

На правах рукописи

ЛИПНИЦКИЙ Алексей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОМПАКТНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иркутск - 2010

Работа выполнена на кафедре «Менеджмент на автомобильном транспорте» Иркутского государственного технического университета.

**Научный руководитель** доктор технических наук, профессор  
Михайлов Александр Юрьевич

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
Рябчинский Анатолий Иосифович

кандидат технических наук, доцент  
Ляпустин Павел Константинович

**Ведущая организация** ГУП «НИиПИ Генплана г.Москвы»

Защита состоится «11» мая 2010г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.073.04 в ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»: 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, корпус «Ж», ауд. 06а.; факс 8 (3952) 405-100; e-mail: 1.gor@istu.edu.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского государственного технического университета по адресу: 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83 и на сайте университета [www.istu.edu](http://www.istu.edu).

Автореферат разослан « 9 » апреля 2010г.

Отзывы в 2 экз., заверенные печатью, просьба выслать на имя ученого секретаря совета.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р. техн. наук, профессор

Н.Н. Страбыкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Одной из важнейших проблем эксплуатации автомобильного транспорта в нашей стране является состояние безопасности дорожного движения в российских городах. Концентрация ДТП отмечается, в том числе, на нерегулируемых перекрестках, составляющих значительную долю всех пересечений городских улично-дорожных сетей (УДС). В соответствии с данными международной статистики переоборудование нерегулируемых пересечений в кольцевые пересечения малого и среднего диаметра позволяет снизить аварийность на 40-80% (таб.1.), что обусловило широкое распространение «современных кольцевых пересечений» (modern roundabouts). Этим термином обозначаются кольцевые пересечения малого и среднего диаметра, имеющие приоритет движения по кольцевой проезжей части и целый ряд особенностей проектирования геометрических элементов, обеспечивающих проезд длинномерных транспортных средств и безопасное движение пешеходов. Такие кольцевые пересечения получили широкое применение в США, Канаде, большинстве стран Западной Европы, Израиле и англоязычных странах Австралии, Новой Зеландии, Южной Африке. Масштабы применения современных кольцевых пересечений характеризуются следующими цифрами: по данным английской прессы в Великобритании насчитывается 5000 таких пересечений; во Франции в конце 1994 г. насчитывалось около 12080 современных кольцевых пересечений, а в 2005 г. их уже было более 27000.

В российской практике организации дорожного движения (ОДД) кольцевые пересечения еще не получили должного применения. Поэтому важны исследования, доказывающие, что компактные кольцевые пересечения, признанные в мировой практике одним из самых эффективных средств снижения аварийности, позволяют повысить качество ОДД и по другим показателям.

**Рабочая гипотеза.** Значительное повышение качества организации дорожного движения на местных УДС может быть достигнуто на основе применения компактных кольцевых пересечений вместо нерегулируемых пересечений, что позволит существенно увеличить пропускную способность и снизить задержки транспортных средств.

**Цель работы** – повышение эффективности ОДД на местных улично-дорожных сетях городов на основе применения компактных кольцевых пересечений.

**Объект исследования** – функционирование потоков транспортных средств на кольцевых и нерегулируемых пересечениях.

**Предмет исследования** – сравнение компактных кольцевых и нерегулируемых пересечений с использованием показателей пропускная способность и задержки транспортных средств.

Сформулированная цель работы потребовала решить следующие **задачи**:

- Установить виды распределений интервалов в потоках транспортных средств на местной УДС в том числе оценить влияние регулируемых пересечений. В соответствии с установленными распределениями выбрать модели расчета пропускной способности и задержек для нерегулируемых и компактных кольцевых пересечений.
- Установить для нерегулируемых и кольцевых пересечений значения параметров, используемых в расчетах пропускной способности и задержек транспортных

средств – критических интервалов и интервалов следования из очереди второстепенного направления.

- На основе численного моделирования выполнить сравнение нерегулируемых и компактных кольцевых пересечений с использованием показателей суммарная пропускная способность и суммарные задержки транспортных средств и определить область эффективного применения компактных кольцевых пересечений.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечены репрезентативными объемами выборок исследуемых параметров транспортных потоков, выбором моделей расчета пропускной способности и задержек, соответствующих установленными характеристиками транспортных потоков, верификацией результатов экспериментов общепринятыми статистическими критериями, использованием библиотек оптимизации и статистической обработки данных среды MATLAB.

#### **Научная новизна:**

- установлены следующие характеристики транспортных потоков:
  - параметры распределений интервалов в транспортных потоках на местной улично-дорожной сети, в том числе, в случаях влияния регулируемых пересечений;
  - значения критических интервалов для различных видов маневров транспортных средств на нерегулируемых и кольцевых пересечениях;
  - значения интервалов следования из очереди второстепенного направления для нерегулируемых и кольцевых пересечений;
- установлены модели расчета пропускной способности и задержек, соответствующие наиболее распространенным распределениям интервалов в транспортных потоках на местной УДС;
- определена область значений интенсивностей движения, при которых целесообразно применение компактных кольцевых пересечений.

#### **Практическая ценность работы:**

- предложены уточненные методики расчета пропускной способности и задержек компактных кольцевых пересечений;
- рекомендованы значения параметров транспортных потоков, используемых в расчетах пропускной способности и задержек компактных кольцевых пересечений, нерегулируемых перекрестков;
- даны рекомендации по применению компактных кольцевых пересечений вместо нерегулируемых перекрестков.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- Методы расчета пропускной способности компактных кольцевых пересечений, а также задержек транспортных средств на них должны основываться на дихотомическом распределении интервалов в потоке транспортных средств, которое учитывает наличие связанной части потока транспортных средств.
- Расчеты пропускной способности кольцевых компактных пересечений, а также задержек транспортных средств на них должны выполняться с использованием критических интервалов и интервалов следования из очереди, характерных для современных условий движения на городских УДС. Экспериментально установлены значения этих параметров, рекомендуемые для практического использования.
- Область эффективного применения компактных кольцевых пересечений должна определяться на основе сравнения нерегулируемых и кольцевых пересечений в

широком диапазоне значений интенсивности движения транспортных средств с использованием критериев: пропускная способность и суммарные задержки. Сформулированная задача решается методами численного моделирования.

### **Реализация работы**

Результаты исследования внедрены в АНО «Институт Проблем безопасности движения» при подготовке текста ОДМ «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» (по заданию Росавтодора Минтранса России № 101/08-25 от 12.05.2008 г.).

### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационного исследования представлялись в научных докладах и выступлениях: ежегодная научно-техническая конференция Иркутского государственного технического университета (Иркутск, 2007, 2008, 2009гг.); VIII международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (С-Петербург, 2008 г), VI международная научно-практическая конференция (Минск, 2008г.), III Межрегиональная научно-практическая конференция. «Дорожно-транспортный комплекс: состояние и перспективы развития» (Чебоксары, 2008г.), XV международная научно-практическая конференция «Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния» (Екатеринбург, 2009 г.), VI Всероссийская научно-техническая конференция «Политранспортные системы» (Новосибирск, 2009г.), Международная научно-практическая Интернет-конференция «Совершенствование организации дорожного движения, перевозок пассажиров и грузов» (Минск, 2009г.).

### **Публикации**

По результатам диссертационного исследования опубликовано 11 печатных работ, в т.ч. одна в изданиях, утвержденных ВАК Минобрнауки РФ для кандидатских диссертаций.

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и 3 приложений. Общий объем диссертации составляет 233 страницы машинописного текста, в том числе 135 стр. основного текста, включающего 44 рисунка и 7 таблиц и 3 приложений на 55 стр. Библиография содержит 146 наименований, в том числе 68 источников на иностранном языке.

В **первой главе** рассмотрены современное состояние аварийности в городах Российской Федерации, методы повышения безопасности движения на пересечениях местной УДС, выполнен анализ эффективности применения кольцевых пересечений.

