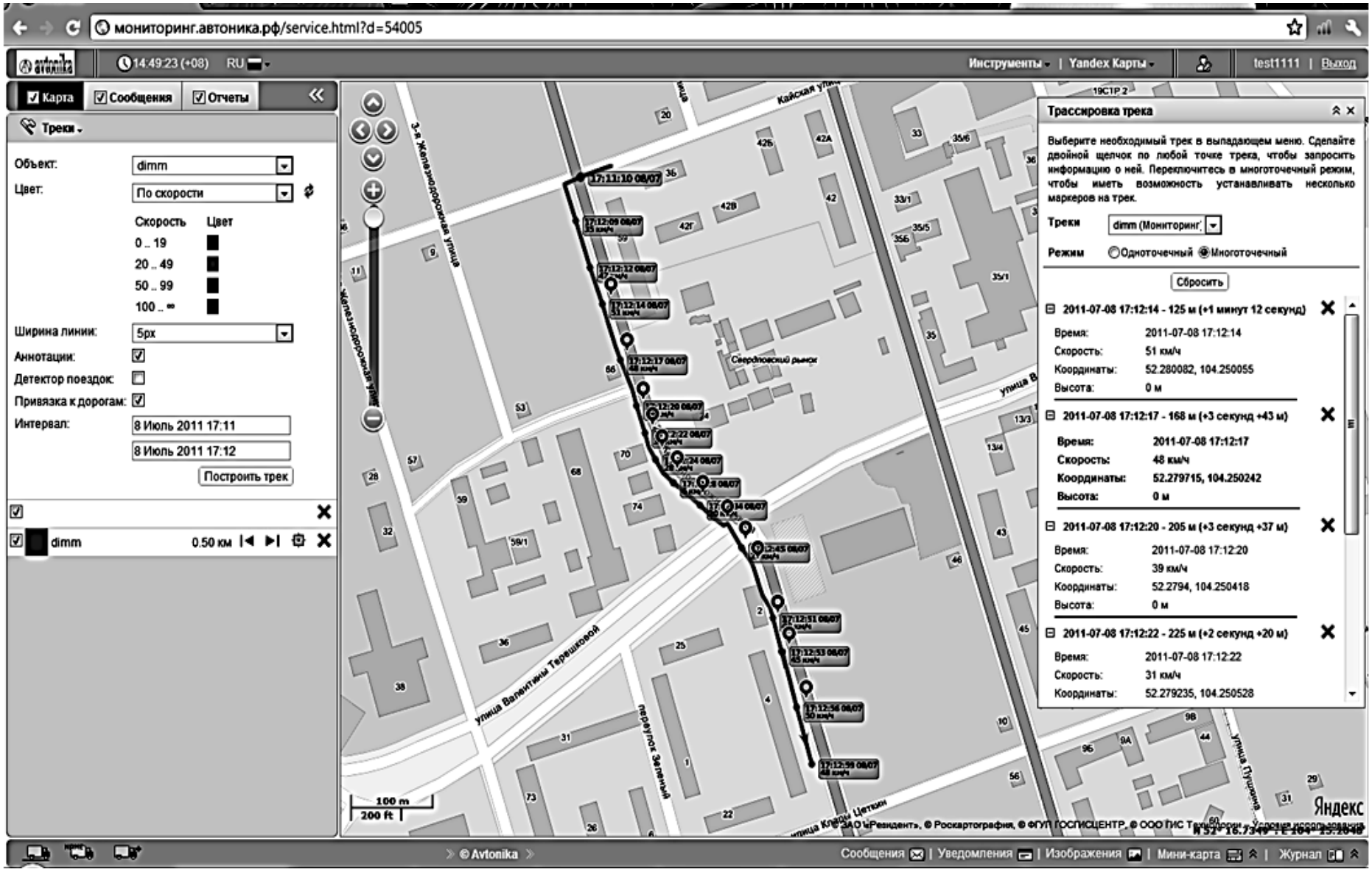


Рис. 2. Внешний вид трека в программном обеспечении компании «Автоника» (ул. 2-ая Железнодорожная, район остановки Чайка 08.07.2011г. в 17.12 часов)

Треки сохраняются и обрабатываются на сервере компании «Автоника». Кроме скорости, направления и времени движения для определения задержек необходимо получить расстояние между точками трека.

После обработки треков все данные импортируются в Excel (табл. 2), при этом отмечаются точки, соответствующие положению пешеходных переходов (выделенная строка).

Таблица 2

Пример результатов обработки трека

Расстояние между точками, м	Суммарное расстояние между точками, м	Скорость, км/ч	Время между точками, с	Суммарное время между точками, с
0	0	51	0	0
43	43	48	3	3
37	80	39	3	6
20	100	31	2	8
17	117	28	2	10
20	137	6	4	14
4	141	13	2	16
22	163	20	4	20
8	171	8	2	22
7	**178**	**14**	**4**	**26**
10	188	21	2	28
21	209	29	3	31
18	227	33	2	33
42	269	40	4	37
24	293	45	2	39
41	334	50	3	42

На основании полученных данных строится график изменения скорости движения транспортного средства (рис. 3).

