

На правах рукописи

ЛЕВАШЕВ АЛЕКСЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО  
ДВИЖЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Иркутск 2004

Работа выполнена в Иркутском государственном техническом университете.

**Научный руководитель** доктор технических наук, профессор  
Головных Иван Михайлович.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
Коноплянко Владимир Ильич.

кандидат технических наук, доцент  
Комаров Юрий Яковлевич.

**Ведущая организация** Департамент по развитию  
коммуникационного комплекса  
администрации Иркутской области.

Защита состоится 5 ноября 2004 г. на заседании диссертационного совета Д 212.028.03 в Волгоградском государственном техническом университете по адресу: 400131, г. Волгоград, пр. Ленина 28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного технического университета.

Автореферат разослан 30 сентября 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Ожогин В. А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** В последние годы темпы роста автомобильного парка в России очень высоки и в некоторых ее регионах доходят до 10% в год. Например, за период 1990 — 2000 гг. уровень автомобилизации в г. Иркутске вырос в 2,5 раза с 80 ед./1000 жит. до 200 автомобилей на 1000 жителей, при этом по данным ГИБДД г. Иркутска количество индивидуального транспорта увеличилось в 2 раза. В среднем по России уровень автомобилизации составил 170 автомобилей на 1000 жителей.

Рост автомобильного парка сопровождается насыщением городов средствами регулирования дорожного движения. Так, например, в Иркутске при населении 600 тыс. чел. количество светофорных объектов достигло 70, а в городе Юджин (штат Орегон, США) при населении 140 тыс. жителей число светофорных объектов – 180. Таким образом, насыщение городов средствами регулирования дорожного движения может достичь и даже превышать уровень 1 светофорный объект на 1000 жителей ( <http://www.ci.eugene.or.us/> ).

В связи с необходимым увеличением количества светофорных объектов в городах Российской Федерации, усиливаются требования к качеству проектирования таких объектов и режимов регулирования. При этом одним из путей повышения качества проектирования организации движения на регулируемых пересечениях является уточнение расчетных характеристик потоков, разработка или адаптация методик проектирования и оценки эффективности режимов регулирования.

Данная работа посвящена уточнению ряда параметров транспортного потока на регулируемом перекрестке, которые являются основными при проектировании режимов регулирования.

**Целью работы** является повышение уровня качества проектирования режимов регулирования, а также оценки их эффективности.

**Объектом исследования** является транспортный поток на регулируемом перекрестке.

**Предметом исследования** являются коэффициенты приведения различных типов транспортных средств к легковому автомобилю при движении на регулируемом пересечении, а также величина потока насыщения, соответствующая идеальным условиям движения.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Исследованы временные интервалы в насыщенных потоках, движущимися на регулируемом пересечении.
2. Разработана методика определения коэффициентов приведения различных типов транспортных средств к легковому автомобилю при движении на регулируемых пересечениях.
3. Исследованы временные интервалы между легковыми автомобилями, движущимися на регулируемом пересечении.
4. Установлена закономерность изменения величины временного интервала от порядкового номера легкового автомобиля в очереди.
5. Разработана методика проведения экспериментальных обследований, направленных на определение величины идеального потока насыщения.
6. Определены коэффициенты приведения различных типов транспортных средств к легковому автомобилю для регулируемых пересечений при движении

транспортных средств в прямом направлении, а также величина идеального потока насыщения.

**Практическая ценность и значимость работы:**

1. Установленные значения коэффициентов приведения к легковому автомобилю, идеального потока насыщения, и стартовой задержки позволяют более точно рассчитывать параметры режима регулирования, величины задержек, и длины очередей и оценивать эффективность разрабатываемых мероприятий ОДД.
2. Разработанная методика определения коэффициентов приведения может быть использована в дальнейших исследованиях, направленных на определение коэффициентов приведения для случаев поворотного движения транспорта на регулируемых пересечениях.
3. Разработанная методика определения величины идеального потока насыщения может быть использована при дальнейших уточнениях данного параметра транспортного потока, а также при разработке поправочных коэффициентов к величине идеального потока насыщения.
4. Полученные результаты исследования в сочетании с современными методиками проектирования и оценки эффективности режимов регулирования могут быть использованы в организациях, занимающихся проектированием элементов УДС, и в ГИБДД, а также при подготовке инженеров по специальностям “Организация дорожного движения”, “Организация и безопасность движения”.
5. Разработанный программный продукт “Светофор 1.0” позволяет значительно снизить затраты времени при проектировании режимов регулирования.

**Реализация результатов работы.** Автором была разработана компьютерная программа “Светофор 1.0”, предназначенная для проектирования и оценки эффективности режимов регулирования, в которой были использованы параметры транспортного потока, полученные в результате данной работы. Программа “Светофор 1.0” была внедрена в отделе ГИБДД г. Иркутска (АКТ № 34-802 от 3.03.2004 г.)

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались на 8-й международной научно-практической конференции “Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири” (Кемерово 2002 г.), на X международной научно-практической конференции “Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния” (Екатеринбург 2004 г.), на шестой международной конференции “Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах” (Санкт-Петербург 2004 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и 3-х приложений. Объем диссертации (без приложений) – 174 страниц машинописного текста, 36 рисунков, 29 таблиц. Список литературы включает в себя 138 наименований, в т.ч. 50 на русском, 83 на английском и 5 на немецком языках.

При выполнении данной работы в консультировании принимал участие А. Ю. Михайлов, которому автор выражает свою глубокую благодарность.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы, формируется цель работы, отмечается научная новизна и практическая ценность исследования, приводятся сведения о публикациях по теме, структуре и объеме работы.