Высокая аварийность на местной УДС остается одной из важных проблем ОДД. В частности статистика ДТП свидетельствует о высоком уровне аварийности на нерегулируемых пересечениях местной УДС. Например, в Свердловском округе г. Иркутска состояние безопасности движения на нерегулируемых пересечениях (2006-2007) характеризовалось следующими показателями :

- среднее количество ДТП на одном перекрестке в год - 87,37;
- среднее количество ДТП с пострадавшими на одном перекрестке в год - 6,33;
- среднее количество пострадавших на одном перекрестке в год - 9,96;
- среднее количество погибших на одном перекрестке в год – 0,37.

Анализ мировой практики ОДД убедительно свидетельствует о существовании эффективных методов повышения безопасности движения, применимых для пересечений местной УДС. Самым эффективным мероприятием является переоборудование

нерегулируемых пересечений в современные кольцевые пересечения (табл. 1). Одной из составляющих такой эффективности является высокая безопасность движения пешеходов на этих пересечениях.

Таблица 1

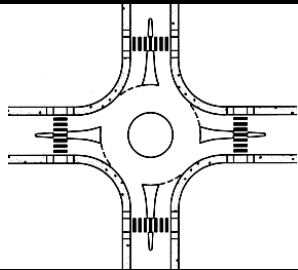
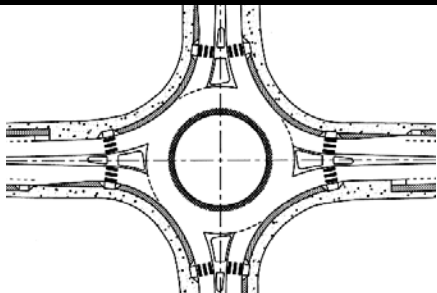
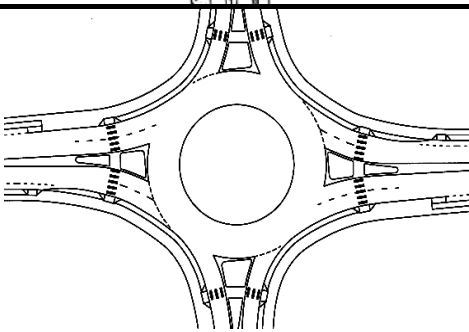
Изменение аварийности при применении компактных колец и мини-колец

Страна	Среднее количество ДТП за год на пересечении		Изменение показателя, %
	до переоборудования	после переоборудования в кольцевое пересечение	
Австралия	1,045	0,57	-45
Бельгия	1,352	0,789	-42
Великобритания	-	1,77	-
Нидерланды	4,9	2,4	-51
США	5,9	1,43	-75
Франция	1,42	0,31	-78

Современному кольцевому пересечению - Modern Roundabouts (табл.2) соответствуют кольцевые пересечения малого и среднего диаметра (по классификации В.В. Сильянова).

Таблица 2

Классификация кольцевых пересечений малого и среднего диаметра  
(Roundabouts an Informational Guide. FHWA-RD-00-067)

Тип кольцевого пересечения		Расчетная скорость, км/ч	Внешний диаметр кольцевой проезжей части, м
Мини-кольцо Mini-Roundabout  Центральный островок выделяется разметкой или выполняется приподнятым на 10-12 см		25	13 — 25
Городское компактное кольцо Urban Compact Roundabout  Центральный островок выделяется бортовым камнем		25	25 — 30
Городское кольцо (по одной полосе на входе) Urban Single Lane Roundabout  Центральный островок выделяется бортовым камнем		35	30 — 40

В силу своих геометрических параметров все пересечения, представленные в табл. 2, не требуют значительной территории. Поскольку в Российской Федерации нет опыта эксплуатации колец мини-колец, центральные островки которых выделяются разметкой или выполняются пологими и приподнятыми на 10-12 см, внедрение этого типа пересечений может сопровождаться нарушениями правил движения. Поэтому представляется, что для российской практики пока более актуальны компактные кольцевые пересечения:

- компактные кольца могут размещаться в габаритах красных линий на магистральных улицах районного значения, имеющих две полосы движения, и на местных улицах;
- в отличие от мини-колец, компактные кольца имеют выделенный бортовым камнем центральный островок, что важно в условиях низкой дисциплины водителей;
- применяемые конструкции центральных островков компактных колец (Англия, Германия, США, Франция) предусматривают движение длинномерных транспортных средств (центральный островок включает наклонную краевую полосу шириной 1-2 м, на которую заезжают длинномерные грузовые автомобили и автобусы).

Поскольку эффективность современных кольцевых пересечений как средства снижения аварийности убедительно доказана мировой статистикой, оценке подлежит применимость таких пересечений с позиций обеспечения пропускной способности и приемлемых уровней задержек. В этой связи данное исследование посвящено сравнительному анализу компактных кольцевых пересечений и нерегулируемых пересечений с использованием показателей суммарная пропускная способность и суммарные задержки транспортных средств. На этом основании сформулированы цель и задачи исследования.

Во **второй главе** проанализированы существующие модели расчета пропускной способности нерегулируемых пересечений и компактных колец, модели расчета задержек, параметры транспортных потоков, используемые в расчетах пропускной способности и задержек. Методами расчета пропускной способности и задержек для нерегулируемых и кольцевых пересечений рассматривали в своих трудах В.Ф. Бабков, Ю.С., Ланцберг А.Г. Левашев, Е.М. Лобанов, М.Н. Поздняков, А.А. Поляков, В.В. Сильянов, Д.Ю. Чумаков, R. Akcelik, W. Brilon, A. Flannery, J. Kennedy, E. Maki Robert, J.C. Tanner, J. Timothy, R.J. Troutbeck, M. Vendhey, T. Taekratok и другие.

Модели можно разделить на две группы:

- эмпирические зависимости – регрессионные модели, оценивающие пропускную способность второстепенного направления (входа на кольцо) как функцию интенсивности движения на кольцевой проезжей части;
- вероятностные модели, использующие функцию принятия интервалов.

Поскольку регрессионные модели строятся отдельно для каждого типа перекрестков или перекрестка с заданными параметрами в данной работе были рассмотрены более универсальные модели, использующие функцию принятия интервалов.

В настоящее время в расчетах пропускной способности нерегулируемых и кольцевых пересечений применяются модели, строго соответствующие только определенным типам распределения интервалов в главном потоке.

В случае использования **экспоненциального распределения** плотность распределения интервалов в потоке  $f(t)$  имеет вид

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где  $\lambda$  - параметр распределения, авт./с;  $\lambda = q/3600$ ;  $q$ - интенсивность движения, авт./ч.

Единственное преимущество использования экспоненциального распределения – простота его применения, необходимо определить только один параметр – интенсивность движения  $q$ .

Несколько точнее транспортный поток описывает **смещенное экспоненциальное распределение**. Предполагается, что интервалы в потоке имеют величину более  $t_m$ , но при этом подчиняются экспоненциальному распределению. Соответственно  $f(t)$  рассматривается как

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_m, \\ \lambda e^{-\lambda(t-t_m)}, & \text{если } t \geq t_m, \end{cases}$$

где  $\lambda$  - параметр распределения,  $\lambda = q/(1-t_m q)$ ;  $t_m$  - параметр смещения (величина минимального интервала в потоке), с.

В городских условия часто в потоке имеются пачки (например, влияет светофорное регулирование) и поэтому поток следует рассматривать состоящим из двух частей – связанной и свободной. В этой связи используется **дихотомическое распределение**, которое предложил R.J. Covan (распределение получило название Covan's M3 )

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_m, \\ \alpha \lambda e^{-\lambda(t-t_m)}, & \text{если } t \geq t_m, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – доля свободной части транспортного потока;  $\lambda$  - параметр распределения, определяемый формулой (3).

