

На правах рукописи

Живоглядов Владимир Георгиевич

**МЕТОДОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2008

Работа выполнена на кафедре «Организация и безопасность движения» НОУ ВПО Северо-Кавказского института бизнеса, инженерных и информационных технологий (СКИБИИТ)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Котиков Юрий Георгиевич
СПб гос. архит.-строит. ун-т

доктор технических наук, профессор
Боровик Виталий Сергеевич
Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет

доктор технических наук, профессор
Сильянов Виталий Сергеевич
Московский автомобильно-дорожный
институт (ГТУ)

Ведущая организация: Саратовский государственный технический университет

Защита состоится 17 февраля 2009 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при С.-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Справки по телефону: (812) 575-05-34, (821) 251-74-52, факс (821) 316-58-72

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке С.-ПГА-СУ по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Отзыв в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в диссертационный совет университета.

Автореферат разослан _____ 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

С.В. Репин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Дорожное движение (ДД) является сложным многопараметрическим, многофункциональным и многофакторным процессом, в котором взаимодействуют транспортные и пешеходные потоки (ТПП) с учетом условий движения. Сбой в движении ежедневно только в РФ приводит в среднем к гибели и увечью 819 чел. и повреждению 5500 транспортных средств. Совокупные потери рабочего времени превышают 13 млн чел.-ч. Лишь в г. Краснодаре за последние 10 лет ущерб от ДТП составил 147,2 млрд руб. Ответственные за обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) как в РФ, так и в субъектах РФ, к сожалению не имеют соответствующих структур, обеспеченных требуемой программно-методической, математической базой и ресурсами для решения комплексных задач. Отставание в развитии дорожных сетей от автомобилизации привело к повсеместным чрезмерным задержкам и заторам в движении потоков по причине дефицита полос проезжих частей (ППЧ) и отсутствия инструментов его своевременного выявления. Разрозненные научные разработки в области теории движения, а тем более построенные на эмпирических посылах не позволяют целенаправленно организовывать и управлять не только ДД, но и ТПП в системно-комплексном аспекте. Управляемыми компонентами в сфере обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) должны стать не только ТПП, но и действия дорожных, транспортных, правоохранительных и прочих жизнеобеспечивающих инфраструктур.

При существующих интенсивностях и плотностях движения применение только сетевого управления, построенного на эмпирических алгоритмах, на не-унифицированных и ограниченных массивах городов, бесперспективно. Требуется рациональное соотношение скоростных и регулируемых дорожных сетей. В связи с этим необходима совершенно новая технология и «Методология управления дорожным движением», разработанные на базе сетевого планирования (моделирования), «Теории движения ТПП», и соответственно их реализация, что потребует многостороннего (многих ведомств) участия в многоуровневом управлении ДД (УДД) на больших массивах, обеспечивающих его эффективность и качество. Важность этой проблемы аргументирует актуальность выбранного направления диссертационного исследования.

Целью данного исследования является разработка «Методологии повышения эффективности управления дорожным движением» (далее методология), обеспечивающей оптимальное управление ТПП как в крупных городах, так и регионах, построенной на математическом аппарате и вероятностных оценках. В аспекте целевой функции необходимо решить следующие комплексы **задач**:

- сформировать, обосновать и разработать пять комплексов методов расчета и оценки характеристик и параметров ТПП, геометрических элементов УДС и в целом ДД, построенных на аналитических и системно-комплексных принципах, региональном подходе и вероятностных оценках:

- разработать комплекс аналитических методов расчета и оценки режимов светофорного регулирования (СР) (циклов, тактов) и его параметров (размеров очередей, времени их рассасывания, задержек, количественных и временных заторовых состояний (обнаружение и упреждение), пропускной способности, пропуска потоков под прикрытием, интенсивности пропуска потоков в цикле СР, эффективности использования разрешающего такта, оценки циклов на предмет достаточности времени на пропуск пешеходных потоков (ПП)), обеспечивающих получение наиболее достоверных характеристик и параметров алгоритмов управляющих воздействий как для локального, магистрального, сетевого (квадратно-контурного), так и регионального управления (РУ);

- разработать комплекс методов определения и оценки требуемой протяженности ППЧ как для скоростных, так и для регулируемых автодорожных сетей в оптимальном аспекте;

- разработать на новых принципах комплекс методов расчета и оценки ширины ППЧ и ее составляющих параметров (ширины автомобиля, плотности, скорости движения, динамических продольного и вертикального габаритов);

- разработать комплекс методов построения оптимальных схем организации и управления дорожным движением (О и УДД);

- разработать комплекс минимаксных методов оценки эффективности и качества О и УДД на базе пяти функциональных минимизирующих, трех функциональных максимизирующих критериев, подчиненных данной функции цели;

- разработать технологию УДД, построенную на сетевом планировании (моделировании) и пяти комплексах методов расчета и оценки параметров ДД;

- на основе разработанной программы и методики - выполнить экспериментальное исследование пяти комплексов методов, составляющих методологию и аналитическую базу технологии ее реализации посредством аппроксимированного моделирования, и разработать рекомендации для их практического применения в УДД.

Объект исследования - ТПП, режимы УДД и методы их расчета, оценка и расчет параметров улично-дорожной сети (УДС).

Предмет исследования - «Методология повышения эффективности УДД», построенная на пяти комплексах методов расчета и оценки характеристик и пара-

метров ДД и технология УДД в аспекте оптимальности на регулируемых и нерегулируемых пересечениях и сетях дорог.

Методы исследования базировались на системно-комплексном подходе, статистическом анализе и синтетических принципах, математическом моделировании с использованием интерполяции Лагранжа, метода наименьших квадратов (МНК), сплайн - аппроксимации и вероятностных оценках.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложены пять комплексов аналитических методов расчета и оценок характеристик и параметров ДД, представленных в методологии и в технологии ее реализации, позволяющих получать оптимальные результаты, в частности:

- разработан на аналитических принципах комплекс методов расчета и оценки режимов СР: циклов, их основных и промежуточных тактов, размеров очередей, времени их рассасывания, задержек ТС, количественных и временных заторовых состояний (обнаружение и упреждение), пропускных способностей ППЧ на перегонах и перекрестках (регулируемых, нерегулируемых: равнозначных и неравнозначных, с круговым движением), пропуска потоков под прикрытием с целью повышения эффективности использования потенциалов полос движения и СО в целом; цикловой интенсивности пропуска потоков; эффективности использования разрешающих тактов; циклов СР на предмет достаточности времени на пропуск ПП;

- разработан и обоснован комплекс методов определения требуемой протяженности, оценки достаточности и количества ППЧ УДС города, региона, как для скоростных, так и для регулируемых сетей в оптимальном аспекте;

- разработан на дифференцированном подходе, вероятностных оценках комплекс новых методов расчета и оценки ширины ППЧ и ее составляющих параметров (ширины автомобиля, плотности движения, динамического продольного и вертикального габаритов) для обоснованного применения ограничений соответственно дорожным условиям;

- разработан и обоснован комплекс методов построения оптимальных схем О и УДД, основанных на принципах формирования транспортных, пешеходных и пассажирских потоков и рациональности их перемещений;

- разработан и обоснован комплексный минимаксный критерий оценки эффективности и качества УДД, построенный на пяти минимизирующих функциональных критериях (конфликтности, задержках, выбросах отработавших газов (экологическом), стоимости километра пути и часе ездки (экономическом), расстоянии транспортной доступности), трех максимизирующих функциональ-

ных критериях (скорости, эффективности использования потенциалов ППЧ и УДС, а также наработках НИР в этой области);

- разработана технология реализации методологии, состоящей из этих пяти комплексов методов, построенная на сетевом планировании (моделировании) и обосновано применение планирования для этих целей.

Практическая ценность работы. Предложенная методология, построенная на пяти комплексах методов, и технология ее реализации позволяют:

- обеспечить нормальное функционирование как дорожно-транспортного комплекса и связанных с ним инфраструктур, так и в целом ДД и соответственно снизить стоимость конечного транспортного продукта на 30% и более;

- повысить эффективность и качество УДД на 30% и более;

- определить оптимальные размеры режимов СР (циклов, тактов), очередей, времени их рассасывания, задержек ТС, цикловой интенсивности пропуска ТПП, эффективности использования разрешающего такта, пропускных способностей полос движения, заторовых состояний во временном и адресном аспектах, а также установить причины их возникновения и меры упреждения и ликвидации, что снизит задержки ТС и пешеходов на 30% и более;

- определить оптимальный размер протяженности и количества ППЧ как на УДС города, магистралях, так и в регионе, а также принять рациональные инженерные решения, исключая заторы и снижающие ДТП на 25–35%;

- определить размеры ширины ППЧ, соответствующие плотности, динамическому габариту, ширине автомобилей на вероятностной оценке и обосновать ограничение скоростей, плотности движения, а также ширины ТС в зависимости от ширины ППЧ и плотности ТП и, соответственно, при реализации этого комплекса снизить количество ДТП на 25% и более;

- оценить и установить наиболее выгодные варианты О и УДД на массивах независимо от их размеров посредством разработанного автором комплексного минимаксного критерия, что повысит качество предоставляемых дорожно-транспортных услуг на 30% и более;

Достоверность методологии, ее практических результатов, рекомендаций и выводов подтверждается логичностью выводов формул, разработок комплексов методов, построенных на анализе и синтезе, адекватных моделям исследуемых параметров, экспериментально проверенных посредством аппроксимированного моделирования, где эмпирические и теоретические кривые при одинаковой исходной и адресной базе дали достаточную сходимость (в пределах потенциальных возможностей погрешность составляет в среднем 3%).

Предложенная в диссертации методология, состоящая из пяти комплексов рациональных методов, и технология ее реализации, построенная на сетевом планировании (моделировании) с программами и методиками фрагментарно внедрена в «Разработку оптимальных схем О и УДД в г. Краснодаре», выполненную по госконтракту №268 от 16.06.2004г. с объемом финансирования 2,11 млн руб., заключенному между ККГУ «Дорожный комитет» и Армавирским финансово-экономическим институтом (АФЭИ), «Разработку комплексной транспортной схемы муниципального образования г. Краснодар» по муниципальному контракту 2353 от 29.08.2007 г. - на 7,632 млн руб., заключенному между администрацией г. Краснодар и Северо-Кавказским институтом бизнеса, инженерных и информационных технологий (до 2006г. АФЭИ), где руководителем НИР и ответственным исполнителем ряда разделов этих контрактов являлся автор, в практическую деятельность ГУП (СМЭУ), УГАИ ГУВД Краснодарского края, и в учебный процесс подготовки инженеров специальности 190702 (240400) – «Организация и безопасность движения» в Северо-Кавказском институте бизнеса, инженерных и информационных технологий, а также в учебные и учебно-методические пособия по дисциплинам «Организация движения», «Технические средства ОД» (федеральный компонент), «Основы научных исследований», «Теория движения ТПП», «Дорожные условия и БДД» и др. (вузовский компонент) и в проект Генплана г. Краснодара.

Апробация работы. Содержание работы докладывалось (фрагментарно) на научно-практических межвузовских конференциях, проводимых в г. Армавире в 2002, 2003, 2007 и 2008 годах, а также на 6-й, 7-й и 8-й международных конференциях "Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах" в Автодорожном институте Санкт-Петербургского гос. архитектурно-строительного университета в сентябре 2004, 2006 и 2008 гг.

На защиту выносятся «Методология повышения эффективности управления дорожным движением», состоящая из пяти комплексов методов: 1) расчета режимов СР; 2) определения требуемой протяженности и количества полос проезжей части; 3) расчета ширины полос движения и ее составляющих параметров; 4) разработки оптимальных схем О и УДД; 5) расчета и оценки эффективности и качества О и УДД и технология ее реализации, построенных на авторской «Теории движения ТПП» и сетевом планировании (моделировании).

Публикации. Содержание диссертационной работы, отражено в 85 печатных трудах, в том числе в трех монографиях (1971, 2003 и 2005 гг.)

Структура и объемы работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Общий объем работы со-

ставляет 348 страниц, в том числе 187 иллюстраций и 136 таблиц. Библиографический список содержит 297 наименований работ российских и зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечена новизна и практическая значимость выполненной работы.

В первой главе «Анализ существующих технологий и методологий УДД» отмечен вклад в управление ТПП отечественных специалистов: В.В. Зырянова, В.Т. Капитанова, В.И. Коноплянко, Е.М. Лобанова, П.И. Поспелова, Самойлова Д.С., А.В. Сигаева, В.В. Сильянова, М.С. Фишельсона, и др.; зарубежных специалистов: Ф. Хейта, А. Дрю, Х. Иносэ и Т. Хамада и др. Возросшие уровни автомобилизации в условиях резкого отставания развития дорожных сетей, технических средств управления и недостоверных оценок состояния и качества ДД требуют не локального и узковедомственного, а регионального системно-комплексного подхода к организации, управлению и обеспечению БДД. Такой подход связан с привлечением к управлению движением не только дорожно-патрульных служб (ДПС), но и дорожно-эксплуатационных, дорожно-строительных, коммунально-муниципалитетных инфраструктур, предприятий связи, учреждений здравоохранения, социально-бытовых, правоохранительных, банковских и прочего сервиса, а также с разработкой методологии и технологии ее реализации, поскольку последние в литературных источниках практически не освещены. В 1993 - 1994 гг. АО НПЦ «Кибернетика» проведены комплексные исследования по формированию и технико-экономическому обоснованию программы разработки и внедрения Краснодарской краевой АСУД на внегородских дорогах, но далее составления отчета дело не пошло. Также не освещены методы: определения достаточности времени в цикле СР для пропуска пешеходов с учетом занятости переходов поворотным потоком, повышения эффективности использования разрешающего такта как за счет применения оптимальных циклов, так и пропуска одних ТС под прикрытием других; определения требуемой протяженности и количества ППЧ в зависимости от размеров движения; определения предельной плотности, скорости потоков и ширины автомобиля в обследуемых условиях движения, разработки оптимальных схем ОДД. Существующий комплекс методов расчета режимов СР, построенный на эмпирическом подходе, не отвечает принципам оптимальности, а оценочные критерии - достоверности, в частности:

эмпирический метод Ф. Вебстера, наносит ущерб ДД по причине значительных задержек, с 1974 г. является базовым инструментом в СР (см. «Руководство по регулированию ДД в городах»). Формула определения задержек на регулируемых перекрестках Ф. Вебстера построена не в соответствии с методом размерности, а на эмпирических посылках и др. По нашему мнению, метод размерности является основным критерием оценки соответствия метода функции цели.