**В первой главе** проведен анализ работ в области исследования параметров транспортного потока на регулируемых пересечениях, который показал, что вопросы совершенствования организации дорожного движения на регулируемых пересечениях были отражены в трудах М.Б. Афанасьева, В.Е. Верейкина, Ю.А. Врубеля, В.Т. Капитанова, В.М. Кислякова, Г.И. Клинковштейна, В.И. Коноплянко, Ю.А. Кременца, Е.М. Лобанова, А.Ю. Михайлова, Т.В. Москалевой, Н.Ш. Никурадзе, М.П. Печерского, А.Г. Романова, Рябоконт Ю.А., В.В. Сильянова, М.С. Фишельсона, Б.Г. Хоровича, Ю.Д. Шелкова, R. Akcelik, A.D. May, D.R. McNeil, A.J. Miller, G.F. Newell, R.M. Shanteau, F.V. Webster и ряда других авторов. При этом были рассмотрены основные параметры транспортного потока, используемые при проведении расчетов режимов регулирования и оценке их эффективности.

В целом процесс проектирования режимов регулирования можно представить в виде схемы на рис. 1, из которой видно, что будь то существующий или же вновь проектируемый перекресток, основными этапами являются: расчет режима регулирования и оценка его эффективности, а именно расчет транспортных задержек на перекрестке.



Рис.1. Процесс проектирования регулируемых пересечений

Широко известной является формула Ф. Вебстера для расчета цикла регулирования:

$$C = \frac{(1,5L + 5)}{1 - Y_c}, \quad (1)$$

где  $C$  – длительность цикла регулирования, с;  $L$  – общее потерянное время за цикл (как правило, 2 – 3 с, умноженные на количество фаз в цикле регулирования), с;  $Y_c = \sum v_{ci}/s_{ci}$  – сумма фазовых коэффициентов;  $v_{ci}$  – интенсивность прибытия транспортных средств к регулируемому пересечению в критической группе движения в фазе (максимальное значение интенсивности в конкретной фазе регулирования), прив.ед/ч;  $s_{ci}$  – поток насыщения в критической группе движения в фазе, прив.ед/ч.

Рассмотрим формулу определения средней задержки, принятую в руководстве *Highway Capacity Manual 2000*:

$$d = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} + 900T \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right], \quad (2)$$

где  $d$  – транспортная задержка в группе движения, с;  $T$  – длительность периода обследования, ч;  $C$  – длительность цикла регулирования, с;  $g$  – длительность зеленого времени в фазе, с;  $k$  – коэффициент, учитывающий тип светофорного регулирования (для случая жесткого регулирования принимается равным 0,5);  $I$  – коэффициент, учитывающий влияние предыдущего по ходу движения регулируемого пересечения на рассматриваемый (для изолированных пересечений принимается равным 1,0);  $X = v/c$  – отношение интенсивности прибытия транспортных средств к регулируемому пересечению к пропускной способности полос группы движения;  $c = sg/C$  – пропускная способность группы движения, прив.ед/ч.

Анализируя приведенные формулы, видно, что основными параметрами транспортного потока, влияющими на расчеты, являются интенсивность прибытия транспортных средств к регулируемому пересечению, а также поток насыщения, характеризующего интенсивность разъезда очереди транспортных средств после включения зеленого сигнала без потерь времени в начале и конце фазы регулирования.

Расчет цикла регулирования, а также величины задержки требует использования величины интенсивности прибытия ( $v$ , приведенной к интенсивности движения легковых автомобилей, т.е. в прив.ед./ч. В соответствии с этим интенсивность прибытия определяется по следующей формуле:

$$v = k_1 \cdot N_1 + k_2 \cdot N_2 + \dots + k_i \cdot N_i + \dots + k_n \cdot N_n, \quad (3)$$

где  $k_i$  – коэффициент приведения транспортного средства  $i$ -го типа к легковому автомобилю, а  $N_i$  – кол-во автомобилей  $i$ -го типа в очереди.

В нашей стране коэффициенты приведения к легковому автомобилю принимаются согласно классификации, представленной в СНиП 2.05.02-85 “Автомобильные дороги”. При этом СНиП не рассматривает дифференцированно различные условия движения и предлагает постоянные коэффициенты приведения, как для перегонов улиц, так и для различного рода пересечений. Вместе с тем, специалисты разных стран признают, что для регулируемых пересечений необходимо использовать специальные коэффициенты приведения. Например, отличие величин коэффициентов приведения, полученных Ю.А. Врубелем (1988), от представленных в СНиП 2.05.02 – 85, на 30-80% указывает на то, что расчет режима регулирования изначально будет неверным.

Величина потока насыщения, также по своему определению представляет собой приведенную интенсивность разъезда транспортных средств. Например, согласно руководству по пропускной способности дорог (*Highway Capacity Manual 1985*):

$$s = s_0 \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_G \cdot f_P \cdot f_{BB} \cdot f_A \cdot f_{RT} \cdot f_{LT}, \quad (4)$$

где  $s_0$  – идеальный поток насыщения, равный 1800 прив.ед/ч;  $f_W, f_{HV}, f_G, f_P, f_{BB}, f_A, f_{RT}, f_{LT}$  – коэффициенты, учитывающие соответственно: ширину полосы движения, кол-во грузовых автомобилей, уклон на подходе к перекрестку, влияние пешеходов на транспортный поток, влияние остановок общественного транспорта, тип территории, лево- и правоповоротное движение.

При этом, анализ специальной литературы показал, что одно из наиболее важных понятий, используемых при определении потока насыщения является константа  $s_0$ , которая называется величиной идеального потока насыщения, который достигается при, так называемых, *идеальных условиях движения*: ширина полосы - 3,6 м; отсутствие уклона; сухое дорожное покрытие; отсутствие зон паркования и остановочных пунктов; отсутствие грузовых автомобилей в потоке; отсутствие конфликтных пешеходных, велосипедных, или транспортных потоков.