С целью использования распределения Кована (Covan's M3) R.J. Troutbeck модифицировал модель оценки пропускной способности Таннера

$$Q_e = \frac{3600(1-\theta)q_p e^{-\lambda(t_c-t_m)}}{1 - e^{-\lambda t_f}} = \frac{3600 \alpha q_p e^{-\lambda(t_c-t_m)}}{1 - e^{-\lambda t_f}}, \quad (2)$$

где  $Q_e$  – пропускная способность второстепенного направления на пересечении, авт./ч;  $\theta$  – доля связанной части потока главного направления (доля транспортных средств в пачках);  $q_p$  – интенсивность движения на главном направлении, авт./с;  $t_c$  – критический интервал, с;  $\lambda$  – параметр распределения интервалов в главном потоке;  $t_m$  – минимальный интервал между транспортными средствами главного потока, с;  $t_f$  – интервал следования из очереди второстепенного потока, с.

Параметр  $\lambda$  уравнения (2) определяется как

$$\lambda = \frac{(1-\theta)q_p}{1-t_m q_p} = \frac{\alpha q_p}{1-t_m q_p}. \quad (3)$$

Одновременно Troutbeck R.J. предложил скорректированную модель расчета задержки Адамса (Adams delay)  $d_{\min}$  – средней задержки транспортных средств второстепенного потока при очень низкой его интенсивности:

$$d_{\min} = \frac{e^{\lambda(t_c-t_m)}}{Q_e \alpha} - t_c - \frac{1}{\lambda} - \frac{\lambda t_m^2 - 2t_m + 2t_m \alpha}{2(t_m \alpha + \alpha)}.$$

В соответствии с приведенными выше выражениями средняя задержка второстепенного направления  $d$  (с) рассчитывается как



$$d = d_{\min} + \frac{3600kx}{(1-x)},$$

где  $k = d_{\min}Q_e/3600$  – параметр уравнения средней задержки;  $x$  – коэффициент насыщения в заданный период времени (т.е. отношение интенсивности на входе к пропускной способности).

Для определения параметра  $\alpha$  предложены следующие формулы:

$$\text{формула Таннера (J.C. Tanner)} \quad \alpha = 1 - t_m q_p; \quad (4)$$

$$\text{формула Брилона (W. Brilon)} \quad \alpha = e^{-Aq_p}, \quad (5)$$

где  $A$  – параметр, определяемый экспериментально и имеющий значения от 6 до 9.

Специалистами (R. Akcelik, J.C.Tanner) отмечено, что при использовании формулы (4) значение параметра  $\lambda$  получается равным  $q_p$ , но при этом сохраняется хорошее качество аппроксимации распределения интервалов в потоке, что подтвердилось и в настоящем исследовании.

В **третьей главе** представлены методики проведения обследований транспортных потоков и оценки критических интервалов и интервалов следования из очереди.

Основной целью проведения обследований явилось получение следующих характеристик потоков транспортных средств:

- типы распределений интервалов в транспортных потоках при различных интенсивностях движения;
- значения критических интервалов при выполнении различных маневров на пересечениях;
- значения интервалов следования из очереди второстепенного направления движения.

Обследование производилось путем выполнения цифровой видеосъемки транспортных потоков главных и второстепенных направлений движения на перекрестках с последующей обработкой видеозаписей. При обработке данных видеосъемки использовались следующие программные продукты: Windows Movie Maker, Microsoft Excel, Matlab. В ходе обследования было изучено 11 нерегулируемых и 11 кольцевых пересечений.

Методы оценки значений критических интервалов и интервалов следования из очереди второстепенного направления рассматривали в своих работах В.Ф. Бабков, Е.М. Лобанов, В.В. Сильянов, Д.С. Мартягин, А. Aburahma, R. Akcelik, D.J. Armitage, W. Brilon, M.J. Cassidy, R.J. Cowan, C.S. Fisk, A. Flannery, M. Grossmann, R.M. Kimber, M. Kyte, M. McDonald, W. Siegloch, T. Taekratok, R.J. Troutbeck, N. Wu и другие. Из различных предложенных методов в настоящем исследовании выбран метод линейной регрессии, который отличается простотой и позволяет получить одновременно критические интервалы  $t_c$  и интервалы следования из очереди  $t_f$ .

В **четвертой главе** приводятся результаты обработки данных обследований и сравнительная оценка нерегулируемых и компактных кольцевых пересечений.

В соответствии с полученными экспериментальными данными на 9 из 22 обследованных пересечений отмечалось связанное движение, т.е. наличие пачек. Данные (табл. 3, рис. 1) показывают, что отрицательное экспоненциальное распределение наиболее плохо согласуется с эмпирическими распределениями.

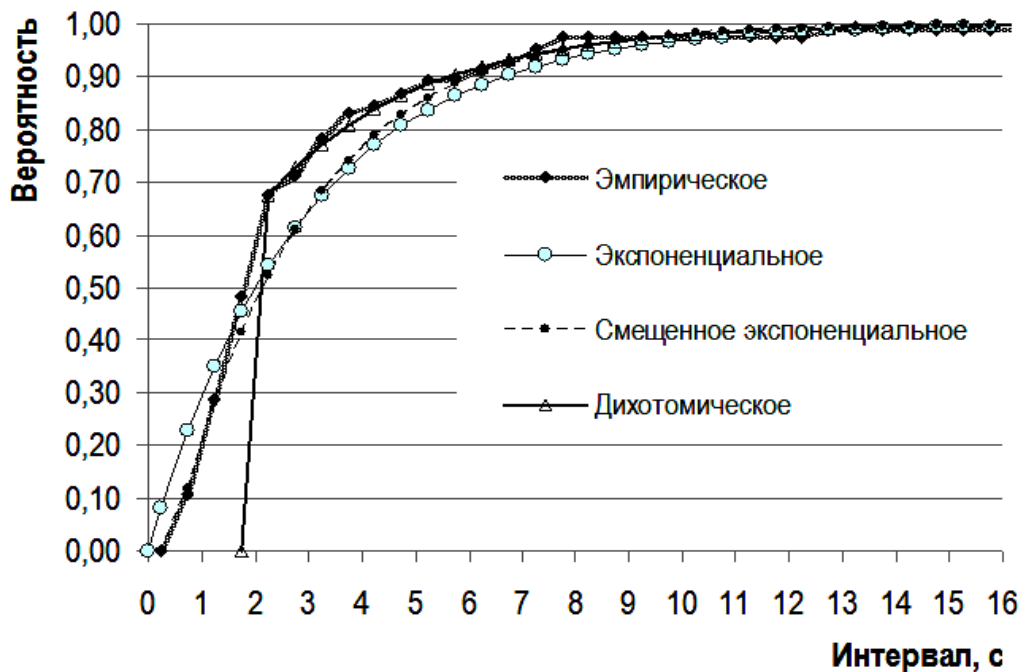


Рис. 1. Примеры эмпирического и теоретических распределений интервалов. Кольцевая проезжая часть Ушаковской развязки (Иркутск): интенсивность движения – 1246 авт./ч; доля связанного потока  $\theta=0,34$