Оценка цикла на предмет достаточности времени в тактах для пропуска пешеходов с учетом занятости переходов поворотными потоками осуществляется эмпирически. Расчет ширины ППЧ производится лишь в зависимости от скорости, ширины автомобиля и бокового зазора (0,3 м), а такие параметры, как плотность потока, динамический продольный габарит и другие в нем не учитываются. Оценка качества и эффективности функционирования системы организации и УДД осуществляется посредством задержек ТС, скорости движения и экологического критерия или одним из них, где не учитывается безопасность движения, транспортная доступность, эффективность использования потенциалов полос УДС и наработок НИР в этой области. В результате анализа состояния проблемы для достижения цели исследования необходимо решить следующие основные задачи:

- сформировать, обосновать и разработать пять комплексов методов расчета и оценки характеристик и параметров ТПП, геометрических элементов УДС и в целом (ДД), построенных на аналитических и системно-комплексных принципах, региональном подходе и вероятностных оценках;
- разработать комплекс аналитических методов расчета и оценки: режимов СР (циклов, тактов), размеров очередей, времени их рассасывания, задержек, обнаружения и упреждения количественных и временных заторовых состояний, пропускной способности, пропуска потоков под прикрытием, интенсивности пропуска потоков, эффективности использования разрешающего такта, оценки циклов на предмет достаточности времени на пропуск ПП, обеспечивающих получение наиболее достоверных характеристик и параметров алгоритмов управляющих воздействий как для локального, магистрального, сетевого (квадратно-контурного), так и для РУ;
- разработать комплекс методов определения и оценки требуемой протяженности и количества ППЧ как для скоростных, так и для регулируемых автодорожных сетей (ДС), с целью принятия мер, исключая заторовые ситуации и повышающих уровень качества предоставляемых дорожных услуг;

- разработать на новых принципах комплекс методов расчета и оценки ширины ППЧ и ее составляющих параметров (ширины автомобиля, плотности, скорости движения, динамического продольного и вертикального габаритов) для обоснования вводимых ограничений;

- разработать комплекс методов построения оптимальных схем О и УДД;

- разработать комплекс минимаксных методов оценки эффективности и качества О и УДД на базе пяти функциональных минимизирующих, трех функциональных максимизирующих и одного комплексного критериев, подчиненных данной функции цели;

- разработать технологию УДД, реализующую методологию повышения эффективности УДД, построенную на сетевом планировании (моделировании) и состоящую из этих пяти комплексов методов;

- на основе разработанной программы и методики выполнить экспериментальное исследование пяти комплексов методов, составляющих методологию посредством аппроксимированного моделирования, и разработать рекомендации для их практического применения в управлении дорожным движением.

Во второй главе представлено программно-методическое и математическое обеспечение, являющееся составной частью методологии повышения эффективности и оценки управления ТПП в крупных городах и регионах. В ней изложен комплекс аналитических методов расчета алгоритмов организации и управления потоками, толкование уровней управления, в частности: «дорожное движение как объект управления» с комплексом схем («...принципов управления», «...информационного оборота Центра управления Департамента субъекта Федерации», «...структуры и технологических связей в системном аспекте...») (рисунки 1 и 2)), «Обоснование многостороннего УДД», «Принципиальные особенности структуры системы УДД», «Технология формирования и реализации исходной базы», «Обоснование применения сетевого планирования (моделирования)», «Разработка сетевой модели», «Анализ сетевой модели», «Оптимизация сети», «Обработка результатов». Таким образом, в технологии, используемое сетевое планирование (моделирование) ведется на уровне проектов по строгим достаточно разработанным законам специализированными научно-исследовательскими подразделениями, являющимися составными частями Департаментов и Центров управления. Региональное управление рассматривается как второй уровень, где магистральное (в межгородском сообщении и в небольших населенных пунктах), сетевое или квадратно-контурное управление (в городах), находятся на третьем

уровне системы. Поскольку свободное движение находится в основном в обратно пропорциональной зависимости от плотности потоков и прямо пропорциональной от протяженности перегонов между пересечениями, возникает необходимость в пересмотре концепции формирования структур УДС городов и межгородских сообщений. Километровые перегоны в них позволят повысить скоростные режимы и соответственно многократно снизить задержки ТС в городах.

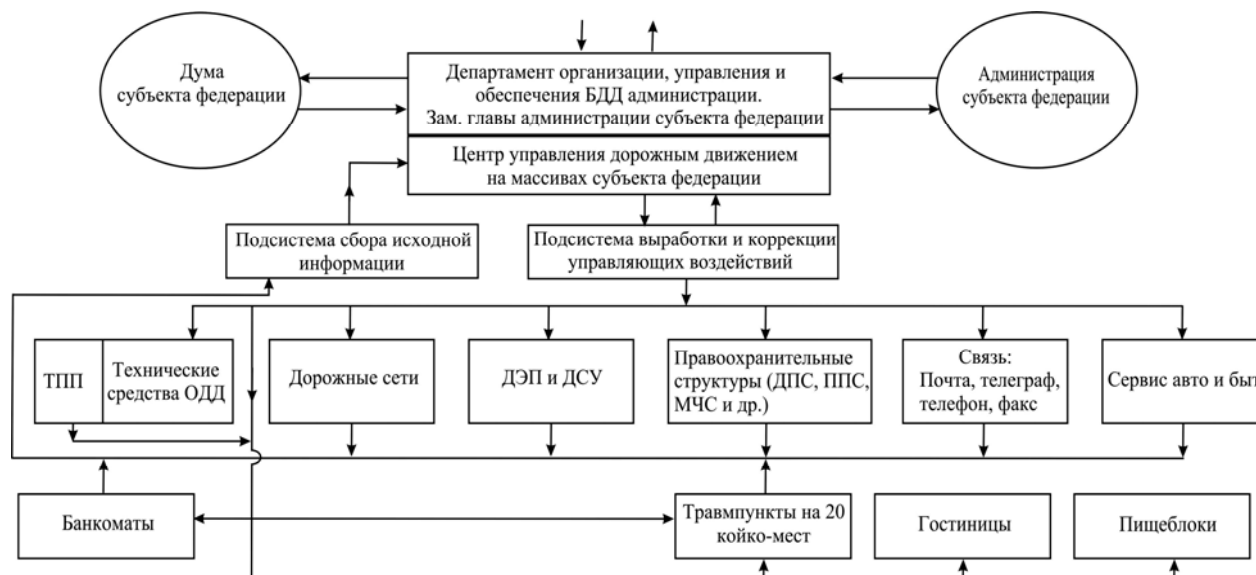


Рисунок 1- Схема информационного оборота Центра управления Департамента субъекта Федерации

Сетевое управление (СУ). В условиях высоких интенсивностей движения и плотностей потоков адаптивные системы управления работают фактически на жестких принципах, что делает их невыгодными. На базе централизованного общегородского АСУД, по нашему мнению, возможно применение принципа многопрограммного квадратно-контурного управления ТПП. Сущность этого принципа заключается в координации пропускания потоков через сдвиг фаз в направлениях смежных перекрестков, оборудованных светофорной сигнализацией. Первый контур охватывает 4 перекрестка, второй $-2*4 = 4+4-8, \dots$, тридцатый $-30*4 = 120$ (в 30 – контурах 1860 перекрестков), т. е. обслуживание каждого контура перекрестков подчинено арифметической прогрессии. Данный метод применим только на прямоугольных схемах УДС. Различие в протяженности перегонов корректируется посредством управляемых знаков как и при общегородском централизованном АСУД.

Для функционирования структур организации, управления и обеспечения БДД необходимо, во-первых, иметь для расчетной базы сетевого планирования исходные данные о динамике ТПП (комплекс методов расчета и оценки размеров движения), графики с планами и объемами дорожно-строительных, ремонтных и

прочих работ в пространстве и времени, сведения о геометрических параметрах перекрестков, магистралей, УДС и ее атрибутах в адресном аспекте, получаемые посредством натуральных наблюдений или систем детекторов транспорта. Это управление рассматривается как совокупность множеств локальных, магистральных и сетевых управлений (общегородских) на больших пространствах края, ряда краев (областей), см. рисунки 2 и 3. Структура моделей динамических характеристик ТП на дорожной сети региона $q^{\cdot}_{ю \rightarrow c_j}$ на j -ом направлении (нечетном), имеет вид:

$$q^{\cdot}_{ю \rightarrow c} = \{ q^{\cdot}_{ю \rightarrow c_1}, q^{\cdot}_{ю \rightarrow c_2}, \dots, q^{\cdot}_{ю \rightarrow c_N}, q^{\cdot}_{c \rightarrow ю_{N-1}}, \dots, q^{\cdot}_{c \rightarrow ю_1} \}, \quad (1)$$

где

$$q^*_{ю \rightarrow c} = \max \begin{cases} \left[\sum_{h=1}^H \left[\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^4 \lambda^i_{jkhM} \tau^i_{jkhM} - \sum_{j=2,3,4} \sum_{i=2,3,4} \sum_{k=1}^{K-k} \lambda^i_{jkhM} \tau^i_{jkhM} + \sum_{j=2,3,4} \sum_{i=2,3,4} \sum_{k=1}^{K-k} \lambda^i_{jkhM} \tau^i_{jkhM} \right] \right. \\ \left. \sum_{h=1}^H \left[\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^4 \lambda^i_{jkh(m+1)} \tau^i_{jkh(m+1)} - \sum_{j=2,3,4} \sum_{i=2,3,4} \sum_{k=1}^{K-k} \lambda^i_{jkh(m+1)} \tau^i_{jkh(m+1)} + \sum_{j=2,3,4} \sum_{i=2,3,4} \sum_{k=1}^{K-k} \lambda^i_{jkh(m+1)} \tau^i_{jkh(m+1)} \right] \right. \\ \vdots \\ \left. \sum_{h=1}^H \left[\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^4 \lambda^i_{jkhM} \tau^i_{jkhM} - \sum_{j=2,3,4} \sum_{i=2,3,4} \sum_{k=1}^{K-k} \lambda^i_{jkhM} \tau^i_{jkhM} + \sum_{j=2,3,4} \sum_{i=2,3,4} \sum_{k=1}^{K-k} \lambda^i_{jkhM} \tau^i_{jkhM} \right] \right. \end{cases}$$

Аналогичным методом определяются промежуточные такты и размеры циклов СР. Сбор исходной информации о движении (первичной, вторичной и т.п.) в процессе функционирования второго уровня системы осуществляется по принципам прямой иерархии, передачи управляющих воздействий – обратной иерархии (см. рисунки 3, 4) посредством множества комплексов детекторов транспорта, установленных на УДС. В диссертации аналитическая база, «Примерная схема всех уровней системы», а второго и третьего уровней более подробно представлена в виде систем уравнений и блоков функций, работающих в адресном и в комплексном аспектах. Замкнутость многопараметрической и многофакторной системы заключается в наличии прямой и обратной связей с объектами и предметами управления и способности сохранять состояние системы, адекватное состоянию объектов управления, а также принятым управляющим воздействиям на них в оптимальном аспекте. Второй уровень системы (см. рисунок 3) иллюстрирует функционирование второго уровня в трехконтурном построении с их адресностью в технологическом аспекте. Функционирование третьего контура «населенный пункт, ...» в технологическом аспекте показано на рисунке 4.