Рис. 3. График изменения скорости движения транспортного средства при проезде нерегулируемого пешеходного перехода (случай образования очереди перед переходом)

По результатам обследований нерегулируемые пешеходные переходы имеют зону влияния от 90 до 350 м (большие значения – случаи образования очередей транспортных средств на подходе к нерегулируемому переходу), в пределах которой происходит снижение скорости автомобилей с последующим возрастанием до первоначальной величины. Скорость на магистральных улицах и дорогах, где проводились обследования, варьировалась в пределах 48–57 км/ч. Снижение средней скорости транспортного потока при наличии ИН на пешеходном переходе происходит в среднем до 19 км/ч, т.е. на величину большую, чем на переходах без нее. Время *t*, потерянное одним транспортным средством на переходе, можно оценить как разницу между временем, за которое проехал автомобиль $t_{пр}$ и временем, за которое мог бы проехать автомобиль без снижения скорости $t_{бсс}$:

$$t = t_{пр} - t_{бсс}, \qquad (9)$$

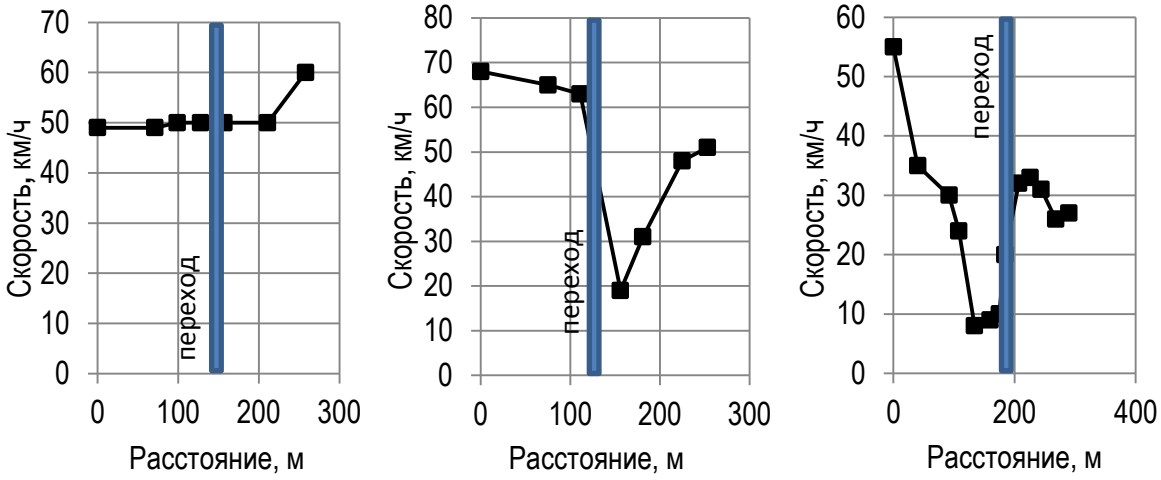
где *t* – задержка транспорта, с; $t_{пр}$ – время, пройденное автомобилем, с; $t_{бсс}$ – время проезда автомобиля через пешеходный переход без снижения скорости, с.

Задержки транспортных средств на нерегулируемых переходах варьируются в диапазоне от 0 до 60 с (при отсутствии пешеходов снижение скорости движения транспортного средства было незначительным, поэтому транспортная задержка в таком случае принималась равной 0).

В четвертой главе представлены результаты исследований.

Графики, полученные автором в результате исследования скорости транспортного средства при проезде нерегулируемых пешеходных переходов можно разделить на следующие типы (рис. 4):

- без задержки транспортного средства (рис. 4, а);
- пропуск пешехода/пешеходов (рис. 4, б);
- нахождение транспортных средств в очереди перед переходом (рис. 4, в).



а) б) в)

Рис. 4. Графики изменения скорости транспортного средства при пересечении пешеходного перехода с разными типами ситуаций

Далее выполнен сопоставительный анализ данных натурных исследований и данных, получаемых расчетом с применением эмпирических зависимостей, предложенных ранее отечественными и зарубежными авторами. Такой сопоставительный анализ позволяет на основе теории массового обслуживания разработать модель оценки задержек транспортных средств и настроить эту модель. Путем ре-

грессионного анализа получена модель, учитывающая интенсивности транспортных и пешеходных потоков.