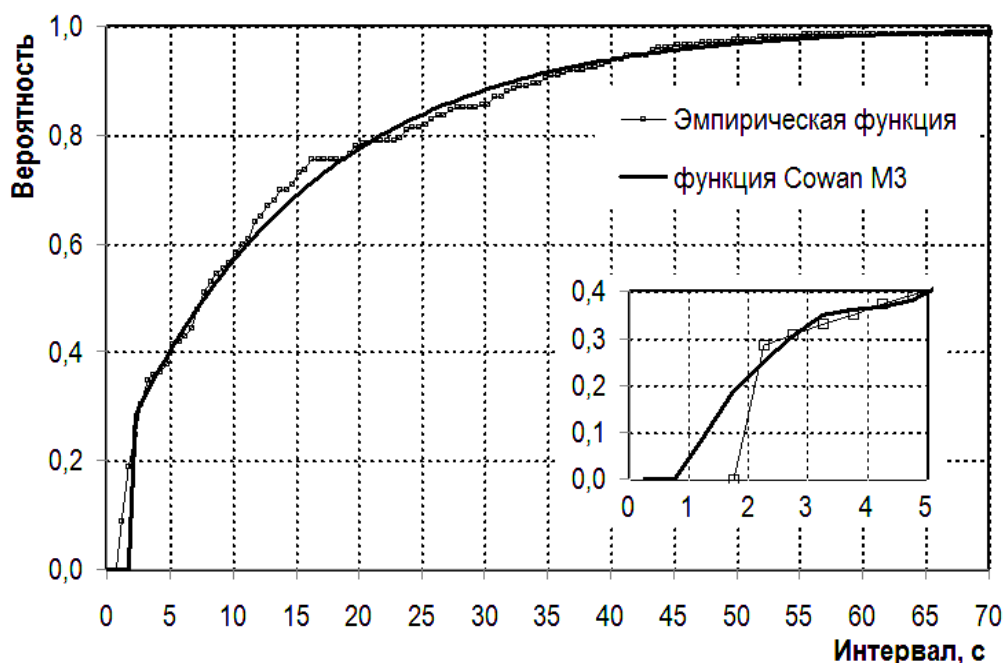


Рис. 2. Примеры эмпирического и дихотомического распределений интервалов. Кольцевая проезжая часть компактного кольцевого пересечения (Иркутск): интенсивность движения – 274 авт./ч; доля связанного потока  $\theta=0,26$

Анализ сходимости теоретических и наблюдаемых распределений позволил сделать следующие выводы (табл.3):

- смещенное экспоненциальное распределение применимо только в случаях низкой интенсивности до 300 авт./ч при отсутствии влияния светофорных объектов;
- при интенсивности движения более 300 авт./ч наилучшую аппроксимацию дает дихотомическое распределение (1) с параметром  $\alpha$ , рассчитываемым с примене-


нием формулы Брилона (5). При этом при случайном прибытии транспортных средств следует принимать  $A=2$ , а в случаях наличия пачек в потоке  $A=4$  (табл.4).

Таблица 3

Оценка применимости теоретических распределений интервалов

Интенсивность движения, авт./ч	Значение критерия согласия $\chi^2$							
	Случайное поступление транспортных средств				Частично связанный поток (наличие пачек)			
	Тип распределения				Тип распределения			
	Экспоненциальное	Смещенное экспоненциальное	Кована параметр Брилона	Кована параметр Таннера	Экспоненциальное	Смещенное экспоненциальное	Кована параметр Брилона	Кована параметр Таннера
менее 300	1,040	<b>0,224</b>	0,649	<b>0,482</b>	0,583	0,652	<b>0,045</b>	<b>0,401</b>
300 -500	0,281	0,249	<b>0,033</b>	<b>0,070</b>	2,43	2,41	<b>2,326</b>	<b>2,360</b>
500 -700	0,104	0,091	<b>0,037</b>	<b>0,035</b>	0,809	0,734	<b>0,216</b>	<b>0,347</b>
700 - 1000	0,398	0,288	<b>0,071</b>	<b>0,081</b>	0,887	0,703	<b>0,213</b>	<b>0,352</b>
1000 -1300	0,225	0,041	<b>0,020</b>	<b>0,032</b>	1,211	1,02	<b>0,237</b>	<b>0,366</b>

Примечание:

 — наилучшая сходимость теоретического и наблюдаемого распределений;

 — приемлемая сходимость теоретического и наблюдаемого распределений

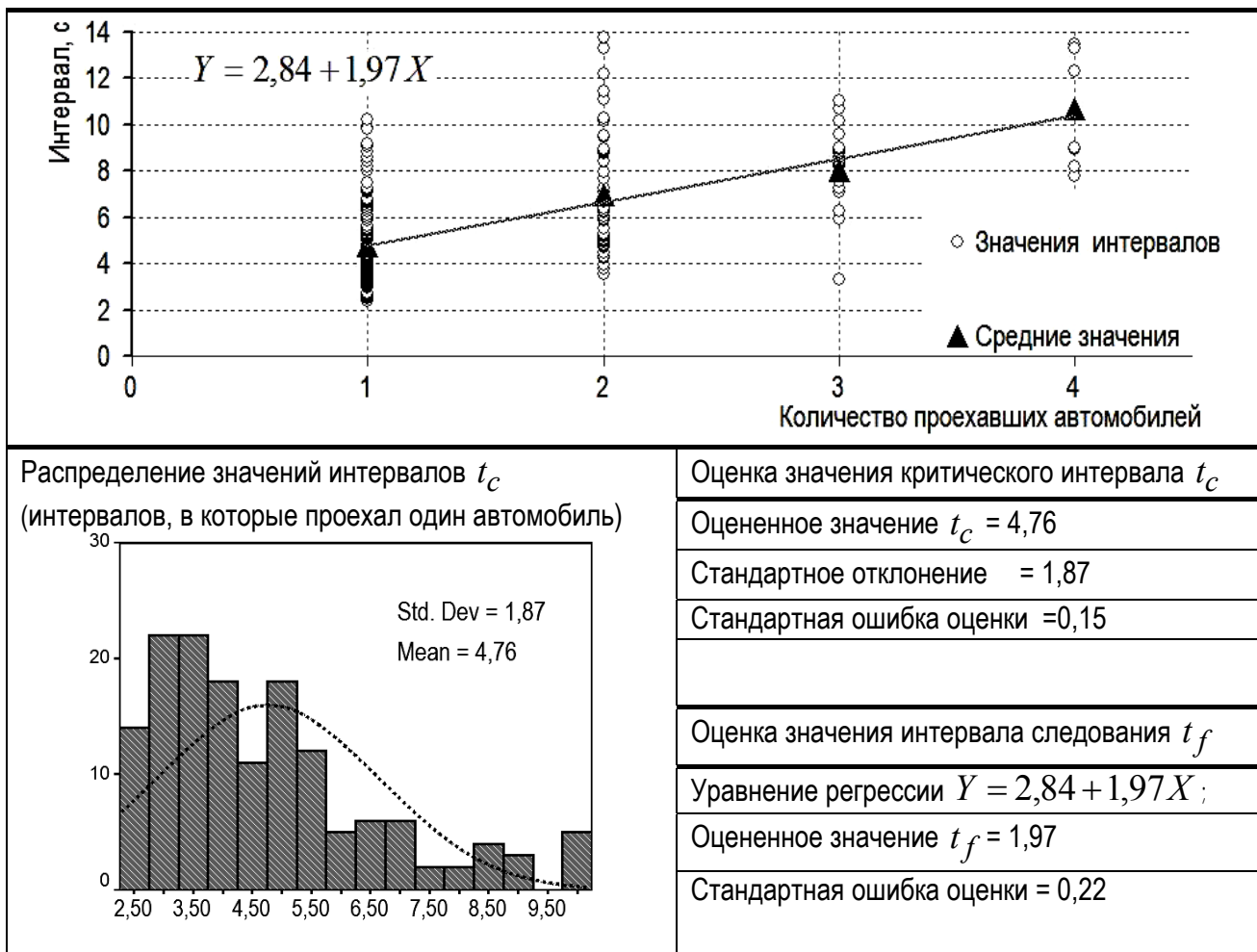
Таблица 4

Установленные значения параметров дихотомического распределения

Параметр	Характер поступления транспортных средств к перекрестку	
	Случайное	Наличие пачек в потоке
$A$	<b>2</b>	<b>4</b>
$t_m, c$	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>

Дихотомическое распределение (1) с параметром  $\alpha$ , рассчитываемым с применением формулы Таннера (4) дает достаточно хорошее качество аппроксимации. Вместе с тем формула (4) более проста и удобна для применения, она и рекомендуется к использованию в практических расчетах.