Многофакторное ДД, имеющее многопараметрическое описание ($\lambda_{jk}, \lambda_{jk}/V_{jk}, V_{jk}, \tau_{jk}, L_{Djk}, n_{ojk}, t_{ojk}, Z_{jk}$ и т.п.), по нашему мнению, может нормально функционировать

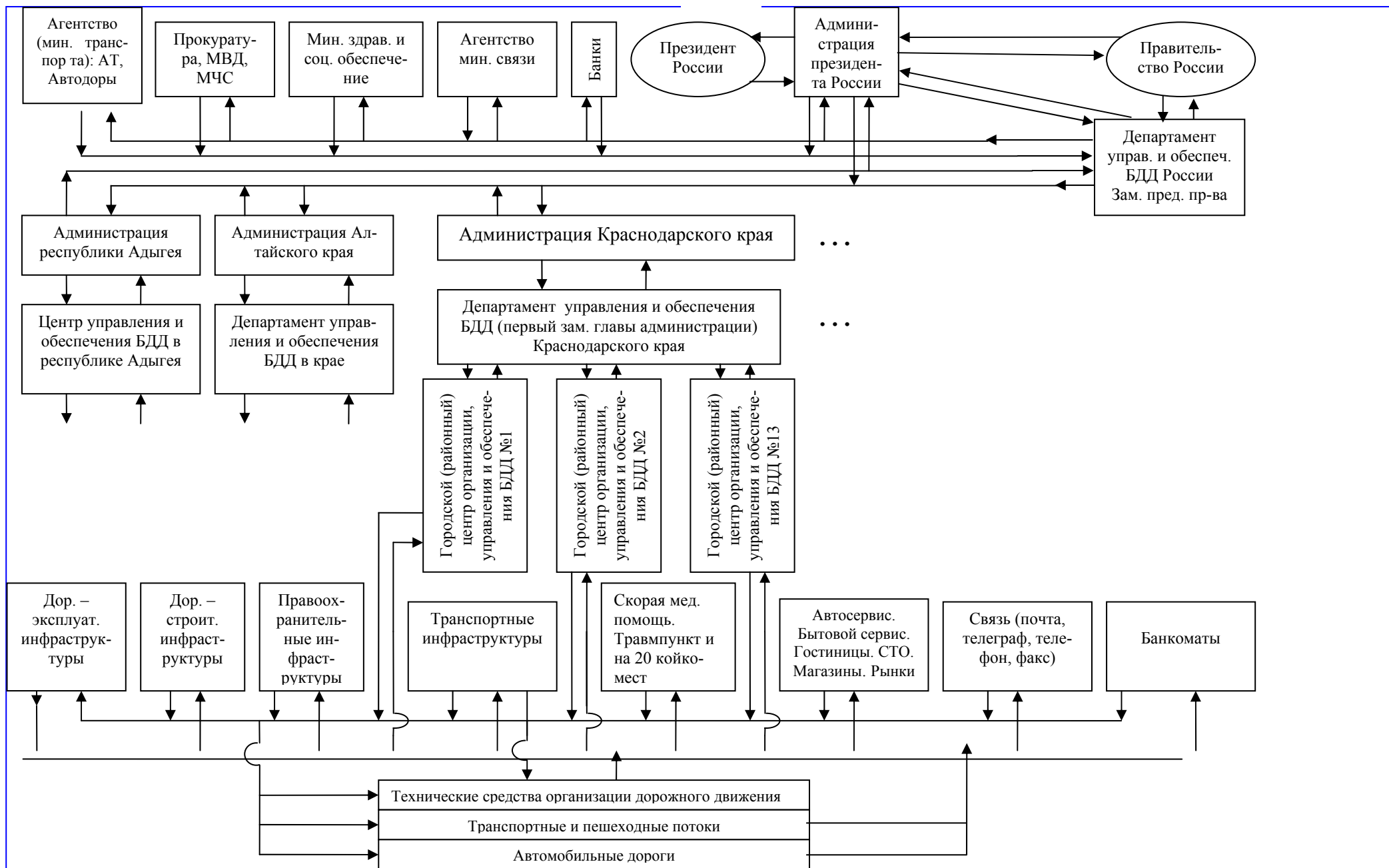


Рисунок 2 - Схема структуры и технологических связей Департамента управления и обеспечения БДД России (на примере Краснодарского края)

только с адекватной обратной связью в достоверных значениях ее параметров. По этому УДД на ДС крупных городов, регионов должно осуществляться с обратной связью не только о характеристиках параметров ТПП, но и с информацией об использовании потенциалов, причастных к ДД инфраструктур в реальном режиме времени и осредненных значениях.

Каждое исходное, управляющее, корректировочное воздействие программно прослеживается (см. рисунки 1-4) и, соответственно, устанавливается размер эф-

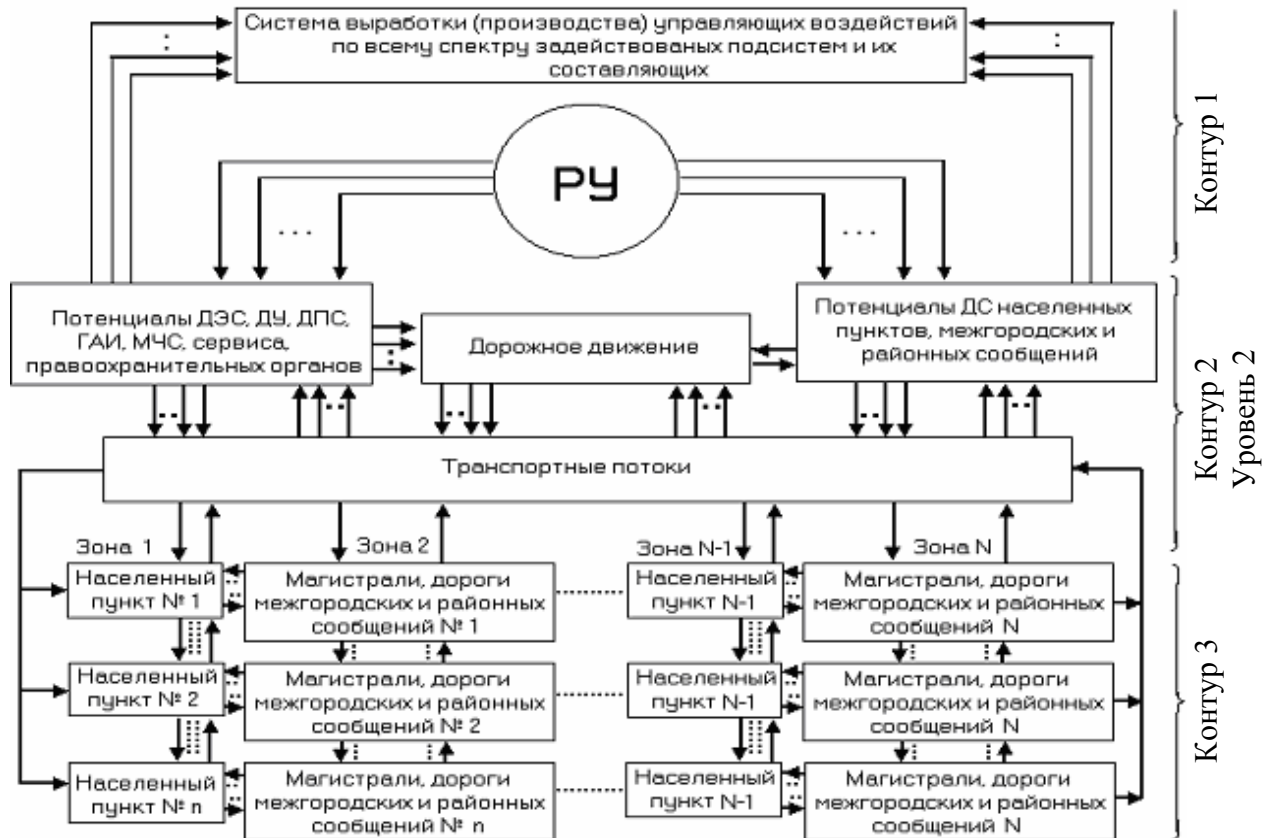


Рисунок 3- Контур 2 второго уровня регионального управления

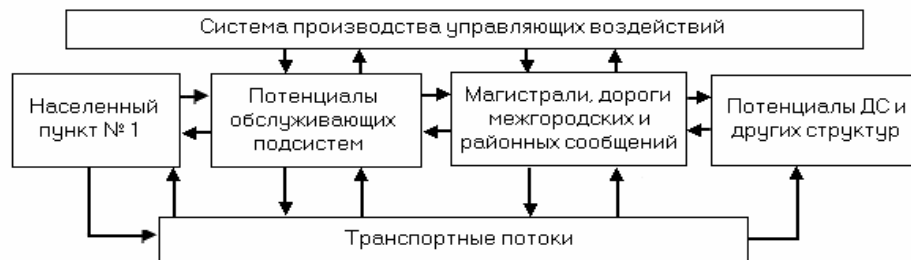


Рисунок 4- Схема замкнутого функционирования шести объектов 2- и 3-го контура управления «Населенный пункт №1» и «Магистрали, дороги ...» фективности ее реализации через сетевое планирование в реальном режиме времени. Технологические основы и принципы, примерное зонирование объектов, контуры структур второго уровня системы, т.е. регионального уровня, описаны в

диссертации. Посредством управляемых многопозиционных знаков, с помощью оценки условий движения и задержек (уравнение (2)), а также алгоритмов и программ расчета, являющихся инструментами в классе подсистем программно-методического обеспечения АСУД, можно управлять скоростью сообщения, выявлять уязвимые места в ОДД, обосновывать или отвергать инженерные решения:

$$z = \begin{cases} \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{111}, \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{112}, \dots, \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{11H} \\ \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{121}, \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{122}, \dots, \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{12H} \\ \vdots \\ \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{1M1}, \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{1M2}, \dots, \left(\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^k z_{jkh} \right)_{1MH} \end{cases} \quad (2)$$

В третьей главе «Исследование и разработка методологии повышения эффективности УДД», рассматриваются пять комплексов методов расчета и оценки параметров её составляющих, в частности:

1. *Комплекс методов расчета и оценки режимов СР:*

- длительностей циклов C , с/цикл, и их тактов: промежуточных при l - фазе T_l^0 , с/цикл, разрешающих $t_{зел}$, с/ц, запрещающих $t_{кпр}$, с/ц:

$$C = \left(2t_r + \sum_{l=1}^2 T_l^0 \right) / (1 - q - r), \quad C = \left(3t_r + \sum_{l=1}^3 T_l^0 \right) / (1 - q - r - s) \quad (3)$$

при l -ой фазе
$$T_l^0 = 1/R \sum_{i=1}^4 T_{jk}^i h_{jk}^i, \quad T_0 = \sum_{l=1}^n T_l^0; \quad (4)$$

- для нечетных $j=1, 3$ и четных $j=2, 4$ направлений соответственно:

$$\begin{aligned} t_{зел} &= q(C - T_0) / (q + r) = \alpha(C - T_0) = qC, & t_{кпр} &= (1 - \alpha)(C - T_0), \\ t_{зел} &= r(C - T_0) / (q + r) = \beta(C - T_0), & t_{кпр} &= (1 - \beta)(C - T_0), \quad \beta = 1 - \alpha, \end{aligned} \quad (5)$$

где q, r – гармонические величины (уравнения (1), (16), (17));

- размеров очередей ТС за цикл СР на k -полосах j -направлений у перекрестков n_{ojk} , ТЕ/ц, времени их рассасывания t_{ojk} , с/ц:

$$n_{0jk} = [t_r + T_0 + \beta(C - T_0)] \sum_{i=1}^4 \lambda_{jk}^i / (1 - q_0), \quad t_{0jk} = [2t_r + T_0 + \beta(C - T_0)] q_0 / (1 - q_0), \quad (6)$$

где q_0 – фиксированная динамическая характеристика ТП независимо от $j=1, 2, 3, 4$; 3600, с/ч – количество секунд в часе;

- времени задержек автомобилей у перекрестков, Z_{jk} , с/ц, $Z_{1ТЕ}$, с/ТЕ:

$$Z_{jk} = \left(2 \sum_{a=1}^m n_{ojka} - (a_1 + a_m) m \right) / 2 \lambda_{jk}, \quad Z_{1ТЕ} = \left(2 \sum_{a=1}^m n_{ojka} - (a_1 + a_m) m \right) / 2 \lambda_{jk} n_{ojk}, \quad (7)$$

где α_1, α_m – первый, m -й автомобиль очереди соответственно, ТЕ/ц,

λ_{jk} – интенсивность прибытия автомобилей к стоп-линии, ТЕ /с;

• пропускной способности ППЧ перекрестков, включая кольцевые развязки: на регулируемом $\lambda_{\max jk}$, ТЕ /ч; второстепенном направлении нерегулируемого $\lambda_{\max n2k}$, ТЕ /ч:

$$\lambda_{\max jk} = (3600 * t_{\text{зел}}) / C \tau_{jk}, \quad \lambda_{\max j} = \sum_{k=1}^K \lambda_{\max jk}, \quad \lambda_{\max n2k} = (7200 - 3600 e^{\lambda_{j+3k} T_{j+3k}}) / (\bar{\tau}_{2k} + t_r); \quad (8)$$

• временного интервала затора t_{3T} , с/цикл, с/ч:

$$t_{3T} = (\lambda_{jkh} + \Delta \lambda_{jkh}) \tau_{jkh} C - (t_{\text{зел}} - t_r); \quad t_{3T} = 3600 [(\lambda_{jkh} + \Delta \lambda_{jkh}) \tau_{jk} - (t_{\text{зел}} - t_r) / C]; \quad (9)$$

• количество не пропущенных ТС через светофорный объект $n_{\text{нпр}}$, ТЕ/ц:

$$n_{\text{нпр}} = C \lambda_{jkh} - \lfloor (t_{\text{зел}} - t_r) / \tau_{jkh} \rfloor, \quad n_{\text{нпр}} = 3600 \lambda_{jkh} - \lfloor 3600 (t_{\text{зел}} - t_r) / C \tau_{jkh} \rfloor, \quad \text{ТЕ/ч.} \quad (10)$$

Варианты выражений (11), когда возможны заторы на k -ой полосе j -го направления:

$$\lambda_{jk} \cdot \tau_{jk} = 1, \quad C < [2t_r + T_0] / (1 - q - r), \quad t_{0jk} / t_{\text{зел}} > 1, \quad t_{\text{зел}} < t_{0jk}, \quad \lambda_{\max jk} < \lambda_{jk}, \quad t_{\text{зел}} / \tau_{jk} < C \lambda_{jk} > n_{0jk}; \quad (11)$$

• среднее относительное количество автомобилей прикрываемых одним трамвайным поездом, определяется по формуле:

$$\delta_1^3 = \begin{cases} (\lambda_{T1}^3 n_{P1}^3) / \lambda_1^3, & \text{если } \lambda_{T1}^3 n_{P1}^3 \leq \lambda_1^3, \\ 1, & \text{если } \lambda_{T1}^3 n_{P1}^3 > \lambda_1^3, \end{cases} \quad (12)$$

где n_{P1}^3 – (безразмерная величина) понимается как статистическая оценка математического ожидания случайной величины, которая выражает, какую долю прикрывающего транспорта составляет прикрываемый автомобиль, а также количество этих долей в прикрывающем принятом за единицу.