На основании выполненного анализа были сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Разработать методику определения коэффициентов приведения к легковому автомобилю для регулируемых пересечений и провести экспериментальную оценку ее пригодности;
2. Разработать методику определения величины идеального потока насыщения и провести экспериментальную оценку ее пригодности;
3. Определить значения коэффициентов приведения к легковому автомобилю для регулируемых пересечений и величину идеального потока насыщения.
4. Разработать программное приложение на основе современных методик проектирования режимов регулирования с использованием полученных коэффициентов приведения к легковому автомобилю и идеального потока насыщения.

**Во второй главе** изложены теоретические аспекты определения коэффициентов приведения к легковому автомобилю для регулируемых пересечений, а также величины идеального потока насыщения.

Результаты анализа специальной литературы говорят о том, что при определении коэффициентов приведения к легковому автомобилю для регулируемых пересечений многие авторы использовали математические, основанные на временных интервалах между транспортными средствами. Тем не менее, некоторые авторы использовали и другие характеристики транспортного потока при определении коэффициентов приведения. Так, например, Sosin J. определял коэффициенты приведения на основе общей величины транспортной задержки за цикл:

$$D = \sum_{i=1}^k [c(1 - \lambda) - p_i] + \frac{k(k+1)t}{2}, \quad (5)$$

где  $k$  – число остановившихся автомобилей;  $c$  – длительность цикла регулирования, с;  $\lambda$  – доля эффективного зеленого времени в цикле;  $p_i$  – момент времени прибытия транспортного средства к стоп линии, с;  $t$  – постоянная величина, характеризующая временной интервал, с которым транспортные средства пересекают стоп-линию ( $t = 1,9$  с).

Следует отметить, что одним из факторов, повлиявших на выбор регрессионной модели определения коэффициентов приведения, были имеющиеся в распоряжении возможности проведения экспериментальных обследований, а также настоящий уровень изученности величины потока насыщения. Так, например, отсутствие развитой системы поправочных коэффициентов приведения величины идеального потока насыщения к реальным условиям движения говорит о невозможности достижения необходимой точности при определении коэффициентов приведения на основе величины транспортной задержки на перекрестке, поскольку в формулу определения величины задержки входит величина потока насыщения. Следовательно, наиболее подходящей основой при выборе регрессионной модели явля-

ются временные интервалы между транспортными средствами. При этом, учитывая то, что измерение временных интервалов транспортных средств предполагает проведение обследований в сечении дороги, где находится стоп-линия, это позволит совместить проведение экспериментальных обследований, направленных на определение коэффициентов приведения и величины идеального потока насыщения, поскольку определение последнего также требует обследования полос движения в области стоп-линии. Это подчеркивает экономическую целесообразность разработки регрессионной модели на основе временных интервалов.

Выбирая регрессионную модель для определения коэффициентов приведения, автор попытался избежать увеличения числа параметров регрессионной модели. Поскольку регрессионная модель должна быть основана на временных интервалах между транспортными средствами, то в модель и должны быть включены параметры, выражающие временные интервалы транспортных средств. Включение же таких дополнительных параметров, как учет пар транспортных средств (т.е., например, после какого транспортного средства движется легковой автомобиль и сколько раз встречается такое сочетание) может сделать модель более точной. Увеличение числа объясняющих параметров при одних и тех же объемах выборок статистических данных увеличивает вероятность снижения их статистической значимости. С другой же стороны это приводит к необходимости проведения дополнительных обследований, что, зачастую, является экономически нецелесообразно.

Таким образом, исходя из экономической целесообразности (минимум затрат на проведение обследований), а также необходимости обеспечения статистической значимости оценок параметров регрессии, для определения коэффициентов приведения автор предлагает использовать следующую модель:

$$T = \alpha + \sum_{j=1}^{j=m} \beta_j \cdot X_j + \varepsilon, \quad (6)$$

где  $T$  – время, необходимое для разъезда очереди транспортных средств на перекрестке, после включения зеленого сигнала, с;  $\alpha$  – величина задержки (стартовая задержка), связанная с разгоном автомобилей до скорости, которая преобладает при насыщении, с;  $\beta_j$  – параметры регрессионной модели, выражающие величины временных интервалов транспортных средств типа  $j$ , с;  $X_j$  – количество транспортных средств типа  $j$  в очереди;  $\varepsilon$  – ошибка, отражающая дополнительное время, вызванное дополнительными факторами, которые не участвуют в модели, с.

Возникает вопрос, что представляет собой параметр  $T$  в уравнении (6). Многие исследователи использовали в качестве начального момента отсчета момент времени, когда включается зеленый сигнал. В то же время разными исследователями по-разному определяется момент окончания периода  $T$ . Так, например, в американском руководстве по пропускной способности дорог 1985 года предлагалось использовать в качестве момента пересечения автомобилем стоп-линии момент проезда над стоп линией его задней оси. В новом издании 2000 года этого же руководства этот момент уже считается по моменту прохождения переднего бампера транспортного средства над стоп-линией.

Автор предлагает при определении параметра  $T$  в качестве начального момента использовать не момент включения зеленого сигнала, как это часто принимается, а момент начала движения первого транспортного средства в очереди с целью исключения из модели величины дополнительного времени, требуемого для реакции водителя на смену светофорного сигнала. Автор считает, что, поскольку каж-

дый водитель обладает собственной реакцией, отличающейся от реакции других водителей, исключение этого периода из расчетов позволит сократить величину параметра  $\varepsilon$  в рассматриваемой модели.

В качестве конечного момента при определении параметра  $T$  автор предлагает использовать момент прохождения над стоп-линией заднего бампера транспортного средства. Такой выбор позволяет, по мнению автора, избежать ошибки, которая может быть вызвана в связи с неполным учетом длины последнего в очереди транспортного средства.

В рассматриваемую очередь следует включать те транспортные средства, которые в течение красного сигнала испытывали полную или почти полную остановку.

После определения оценок параметров данной регрессионной модели, коэффициенты приведения можно получить по следующей формуле:

$$k_i = \beta_i / \beta_{\text{легк}}, \quad (7)$$

где  $k_i$  – коэффициент приведения  $i$ -го типа транспортного средства к легковому автомобилю;  $\beta_{\text{легк}}$  – временной интервал легкового автомобиля.