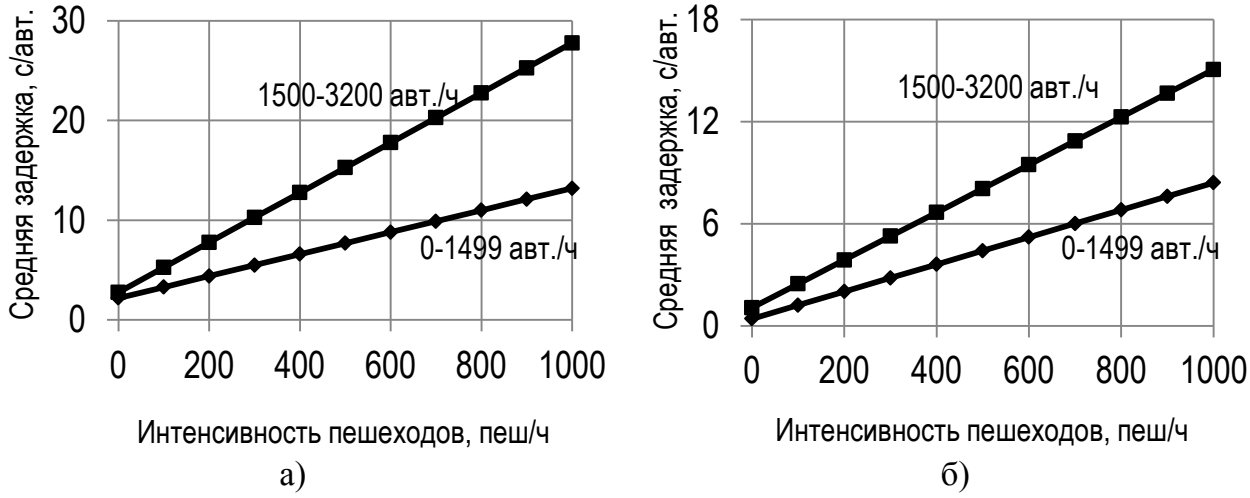
Зависимости средней задержки транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах описываются уравнениями, приведенными в табл. 3

Таблица 3

Тип пешеходного перехода	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
с ИН при $N_{тр}$=*0–1499 авт./ч*	d=$0{,}011 \cdot N_{пеш}+2{,}197$	R^2=0,744
с ИН при $N_{тр}$=*1500–3200 авт./ч*	d=$0{,}025 \cdot N_{пеш}+2{,}768$	R^2=0,706
без ИН при $N_{тр}$=*0–1499 авт./ч*	d=$0{,}008 \cdot N_{пеш}+0{,}412$	R^2=0,764
без ИН при $N_{тр}$=*1500–3200 авт./ч*	d=$0{,}014 \cdot N_{пеш}+1{,}065$	R^2=0,910

Примечание: $N_{пеш}$ – интенсивность пешеходов, пеш/ч; $N_{тр}$ – интенсивность транспорта, авт./ч, ИН – искусственная неровность («лежачий полицейский»)

Графически модели определения транспортной задержки на нерегулируемых пешеходных переходах с искусственными неровностями и без них представлены на рис. 5.



а) б)

Рис. 5. Графики влияния интенсивности движения транспорта и пешеходов на величину средней задержки транспортных средств: а) – нерегулируемые пешеходные переходы с ИН; б) – нерегулируемые пешеходные переходы без ИН

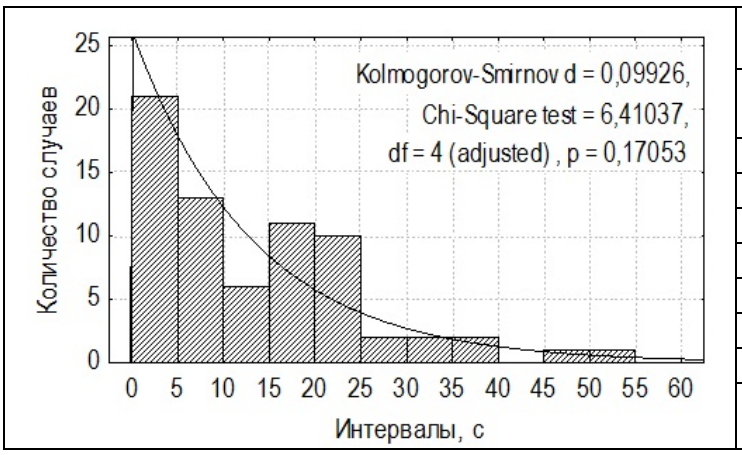
В процессе выполнения эксперимента были установлены доли «агрессивных» водителей, совершающих движение через переход в непосредственной близости от пешеходов, т.е. в пределах полосы движения, на которой находится пешеход (табл. 4).

Таблица 4

Доля «агрессивных» водителей на нерегулируемых пешеходных переходах

Тип перехода	Доля «агрессивных» водителей, %
без искусственной неровности	11,79
с искусственной неровностью	8,19

В процессе исследования нерегулируемых пешеходных переходов получены данные, подтверждающие, что пешеходный поток распределяется по Пуассоновскому закону (рис. 6). Эмпирические распределения достаточно хорошо аппроксимируются отрицательным экспоненциальным распределением.