Средние доли транспортных единиц (ТЕ), δ_j^i , которые могут двигаться в единицу времени под прикрытием трамвайного поезда или другого ТС, определяются так:

$$\delta_1^2 = (\lambda_{T2}^3 n_{P1}^2) / \lambda_1^3, \quad n_{P1}^2 = \tau_{T2}^3 / \tau_1^2. \quad (13)$$

Величина δ_j^i , $0 \leq \delta_j^i \leq 1$ подсчитывается статистически по результатам натуральных наблюдений в каждом случае для конкретных условий движения на данном перекрестке. За счет этого в формулу (16) определения q вносят изменения, состоящие в уменьшении $\lambda_1^3 \tau_1^3$ на долю прикрытия δ_j^i , т.е. $(1 - \delta_1^3) \lambda_1^3 \tau_1^3$, а часть $\delta_1^3 \lambda_1^3 \tau_1^3$ – прикрытая доля – поглощается прикрывающей величиной и в формуле определения величины q фигурировать не должна, чем достигается уменьшение длительности цикла, его основных тактов и времени задержек, а также в повышении пропускной способности полос и цикла в целом. Так, определение средней доли при-

крываемого в прикрывающем ТП, в соответствии со схемой (рисунок 5), \bar{n}_{p2}^i , имеет вид

$$\bar{n}_{p2}^3 = \left[\tau_{T23}^3 \left(\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^3 \lambda_{2k}^i + \sum_{k=1}^2 \lambda_{1k}^2 + \lambda_{41}^2 + \lambda_{31}^2 \right) \right] / \left[\sum_{k=1,3}^3 \sum_{i=1}^3 \lambda_{2k}^i \tau_{2k}^i + \sum_{k=1,2} \lambda_{1k}^2 \tau_{1k}^2 + \lambda_{41}^2 \tau_{41}^2 + \lambda_{31}^2 \tau_{31}^2 \right]. \quad (14)$$

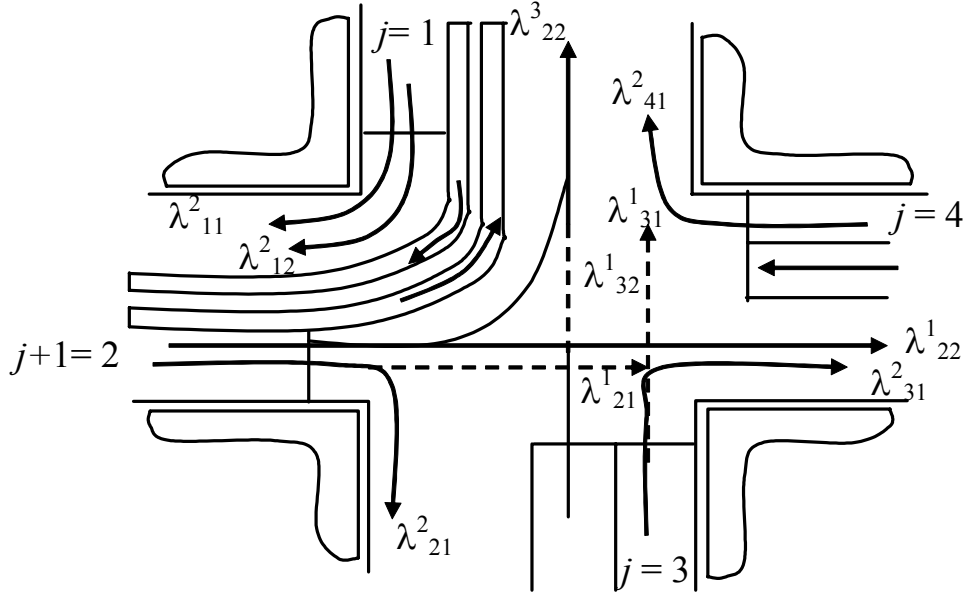


Рисунок 5- Схема перекрытия трамваем, осуществляющим левый поворот со второго на правления нерельсовых ТС с $j = 1, 2, 3, 4$; $i = 1, 2, 3$

В такой ситуации распределения потоков на перекрестке доля ТС под прикрытие трамвая составит:

$$\delta_2^3 = (\lambda_{T23}^3 \bar{n}_{p2}^3) / \left[\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^3 \lambda_{2k}^i + \sum_{k=1}^2 \lambda_{1k}^2 + \lambda_{41}^2 + \lambda_{31}^2 \right]. \quad (15)$$

Аналогично описываются все варианты перекрытия и вносятся в расчеты q^* и r уравнений (16), (17) соответствующие коррективы, где λ_{jk} , τ_{jk} соответственно интенсивность прибытия к стоп-линии, авт./с, временной интервал между передними бамперами при пересечении стоп-линии, с/авт. на $j=1, 2, 3, 4$ – направлениях, $k = 1, 2, \dots, K$ - полосах проезжей части; α и β – доли соответственно разрешающих и запрещающих тактов; t_r – временной интервал между включением разрешающего такта и началом движения первого ТС очереди, с/цикл; $R_j = \sum_{i=1}^4 h_j^i$ -сумма вероятностей, что в последнюю секунду горения зеленого сигнала будет только одна ТЕ. Динамические характеристики транспортных потоков для перекрестков с однопольным движением в каждом направлении (гармонические величины) соответственно нечетных ($j = 1, 3$) и четных ($j = 2, 4$) направлений $0 \leq q + r \leq 1$, будет иметь вид

$$q^* = \max \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^4 \lambda_1^i \tau_1^i + \lambda_3^3 \tau_3^3 + \lambda_3^4 \tau_3^4 + [(\mu_{1n} + \mu_{3л})\nu] / [k_{1n} + k_{3л}] \\ \sum_{i=1}^4 \lambda_3^i \tau_3^i + \lambda_1^3 \tau_1^3 + \lambda_1^4 \tau_1^4 + [(\mu_{3н} + \mu_{1л})\nu] / [k_{3н} + k_{1л}] \end{array} \right\}, \quad (16)$$

$$r = \max \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^4 \lambda_2^i \tau_2^i + \lambda_4^3 \tau_4^3 + \lambda_4^4 \tau_4^4 + [(\mu_{2н} + \mu_{4л})\nu] / [k_{2н} + k_{4л}] \\ \sum_{i=1}^4 \lambda_4^i \tau_4^i + \lambda_2^3 \tau_2^3 + \lambda_2^4 \tau_2^4 + [(\mu_{4н} + \mu_{2л})\nu] / [k_{4н} + k_{2л}] \end{array} \right\}, \quad (17)$$

где μ_{jn} , μ_{jl} – интенсивность прибытия пешеходов к переходу соответственно по правой и левой сторонам направления движения, пеш/с; q^* , r , C , $t_{зел}$, $t_{кр}$, α , β , δ_j^i , n_{pj}^i представлены в диссертации как для однорядного, так и многорядного движения в значительно большем объеме.

Метод повышения эффективности разрешающего такта заключается в полном использовании времени этого такта для пропуска очереди автомобилей, образовавшейся перед стоп-линией и бесконфликтных потоков по другим ППЧ под прикрытием ТС, движущихся на зеленый сигнал, а также в применении оптимальных длительностей циклов и их тактов. Уравнение определения коэффициента эффективности H использования $t_{зелjk}$ и неравенства, устанавливающего его пределы, имеют вид:

$$H = t_{ojk} / t_{зелj}, \quad t_{зелjk} \geq t_{ojk}, \quad 0 \leq H \leq 1. \quad (18)$$

При $H < 1$ временной интервал $t_{зелjk}$ используется неэффективно. При $H > 1$ в каждом цикле остаются не пропущенные автомобили, за несколько циклов образуется затор. Скорость образования затора прямо пропорциональна скорости превышения t_{ojk} над $t_{зел}$ или нарастанию величины H за счет повышения интенсивности движения λ_{jk} . Оптимальный вариант максимально возможной эффективности, когда

$$t_{ojk} = t_{зелj}, \quad H = 1. \quad (19)$$

Оценка цикла на предмет достаточности времени в нем для пропуска пешеходов осуществляется посредством выражений $N_j \leq T_0$, с/цикл:

$$N_j = (1 - r - q) S_{pj} / \left[1 - r - \frac{(\mu_{nj} + \mu_{j+2л})}{k_{jn} + k_{j+2л}} \nu - \lambda_j^2 \tau_{nj}^2 - \lambda_{j+2}^3 \tau_{j+2}^3 \right] \leq T_0, \quad (20)$$

$$T_0 = \max \{ 2T_l^0, N_1, N_2, N_3, N_4 \}, \quad (21)$$

где S_{pj} – время, необходимое одному пешеходу для пересечения ППЧ улицы по j -направлению с учетом его реакции. Изначально в цикле СР учтены размеры ПП (см. уравнения (3), (16), (17)) величины q^* и r – четвертые слагаемые. Выражение

(20) оценивает достаточность времени в цикле на пропуск ПП по всем направлениям с учетом пропуска правоповоротных ($\lambda_{jk}^2 \tau_{jk}^2$) и левоповоротных ТС ($\lambda_{j+2}^3 \tau_{j+2}^3$) пересекающих ПП с правой и левой стороны направлений движения.

2. Комплекс методов определения необходимой протяженности скоростных дорог L_{CD} , км/город, регулируемых L_{MPD} , км/город, и количества ППЧ в городах. Определение осуществляется через численность автопарка в них и размеров движения на их стратегических направлениях. В краевых (областных) городах целесообразно строить на перспективу 8-полосные скоростные дороги через 3280 м в меридиональном и 2240 м - в широтном направлениях или наоборот в зависимости от структуры города. Магистральное пространство между красными линиями целесообразно предусматривать в пределах 240 м:

-скоростных дорог L_{CD} , км/город,

$$L_{CD} \geq NL_d / 1000, \quad (\text{ТЕ} \cdot \text{м} \cdot (\text{км/город}) \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{м}); \quad (22)$$

$$L_d = V\tau, \text{ м/ТЕ}, \quad (\text{м} \cdot \text{с/с} \cdot \text{ТЕ});$$

-меридиальных дорог L_{MPD} , (км/город)

$$L_{MPD} \geq VN\tau C / t_{зел} 1000, \quad (\text{м} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{с} \cdot \text{с} \cdot \text{цикл} \cdot \text{км/с} \cdot \text{город} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{цикл} \cdot \text{с} \cdot \text{м}), \quad (23)$$

где 1000 м/км; $\tau_{jk} = t_{зел} 3600 / \lambda_{\max jk} \cdot C$ – временной интервал между передними бамперами ТС при пересечении стоп-линии, с/ТЕ; $(\text{с} \cdot \text{с} \cdot \text{ч} \cdot \text{цикл} / \text{цикл} \cdot \text{ч} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{с})$; $L_d = V_{jk} \tau_{jk} \cdot C / t_{зелj}$, $(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{с} \cdot \text{цикл} / \text{с} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{цикл} \cdot \text{с})$, м/ТЕ – средний динамический продольный габарит; N – численность автопарка в населенном пункте, с учетом коэффициента технической готовности и вероятности выхода на линию (если рассматривается магистраль, то принимается в расчет интенсивность движения в пиковые периоды), включая транзитный, авт./город; V – скорость движения, м/с; C – длительность цикла, с/цикл.

В условиях, когда левые части выражений (22), (23) меньше правых, повышается плотность ТП, снижается скорость движения. Чем больше скорость увеличения этого несоответствия, тем быстрее наступит затор на УДС или некоторых ее частях, что имеет место в настоящее время в крупных городах. Целесообразно сохранять такое соотношение:

$$L_{CD} \geq L_{MPD}. \quad (24)$$

Суммарная протяженность ($L_{CD} + L_{MPD}$), должна превышать расчетный спрос на дорожные услуги на случай чрезвычайных ситуаций и роста численности автопарка на полувековую перспективу. Реализация данного метода, как и оптимиза-

ция ширины полосы, зависящей от размеров движения и продольного габарита, которые, к сожалению, не учитываются, позволят обеспечить повышение эффективности управления потоками и БДД.

3. *Комплекс методов расчета и оценки ширины полосы движения B_n , м/ТЕ*, построен с учетом не только ширины автомобиля B_a и скорости движения V_a , но и продольного L_d , вертикального H' габаритов, плотности ТП $q_{jk}=\lambda/V$, многополосности дороги $k = 1, 2, \dots, K$, а на кольцевых развязках, закруглениях – базы автомобиля l_a . Поскольку ширина полосы является функцией вышеперечисленных параметров – аргументов, то модель этой полосы в виде логико-математической формулы (25), по сути, является совокупностью взаимодействующих этих же аргументов. Уширение полосы B_n прямо пропорционально влияет на увеличение динамического продольного габарита, а значит и скорости или плотности потока при сохранении скорости движения. В обоих случаях повышается эффективность дорожного движения в параметрах обеспечения безопасности.

Для прямолинейных участков B_n , м, (рисунок 6):

$$B_{nj2} = B_a / (1 - 0,001 L_d (q_{j1} + q_{j2}) h), \quad B_{nj+21} = B_a / (1 - 0,001 L_d (q_{j+21} + q_{j2}) h), \quad (25)$$

$$\text{м/ТЕ} = (\text{м/ТЕ}) / ((\text{б/р}) - (\text{м} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{км}) / (\text{ТЕ} \cdot \text{км} \cdot \text{м})),$$

где 1000 м/км; L_d , м/ТЕ, (V/λ , м/ТЕ); λ , ТЕ/с; q , ТЕ/км; 0,001 км/м.