При выборе классификации транспортных средств, необходимо было учесть, что существуют принципиально отличающиеся классификации транспортных средств. Так, например, в современном американском руководстве по пропускной способности дорог (Highway Capacity Manual 2000) принято подразделять все типы транспортных средств на легковые и грузовые транспортные средства. При этом грузовыми транспортными средствами считаются те, которые имеют больше, чем 4 колеса (предполагается, что задний мост грузового автомобиля имеет спаренные колеса). Автор считает, что такую классификацию нельзя считать достаточно корректной, поскольку даже длина транспортного средства имеет значительное влияние на величину временного интервала транспортного средства (при разъезде из очереди на подходе к перекрестку), а значит и на величину коэффициента приведения к легковому автомобилю, что было доказано в работе Kockelman K.M. и Raheel A.S. (1999).

Таблица 1.

Классификация типов транспортных средств

Тип транспортного средства	Пассажиро- вместимость, чел	Грузоподъ- емность, кг	Длина, м	Идентификаци- онный номер
Легковой автомобиль	до 4	–	–	1
Микроавтобус	5 – 12	–	–	2
Грузовой автомобиль, до 2-х тонн	–	до 2000	до 6,5	3
Автобус малой вместимости	13 – 60	–	–	4
Грузовой автомобиль, от 2-х до 6-и тонн	–	2000 – 6000	до 8	5
Автобус большой вместимости	более 61	–	–	6
Грузовой автомобиль, более 6 тонн	–	более 6000	до 10	7
Сочлененный автобус / троллейбус	–	–	–	8
Автопоезд	–	–	–	9

Тем не менее, предложенная в американском руководстве классификация типов транспортных средств является более удобной при выполнении расчетов, не смотря на определенную погрешность при определении величины потока насыщения для реальных условий, а также при определении величины пропускной способности элементов регулируемого перекрестка.

На основании вышеописанного автором была предложена классификация типов транспортных средств (табл. 1). При разработке данной классификации автор руководствовался необходимостью объединения в группы схожих типов транспортных средств, которые редко встречаются на регулируемых пересечениях. Тем не менее, по мнению автора, для транспортных средств, которые зачастую преобладают на регулируемых пересечениях (микроавтобусы, грузовые автомобили средней грузоподъемности, автобусы малой вместимости) следует определить коэффициенты приведения отдельно.

**Определение величины идеального потока насыщения** предполагает проведение обследований на перекрестках, где имеют место идеальные условия движения. По своему определению поток насыщения достигается лишь после нескольких секунд с момента включения зеленого сигнала. Это вызвано дополнительными затратами времени, связанными с реакцией водителя на смену светофорных сигналов и на разгон автомобилей до скорости свободного движения. Поэтому для определения момента наступления потока насыщения необходимо определение зависимости между временным интервалом легкового автомобиля и его порядковым номером в очереди. Для определения такой зависимости автором была предложена следующая регрессионная модель:

$$h_{\text{легк}} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{N}, \quad (8)$$

где  $h_{\text{легк}}$  – величина временного интервала легкового автомобиля как функция от номера позиции легкового автомобиля в очереди, с;  $\beta_0$  – свободный член регрессионной модели, характеризующий величину временного интервала, соответствующего потоку насыщения, с;  $\beta_1$  – параметр регрессионной модели, выражающий величину, используемую при определении отклонения временного интервала  $i$ -го транспортного средства в очереди от временного интервала насыщения, с;  $N$  – переменная, выражающая номер позиции легкового автомобиля в очереди.

После того, как будет определен момент выравнивания распределения величины временного интервала в зависимости от порядкового номера легкового автомобиля в очереди, величину временного интервала, отражающего идеальный поток насыщения, можно будет определить как отношение времени, необходимое для проезда части очереди легковых автомобилей, величина временного интервала которых в среднем равна временному интервалу насыщения, к количеству легковых автомобилей, входящих в рассматриваемую часть очереди:

$$h_{\text{ideal}} = \frac{T_R}{X_R}, \quad (9)$$

где  $h_{\text{ideal}}$  – временной интервал, отражающий идеальный поток насыщения, с;  $T_R$  – время, затрачиваемое для пересечения перекрестка той частью легковых автомобилей, временные интервалы которых в среднем равны временному интервалу насыщения, с;  $X_R$  – количество легковых автомобилей, пересекающих перекресток за рассматриваемый период  $T_R$ .

Начальный момент периода  $T_R$  будет определяться как проезд над стоп-линией заднего бампера последнего из автомобилей, временные интервалы которых отличаются от временного интервала насыщения. В качестве конечного момента периода  $T_R$  принимается момент прохождения над стоп-линией заднего бампера последнего автомобиля в очереди.

Затем можно определить величину идеального потока насыщения по следующей формуле:

$$S_{ideal} = \frac{3600}{h_{ideal}}, \quad (10)$$

где  $S_{ideal}$  – идеальный поток насыщения, прив.ед/ч.

**В третьей главе** сформулирована методика проведения требуемых для данной работы экспериментальных обследований. Перечислим ее основные положения.

1. При проведении необходимых в данной работе экспериментальных обследований важной составляющей является достаточный обзор исследуемых полос движения. С целью обеспечения необходимой видимости при проведении данных экспериментальных обследований использовался специальный автомобиль – “автовышка”.

2. Основными исходными данными при проведении регрессионного анализа в данной работе являются следующие:

2.1 Для выполнения регрессионного анализа, направленного на определение коэффициентов приведения при обследовании каждого цикла регулирования должно быть зафиксировано количество всех типов транспортных средств, которые успели разъехаться из очереди в течение данного цикла регулирования, исходя из представленной во второй главе классификации типов транспортных средств. Также необходимо фиксировать длительности интервалов между началом движения первого транспортного средства в очереди и моментом проезда над стоп-линией заднего бампера последнего в очереди транспортного средства для каждого обследуемого цикла.