Статистики распределения интервалов	Значение статистики
Параметр экспоненциального распределения, λ=Q/3600	0,07
Среднее, с	13,20
Медиана	10,27
Стандартное отклонение	11,48
Ошибка оценки среднего	1,38
Минимальное значение, с	0,51
Максимальное значение, с	50,2
Процентиль 10 % - значение, с	1,66
Процентиль 90 % - значение, с	29,62

Рис. 6. Гистограмма распределения интервалов прибытия пешеходов к нерегулируемому пешеходному переходу (остановка «Вампилова» в микрорайоне Первомайский, г. Иркутск)

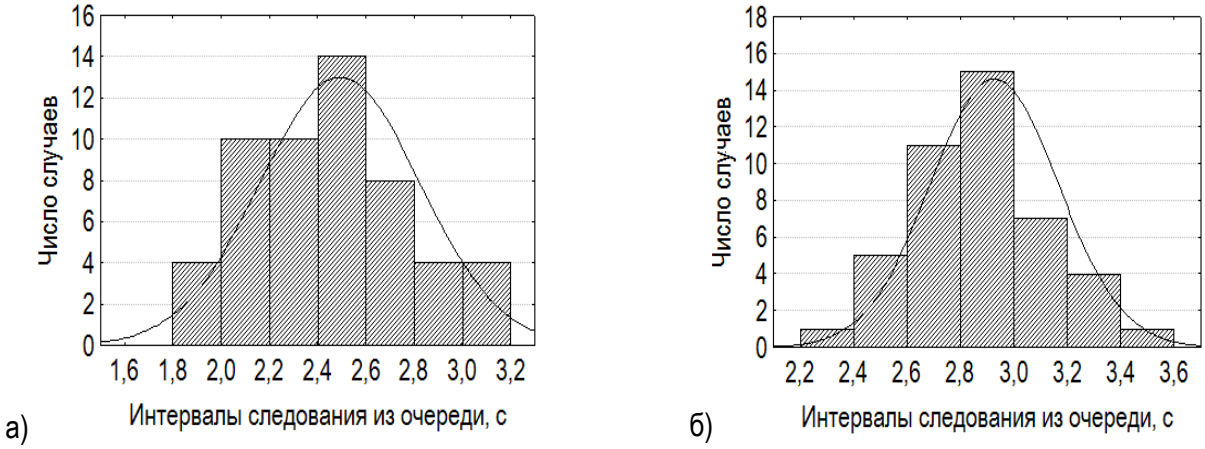


Рис. 7. Гистограмма распределения интервалов следования транспортных средств из очереди на нерегулируемом пешеходном переходе: а) – без ИН; б) – с ИН

Таблица 5

Интервалы следования транспортных средств из очереди

Статистика	Переходы без ИН	Переходы с ИН
Среднее значение, с	2,50	2,92
Минимальное значение, с	1,9	2,4
Максимальное значение, с	3,2	3,5
Стандартное отклонение	0,33	0,24
Ошибка оценки среднего	0,05	0,04

Разница в интервалах следования транспорта из очереди при проезде пешеходного перехода с ИН и без ИН (рис. 7 и табл. 5) объясняется тем, что транспортное средство проезжает пешеходный переход с искусственной неровностью с меньшей скоростью.

С применением формул (7) и (8) было выполнено моделирование средних задержек и длины очередей транспортных средств (рис. 8), пропускной способности проезжих частей в зоне размещения нерегулируемых переходов (рис. 9). Следует отметить, что расхождения между значениями расчетных задержек (рис. 8, а и б) и наблюдаемых задержек (табл. 3 и рис. 5) не превышают 10–15%.