Формула определения допустимой плотности потоков q в фиксированных дорожных условиях, ширине полосы и режимах движения, имеет вид:

$$q = 1000(B_n - B_a) / B_n L_d h. \quad (\text{ТЕ/км} = \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{ТЕ} / \text{км} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{м} \cdot \text{м}) \quad (26)$$

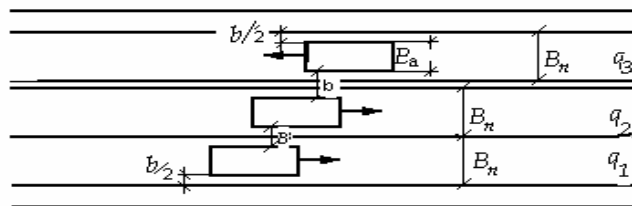


Рисунок 6- Схема движения транспортных средств (ТС)

Формула определения допустимого L_d , м/ТЕ, в фиксированных условиях (B_n, B_a, q, λ, V), имеет вид:

$$L_d = (B_n - B_a) / 0,001 B_n q h, \quad (\text{м/ТЕ} = \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{км} / \text{км} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{м} \cdot \text{ТЕ}). \quad (27)$$

Формула определения B_n , м, с учетом B_a, L_d, q, H , имеет вид (рисунок 7):

$$B_n = (B_a + (0,5 H' \sin \alpha)) / (1 - 0,001 L_d (q_1 + q_2) h), \quad (28)$$

$$(\text{м/ТЕ} = (\text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{км} / \text{ТЕ} \cdot \text{км} \cdot \text{м} \cdot \text{ТЕ}) \cdot (\text{б/р} - \frac{\text{км} \cdot \text{м} \cdot \text{ТЕ}}{\text{м} \cdot \text{ТЕ} \cdot \text{км}})).$$

Определение V, λ, B_a , соответствующих обследуемым условиям движения в

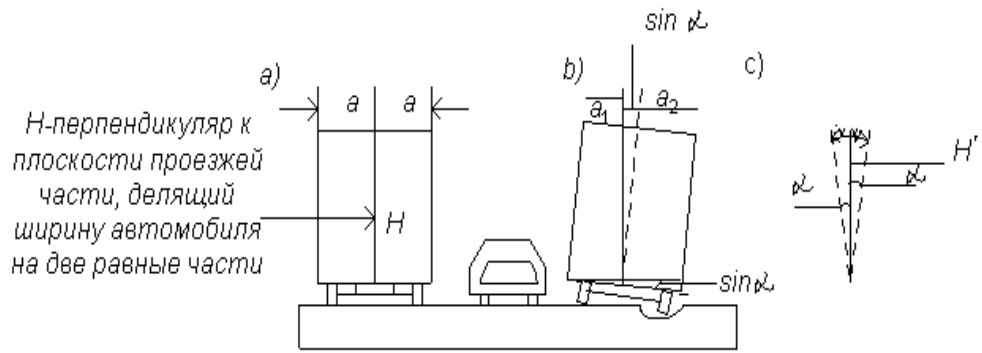


Рисунок 7- Зависимость B_n от угла отклонения, от положения в вертикальной плоскости автомобиля, вариант a ; имитация отклонения от H' - b и c

качестве оценочных критериев представлено в диссертации.

4. *Комплекс методов разработки оптимальных схем О и УДД с учетом формирования ТПП* построен на аналитических принципах и структурах сфер проживания, приложения труда, отдыха, соцбыта, тяготения населения и влияния на жизнедеятельность города, с учетом больших и малых множеств ТС, случайных по месту и времени пребывания, по замыслу и его реализации, по технике и технологии достижения функции цели, а также нахождения механизмов их подчинения управляющим воздействиям в аспекте оптимальности. Не простой задачей является и определение объемов грузовых и смешанных перевозок ТС юридических лиц. Прежде всего, определяется перечень необходимой и производимой, если позволяют географические и ресурсные условия переработки сырьевой и выходной продукции, данные о производстве которой помещаются в таблицу и т.д. Комплекс применим для любых регионов, городов.

5. *Комплексный минимаксный критерий оценки эффективности и качества О и УДД* $P_{опт\text{УДС}}$ (гармоническая величина), реализующий системный подход, имеет вид:

$$P_{опт\text{УДС}} = \min \left\{ \begin{matrix} K_{\text{ТouДС1}}, Z_{\text{УДС1}}, L_{\text{УДС1}}, \mathcal{E}_{\text{колУДС1}}, \mathcal{E}_{\text{конУДС1}}, \text{примax}(V_{\text{сУДС1}}, \lambda_{\text{maxУДС1}}^{**}, \Theta_{\text{УДС1}}) \\ K_{\text{ТouДС2}}, Z_{\text{УДС2}}, L_{\text{УДС2}}, \mathcal{E}_{\text{колУДС2}}, \mathcal{E}_{\text{конУДС2}}, \text{примax}(V_{\text{сУДС2}}, \lambda_{\text{maxУДС2}}^{**}, \Theta_{\text{УДС2}}) \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ K_{\text{ТouДСx}}, Z_{\text{УДСx}}, L_{\text{УДСx}}, \mathcal{E}_{\text{колУДСx}}, \mathcal{E}_{\text{конУДСx}}, \text{примax}(V_{\text{сУДСx}}, \lambda_{\text{maxУДСx}}^{**}, \Theta_{\text{УДСx}}) \end{matrix} \right\}, \quad (29)$$

где функциональные критерии оценки эффективности и качества О и УДД на УДС представлены посредством минимизирующих коэффициентов: транспортной опасности $K_{\text{ТouДСf}} = \min\{K_{\text{Тou1}}, K_{\text{Тou2}}, \dots, K_{\text{Тou}_n}\}$; задержек ТС $Z_{\text{УДСf}} = \min\{Z_{\text{УДС1}}, Z_{\text{УДС2}}, \dots, Z_{\text{УДС}_n}\}$; расстояний транспортной доступности $L_{\text{УДСf}} = \min\{L_{\text{УДС1}}, L_{\text{УДС2}}, \dots, L_{\text{УДС}_n}\}$, ($1 < L_{\text{ТД}} < 1,41$); экологической безопасности $\mathcal{E}_{\text{колУДСf}} = \min\{\mathcal{E}_{\text{колУДС1}}, \mathcal{E}_{\text{колУДС2}}, \dots, \mathcal{E}_{\text{колУДС}_n}\}$; стоимости километра пути и часа ездки $\mathcal{E}_{\text{конУДСf}} = \min\{\mathcal{E}_{\text{кон1}},$

$\mathcal{E}_{\text{кон}2}, \dots, \mathcal{E}_{\text{кон}n}$ }; максимизирующих: скорости сообщения $V_{\text{СУДС}f} = \max\{V_{\text{СУДС}1}, V_{\text{СУДС}2}, \dots, V_{\text{СУДС}n}\}$; пропускной способности полосы движения $\lambda_{\text{max УДС}f}^{\bullet\bullet} = \max\{\lambda_{\text{max УДС}1}^{\bullet}, \lambda_{\text{max УДС}2}^{\bullet}, \dots, \lambda_{\text{max УДС}n}^{\bullet}\}$; использования потенциала УДС и наработок НИР в этой области $\Theta_{\text{УДС}f} = \max\{\Theta_{\text{УДС}1}, \Theta_{\text{УДС}2}, \dots, \Theta_{\text{УДС}n}\}$. Данный комплексный критерий $P_{\text{опт УДС}}$ применим для оценки О и УДД на УДС городов.

В четвертой главе «Экспериментальное исследование предлагаемой методологии повышения эффективности УДД и технологии ее реализации» представлена программа и методика исследования основных методов, составляющих методологию и «Технологию...» на правомерность и достоверность в аспекте оптимальности, посредством аппроксимированного моделирования. Достоверность методов состоит в подлинности их составляющих компонентов, поскольку из этих компонентов состоят структуры их моделей в виде логико-математических формул, адекватные реальным. Исходные этих компонентов следующие: интенсивность прибытия автомобилей к перекрестку λ_{jk} , пешеходов $\mu_{jn}, \mu_{j+2л}$, временной интервал между передними бамперами ТС при пересечении стоп-линии τ_{jk} , временной интервал между моментами пересечения пешеходами бордюрной линии ν , нормативное число пешеходов, движущихся рядом друг с другом, в шеренгу по пешеходному переходу в j -ом направлении по правым и левым сторонам переходов $k_{jп}, k_{j+2л}, k_{j+2п}, k_{jл}, k_{j+3п}, k_{j+1л}, k_{j+1п}, k_{j+3л}$, средняя продолжительность проезда зоны перекрестка автомобилем T_{jk} , средняя продолжительность перехода проезжей части пешеходом S_{jk} , на j -направлениях, k -полосах принимаются из результатов натурных наблюдений за движением ТПП с достаточными объемами выборки, рассчитанные с учетом реальных среднеквадратичных отклонений и заданной точности измерений. Замеры как исходных, так и расчетных (экспериментальных) параметров осуществлялись ручным (61115), полуавтоматическим способом (23533), кино и видео съемкой (368 часов). Правомерность подтверждается тем, что предложенные принципы и методы расчетов, оценок циклов светофорного регулирования $C(\lambda_{jk})$, его разрешающих $t_{\text{зел}}(\lambda_{jk})$, запрещающих $t_{\text{кп}}(\lambda_{jk})$, промежуточных $T_0^0(\lambda_{jk})$ тактов, суммарной длительности промежуточных тактов $T_0(\lambda_{jk})$, долей разрешающих α и запрещающих β тактов, динамических характеристик ТП для нечетных $q^*(\lambda_{jk})$ и четных $r(\lambda_{jk})$ направлений, размеров очередей $n_{0jk}(\lambda_{jk})$, времени их рассасывания $t_{0jk}(\lambda_{jk})$, и оставшегося в разрешающем такте для пропуска автомобилей сходу (без остановки перед стоп-линией) $t_{xjk}(\lambda_{jk})$, количества автомобилей, прошедших сходу $n_{xjk}(\lambda_{jk})$, задержки у перекрестков очередей $Z_{jk}(\lambda_{jk})$, в том числе автомобиля $Z_{1\text{ТЕ}}(\lambda_{jk})$, пропускной способности ППЧ регулируемых $\lambda_{\text{max}jk}(\lambda_{jk})$,

нерегулируемых перекрестков $\lambda_{max\ nijk}(\lambda_{jk})$, ширины ППЧ $B_n(\lambda_{jk}, V_{jk}, R_{злк})$ и параметров (плотности потока $q(B_n)$, динамического продольного габаритов $L_d(B_n)$, скорости $V(B_n)$, ширины автомобиля $B_d(B_n)$), соответствующих реальным условиям движения; коэффициентов использования разрешающего такта H и транспортной опасности $K_{то}$; комплексного критерия оценки эффективности и качества УДД $P_{опт}$, расчетных параметров построения оптимальных схем ОДД, а также теоретических и технологических основ организации, управления и обеспечения БДД в городах и регионах отличаются логичностью, поскольку структуры принципов и методов адекватны структурам, процессов их отражающим и их функциям – зависимым переменным. Собранные исходная и расчетная информация посредством блок-схем алгоритмов расчета этих параметров помещена в таблице 1 по девяти объектам исследования и построен график (рисунок 8) для T_0 .

По первому комплексу осуществлено *исследование зависимости $T_0(\lambda)$* (одна из базовых величин в расчете цикла C): величина T_j получается методом замера при натуральных наблюдениях и после расчета по формулам (4) определяется T_0 , которая остается неизменной на этом перекрестке независимо от размеров λ_{jk} и C . Поскольку C прямо пропорционально зависит от размеров T_0 и λ_j , то доля T_0 в C по мере возрастания последней будет соответственно уменьшаться. Поэтому линия имеет убывающий вид. По графику (см. рисунок 8) можно предположить, что зависимость носит линейный характер. Для этих целей рассматривается класс функций, используемых для аппроксимации. В классе двухпараметрических нелинейных функций $y = f(x, a, b)$ рассматриваются следующие функции: линейная, показательная, дробно-рациональная, логарифмическая, параболическая при $b > 0$, а при $b < 0$ – гиперболическая, гиперболическая специального вида, дробно-рациональная специального вида.

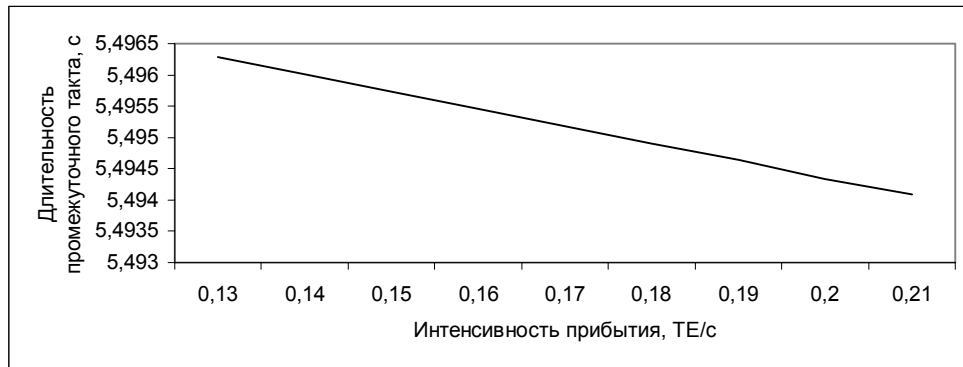
Таблица 1– Расчет основных характеристик работы СО при изменении λ_{jk} на нем

λ_j	$x_1=0,13$	$x_2=0,14$	$x_3=0,15$	$x_4=0,16$	$x_5=0,17$	$x_6=0,18$	$x_7=0,19$	$x_8=0,2$	$x_9=0,21$
$y_1 = T_0$	5,496	5,496	5,495	5,495	5,495	5,494	5,494	5,494	5,494
$y_2 = q=r$	0,284	0,305	0,327	0,348	0,369	0,390	0,411	0,433	0,454
$y_3 = N_j$	5,339	5,21	5,08	4,91	4,71	4,47	4,14	3,70	3,070
$y_4 = \alpha=\beta$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$y_5 = C$	15,055	16,699	18,746	21,366	24,838	29,657	36,796	48,46	70,973
$y_6 = t_{зел} = t_{кр}$	4,779	5,602	6,625	7,935	9,671	12,081	15,651	21,485	32,740
$y_7 = n_{0j}$	1,957	2,338	2,812	3,418	4,222	5,338	6,991	9,693	14,190
$y_8 = Z_j$	7,033	11,97	16,240	26,599	40,529	64,952	110,21	209,65	445,6
$y_9 = Z_{1TEj}$	3,593	5,120	5,775	7,780	9,598	12,167	15,763	21,629	31,4
$y_{10} = t_{0j}$	4,478	5,322	6,368	7,702	9,464	11,901	15,501	21,367	32,05

Продолжение таблицы 1

$y_{11} = t_{xj}$	0,301	0,280	0,257	0,233	0,207	0,179	0,150	0,118	0,090
$y_{12} = n_{xj}$	0,150	0,140	0,129	0,116	0,103	0,089	0,075	0,059	0,020
$y_{13} = \lambda_{maxj}$	0,142	0,153	0,163	0,174	0,184	0,195	0,205	0,216	0,2272
$y_{14} = n_{maxj}$	2,140	2,550	3,063	3,717	4,585	5,790	7,575	10,492	16,12

Наилучшим образом описывает функциональную зависимость уравнение типа $y = f(x, a, b)$, т.е. та из кривых, для которой погрешность отклонений выборочных значений y_i^* ($i = 1, 2, 3$) от статистических характеристик $U_{арм}$, $U_{геом}$, $U_{гарм}$ (среднее арифметическое, геометрическое и гармоническое) является минимальной (рисунок 8).