2.2 При проведении регрессионного анализа, направленного на определение величины идеального потока насыщения, основными исходными данными являются величины временных интервалов, соответствующие определенным номерам позиций легковых автомобилей в очереди. Данные выбираются только для тех случаев, когда очередь состоит только из легковых автомобилей.

3. Для обеспечения необходимой точности измерения перечисленных выше величин было использовано специальное оборудование – цифровая видеокамера (SONY-DCR-TRV30E).

4. В условиях недостаточного финансирования для обеспечения более высокой точности, скорости и эффективности обработки экспериментальных данных автором был разработан программный продукт на основе приложения “Microsoft Access” (“PCE-GET”). Данный продукт позволяет легко осуществлять необходимые трансформации исходных данных (результаты обработки видеоданных) и подготовку их к регрессионному анализу (рис. 2).

Важной особенностью программы PCE-GET является возможность более корректно фиксировать все необходимые события, снижая вероятность возникновения механической ошибки в процессе занесения информации в базу данных.

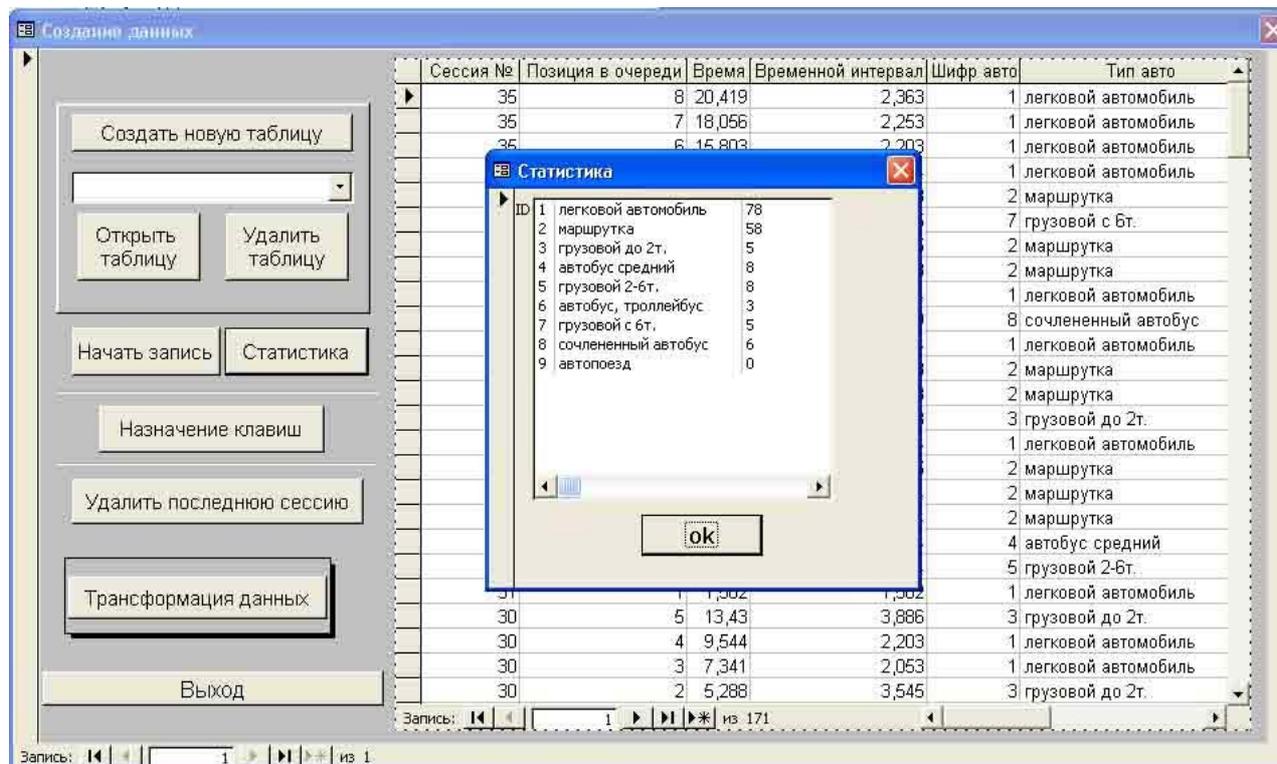


Рис. 2. Основное рабочее окно программы "PCE-GET"

5. Все коэффициенты уравнений регрессий для выбранных регрессионных моделей оценивались наиболее распространенными статистиками ( $t$ -критерий Стьюдента; множественный коэффициент корреляции; скорректированный коэффициент детерминации;  $F$ -критерий Фишера-Снедекора; выборочные частные коэффициенты корреляции). Кроме того, при определении коэффициентов приведения статистические данные проверялись на мультиколлинеарность (высокая взаимная коррелированность объясняющих переменных), когда хотя бы между двумя объясняющими переменными существует тесная корреляционная связь. При этом оценка значимости регрессионной модели и ее параметров теряет смысл.

**Четвертая глава** посвящена изложению результатов экспериментальных исследований. Ее основными положениями являются следующие:

1. При проведении статистического анализа для определения коэффициентов приведения было отобрано шесть полос движения, для которых статистически значимыми оказались как уравнения регрессии, так и коэффициенты этих уравнений. Основным фактором при отборе было количество проведенных обследований, влияющее на статистические показатели уравнений регрессии. Минимальное число обследований при отборе полос движения составило 120.

2. Результаты проверки статистических данных на мультиколлинеарность показали, что между объясняющими переменными наблюдается низкая коррелированность, а значит, все переменные отличаются друг от друга, и классификация транспортных средств (см. табл. 1) была выбрана правильно.