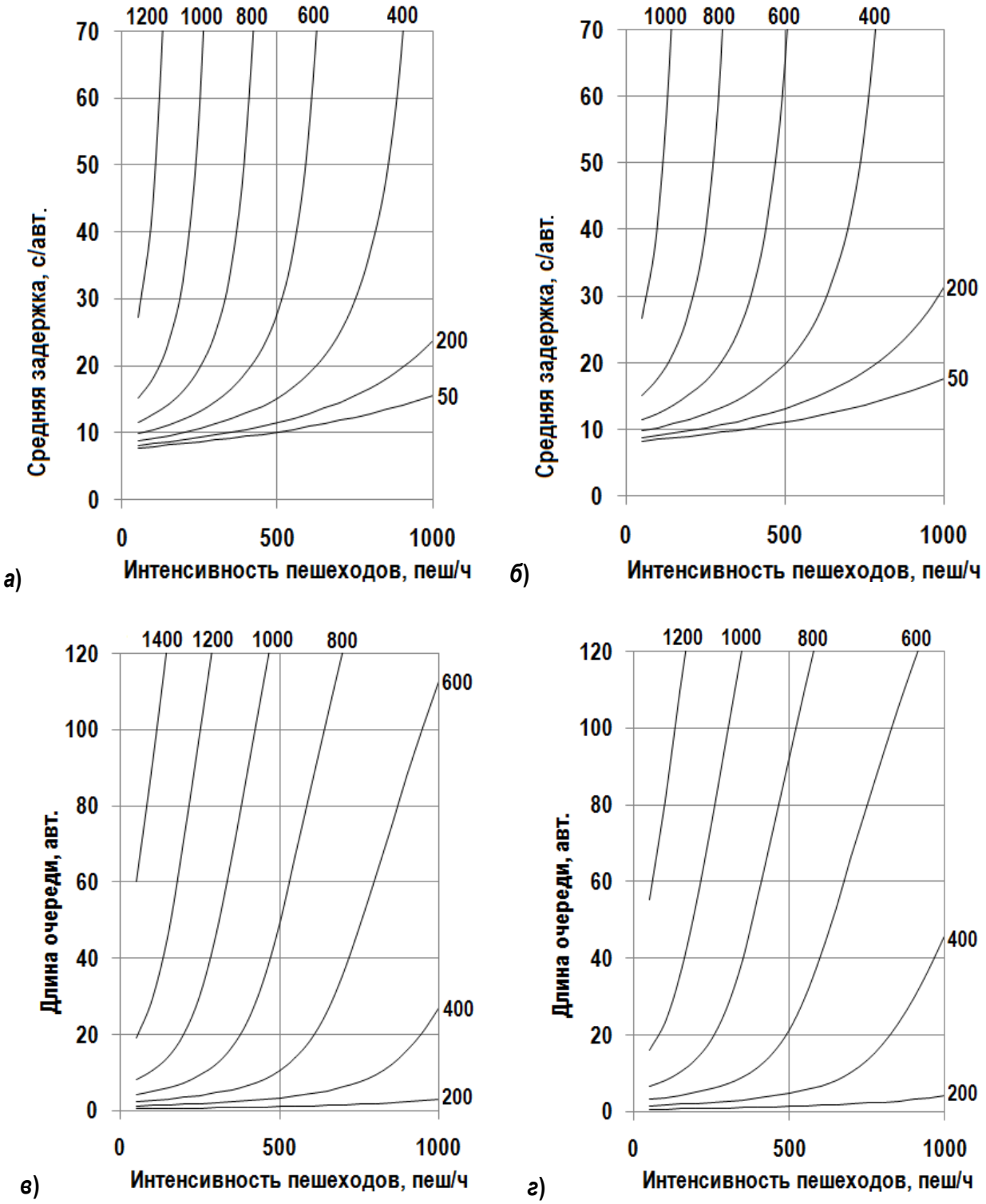


Рис. 8. Результаты моделирования: *а)* и *б)* – длительность средней задержки на нерегулируемых пешеходных переходах без ИН и с ИН; *в)* и *г)* – длины очередей транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах без ИН и с ИН; 200, 400,…..1400 – интенсивность транспортных средств, авт./ч

Анализируя график влияния интенсивности движения пешеходных потоков на величину пропускной способности дороги в зоне нерегулируемых пешеходных переходов (рис. 9), можно сделать вывод, что наличие искусственной неровности снижает пропускную способность на 10–20%.