Рис. 8. Зависимость T_0 от λ_j при геометрических параметрах СО

На отрезке изменения независимой переменной $x \in [x_1; x_n]$ рассматриваются крайние точки, достаточно надежные (в аспекте чистоты и точности эксперимента), которые используются в дальнейших расчетах. После этого определяются статистические характеристики для значений переменных x_i и функций y_i по формулам определения: $x_{арм}$, $x_{геом}$, $x_{гарм}$, $U_{арм}$, $U_{геом}$, $U_{гарм}$ и строятся графики. По точкам $(x_1; y_1)$, $(x_2; y_2)$, ..., $(x_n; y_n)$ для $x_{арм}$, $x_{геом}$, $x_{гарм}$ находятся значения соответствующих им функций. При этом используется линейная интерполяция Ньютона для значений аргумента, не совпадающих с табличными. Далее определяется погрешность ε_i ($i = 1, 2, \dots, 7$) отклонений найденных y_i^* ($i = 1, 2, 3$) от статистических характеристик $U_{арм}$, $U_{геом}$, $U_{гарм}$. Полученная здесь минимальная погрешность $\varepsilon = \min(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_7)$ укажет на вид соответствующей кривой. Построение эмпирической формулы основано на использовании принципа Лежандра: «Параметры выбранной эмпирической формулы $y = f(x; a_1; a_2; \dots; a_n)$ определяются так, чтобы сумма квадратов отклонений от табличных значений функции была наименьшей». Следует добавить, что аналитические зависимости, описывающие экспериментальное исследование, нами понимаются, как эмпирические и поэтому называются эмпирическими. На базе изложенной теории выполняется математическая об-

работка результатов эксперимента. Для правильного выбора вида аналитической зависимости выполняются промежуточные вычисления, результаты которых представлены в диссертации (см. таблицы 2 и 3, рисунок 9).

Таблица 2-Данные расчетов для метода наименьших квадратов

i	X_i	Y_i	$1/Y_i$	X_i^2	X_i/Y_i
1	0,13	5,496286	0,181941042	0,0169	0,0236523
2	0,14	5,496009	0,181950212	0,0196	0,025473
3	0,15	5,495732	0,181959382	0,0225	0,0272939
4	0,16	5,495457	0,181968488	0,0256	0,029115
5	0,17	5,495182	0,181977594	0,0289	0,0309362
6	0,18	5,494909	0,181986635	0,0324	0,0327576
7	0,19	5,494637	0,181995644	0,0361	0,0345792
8	0,2	5,494337	0,182005581	0,04	0,0364011
9	0,21	5,494096	0,182013565	0,0441	0,0382228
Σ	1,53	49,45665	1,637798143	0,2661	0,2784312

Таблица 3-Результаты отклонений значений табличных от вычисленных по эмпирической формуле $y=1/(0,000911458*x + 0,181822624)$

X_i	Y_i	$Y'_{\text{выч}}$	γ_i	%
0,13	5,496286	5,496283839	0,0000021609	0,00
0,14	5,496009	5,496008509	0,0000004905	0,00
0,15	5,495732	5,495733207	0,0000012073	0,00
0,16	5,495457	5,495457933	0,0000009328	0,00
0,17	5,495182	5,495182686	0,0000006859	0,00
0,18	5,494909	5,494907466	0,0000015335	0,00
0,19	5,494637	5,494632275	0,0000047253	0,00
0,2	5,494337	5,49435711	0,0000201104	0,00
0,21	5,494096	5,494081974	0,0000140263	0,00

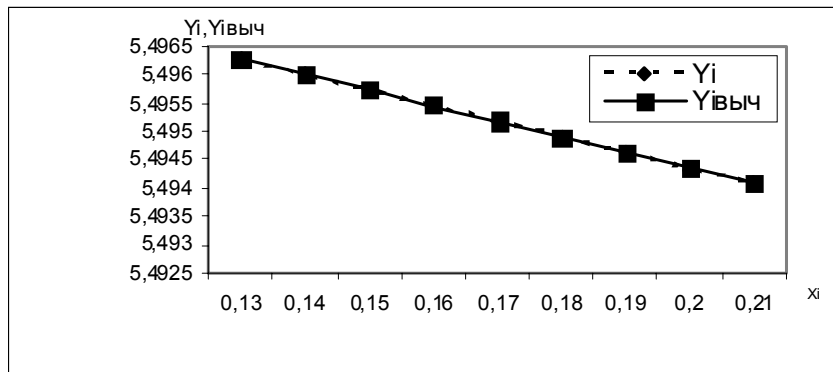


Рисунок 9- Результаты отклонений значений табличных от вычисленных по эмпирической формуле $y=1/(0,000911458*x + 0,181822624)$

Таким образом, размах отклонений значений табличных от вычисленных составляет $0,0000005 \div 0,0000201104$, среднее взвешенное отклонение $\approx 0,00\%$, что подтверждает точность выбранной эмпирической линии.

Аналогичным образом (см. исследование зависимости $T_0(\lambda_{jk})$) проведенные в диссертации исследования зависимостей остальных параметров: q' , r , C , $t_{\text{зел}}$, $t_{\text{кр}}$, n_{0jk} , t_{0jk} , Z_{ITE} , t_{xjk} , n_{xjk} , λ_{max} , H от λ_{jk} , на четырехсторонних перекрестках и развязках с

круговым движением в конечном виде представлены соответственно в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 4 - Зависимость основных параметров работы СО от λ_{jk}

Параметр от λ_{jk}	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
Z_{1TE}	показательная	$y = 0,1195 * 215\ 660\ 061\ 038,4450^x$	в средн. 5,6
T_0	дробно-рациональная	$y = 1 / (0,0009 * x + 0,1818)$	0,00
C		$y = 1 / (-0,6542 * x + 0,1515)$	0,00 ÷ 0,03
$t_{зел}$	дробно-рациональная функция специального вида	$y = x / (-0,2578 * x + 0,0611)$	в средн. 1,95
n_0		$y = x / (-0,6541 * x + 0,1515)$	0,00 ÷ 0,02
t_0		$y = x / (-0,2816 * x + 0,0657)$	0,03 ÷ 2,64
λ_{maxjk}	линейная	$y = 1,0625 * x + 0,004$	0,00
t_{xjk}		$y = -2,7070 * x + 0,6614$	в средн. 2,97
n_{xjk}		$y = -1,3535 * x + 0,3307$	в средн. 2,97
q^*, r		$y = 2,125 * x + 0,008$	0,00

Таблица 5 - Зависимость основных параметров функционирования кольцевых развязок от λ_{jk}

Параметр от λ_{jk}	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
T_0	показательная	$y = 1,1474 * 6,0006^x$	0,00
Z_{1TE}		$y = 0,1757 * 7458097888^x$	в средн. 6,24
C	дробно-рациональная	$y = 1 / (-0,5667 * x + 0,1412)$	0,05 ÷ 0,84
$t_{зел}$	дробно-рациональная функция специального вида	$y = x / (-0,2176 * x + 0,0575)$	в средн. 3,8
n_0		$y = x / (-0,5677 * x + 0,1414)$	0,01 ÷ 1,24
t_0		$y = x / (-0,2660 * x + 0,0669)$	0,01 ÷ 1,17
q^*, r	линейная	$y = 2 * x$	0,00
t_x		$y = -2,2137 * x + 0,6091$	в средн. 3,77
n_x		$y = -1,1068 * x + 0,3046$	в средн. 3,77
λ_{max}		$y = 0,8583 * x + 0,0353$	0,00 ÷ 0,02
$T_0/t_{зел} = H$		гиперболическая функция специального вида	$y = 1,1076 - 0,0237/x$

Таблица 6 - Зависимость эффективности использования $t_{зел}$ от λ_{jk} , n_{ojk} от n_{maxjk}

Параметр	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
1	2	3	4
$H = t_{0j} / t_{зел}$	Гиперболическая функция специального вида	$y = 1,1201 - (0,0243/x)$	0,00 ÷ 0,13
$H = n_{ojk} / n_{maxjk}$		$y = 0,1338 - (0,0270/x)$	0,01 ÷ 0,15

Таким образом, средние взвешенные отклонения в пределах 0-6,24% подтверждают сходимость теоретических и эмпирических результатов исследования, а также достоверность и работоспособность параметров.

Параболическая характеристика зависимостей интенсивностей конфликтования при маневрировании ТП A^* , B^* , C^* от интенсивности движения λ_{jk} представлена в диссертации с погрешностью 0,02 ÷ 3,699.

Далее приведенные и описанные в диссертации результаты исследований зависимостей свободных A , с/ТЕ и заблокированных промежутков времени B , с/ТЕ,

образуемых транспортным потоком; пропускной способности нерегулируемых (неравнозначных и равнозначных) перекрестков λ_{maxH2k} , $\lambda_{maxHrjk}$, представлены в таблице 7 с погрешностью $0,01 \div 2,04\%$ (комплексы 1, 4, 5 в гл.3):

Таблица 7 - Зависимость $A(\lambda_{jk})$, $B(\lambda_{jk})$, $\lambda_{max}(\lambda_{jk})$ на нерегулируемом перекрестке

Параметр	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
1	2	3	4
$A(\lambda_{jk})$	линейная	$y = -9404,1735 * x + 3697,3682$	в средн. 2,04
$B(\lambda_{jk})$	дробно-рациональная функция специального вида	$y = x / (-0,0001 * x + 0,0001)$	$0,01 \div 0,99$
$\lambda_{max}(\lambda_{jk})$ (неравн.)	линейная	$y = -4702,0868 * x + 1848,6841$	в средн. 2,04
$\lambda_{max}(\lambda_{jk})$ (равнозн.)		$y = -3761,6694 * x + 1478,9473$	в средн. 2,04

По второму комплексу методов: была получена зависимость необходимой протяженности ППЧ L от длительности цикла СР (рисунок 10), численности населения N (рисунок 11, таблица 9), других характеристик Y и X (таблицы. 8)



Рисунок 10 - Зависимость необходимой протяженности полосы движения для участка ДС, оборудованного СО с двух- и трехфазными циклами СР от длительности цикла светофора.

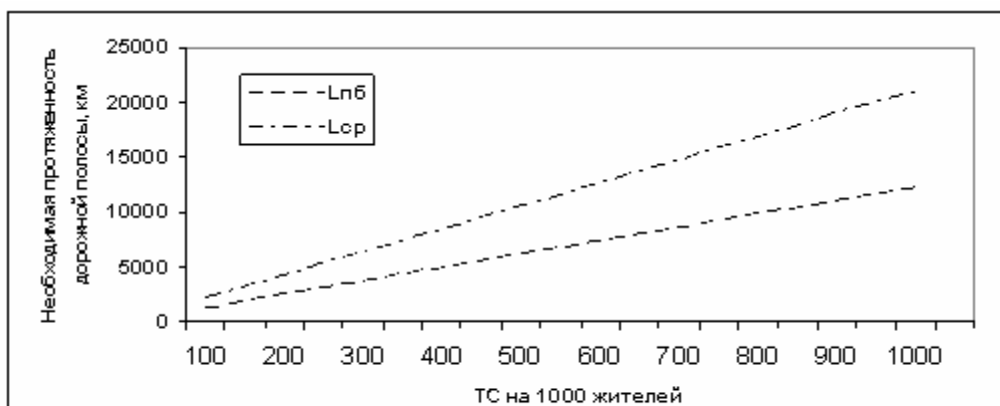


Рисунок 11- Необходимая протяженность ППЧ ДС населенного пункта при организации движения в режиме полной безопасности и светофорного регулирования

Таблица 8 – Зависимость Y от X

№	Характеристика Y	X	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
1	L (полн. без.)	N	линейная	$y=49,1*x$	0
2	L (СР)	N		$y=74,9*x$	0
3	L (СР)	V		$y=18,73*x+561,9$	0
4	L (полн. без.)	l_o+l_a		$y=100*x+4111,11$	0
5	L (СР)	τ		$y=3782,052*x-0,002$	0
6	L в режиме полн. без.	V	дробно-рациональная функция специального вида	$y=x/(-0,0002*x+0,0534)$	0,37÷2,01
7	L (СР)	C		$y=x/(0,0001*x-0,00081)$	0
8	L (СР)	$t_{\text{зел}}/C$	дробно-рациональная	$y=1/0.00025*x$	0

Таблица 9 - Зависимость исследуемых параметров от численности ТС (N)

№	Характеристика	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
1	$L_{\text{шсд}}(N)$	параболическая	$y=13,7270782*x^{0,7603441}$	0,54÷7,81
2	$L_{\text{шрд}}(N)$		$y=3,3348754*x^{0,8401800}$	1,33÷8,88
3	$L_{\text{сд}}(N)$		$y=159,0193868*x^{0,9441520}$	0,54÷7,81
4	$L_{\text{рд}}(N)$		$y=6.6697507*x^{0,8401800}$	1,33÷8,88
5	$L_{\text{удс}}(N)$		$y=33,3041581*x^{0,7833464}$	0,74÷8,11

Данные рисунка 10 позволяют сделать вывод, что с увеличением цикла СР несколько снижается необходимый минимум протяженности дорожной сети города (за счет формирования и пропуска через СО «пачек», состоящего из большого количества ТС), а переход от двух- к трехфазному циклу СР требует увеличения почти на 50% протяженности ППЧ.