3. Значения полученных в данной работе коэффициентов приведения различных типов транспортных средств к легковому автомобилю при движении на регулируемом пересечении являются в целом ниже соответствующих коэффициентов по СНиП 2.05.02 – 85 (табл. 2). При этом, величина стартовой задержки оказалась равной 1,894 с. Эта величина соответствует диапазону значений, полученных ранее авторами разных стран (от 1 до 2 с), что также говорит об адекватности выбранной регрессионной модели.

Таблица 2.

Коэффициенты приведения к легковому автомобилю  
на регулируемом перекрестке и стартовая задержка

Тип транспортного средства	Результаты исследования	СНиП 2.05.02 - 85
Легковой автомобиль	1,000	1
Микроавтобус	1,093	-
Грузовой автомобиль, до 2-х тонн	1,179	1,5
Автобус малой вместимости	1,367	-
Грузовой автомобиль, от 2-х до 6-и тонн	1,480	2
Автобус большой вместимости	1,839	3
Грузовой автомобиль, более 6 тонн	1,647	2,5 – 3,5
Сочлененный автобус / троллейбус	2,362	-
Автопоезд	2,231	3,5 - 6
Стартовая задержка, с	1,894	

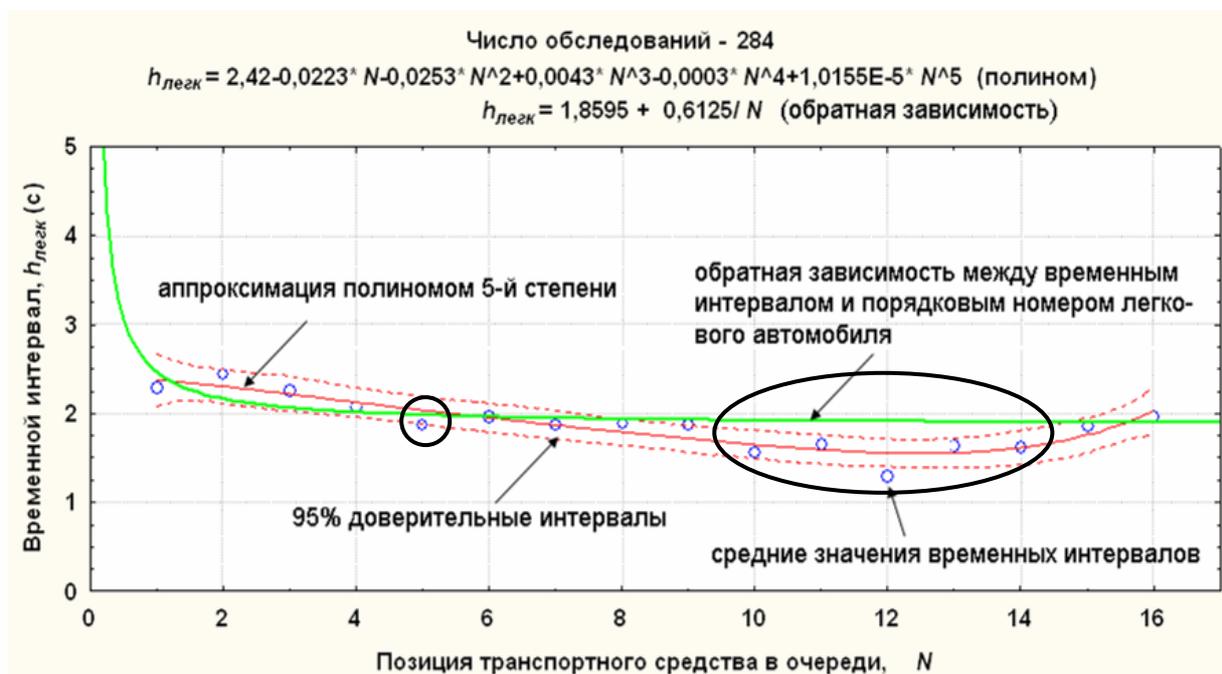


Рис. 3. Распределение временного интервала для очередей легковых автомобилей по данным для всех обследованных полос движения

4. При определении временных интервалов легковых автомобилей было отобрано четыре полосы движения. Статистические критерии уравнений регрессии для этих полос находились выше критических значений. По результатам анализа этих уравнений был сделан вывод, что момент выравнивания зависимости временных ин-

тервалов от порядкового номера легкового автомобиля в очереди наступает с 5-го по порядку легкового автомобиля (см. рис. 3). При этом, полученная величина идеального потока насыщения (1904 прив.ед/ч) приблизительно равна значению, полученному зарубежными авторами в 2000 г. (1900 прив.ед/ч), что также указывает на правильность выбранной регрессионной модели.

Следует отметить, что временные интервалы для автомобилей с 10-ого по 14-й имеют значения ниже средней величины временного интервала насыщения (см. рис. 3). По мнению автора, такое распределение временных интервалов следует учитывать при проектировании пересечений, имеющих фазы, в течение которых способны проехать через перекресток 10 – 14 автомобилей.

**Эффективность использования полученных в данной работе коэффициентов приведения** к легковому автомобилю определялась на основе сравнения работ режимов регулирования на одном из действующих в Иркутске перекрестке (рис 4.), которые рассчитывались при использовании полученных коэффициентов приведения и коэффициентов приведения, представленных в СНиП 2.05.02 – 85.



Рис. 4. Схема пересечения ул. 2-я Железнодорожная и ул. Маяковского в г. Иркутске и результаты расчета приведенной интенсивности движения при использовании различных коэффициентов приведения

Величины задержек в каждой из групп движения были измерены на местности. В процессе расчета также использовалась специально разработанная компьютерная программа “Светофор 1.0” (рис. 5), предназначенная для проектирования режимов регулирования и оценки их эффективности.