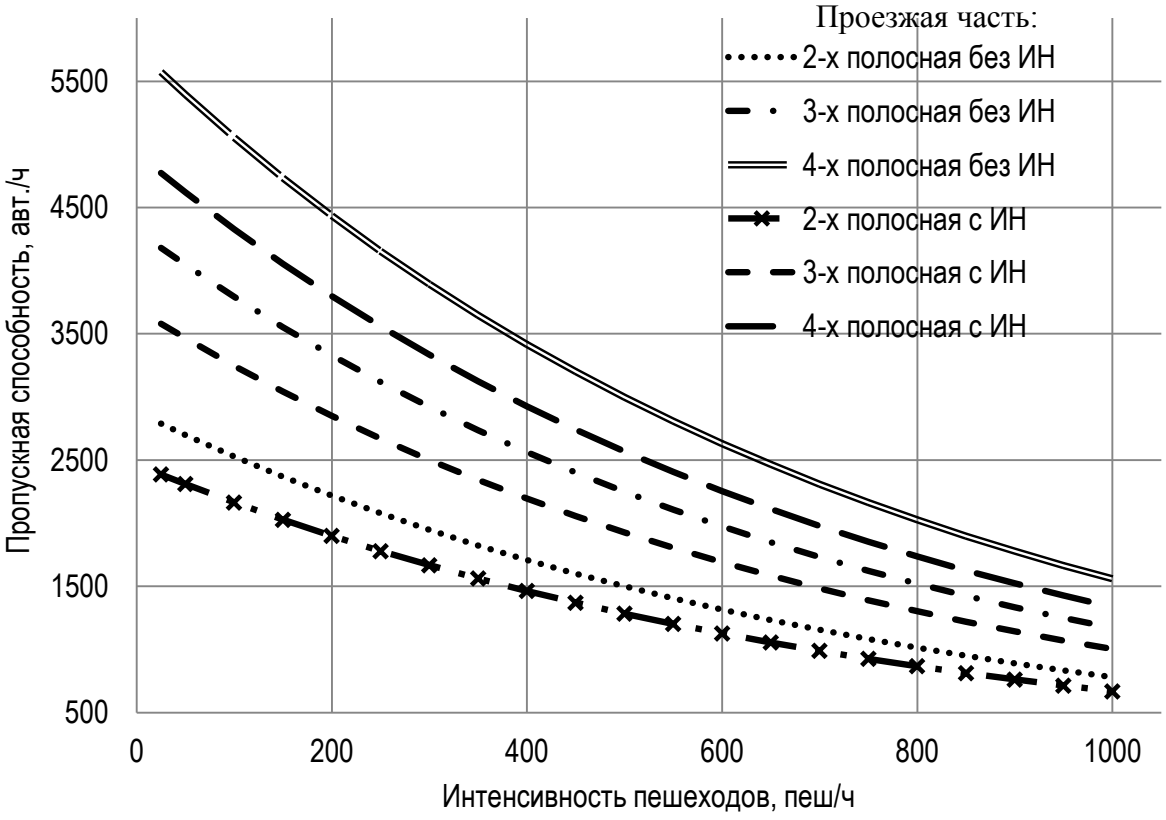


Рис. 9. График влияния ширины проезжей части на пропускную способность улиц и дорог в зонах нерегулируемых пешеходных переходов без ИН и с ИН

Далее было выполнено моделирование задержек транспортных средств на регулируемых переходах для тех же значений интенсивностей движения транспорта и пешеходов (рис. 10). По результатам моделирования определены условия эффективного применения нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходов и предложены рекомендации по их применению. Нерегулируемые пешеходные переходы следует применять:

– на двухполосных проезжих частях:

при $N_{тр}$ менее 600 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 150 пеш/ч;

при $N_{тр}$ менее 500 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 160 пеш/ч;

при $N_{тр}$ менее 400 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 170 пеш/ч;

– на трехполосных проезжих частях (одностороннее движение):

при $N_{тр}$ менее 600 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 130 пеш/ч;

при $N_{тр}$ менее 500 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 140 пеш/ч;

при $N_{тр}$ менее 400 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 150 пеш/ч;

– на четырехполосных проезжих частях:

при $N_{тр}$ менее 600 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 120 пеш/ч;

при $N_{тр}$ менее 500 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 130 пеш/ч;

при $N_{тр}$ менее 400 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 140 пеш/ч.

Полученные в работе результаты уточняют положения ГОСТ Р 52289-2004, в котором рекомендации по применению регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходов не учитывают ширину проезжей части.