По результатам обработки данных исследований (рис. 3) для расчетов пропускной способности и задержек рекомендуются следующие значения критических интервалов  $t_c$  и интервалов следования из очереди второстепенного направления  $t_f$  (табл. 5).



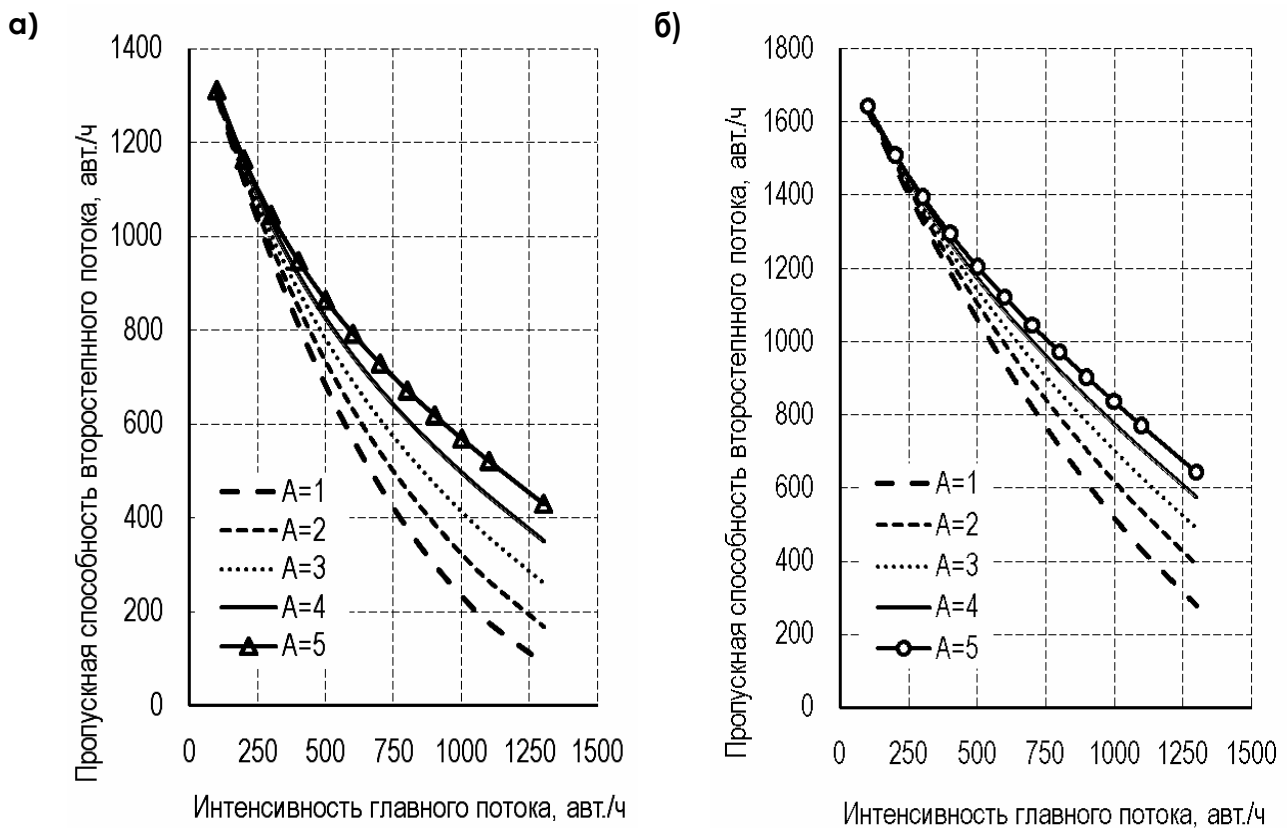
**Рис.3.** Оценка методом регрессии среднего значения критических интервалов  $t_c$  и интервалов следования из очереди  $t_f$  на входе на компактное кольцевое пересечение

**Таблица 5**

Значения критических интервалов и интервалов следования

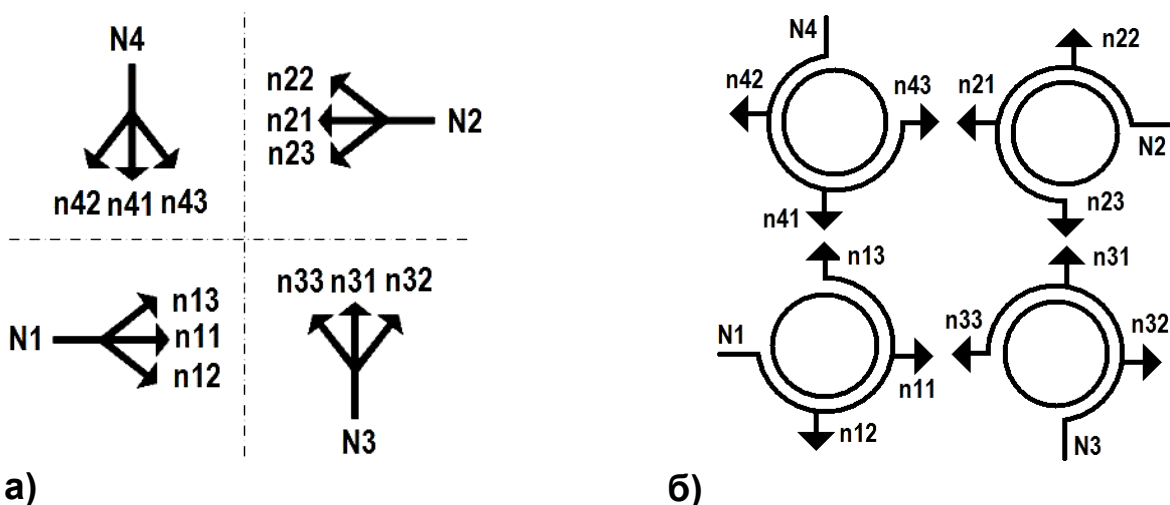
Вид маневра	Критический интервал $t_c$ (с) обеспеченности		Интервал следования из очереди $t_f, c$
	50%	85%	
Правый поворот	4,4	5,7	2,1
Пересечение главного потока	5,5	7,5	2,4
Левый поворот с главного направления	4,9	6,5	2,4
Левый поворот со второстепенного направления	6,5	7,9	2,9
Въезд на кольцевое пересечение	4,8	6,6	2

После установления типа распределения и его параметра  $A$  и  $t_m$ , значений критических интервалов  $t_c$  и интервалов следования из очереди  $t_f$  был выполнен анализ влияния параметра  $A$  на пропускную способность второстепенного направления (рис.4). По результатам моделирования отмечается незначительный прирост пропускной способности на обоих типах пересечений.