По *третьему комплексу методов*: был проведен расчет ширины полосы проезжей части $B_n(\lambda_{jk})$ от скорости $B_n(V_a)$, прямолинейности дороги и радиусов закруглений $B_n(R_{\text{злк}})$, базы $B_n(l_a)$, высоты транспортных средств $B_n(H)$. Установлена зависимость плотности потока $q(B_n)$, динамического продольного габарита $L_d(B_n)$, скорости движения $V(B_n)$, ширины ТС от ширины полосы в данном случае, отражающей условия движения, что необходимо для установления режимов движения и обоснования ограничений (см. таблицу 10).

Таблица 10 – Зависимость B_n от параметров условий движения

Параметр	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
1	2	3	4
$B_n(\lambda), k=1$	Дробно-рациональная	$y=1/(-0,0001*x+0,5180)$	в средн. 2,78
$B_n(\lambda), k=2$		$y=1/(-0,0003*x+0,5599)$	в средн. 6,04
$B_n(\lambda), k=3$		$y=1/(-0,0003*x+0,5501)$	1,73÷303
$V(L_d)$	Логарифмическая функция	$y=90,8732\lg x+90,8732$	в средн. 4,94

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
$B_n(V), k=1$	Дробно-рациональная функция специального вида	$y=x/(0,4971 *x - 0,0112)$	0,00÷0,06
$B_n(V), k=2$		$y=x/(0,4941 *x - 0,0224)$	0,00÷0,12
$B_n(V), k=3$		$y=x/(0,4912 *x - 0,0337)$	0,00 ÷0,18
$B_a(B_n)$	Линейная	$y=0,9943*x$	0,00
$B_n(H')$		$y=0,3958*x + 2,0830$	0,00
$q(B_n)$	Гиперболическая функция специального вида	$y= 522,1387 - 1\ 044,2774/x$	0,00
$L_d(B_n)$		$y= 3472,2222 - 6944,4444/x$	0,00
$B_n(R_{злк}), l_a=0,2м$		$y= 2,0118 + 0,0201/x$	0,00
$B_n(R_{нзлк}), l_a=0,8м$		$y= 2,0122 + 0,3159/x$	0,00÷0,02
$B_n(l_a), R_{злк}=6м$	Дробно-рациональная	$y=1/(- 0,0200*x + 0,5007)$	0,09÷0,36
$B_n(l_a), R_{злк}=14 м$		$y=1/(- 0,0088*x + 0,4987)$	0,05÷0,16

По четвертому комплексу методов: рассчитаны интенсивность движения МПТ $\lambda_{МПТ}$, суммарное количество поездок населения на личном автомобиле $N_{ВТС}$, на МПТ – $N_{нас\ МПТ}$, суммарная протяженность поездок населения на личном автомобиле $L_{ВТС}$ и на МПТ $L_{нас}$ (см. таблицу 11).

Таблица 11 - Исследование зависимости параметров движения МПТ от наполняемости

Параметр	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность %
1	2	3	4
$N_{ВТС}$	гиперболическая	$y = 52800000 * x^{-1}$	0,00
$L_{ВТС}$		$y = 252000000 * x^{-1}$	0,00
$\lambda_{МПТ}$	гиперболическая функция специального вида	$y = 1933,3 - (1933,3/x)$	0,00
$N_{нас.МПТ}$		$y = 32480000 - (32480000/x)$	0,00
$L_{нас}$		$y = 184640000 - (184640000/x)$	0,00

Определены: количества жилых кварталов $Z_{жкз}(N_{нас})$ в зависимости от численности населения $N_{нас}$, кварт./город; гаражных кварталов (комплексов), необходимых для размещения автопарка $Z_{гкз}(N_{нас})$, гар. кварт./гор.; общего количества кварталов от численности населения $Z_{гкз*}(N_{нас})$, кварт./гор.; общей площади города от численности населения $S_2(N_{нас})$, (кв. км·чел./чел.·гор.); широтной протяженности: СД - $L_{ШСД}(N_{нас})$, (км·чел./чел.·гор), МРД - $L_{ШРД}(N_{нас})$, (км·чел./чел.·гор.); меридиональной протяженности: СД - $L_{МСД}(N_{нас})$, (км·чел./чел.·гор.); МРД - $L_{МРД}(N_{нас})$, (км·чел./чел.·гор.); УДС - $L_{УДС}(N_{нас})$; количества единовременного пребывания ТС на широтных СД - $N_{ШСД}(N_{нас})$, (ТЕ·гор./гор.·чел.); меридиональных СД- $N_{МСД}(N_{нас})$,

широтных МРД- $N_{\text{МРД}}(N_{\text{нас}})$; меридиональных МРД - $N_{\text{МРД}}(N_{\text{нас}})$; на УДС - $N_{\text{УДС}}(N_{\text{нас}})$; пропускная способность УДС- $\lambda_{\text{maxУДС}}(L_{\text{УДС}})$; ширина полосы- $B_{\text{п}}(\lambda_{jk})$ (см. таблицу 10); количество площадей, необходимых для проложения УДС - $S_{\text{УДС}}(N_{\text{нас}})$; зависимость площади застроенной части города от численности населения- $S_{\text{зчг}}(N_{\text{нас}})$, см. таблицу 12.

Таблица 12 - Зависимость параметров расчетной базы оптимальных схем организации и управления движением от численности населения

Параметр	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %	
$Z_{\text{жкг}}(N_{\text{нас}})$	линейная	$y=0,052759312*x$	0,00	
$Z_{\text{гкг}}(N_{\text{нас}})$		$y=0,041666667*x$	0,00	
$Z_{\text{гкг}}(N_{\text{авт}})$		$y=0,1465000*x+3,2777778$	0,14÷1,81	
$S(N_{\text{нас}})$		$y=0,0914306*x+2,0456611$	0,14÷1,81	
$L_{\text{ШСД}}(N_{\text{нас}})$	параболическая	$y=13,7270782*x^{0,7603441}$	0,14÷1,81	
$L_{\text{ШРД}}(N_{\text{нас}})$		$y=3,3348754*x^{0,8401800}$	0,54÷7,81	
$S_{\text{УДС}}(N_{\text{нас}})$		$y=0,169698721*x^{0,840180036}$	1,33÷8,88	
$S_{\text{зчг}}(N_{\text{нас}})$		$y=0,159620221*x^{0,840180036}$	1,33÷8,88	
$L_{\text{СД}}(N_{\text{нас}})$		$y=27,45415634*x^{0,760344132}$	1,33÷8,88	
$L_{\text{МРД}}(N_{\text{нас}})$		$y=6,6697507*x^{0,8401800}$	0,54÷7,81	
$L_{\text{УДС}}(N_{\text{нас}})$		$y=33,3041581*x^{0,7833464}$	1,33÷8,88	
$N_{\text{ШСД}}(N_{\text{нас}})$		$y=229,5827955*x^{0,759901733}$	0,74÷8,11	
$N_{\text{СД}}(N_{\text{нас}})$		$y=459,165591*x^{0,759901733}$	0,53÷7,80	
$N_{\text{ШРД}}(N_{\text{нас}})$		$y=44,61507419*x^{0,840180036}$	0,53÷7,80	
$N_{\text{РД}}(N_{\text{нас}})$		$y=89,23014839*x^{0,840180036}$	1,33÷8,88	
$N_{\text{УДС}}(N_{\text{нас}})$		$y=536,5279198*x^{0,779578254}$	1,33÷8,88	
$\lambda_{\text{maxУДС}}(L_{\text{УДС}})$		$y=64454,92014*x^{0,420090018}$	0,70÷8,06	
$B_{\text{п}}(\lambda_{jk})$		дробно-рациональная функция	$y=1/(-0,1776561*x+0,3116942)$	0,67÷4,54

По пятому комплексу методов, составляющих комплексный критерий оценки эффективности и качества О и УДД, как интенсивность конфликтования A, B, C от λ_{jk} - $Z(\lambda_{jk})$, $\mathcal{E}_{\text{кол}}(V)$, $\mathcal{E}_{\text{кон}}(\lambda)$, $L_{\text{УДС}}(I_{\text{м}}+I_{\text{ш}})$, $V(\lambda)$, $\lambda_{\text{max}}(\tau, C, t_{\text{зел}})$, $\theta(\tau, C, t_{\text{зел}})$ экспериментально исследованы в комплексах 1-4 в диссертации.

По шестому комплексу методов: представлена в технологии УДД зависимость параметров функционирования регулируемых УДС ($T_o(\lambda_{jk})$, $C(\lambda_{jk})$, $t_{\text{зел}}(\lambda_{jk})$, $\lambda_{\text{maxjk}}(\lambda_{jk})$, $Z_{1\text{ТЕ}}(\lambda_{jk})$ от интенсивности движения λ_{jk} , ТЕ/ч, ТЕ/сут. при региональном управлении (таблица 13).

Таблица 13 - Зависимость основных параметров функционирования регулируемых УДС от λ_{jk} при РУ

Параметр	Вид зависимости	Уравнение зависимости	Погрешность, %
1	2	3	4
$C(\lambda_{jk})$	дробно-рациональная	$y=1/(-0,0321*x+0,0819)$	0,00 ÷ 0,03

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4
$T_0(\lambda_{jk})$	линейная	$y=0,2271*x + 10,9973$	0,00
$q, r(\lambda_{jk})$		$y=0,195*x$	0,00
$\lambda_{max}(\lambda_{jk})$		$y=1,0737*x + 0,2457$	$0,00 \div 0,03$
$T_{зел}(\lambda_{jk})$	дробно-рациональная функция специального вида	$y=x/(-0,1394*x + 0,3692)$	в средн. 2,15
$N_{0jk}(\lambda_{jk})$		$y=x/(-0,1982*x + 0,5048)$	$0,01 \div 1,61$
$Z_{1TE}(\lambda_{jk})$		$y=x/(-0,0672*x + 0,2123)$	в средн. 5,42

Таким образом, сходимость теоретических и экспериментальных результатов исследований (см. таблицы 4-13) подтверждает достоверность и работоспособность комплексов авторских формул. В 76% экспериментально исследованных методах получена нулевая погрешность, в 4 – до 6%; в 5 – 19%; в 2 – 31% и 303%. Эти погрешности имеют место в случаях высоких интенсивностей движения 1440-1620 ТЕ/ч, при скорости (120 км/ч и более) и многорядности движения, т.е. в диапазонах, превышающих пропускные способности ППЧ и режимов СР. Графики на 187 рисунках и результаты расчетов 136 таблиц, позволяют выявить неэффективно используемые пропускные способности ППЧ, режимов СР и внести соответствующие коррективы в О и УДД. Предметное экспериментальное исследование методов расчета параметров движения, составляющих методологию, посредством 56- блок-схем алгоритмов и аппроксимированного моделирования этих параметров с их аргументами, с применением метода наименьших квадратов (МНК), позволило убедиться не только в их правомерности и достоверности, но и значимости для ОДД.

В пятой главе представлены рекомендации по применению «Методологии повышения эффективности и оценки качества УДД», в частности:

- по технологии УДД предлагаемую структуру, разработанную АО НПЦ «Кибернетика» (1994 г.), и последовательность ее реализации целесообразно использовать в программно-методическом обеспечении Краснодарской АСУД «Региональная АСУД» и других объектах управления регионов, посредством внесения соответствующего корректива;

- в городах с прямоугольными схемами УДС на базе общегородских АСУД желательно применять квадратно-контурное управление с многопрограммным метообеспечением, многократно сокращающее как число контроллеров, так и расходы на внедрение и содержание такого управления;

- в структурах администраций субъектов РФ создать Департаменты организа-

ции, управления и обеспечения БДД (Центры регионального УДД), в которых предусмотреть проблемные научно-исследовательские лаборатории с целью совершенствования и развития механизмов функционирования этих Центров и их инфраструктур, а также выполнения контрактов с внешними, с ними связанными структурами;

- учитывать в программно-методическом обеспечении и структурах «Центров» не только службы дорожно-транспортного комплекса, но и служб милиции общественной безопасности (дорожно-патрульной и уголовного розыска), МЧС, скорой медицинской помощи с травмпунктом на 20 койко-мест, бытового и автосервиса, связи и банкоматы;

- разрабатывать оптимальные схемы организации и управления ДД, посредством предложенных автором методов, построенных на системных принципах, учитывающих не только дифференцированное распределение ТПП, но и их формирование как по месту грузо- и пассажирообразования, работы, жительства, так и тяготения к жизнеобеспечивающим сферам, а также топографию города во взаимодействии его составляющих структур;

- на принципах многовариантных проработок и исследований многообразия возможных инженерных решений и маршрутов движения, а также режимов СР и уровней безопасности через конфликтность потоков, задержек у перекрестков, экологическую безопасность, расстояния маршрутов движения, стоимость километра пути и часа ездки, в аспекте минимизации, а также и в аспекте максимизации скоростей сообщения, эффективности использования пропускных способностей как полос проезжей части, автомагистралей (улиц) и УДС, так и применения наработок НИР в этой области, осуществлять выбор оптимальных схем О и УДД;

- внести коррективы в планировку большинства крупных городов, заключающиеся в доведении размеров: кварталов до $(1100 \pm 140) \times (1100 \pm 140)$ м, межскоростных пространств до 2240×3280 м с коэффициентом плотности 0,18, в которых размещается шесть квадратных кварталов, с регулируемой дорожной сетью, с коэффициентом плотности 0,2 - достаточной для внутренних сообщений, и соответствующие принципам оптимизации ОДД (см. в диссертации рисунок 5.1);

- принимать к внедрению схемы ОДД лишь после апробирования их посредством комплексного критерия;

- по разработанным комплексам аналитических методов расчета параметров, позволяющих получать оптимальные результаты, целесообразно: внедрить в практику 1-й комплекс методов гл. 3, обеспечивающий уменьшение длительности

циклов, их тактов на 63,8% и более, задержек у перекрестков на 33% и более; в расчетах циклов и их тактов учитывать пропуск одних ТС под прикрытием других и ПП, способствующих наиболее эффективному использованию циклового времени, что снижает также их длительность и соответственно уменьшаются размеры очередей на 34,3% и более, время их рассасывания на 31,9% и более, а также применять предложенные аналитические методы для расчетов размеров очередей, времени их рассасывания, пропускных способностей, задержек ТС и оценок заторовых состояний, рассчитывать такты по предложенной методике, по которой эффективность использования разрешающего такта больше на 41-10%, нежели по другим методикам, авторская методика позволяет получать наиболее достоверные оценочные параметры, нежели по методам Ф. Вебстера;

- промежуточные такты рассчитывать по времени занятости перекрестка при его проезде, полученные посредством натуральных наблюдений; применять светофорное регулирование в пределах суммарной интенсивности движения по двум пересекающимся полосам $800 \div 1600$ ТЕ/ч без учета ДТП;

- оборудовать перекрестки канализированными дополнительными ППЧ для безостановочного пропуска правоповоротных потоков, повышающих пропускную способность и снижающих длительность циклов и задержек, за исключением интервалов времени, предназначенных для пропуска пешеходов;

- пропускные способности автомагистралей регулируемых сетей приводить в соответствие с размерами движения посредством увеличения числа ППЧ как на перегонах, так и на перекрестках, с целью стабилизации режимов движения;

- исключить даже кратковременное хранение ТС на ППЧ, для чего использовать внеуличные площадки подземного, надземного и наземного размещения;

- осуществлять оценку работы светофорного объекта на предмет достаточности времени в цикле для пропуска ТП и ПП по предложенной автором методике.