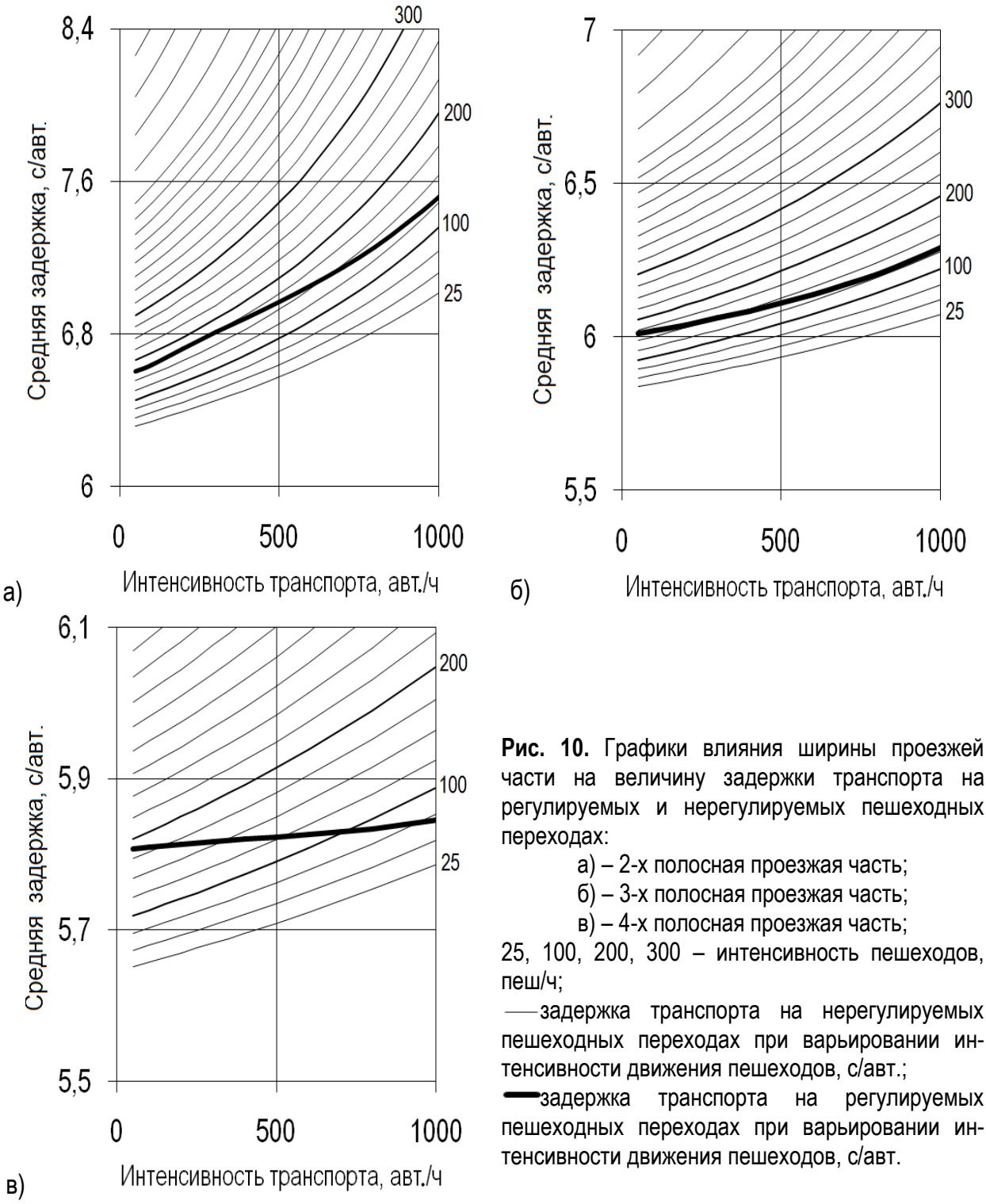


Рис. 10. Графики влияния ширины проезжей части на величину задержки транспорта на регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходах:

а) – 2-х полосная проезжая часть;

б) – 3-х полосная проезжая часть;

в) – 4-х полосная проезжая часть;

25, 100, 200, 300 – интенсивность пешеходов, пеш/ч;

—— задержка транспорта на нерегулируемых пешеходных переходах при варьировании интенсивности движения пешеходов, с/авт.;

━━ задержка транспорта на регулируемых пешеходных переходах при варьировании интенсивности движения пешеходов, с/авт.

Оценен экономический эффект, получаемый в результате уточнения условий применения нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходов. Эффект достигается за счет сокращения задержек транспортных средств при введении светофорного регулирования в случаях, когда действующими нормативами рекомендуется применение нерегулируемых переходов. Так, для улиц и дорог с четырехполосной проезжей частью при введении светофорного регулирования для интенсивности движения пешеходов 120–140 пеш/ч и интенсивности движения транспорта 600 авт./ч годовой экономический эффект составляет 7000–18000 руб.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика оценки задержек транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах (с искусственной неровностью и без нее) с применением видеосъемки и треков GPS (ГЛОНАСС) навигаторов позволила установить:

- диапазон значений интенсивностей: транспорта составляет 592–2968 физ.ед./ч; пешеходов – 40–891пеш/ч;
- задержки транспортных средств на нерегулируемых переходах варьируются в диапазоне от 0 до 60 с (при отсутствии пешеходов снижение скорости движения транспортного средства незначительно, поэтому транспортная задержка в таком случае принималась равной 0);
- протяженность зоны влияния пешеходного перехода варьируется от 90 до 350 метров (большие значения – случаи образования очередей транспортных средств на подходе к нерегулируемому переходу);
- интервалы следования из очереди транспортных средств составляют:

на нерегулируемых пешеходных переходах без искусственной неровности – 2,5 с;
на нерегулируемых пешеходных переходах с искусственной неровностью – 2,9 с.

2. Разработанные математические модели расчета пропускной способности проезжих частей улиц и дорог и задержек транспортных средств в зонах размещения нерегулируемых пешеходных переходов показали, что расхождения между расчетными и наблюдаемыми значениями задержек составляют не более 10–15%.

3. Определены области эффективного применения нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходов с учетом ширины проезжей части на основе пропускной способности и задержек транспортных средств.