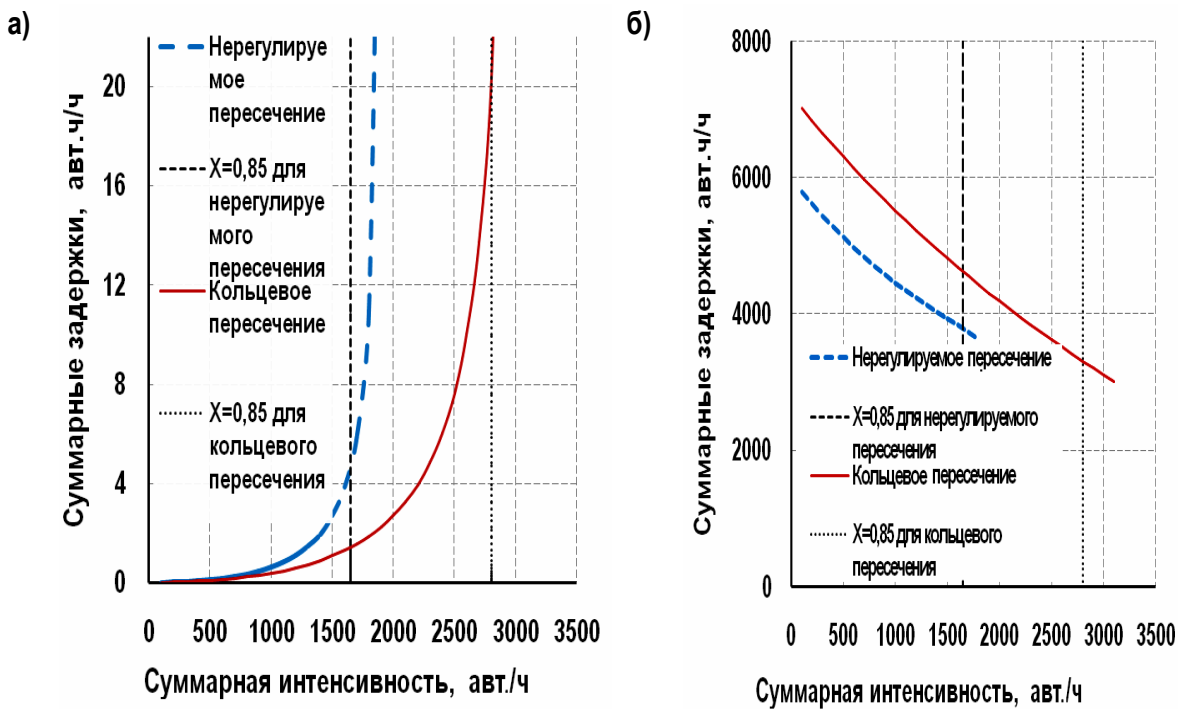


**Рис.4.** Влияние параметра  $A$  на пропускную способность при выполнении маневров: а – левый поворот со второстепенного направления на нерегулируемом пересечении; б – въезд на кольцевое пересечение

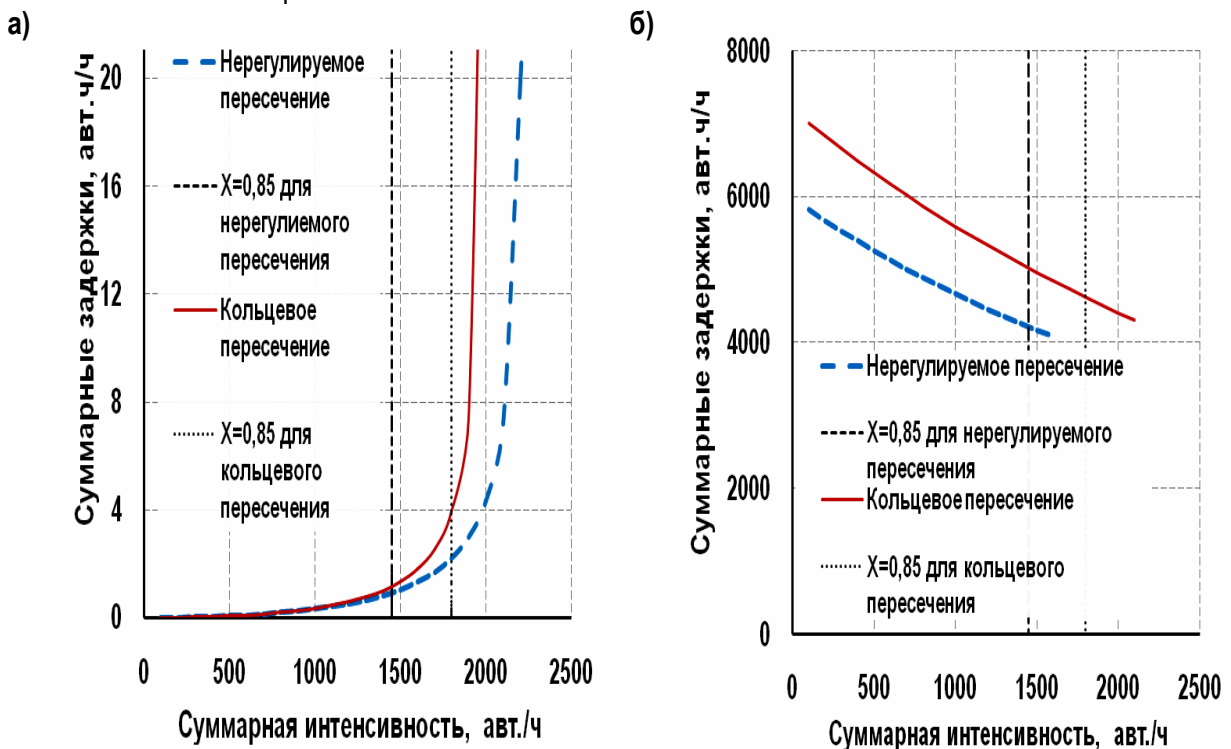
На следующем этапе исследования выполнено сравнение нерегулируемых и компактных кольцевых пересечений с использованием численного моделирования пропускной способности и задержек. Рассматривался широкий диапазон интенсивностей движения, разные соотношения распределения потоков на главном и второстепенном направлениях и разные соотношения левоповоротных, прямых и правоповоротных потоков (рис. 5). Некоторые из результатов моделирования представлены на рис. 6-8 и табл. 6.



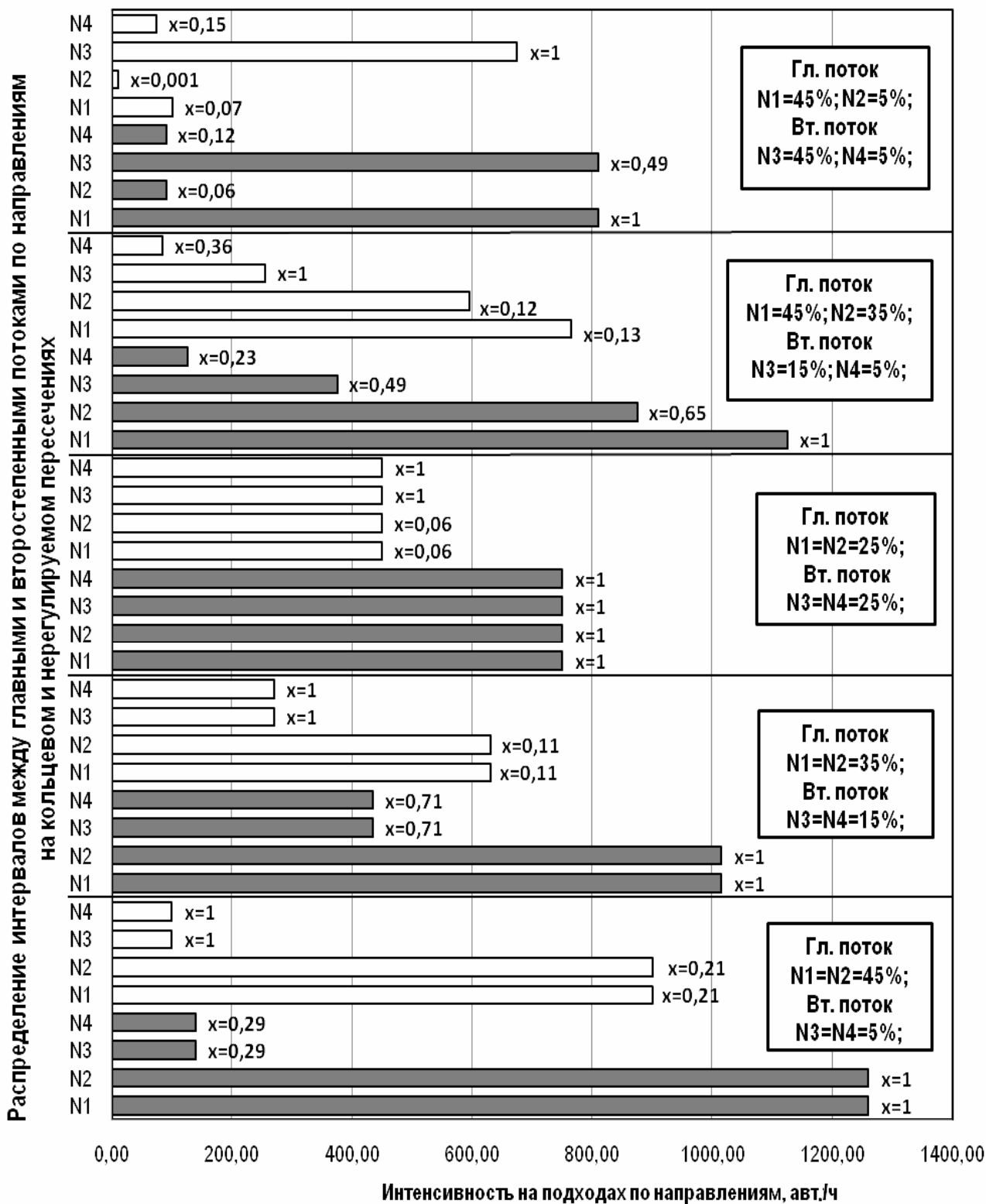
**Рис. 5.** Рассматриваемые распределения потоков по направлениям движения на нерегулируемом пересечении (а) и кольцевом пересечении (б)