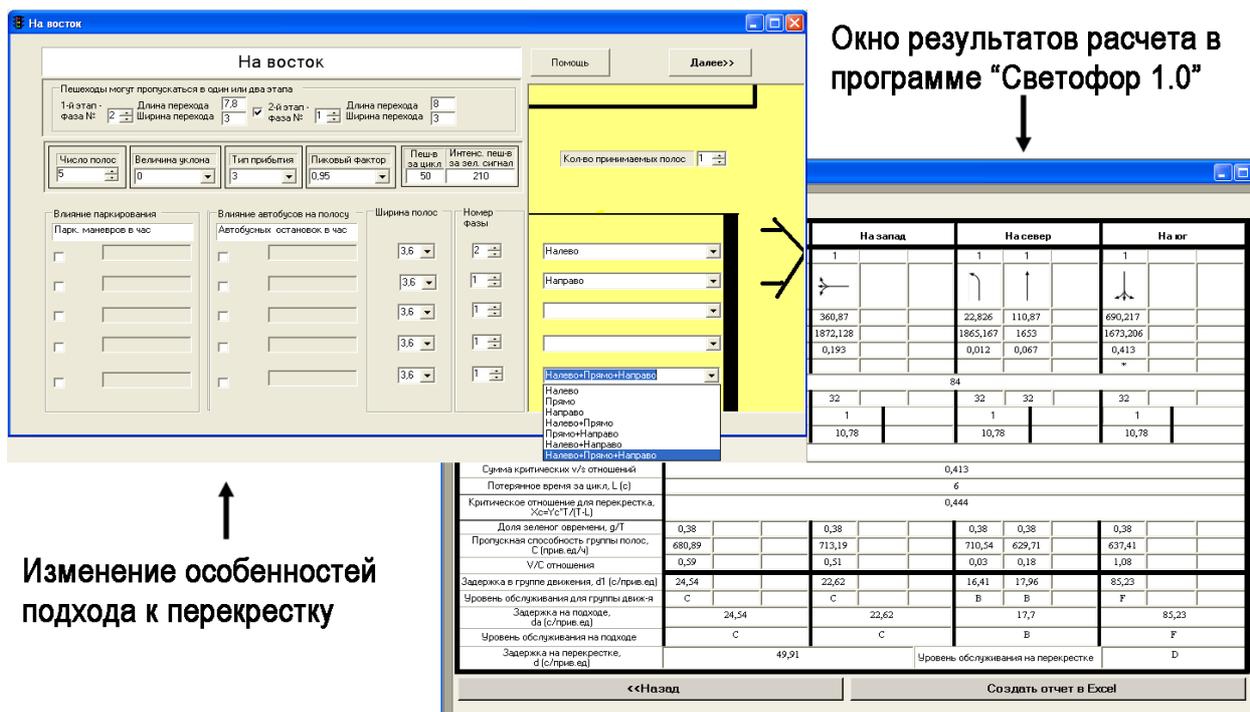


Рис. 5. Рабочие окна компьютерной программы "Светофор 1.0"

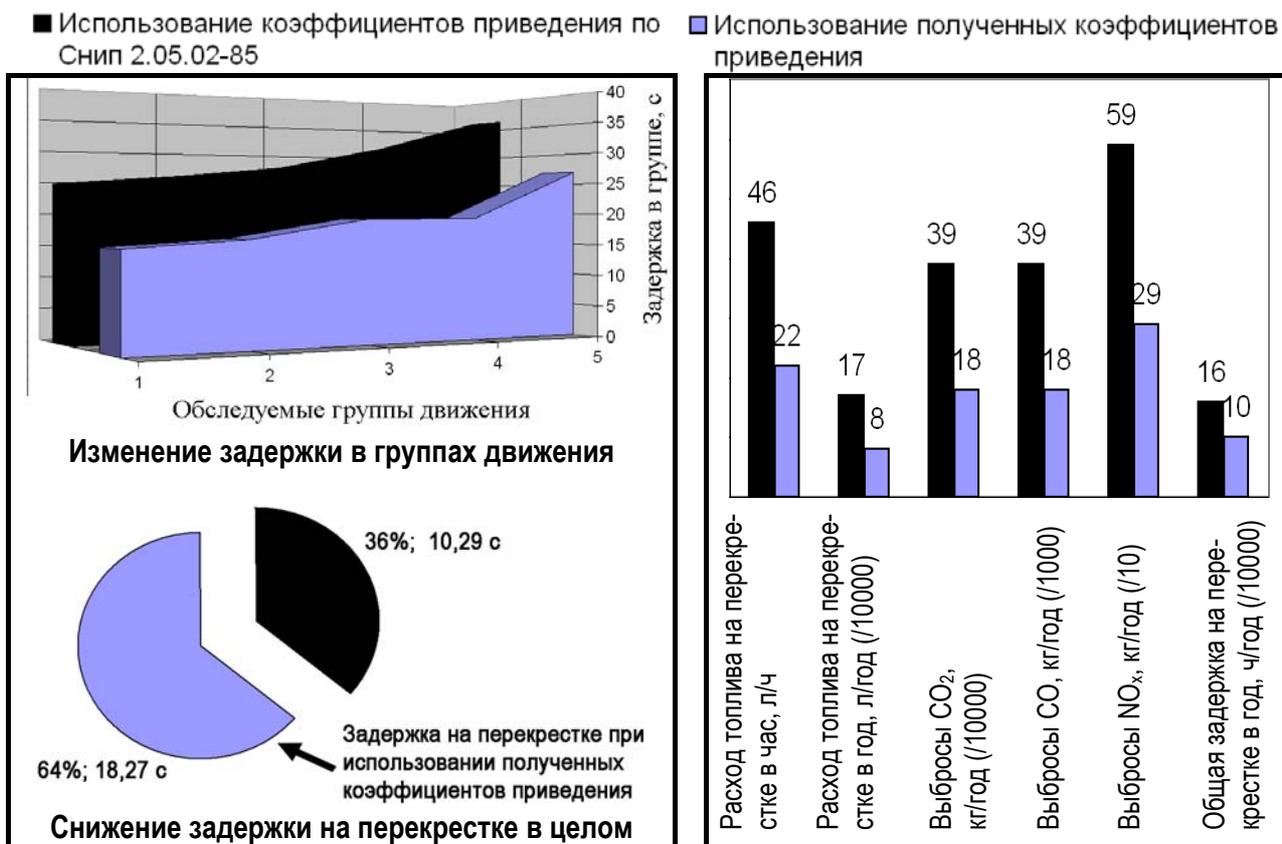


Рис. 6. Предполагаемый эффект от применения полученных коэффициентов приведения для регулируемого пересечения ул. Маяковского и ул. 2-я Железнодорожная в г. Иркутске

Данная программа включает в себя современную методику проектирования режимов регулирования в совокупности с полученными по результатам данной работы коэффициентами приведения и величиной идеального потока насыщения.