Установлено, что нерегулируемые пешеходные переходы следует применять:

– на двухполосных проезжих частях:

при $N_{тр}$ менее 600 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 150 пеш/ч;
при $N_{тр}$ менее 500 авт./ч и $N_{пеш}$менее 160 пеш/ч;
при $N_{тр}$менее 400 авт./ч и $N_{пеш}$менее 170 пеш/ч;

– на трехполосных проезжих частях (одностороннее движение):

при $N_{тр}$менее 600 авт./ч и $N_{пеш}$менее 130 пеш/ч;
при $N_{тр}$менее 500 авт./ч и $N_{пеш}$менее 140 пеш/ч;
при $N_{тр}$менее 400 авт./ч и $N_{пеш}$менее 150 пеш/ч;

– на четырехполосных проезжих частях:

при $N_{тр}$менее 600 авт./ч и $N_{пеш}$менее 120 пеш/ч;
при $N_{тр}$ менее 500 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 130 пеш/ч;
при $N_{тр}$менее 400 авт./ч и $N_{пеш}$ менее 140 пеш/ч.

Полученные в работе результаты уточняют положения ГОСТ Р 52289-2004 «Технические средства организации дорожного движения», в котором рекомендации по применению регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходов не учитывают ширину проезжей части.

4. Эффективность выполненного научного исследования подтверждена результатами производственной проверки. Экономический эффект, полученный в результате сокращения задержек транспортных средств при введении светофорного регулирования на улицах и дорогах с четырехполосной проезжей частью при ин-

тенсивности движения пешеходов 120–140 пеш/ч и интенсивности движения транспорта 600 авт./ч, составляет 7000–18000 руб. в год.

ПУБЛИКАЦИИ

Входящие в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий»:

1. Чикалин, Е.Н. Методика применения многомерного статистического анализа для развития функциональной классификации улиц центров крупных городов / Е.Н. Чикалин, С.Л. Чикалина // Вестник ИрГТУ. – 2011. – №1. – С.123–128.
2. Чикалин, Е.Н. Анализ задержек транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах / Е.Н. Чикалин // Вестник ИрГТУ. – 2012. – № 9. – С. 168–174.
3. Чикалин, Е.Н. Модель пропускной способности улицы в зоне нерегулируемого пешеходного перехода / Е.Н. Чикалин // Вестник ИрГТУ. – 2012. – №10. – С. 173–180.

– в других научных изданиях:

4. Чикалин, Е.Н. Меры по снижению уровня аварийности при развитии автомобилизации / Е.Н. Чикалин // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материал V Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск: СибАДИ, 2010. – Кн. 2. – С. 232–234.
5. Чикалин, Е.Н. Сравнительный анализ норм и методического обеспечения организации систем движения пешеходов / Е.Н. Чикалин, А.Ю. Михайлов // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : сб. докладов девятой междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – С.166–168.
6. Чикалин, Е.Н. Методика расчета пешеходных коммуникаций в условиях взаимодействия разных пешеходных потоков / Е.Н. Чикалин, С.Л. Чикалина// Политранспортные системы : материалы VII Всероссийской науч.-техн. конф. – Красноярск – Новосибирск: СГУПСа, – 2010. – С. 597–599.
7. Чикалин, Е.Н. Повышение безопасности движения детей на уличнодорожной сети крупных городов / Е.Н. Чикалин, С.Л. Чикалина // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы Международной науч.-практ. конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – С. 347–349.
8. Чикалин, Е.Н. Безопасное и комфортное движение пешеходов на пешеходных переходах / Е.Н. Чикалин // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. – Магадан: Изд-во СВГУ, 2011. – С. 105–107.
9. Чикалин, Е.Н. Применение новейших технических решений в организации дорожного движения / Е.Н. Чикалин, С.Л. Чикалина // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – С. 446–448.
10. Чикалин, Е.Н. Исследование транспортных задержек с использованием современных технологий / Е.Н. Чикалин // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы XVIII междунар. (двадцать первой Екатеринбургской) науч.-практ. конф. / науч. ред. С.А. Ваксман. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2012. –С. 317–322.
11. Чикалин, Е.Н. Пути повышения безопасности движения пешеходов на пешеходных коммуникациях / Е.Н. Чикалин, С.Л. Чикалина, Т.Б. Григорьева // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем: ма-

териалы четвертой междунар. науч.-практ. конф. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – С. 317–322.
12. Чикалин, Е.Н. К вопросу о безопасности движения пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах / Е.Н. Чикалин, С.Л. Чикалина, В.В. Борисова// «Авиамашиностроение и транспорт Сибири – 2012»: сб. научных трудов студентов и преподавателей института авиамашиностроения и транспорта. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, – 2012. – С.53–58.
13. Чикалин, Е.Н. Некоторые аспекты безопасности движения пешеходов / Е.Н. Чикалин, С.Л. Чикалина, В.Е. Муковкина // «Авиамашиностроение и транспорт Сибири – 2012»: сб. научных трудов студентов и преподавателей института авиамашиностроения и транспорта. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – С.81–86.

Подписано в печать 20.05.2013 г. Формат 60×90 / 16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,25.
Тираж 100 экз. Зак. 71. Поз.плана 10 н.

Лицензия ИД№ 06506 от 26.12.2001
Иркутский государственный технический университет
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83