**Рис.6.** Пропускная способность (а) и суммарные задержки (б) на нерегулируемом и кольцевом пересечениях при случайном поступлении ТС. Соотношение интенсивностей между главным и второстепенным потоками: 50% -50%, соотношение левоповоротного прямого и правоповоротного потоков во всех направлениях: 5%-90%-5%



**Рис.7.** Суммарные задержки (а) и пропускная способность (б) на нерегулируемом и кольцевом пересечениях при случайном поступлении ТС. Соотношение интенсивностей между главным и второстепенным потоками (см. рис. 3): N1=45%, N2=5%, N3=45%, N4=5%; соотношение левоповоротного прямого и правоповоротного потоков для N1 и N2: 25%-60%-15%, N3 и N4: 25%-40%-35%



■ - N1,N2,N3,N4- кольцевое пересечение; □ - N1,N2,N3,N4- нерегулируемое пересечение;  
 X - степень насыщения потока;

**Рис.8.** Интенсивность движения на подходах к нерегулируемым и кольцевым пересечениям при исчерпании пропускной способности хотя бы одним из подходов ( $x = 1$ ). Распределение движения налево, прямо и направо для потоков (см. рис. 3) N1 и N2 : 25% - 60% -15%, распределение движения налево, прямо и направо для потоков N3 и N4: 25% - 40% -35%

Таблица 6

## Результаты моделирования суммарных задержек (авт./ч) на нерегулируемых пресечениях и кольцевых компактных пересечениях

Соотношение интенсивности на главных и второстепенных подходах	Соотношение левоповоротного, прямого и правоповоротного потоков на подходах к пересечению			
	на всех подходах: 5% - 90% -5%	на всех подходах: 15%-70%-15%	на всех подходах: 25% - 50% -25%	на главных: 25% - 60% -15% на второстепенных: 25% - 40% -35%
N1 = 45% N2 = 45% N3 = 5% N4 = 5%	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	$N_{сумм} < 2100$ авт./ч задержки одинаковы; $2100 \text{ авт./ч} < N_{сумм} < 2250$ авт./ч лучше нерегулируемое пересечение; $N_{сумм} > 2250$ авт./ч лучше кольцо*	$N_{сумм} < 1850$ авт./ч задержки одинаковы; $1850 \text{ авт./ч} < N_{сумм} < 2200$ авт./ч лучше нерегулируемое пересечение; $N_{сумм} > 2200$ авт./ч лучше кольцо*
N1 = 35% N2 = 35% N3 = 15% N4 = 15%	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	$N_{сумм} < 1750$ авт./ч задержки одинаковы; $N_{сумм} > 1750$ авт./ч лучше кольцо	$N_{сумм} < 1800$ авт./ч задержки одинаковы; $1800 \text{ авт./ч} < N_{сумм} < 2150$ авт./ч лучше нерегулируемое пересечение; $N_{сумм} > 2150$ авт./ч лучше кольцо*
N1 = 25% N2 = 25% N3 = 25% N4 = 25%	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	$N_{сумм} < 2000$ авт./ч задержки одинаковы; $N_{сумм} > 2000$ авт./ч лучше кольцо	$N_{сумм} < 2150$ авт./ч задержки одинаковы; $2150 \text{ авт./ч} < N_{сумм} < 2350$ авт./ч лучше нерегулируемое пересечение; при $N_{сумм} > 2350$ авт./ч лучше кольцо*
N1 = 45% N2 = 35% N3 = 15% N4 = 5%	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	кольцо значительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	$N_{сумм} < 1800$ авт./ч задержки одинаковы; $N_{сумм} > 1800$ авт./ч лучше кольцо	$N_{сумм} < 2150$ авт./ч задержки одинаковы; $2150 \text{ авт./ч} < N_{сумм} < 2350$ авт./ч лучше нерегулируемое пересечение; $N_{сумм} > 2350$ авт./ч лучше кольцо*
N1 = 45% N2 = 5% N3 = 45% N4 = 5%	$N_{сумм} < 2400$ авт./ч лучше нерегулируемое пересечение; $N_{сумм} > 2400$ авт./ч незначительно лучше кольцо	кольцо незначительно лучше во всем диапазоне значений интенсивности	нерегулируемое пересечение лучше во всем диапазоне значений интенсивности	нерегулируемое пересечение лучше во всем диапазоне значений интенсивности

\*- наличие пачек в потоке.



Результаты моделирования (см. рис. 6-8 и табл. 6) позволили сделать ряд выводов. В частности у нерегулируемых пересечений отмечаются:

- лучшие показатели суммарных задержек с ростом неравномерности интенсивностей по направлениям, этот эффект наблюдается при равномерности между потоками по направлениям ниже 50% (т.е. при отношении к ниже );
- лучшие показатели суммарных задержек с ростом доли лево-поворотного потока в главном потоке, этот эффект наблюдается при доле левоповоротного потока выше 25%;
- незначительный рост пропускной способности и незначительное снижение суммарных задержек при росте доли связанной части потока.

У компактных кольцевых пересечений отмечаются лучшие показатели суммарных задержек:

- при снижении неравномерности интенсивностей по направлениям, этот эффект наблюдается при равномерности между потоками по направлениям выше 50%.
- с ростом доли прямых потоков в главном потоке, этот эффект обнаруживается при доле прямого потока выше 60%.

Моделированием установлено, что рост доли связанной части потока оказывает отрицательный эффект на кольцевые пересечения, в виде роста задержек. Это позволяет рекомендовать размещение кольцевых пересечений на удалении от регулируемых перекрестков (рекомендуемое удаление 700-800 м).

Относительно особенностей функционирования компактных кольцевых пересечений, сделаны следующие выводы (обозначения потоков см. рис.5):

- в случаях неравномерности потоков по направлениям менее 50% (т.е. когда потоки противоположных направлений N1 и N2, N3 и N4 отличаются менее чем на 50%) и доле в них лево и правоповоротного движения менее 15%, при любых интенсивностях лучше использовать компактное кольцевое пересечение;
- при неравномерности между потоками по направлениям выше 50% (т.е. когда потоки противоположных направлений N1 и N2, N3 и N4 отличаются более чем на 50%) и доле в них лево и правоповоротного движения более 15%, в диапазоне значений суммарной интенсивности 1750-2300 авт./ч кольцевые пересечения не значительных преимуществ;
- при неравномерности между потоками по направлениям ниже 50% (N1 к N2 и N3 к N4 отличаются менее чем на 50%) и при доле лево и правоповоротного движения менее 15%, при суммарной интенсивности более 2400 авт./ч лучше использовать компактное кольцевое пересечение;
- при неравномерности между потоками по направлениям выше 50% (N1 к N2 и N3 к N4 отличаются более чем на 50%) и доле в них лево и правоповоротного движения более 25%, во всем рассмотренном диапазоне интенсивностей лучше применять нерегулируемое пересечение.