В случае использования полученных коэффициентов приведения цикл регулирования, определенный по формуле Вебстера, равен 57 с, а длительности основных тактов 28 с и 21 с.

При использовании коэффициентов приведения по СНиП цикл регулирования получается равным 173 с, поэтому принимается максимально допустимое значение 120 с, и длительности основных тактов 62 с и 50 с. Очевидно, что такой цикл регулирования является неоправданно большим и не соответствует оптимальным условиям движения. Результаты расчетов транспортных задержек, величины расхода топлива, а также объемов вредных выбросов для этих режимов регулирования представлены на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что при использовании полученных коэффициентов приведения снижение задержки в целом на рассматриваемом перекрестке составило 36%, т.е. более, чем на 10 с в среднем на одно транспортное средство, а предполагаемый часовой расход топлива на рассматриваемом перекрестке в целом снизился более, чем на 50%, а именно с 46 до 22 литров в час. Все это еще раз подчеркивает значимость использования полученных коэффициентов приведения при проектировании регулируемых пересечений.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Разработана методика определения коэффициентов приведения к легковому автомобилю для регулируемых пересечений.

Согласно этой методике коэффициенты приведения необходимо определять на основе временных интервалов между транспортными средствами с применением разработанной в рамках данного исследования регрессионной модели, адекватность которой была доказана. Статистическая значимость параметров данной модели указывает на правильность используемой в методике классификации транспортных средств. При этом, обработку экспериментальных данных предлагается осуществлять с помощью специально разработанной компьютерной программы.

2. В результате проведенного анализа статистических данных были получены коэффициенты приведения различных типов транспортных средств к легковому автомобилю при движении на регулируемом перекрестке для случаев движения в прямом направлении. Значения полученных коэффициентов значительно отличаются от соответствующих значений, предлагаемых в СНиП 2.05.02 - 85. Так, например, грузовые автомобили по СНиП имеют значение коэффициентов приведения в диапазоне от 1,5 до 3,5 легк.авт. В то же время по результатам данной работы значения коэффициентов приведения для всех выбранных видов грузовых автомобилей находятся в диапазоне от 1,179 до 1,647 легк.авт.

3. Разработана методика определения величины идеального потока насыщения для регулируемых пересечений. Согласно данной методике для определения момента выравнивания распределения между временным интервалом легкового автомобиля и его порядковым номером в очереди предлагается использовать регрессионную модель, адекватность которой была доказана статистическими критериями, а также полученной величиной идеального потока насыщения.

4. В рамках данного исследования был разработан специальный программный продукт “Светофор 1.0”, предназначенный для проектирования режимов жесткого регулирования при пофазном управлении движения на регулируемых пересечениях. В основу данной программы включены алгоритмы в соответствии с современными методиками проектирования режимов регулирования, а также полученные в данной работе коэффициенты приведения к легковому автомобилю. Данная программа позволяет значительно снизить затраты времени при проектировании режимов регулирования.

5. На примере действующего в г. Иркутск регулируемого перекрестка был проведен анализ повышения точности режимов регулирования при использовании полученных коэффициентов приведения и разработанной автором программы “Светофор 1.0”.

Анализ результатов расчетов показал, что применение полученных коэффициентов приведения позволило снизить среднюю задержку на рассматриваемом перекрестке на 36%, суммарную задержку на 58772 ч/год, и суммарный расход топлива на 89060 л/год. Таким образом, экспериментально было доказано, что использование полученных коэффициентов приведения значительно повышает эффективность организации дорожного движения на регулируемых пересечениях.

#### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. Обслуживание транспортного потока на регулируемом перекрестке. // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-8-2002): Доклады 8-й Международной научно-практич. конференции. Кемерово, 26, 27 сент. 2002. – С. 123 – 126.
2. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. К вопросу об организации дорожного движения на регулируемых пересечениях // Роль предприятий и отраслей транспортной системы и связи в социально-экономическом развитии региона: Сб. науч. тр. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2003. – С. 89 – 96.
3. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. Состояние методов расчета регулируемых пересечений // Вестник ИрГТУ. – 2003. – №3 – 4. – С. 71 – 76.
4. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. Основные параметры оценки пропускной способности регулируемых пересечений // ВИНТИ. – 2004. – №3. – С. 14 – 19.
5. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М. К вопросу об уточнении критериев, используемых при проектировании режимов регулирования на пересечениях // Вестник стипендиатов DAAD ИрГТУ. – 2004. – №3. – С. 21 – 26.
6. Левашев А.Г. Необходимость уточнения классификации приведения к легковому автомобилю на регулируемом перекрестке // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Мат-лы X междунар. науч.-практ. конф. - Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2004. – С. 96 – 101.
7. Михайлов А.Ю., Левашев А.Г., Головных И.М. Оценка пропускной способности правобережной улично-дорожной сетки Иркутска // Вестник стипендиатов DAAD ИрГТУ. – 2004. – №3. – С. 12 – 20.
8. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭФМ Левашева Алексея Георгиевича “Светофор 1.0” № 2004611688 / Зарегистрировано Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам 14 июля 2004 г.