- осуществить повсеместную инвентаризацию ППЧ по предложенному автором методу на предмет их достаточности и информировать администрацию для принятия решений по развитию дорожных сетей;

- с целью повышения скоростей и уровней безопасности движения осуществить расчет ширины ППЧ и их количества на стратегических направлениях по предложенной методике для внесения коррективов в перечень объема работ по развитию дорожных сетей;

- осуществить канализирование ППЧ, значительно уменьшающее ширину этих полос в условиях многополосности;

- использовать методы расчета предельных величин параметров ТП в рассматриваемых условиях таких, как плотности и скорости движения, динамического продольного габарита, ширины автомобиля, с целью обоснования ограничений, а также оценки и поиска вариантов эффективных инженерных решений.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых разработана и апробирована аналитическая база для решения проблем дорожного движения, подтвердили не только правомерность, значимость, но и своевременность поставленных целей и задач исследований методов, теоретических основ «Методологии повышения эффективности УДД» в аспекте оптимальности.

2. Описанные в литературе *по первому комплексу методов* расчета и оценки режимов СР, размеров очередей, времени их рассасывания и задержек, пропускной способности и др. построены на эмпирических принципах, без учета метода размерности и логичности, не позволяющие получать оптимальные длительности циклов и их тактов, а также достоверные размеры названных параметров ТС.

3. Не применение теоретических разработок по расчету промежуточных тактов, с учетом геометрических параметров пересечения и динамики ТПП, соответствующих конкретным условиям движения на перекрестке и по пропуску одних ТС под прикрытием других, снижает эффективность использования пропускной способности полос, тактов и в целом управления.

4. Существующие теоретические разработки не учитывают движения ТПП во взаимодействии при различных маневрах на перекрестке. В некоторых методах не принимаются во внимание весьма важные параметры - геометрические факторы перекрестка, разнородность потоков, создающие значительные погрешности в расчетах, делающие их неприемлемыми.

5. Отсутствие критериев оценки оптимальности как светофорного объекта, так и величины разрешающего такта отрицательно сказывается на СР.

6. Исследование комплекса аналитических методов расчета и оценки оптимальных режимов СР подтвердило эффективную работу светофорных объектов за счет применения рациональных длительностей циклов и их тактов, пропуска потоков под прикрытием других ТС, полного использования времени разрешающих тактов только для пропуска очередей.

7. Разработаны наиболее достоверные методы расчета размеров образовавшихся очередей ТС у стоп-линий, временных интервалов их рассасывания, заторовых

состояний, пропускных способностей регулируемых, нерегулируемых (равнозначных, неравнозначных) перекрестков, времени задержек ТС у стоп-линий светофорных объектов, оценки циклов СР на предмет пропуска пешеходных потоков, способствующие выявлению и эффективному использованию резервов в режимах управления движением.

8. Разработан и обоснован метод оценки степени эффективности использования разрешающего такта: при коэффициенте эффективности использования $H=1$ означает, что объект работает в оптимальном режиме, при $H = 0,8 \div 0,96$ – допускается; при $H < 0,6$ не допускается эксплуатация объекта по причине неоптимального цикла.

9. *По второму комплексу методов.* Отсутствие метода определения достаточности протяженности и количества ППЧ не позволяло достоверно оценивать и соответственно прогнозировать развитие дорожных сетей, что и явилось следствием возникших проблем с пропуском ТП – заторами в крупных городах. Метод позволяет выявлять положенность, дефицит протяженности и количество ППЧ.

10. Впервые разработаны аналитические методы определения требуемой протяженности и количества ППЧ в городах и регионах (рациональный коэффициент плотности регулируемых 0,18, скоростных 0,2 при 36,05 тыс. чел./км², 16,32 тыс. ТЕ/км², 8,16 тыс. учащихся/км² при 18-этажной жилой застройке и т.п.).

11. *По третьему комплексу методов.* Разработанный метод расчета ширины полосы проезжей части учитывает как скорость, ширину автомобиля, так и плотность потока, динамический продольный габарит, построенный на вероятностных оценках, позволяющий создавать рациональные условия безопасного движения на принципах системного подхода. Разработаны методы расчета предельных величин скоростей движения, плотностей потоков, динамических продольных габаритов, ширины автомобиля соответственно условиям движения – ширине полосы, которые оптимизируют введение ограничений, обеспечивающих БДД.

12. *По четвертому комплексу методов.* Комплекс методов разработки оптимальных схем организации и управления ДД впервые построен на системных принципах, учитывающих как интересы ТПП, так и расстояния между местами формирования грузо-пассажирообразующих потоков, скорости перемещения, маршрутизацию и обеспечение БДД посредством исключения конфликтных ситуаций при применении канализированных полос движения. Метод применим для любых городов (регионов).

13. *По пятому комплексу методов.* Разработанный комплексный минимаксный

критерий оценки эффективности и качества УДД на пяти минимизирующих и трех максимизирующих функциональных критериях построен на аналитических методах и системных принципах, способствующий нахождению посредством многовариантных проработок рациональных инженерных решений.

14. *По технологии УДД.* Разработанная на региональном системно-комплексном подходе «Технология УДД» в городах и регионах, построенная на взаимодействии структур дорожно-транспортного комплекса со службами милиции (дорожно-патрульной, уголовного розыска), МЧС, скорой медицинской помощи, бытового и автосервиса, связи и банкоматами, повышающие эффективность и качество управления за счет качества предоставляемых дорожных услуг и организации ДД на больших территориях и снижающие число летальных исходов при ДТП за счет своевременности оказания медицинской помощи, госпитализации и принятия других неотложных мер, связанных с устранением последствий, и исключающих узковедомственный подход, создают предпосылки для проведения целевых мероприятий на научной основе и государственном уровне. В городах с прямоугольными схемами УДС на базе общегородских АСУД рационально применять квадратно-контурное управление с многопрограммным метоодообеспечением, многократно сокращающее как число контроллеров, так и расходы на содержание такого управления.

15. Целесообразно проводить НИР с целью не только широкомасштабного внедрения результатов диссертационной работы, но и решения проблем безопасности движения, для которых создана теоретическая база.

Основные публикации по теме диссертации:

Работы, опубликованные в изданиях по списку ВАК

1. Живоглядов В.Г. Теория пропуска транспортных и пешеходных потоков. – Ростов-н/Д.: Изв. Вуз. Сев.- Кавк. регион. Техн. науки, 2003. – 412 с.

2. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков.- Ростов-н/Д.: Изв. Вуз. Сев.- Кавк. регион. Техн. науки, 2005.-1082 с.

3. Живоглядов В.Г., Бахтина О.Н. Теоретические принципы возникновения и упреждения заторовых состояний на автодорогах. – Ростов-н/Д.: Изв. Вуз. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, № 3, 2004.- С.103-105, (50%).

4. Нехай К.Х., Живоглядов В.Г. О теоретических принципах разработки оптимальных схем организации и управления дорожным движением (на примере г. Краснодара).– Ростов-н/Д.:Изв. Вуз. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. №3, 2005.– С. 65-68, (50%).

5. Кужель В.Н., Живоглядов В.Г. Теоретические основы зависимости ширины полосы движения от ширины автомобиля и динамических продольных и вертикальных габаритов транспортных средств. – Ростов-н/Д.: Изв. Вуз. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Приложение 3, 2005.- С.124-131, (50%).

6. Живоглядов В.Г., Бахтина О.Н. Принципы определения требуемой протяженности полос движения в населенном пункте. Ростов-н/Д.: Изв. Вуз. Сев.- Кавк. регион. Техн. науки. №4, 2005.- С.102, 103, (50%).

7. Живоглядов В.Г., Орлова М.В. Об одном из методов расчета ширины полосы проезжей части.-Ростов-н/Д.: Изв. Вуз. Сев.- Кавк. регион. Техн. науки. Приложение 1, 2006.- С. 182 (50%).

8. Живоглядов В. Г., Бахтина О.Н. Использование теории вероятности и математической статистики в моделировании транспортных потоков. Ростов-н/Д.: Изв. Вуз. Сев.- Кавк. регион. Техн. науки. Приложение 1, 2006.- С. 74-77 (50 %).

Публикации в других изданиях

9. Живоглядов В.Г. Принципы оценки качества организации и управления дорожным движением //Организация и безопасность движения в крупных городах: Сб. докл. VI Междунар. конф. СПб: гос. архит.- строит. ун-т, 2004.-С. 222-227.

10. Живоглядов В.Г. Методология повышения эффективности управления транспортными и пешеходными потоками // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. седьмая междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70 –летию ГАИ МВД России - СПб: гос. архит.- строит. ун-т, 2006.- С. 197-205.

11. Живоглядов В.Г. Рекомендации по применению методологии повышения эффективности управления транспортными и пешеходными потоками. // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. VII Междунар. конф. -СПб: гос. архит.- строит. ун-т, 2006.- С. 331-337.

12. Живоглядов В.Г. Методология управления дорожным движением на региональном уровне// Организация и безопасность движения в крупных городах: Сб. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб: гос. архит.-строит. ун-т, 2008.- С. 123-127.

13. Живоглядов В.Г., Головкин И.А. Принципы оценки и разработки рациональных структур улично-дорожных сетей и комплексных транспортных схем крупных городов // Организация и безопасность движения в крупных городах: Сб. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб: гос. архит.-строит. ун-т, 2008.- С. 127-137, (50%).

14. Живоглядов В.Г., Нехорошкин М.С. Алгоритмы управления дорожным движением на регулируемых сетях // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб: гос. архит.-строит. ун-т, 2008.- С. 276-280, (50%).

15. Живоглядов В.Г., Гошовец С.В. Транспортные потоки в условиях постоянных скоростей движения, размеры очередей и других параметров нерегулируемых перекрестков // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. восьмой междунар. конф. «Организация и безопасность движения в крупных городах» /СПб: гос. архит.-строит. ун-т, 2008.- С. 294-303, (50%).

16. Живоглядов В.Г., Мартынов А.В. Оптимальные решения светофорного регулирования. / Кубан. с.-х. ин-т. – Краснодар: Кн. изд-во, 1971. –103 с. (50%).

17. Живоглядов В.Г., Мартынов А.В. О методе инженерного расчета пропускной способности нерегулируемых неравнозначных перекрестков с автомобильным и трамвайным движением // Труды научн.-технич. конференц. Вычислительного центра Воронежского гос. ун-та. Применение методов вычислительной математики и вычислительной техники для решения научно-исследовательских задач. – Воронеж: изд-во Воронеж. ун-та, 1969.- С. 96-105, (50%).

18. Живоглядов В.Г., Мартынов А.В. Расчет пропускной способности регулируемых перекрестков // Вопросы мех. и эконом. с. х.: Сб. тр. /Кубан. с.-х. ин-т.– Краснодар, 1969. Вып.1, Ч. 1.– С. 94–100, (50 %).

19. Живоглядов В.Г., Мартынов А.В. О методе инженерного расчета пропускной способности регулируемых перекрестков с трамвайным движением // Вопросы мех. и эконом. с. х.: Сб. тр. /Кубан. с.-х. ин-т.– Краснодар, 1969. Вып.1, Ч. 1.– С. 18–41, (50 %).

20. Живоглядов В.Г., Мартынов А.В. Расчет пропускной способности нерегулируемых неравнозначных перекрестков // Вопросы мех. и эконом. с. х.: Сб. тр. /Кубан. с.-х. ин-т.–Краснодар, 1969. Вып.1, Ч. 1.– С. 100–109, (50 %).

21. Живоглядов В.Г. Исследование метода Ф.А. Хейта - определение блокированных и свободных промежутков времени в транспортном потоке: Информ. л. Краснодарский ЦНТИ, – Краснодар, 2002. № 18. – 6 с.

23. Титов В.П., Живоглядов В.Г. Теория функционирования развязок с круговым движением: учеб. пособие. – Армавир: АФЭИ, 2004. – 257 с (50%).

24. Живоглядов В.Г., Живоглядова Л.В. Координированное управление движением: учеб. пособие.- Армавир: АФЭИ, 2004. – 318 с (50%).