С учетом полученных результатов моделирования рекомендуемая применять компактные кольцевые пересечения при суммарной интенсивности движения не более 2200 – 2300 авт./ч.

### **Основные выводы и рекомендации**

**Диссертация является законченной научно-квалификационной работой,** в которой на основе выполненных экспериментальных исследований автор решил важную задачу эксплуатации автомобильного транспорта, научно обосновав эф-

фективность применения компактных кольцевых пересечений вместо нерегулируемых пересечений, что позволяет значительно повысить качество организации дорожного движения на местных улично-дорожных сетях.

Основные выводы и рекомендации выполненного исследования состоят в следующем:

1. Исследованием установлено, что в широком диапазоне значений интенсивности движения и в том числе в условиях влияния светофорных объектов наилучшая аппроксимация наблюдаемых распределений интервалов в потоках транспортных средств достигается при использовании дихотомического распределения.

По результатам исследований смещенное экспоненциальное распределение целесообразно применять в расчетах пропускной способности пересечений и задержек транспортных средств лишь при интенсивности движения менее 300 авт./ч и отсутствии влияния регулируемых пересечений. Зона влияния регулируемого пересечения на распределение интервалов составляет 700-800 м.

В связи с тем, что для условий движения на городских улично-дорожных сетях следует принимать дихотомическое распределение интервалов в потоке, для расчетов пропускной способности компактных кольцевых пересечений и задержек транспортных средств на них рекомендуется использовать формулы Трoutбека, которые разработаны для данного вида распределения.

2. По результатам исследований транспортных потоков установлены значения параметров, используемых в расчетах пропускной способности кольцевых и нерегулируемых пересечений и задержек транспортных средств на них:

- параметров дихотомического распределения интервалов как для случайного прибытия транспортных средств к перекрестку, так и для частично связанного потока транспортных средств;

- критических интервалов:

движение на нерегулируемом перекрестке:

правый поворот	4,4 с;
пересечение главного потока	5,5 с;
левый поворот с главного направления	4,9 с;
левый поворот со второстепенного направления	6,5 с;
въезд на кольцевое пересечение	4,8 с.

- интервалов следования из очереди второстепенного направления:

движение на нерегулируемом перекрестке:

правый поворот	2,1 с;
пересечение главного потока	2,4 с;
левый поворот с главного направления	2,4 с;
левый поворот со второстепенного направления	2,9 с;
въезд на кольцевое пересечение	2,0 с.

3. Сравнение нерегулируемых и компактных пересечений на основе численного моделирования дало следующие результаты:

- компактные кольца имеют большую суммарную пропускную способность во всем диапазоне рассмотренных значений интенсивности движения транспортных средств;
- нерегулируемые перекрестки имеют лучший показатель суммарные задержки в случаях очень высокой неравномерности распределения потоков по направле-

ниям, т.е. при соотношении интенсивностей движения транспортных средств в прямом и обратном направлениях на подходах к пересечению 9:1;

- нерегулируемые пересечения предпочтительнее компактного кольцевого пересечения по показателю суммарные задержки в случаях, когда доля прямого потока на главной улице перекрестка превышает 60%, а доля прямого движения на второстепенной улице ниже 40%, это преимущество сохраняется до суммарной интенсивности движения транспортных средств 2200 авт./ч;
- при росте доли связанной части потока транспортных средств у компактных кольцевых пересечений отмечается более значительный рост суммарных задержек, что позволяет рекомендовать размещать их на удалении от регулируемых пересечений.

В соответствии с полученными в работе результатами рекомендуемая область применения компактных кольцевых пересечений - участки двухполосных магистральных улиц районного значения и местных улиц, удаленные от регулируемых пересечений на 600-700 м и имеющие неравномерность движения в прямом и обратном направлениях не более чем 9:1. При этом рекомендуется применять компактные кольцевые пересечения при суммарной интенсивности движения не более 2200 – 2300 авт./ч.

4. Предметом дальнейших исследований должны быть:

оценка влияния пешеходного движения на пропускную способность кольцевых пересечений и задержки транспортных средств на кольцевых пересечениях;

сравнение кольцевых пересечений различных типов с регулируемыми пересечениями с целью уточнения области применения кольцевых пересечений.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

- в изданиях **ВАК РФ для кандидатских диссертаций:**

1. Липницкий А.С. Исследование эффективности применения мини-колец и компактных колец / А.С. Липницкий // Вестник ИрГТУ, 2009.- №3(39). – С. 145 - 151.

- **монография:**

2. Липницкий А.С. Современные кольцевые пересечения / А.В. Зедгенизов, Р.Ю. Лагерев, А.Г. Левашев, А.С. Липницкий, А.Ю. Михайлов, М.И. Шаров // Иркутский-государственный технический университет. Иркутск. 2009. – 106 с. Деп. в ВИНТИ. 24.12.2009, №823.

- **в других изданиях:**

3. Липницкий А.С. Эффективность применения мини-кольцевых пересечений дорог / А.С. Липницкий, А.Ю. Михайлов // Организация и безопасность движения в крупных городах: Сборник докладов восьмой международной научно-практической конференции / под ред. П.А. Кравченко. – Санкт-Петербург: С-Пб гос. архит.-строит. ун-т. 2008. С. 158 – 161.
4. Липницкий А.С. Эффективность применения мини-кольцевых пересечений / А.С. Липницкий, А.Ю. Михайлов // Мир Дорог. – Санкт-Петербург: Издательский дом Мир, 2008. - Декабрь С. 42 – 44.
5. Липницкий А.С. Эффективность переоборудования нерегулируемых перекрестков в мини-кольцевые пересечения / А.С. Липницкий, А.Ю. Михайлов // Вместе к эффективному дорожному движению: Сборник статей международной научно-практической конференции. – Минск, БНТУ, 2008. С. 145-150.
6. Липницкий А.С. Результаты исследования интервалов в главных потоках на нерегулируемых пересечениях / А.С. Липницкий, Н.А. Скульбеденко, А.Ю. Михайлов // Дорожно-транспортный комплекс: состояние и перспективы развития: Материалы III Межрегиональной научно-практической конференции. – Чебоксары, Волжский филиал МАДИ (ГТУ), 2009. С. 106-110.

7. *Липницкий А.С.* К обоснованию применения мини-колец и компактных колец /А.С. Липницкий, А.Ю. Михайлов// Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XV Международной (восемнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции /под науч. ред. С.А. Ваксмана. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2009. С. 183-187.
8. *Липницкий А.С.* Мини-кольца - эффективный инструмент успокоения движения / А.С. Липницкий, А.Ю. Михайлов // Политранспортные системы: Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. - Новосибирск, СГУПС, 2009. С. 8-12.
9. *Липницкий А.С.* Определение области применения пешеходных переходов с вызывными устройствами / А.С. Липницкий, Н.А. Скульбеденко // Иркутский-государственный технический университет. Иркутск. 2009. 22 с. Деп. в ВИНТИ. 13.03.2009, №130-В2009.
10. *Липницкий А.С.* Оценка области эффективного применения компактных кольцевых пересечений/ А.С. Липницкий// Совершенствование организации дорожного движения, перевозок пассажиров и грузов: Материалы Международной научно-практической конференции (Интернет-конференция). – Минск, БНТУ, 2009. С. 66-71.
11. *Липницкий А.С.* Компактные кольцевые пересечения / А.С. Липницкий, А.Ю. Михайлов// Мир Дорог. – Санкт-Петербург: Издательский дом Мир, 2010. – Февраль. С. 58 – 60.